

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAĞIN
HİDRODİNAMİK VE ISIL MATEMATİK MODELLEMESİ**

DOKTORA TEZİ

Cem DOLU

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Mühendisliği Programı

ARALIK 2017

**DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAĞIN
HİDRODİNAMİK VE ISIL MATEMATİK MODELLEMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Cem DOLU
(503072010)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Lütfullah KUDDUSİ

ARALIK 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503072010 numaralı Doktora Öğrencisi Cem DOLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAĞIN HİDRODİNAMİK VE ISIL MATEMATİK MODELLEMESİ" başlıklı tezini aşağıdaki imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Lütfullah KUDDUSİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Yakup Erhan BÖKE**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Fehmi AKGÜN
TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü

Prof. Dr. İ. Cem PARMAKSIZOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. -Ing. Ahmet CAN
İstanbul Arel Üniversitesi

Teslim Tarihi : **09 Kasım 2017**

Savunma Tarihi : **29 Aralık 2017**





Aileme ve beni yetiştiren öğretmenlerime,



ÖNSÖZ

Doktora tezimde başta değerli danışman hocam Prof. Dr. Lütfullah Kuddusi'ye teşekkür ederim. Kendisi doktora çalışmamda her zaman yanımda olmuş ve değerli görüş, teorik bilgi ve önerileri ile beni yönlendirmiştir. Prof. Dr. Lütfullah Kuddusi en yoğun olduğu zamanda bile bana değerli zamanından ayırmış ve tüm problemlerimi tüm enerjisi ve pozitif bakış açısı ile çözmüştür. Kıymetli hocamın bende emeği çoktur. Kendisine bana göstermiş olduğu sabır ve sevgiden dolayı sonsuz teşekkürlerimi iletirim.

Ayrıca değerli hocam Doç. Dr. Yakup Erhan Böke'ye doktora tezimde kullanmam için bana iş istasyonu bilgisayarı temin etmesinden ve tezimde sayısal modelleme ile ilgili karşılaştığım problemleri çözmemde bana yardımcı olmasından dolayı teşekkür ederim. TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsünden kıymetli hocam Doç. Dr. Fehmi Akgün'e teşekkürü bir borç bilirim. Özellikle doktora tezimin çerçevesinin oluşmasında değerli düşüncelerini benimle paylaşmış ve çok doğru tespit ve yönlendirmeleri ile yardımını benden esirgememiştir. Bunlara ek olarak sayın değerli hocam Prof. Dr. Ahmet Arısoy'a teşekkür ederim. Kendisi her odasına gittiğimde bana tezim ile ilgili çok yapıcı eleştirilerde bulunmuş ve çok karmaşık gelen problemlerimi hızlı ve etkili bir şekilde çözmüştür.

Büyük bir sabır ve güven ile doktora tezi çalışmamda beni motive eden aileme, tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Özellikle babama, anneme, ablama, kardeşime ve yeğenime yoğun çalışma dönemlerimde sevgileri ile hep yanımda oldukları için sonsuz teşekkür ederim. Bu doktora tezi bilimsel alanda bir damla olarak kalmaya mahkum iken aileme, tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma duyduğum saygı ve sevginin ölümsüz olduğunu belirtmek isterim.

Aralık 2017

Cem DOLU
(Y. Makina Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxiii
ÖZET	xxxi
SUMMARY	xxxv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. MATEMATİK MODELLEMESİ	23
3.1 Eulerian-Eulerian Modellemesinin Denklemleri.....	23
3.1.1 Süreklilik denklemi	24
3.1.2 Momentum denklemi.....	25
3.1.3 Türbülans modeli.....	32
3.1.4 Enerji korunumu denklemi	34
3.2 Kimyasal Reaksiyonlar.....	35
3.2.1 Gaz bileşenlerinin korunum denklemi.....	36
3.2.2 Literatürdeki uçucu madde çıkış modelleri	37
3.2.3 CPD parametreleri için geliştirilen korelasyonlar	44
3.2.4 Uçucu maddenin çıkışının modellenmesi.....	51
3.2.5 Heterojen reaksiyonlar.....	54
3.2.6 Homojen reaksiyonlar	56
3.3 Işınım Modeli	57
4. MODEL DOĞRULAMASI	61
4.1 Birinci Karşılaştırma	62
4.1.1 Birinci sayısal çalışma bilgisi	66
4.1.2 İkinci sayısal çalışma bilgisi.....	67
4.1.3 Üçüncü sayısal çalışma bilgisi.....	69
4.1.4 Dördüncü sayısal çalışma bilgisi	72
4.1.5 Beşinci sayısal çalışma bilgisi	74
4.1.6 Altıncı sayısal çalışma bilgisi	78
4.1.7 Yedinci sayısal çalışma bilgisi.....	83
4.1.8 Birinci karşılaştırma için doktora tezinde geliştirilen model çalışması ve sonuçları.....	85
4.2 İkinci Karşılaştırma	106
4.3 Üçüncü Karşılaştırma	119

5. SEÇİLEN TÜRK LİNYİTLERİNİN ÖZELLİKLERİ.....	129
6. KABARCIKLI AKIŞKAN YATAK SONUÇLARI	135
6.1 Yatak Yüksekliğinin Türk Linyitlerinin Gazlaştırılmasına Etkisi	136
6.1.1 L1 kömürü için elde edilen sonuçlar	138
6.1.2 L2 kömürü için elde edilen sonuçlar	146
6.1.3 L3 kömürü için elde edilen sonuçlar	154
6.1.4 L4 kömürü için elde edilen sonuçlar	161
6.1.5 L5 kömürü için elde edilen sonuçlar	169
6.2 Çalışma Debilerinin Türk Linyitlerinin Gazlaştırılmasına Etkisi	177
6.2.1 Eşdeğerlik oranının Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisi	179
6.2.1.1 L1 kömürü için elde edilen sonuçlar	179
6.2.1.2 L2 kömürü için elde edilen sonuçlar	185
6.2.1.3 L3 kömürü için elde edilen sonuçlar	189
6.2.1.4 L4 kömürü için elde edilen sonuçlar	194
6.2.1.5 L5 kömürü için elde edilen sonuçlar	199
6.2.2 Su buharı debisinin kömür debisine oranının Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisi	204
6.2.2.1 L1 kömürü için elde edilen sonuçlar	205
6.2.2.2 L2 kömürü için elde edilen sonuçlar	210
6.2.2.3 L3 kömürü için elde edilen sonuçlar	214
6.2.2.4 L4 kömürü için elde edilen sonuçlar	219
6.2.2.5 L5 kömürü için elde edilen sonuçlar	223
7. DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAK SONUÇLARI.....	229
7.1 Dolaşımli Akışkan Yatak Geometrisi	229
7.2 Yatak Yüksekliğinin Türk Linyitlerinin Gazlaştırılmasına Etkisi	241
7.2.1 L1 kömürü için elde edilen sonuçlar	243
7.2.2 L2 kömürü için elde edilen sonuçlar	246
7.2.3 L3 kömürü için elde edilen sonuçlar	250
7.2.4 L4 kömürü için elde edilen sonuçlar	253
7.2.5 L5 kömürü için elde edilen sonuçlar	257
7.3 Çalışma Debilerinin Türk Linyitlerinin Gazlaştırılmasına Etkisi	260
7.3.1 Eşdeğerlik oranının Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisi	262
7.3.1.1 L1 kömürü için elde edilen sonuçlar	263
7.3.1.2 L2 kömürü için elde edilen sonuçlar	268
7.3.1.3 L3 kömürü için elde edilen sonuçlar	273
7.3.1.4 L4 kömürü için elde edilen sonuçlar	277
7.3.1.5 L5 kömürü için elde edilen sonuçlar	282
7.3.2 Su buharı debisinin kömür debisine oranının Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisi	287
7.3.2.1 L1 kömürü için elde edilen sonuçlar	287
7.3.2.2 L2 kömürü için elde edilen sonuçlar	292
7.3.2.3 L3 kömürü için elde edilen sonuçlar	296
7.3.2.4 L4 kömürü için elde edilen sonuçlar	301
7.3.2.5 L5 kömürü için elde edilen sonuçlar	305
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	311

KAYNAKLAR	317
ÖZGEÇMİŞ	329





KISALTMALAR

CPD	: Chemical Percolation Devolatilization
E-E	: Eulerian-Eulerian
E-L	: Eulerian-Lagrangian
ER	: Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)
NMR	: Nuclear Magnetic Resonance
YBH	: Yüzde bağıl hata





SEMBOLLER

a	: Soğurma katsayısı (absorption coefficient)
A	: Ön-üstel sabit (pre-exponential constant)
A_b	: Köprü ayrılma frekans faktörü (bridge scission frequency factor)
A_c	: Çapraz-bağlantı frekans faktörü (cross-linking frequency factor)
A_g	: Gaz çıkışı için frekans faktörü (gas release frequency factor)
A_i	: Ara yüzey alanı (interfacial area)
c	: Karbon köprülerinin sayısı (population of char bridges)
c_0	: Kömürdeki karbon köprülerinin başlangıçtaki sayısı, korelasyonlardaki başlangıç katsayısı
$c_1, c_2 \dots c_9$: Korelasyon katsayıları
$c_{c,i}$: Karbon için korelasyon katsayısı
$c_{h,i}$: Hidrojen için korelasyon katsayısı
$c_{o,i}$: Oksijen için korelasyon katsayısı
c_p	: Özgül ısı
$c_{u,i}$: Uçucu madde için korelasyon katsayısı
C	: Doğrusal-yönlü faz fonksiyon katsayısı (linear-anisotropic phase function coefficient)
C_D	: Sürüklenme katsayısı (drag coefficient)
C_g	: Reaksiyona giren gazların derişimleri
\bar{C}	: Tanecik dalgalanma hızı (particle velocity fluctuation)
d	: Çap
d_k	: Kömür tanecik çapı
D_{gk}	: Gaz fazı ile katı fazı arasındaki yayılım katsayısı
$D_{i,m}$: Her bir i bileşeni için kütle yayılım katsayısı (mass diffusion coefficient)
$D_{T,i}$: Her bir i bileşeni için ısı yayılım katsayısı (thermal diffusion coefficient)
e	: Düzeltme katsayısı (coefficient of restitution)
E	: Aktivasyon enerjisi (activation energy)
E_b	: Köprü ayrılma aktivasyon enerjisi (bridge scission activation energy)
E_c	: Çapraz-bağlantı aktivasyon enerjisi (cross-linking activation energy)
E_g	: Gaz çıkışı için aktivasyon enerjisi (gas release activation energy)

f_c	: Kömürdeki karbonun kütle oranı
f_{gaz}	: Kömürdeki hafif gazların kütle oranı
f_{katran}	: Kömürdeki katranın (tar) kütle oranı
$f_{v,0}$: Kömür içindeki uçucu maddenin başlangıçtaki kütle oranı (mass fraction)
$f_{w,0}$: Kömür içinde yer alan nemim başlangıçtaki kütle oranı (mass fraction)
g_0	: Radyal dağılım fonksiyonu (radial distribution function)
g_1, g_2	: Gazlaşma sonucu açığa çıkan hafif gazlar (light gas)
\vec{g}	: Yer çekimi ivmesi
G	: Gelen ışınım (incident radiation)
h	: Özgül entalpi
h_{ft}	: Fazlar arasındaki ısı taşınım katsayısı
I	: Işınım şiddeti (radiation intensity)
I_{2D}	: Gerilim tensörünün ikincil değişimsiz terimi (second invariant of the deviatoric stress tensor)
\bar{I}	: Birim tensör (stress tensor)
$\vec{J}_{g,i}$: Her bir i gaz bileşeni için yayılım akısı (diffusion flux of species)
k	: Isı iletim katsayısı, kinetik hız, türbülans kinetik enerjisi
k_i	: Her bir i reaksiyonu için reaksiyon hız sabiti
k_{Θ_k}	: Tanecik enerjisi için yayılım (diffusion) katsayısı
K_{Arr}	: Arrhenius hız sabiti
K_{mt}	: Gaz fazı ile katı faz arasındaki sürüklenme katsayısı (drag coefficient)
$K_{Yayilim}$: Yayılım hız sabiti
m_a	: Kömür taneciğindeki kül (ash) miktarı, kömürdeki yan zincir kütlesi
m_b	: Kömürdeki köprülerin kütlesi
m_p	: Kömür tanecik kütlesi
$m_{p,0}$: Başlangıç anındaki kömür taneciğinin kütlesi
$m_v(t)$: Zaman içinde üretilen uçucu madde kütlesi
M_{cl}	: Aromatik kümenin (aromatic cluster) mol kütlesi
M_i	: Her bir i bileşeni için mol kütlesi
M_{δ}	: Yan zincir (side chain) mol kütlesi
n	: Kırılma indisi (refractive index)
Nu	: Nusselt sayısı
p	: Basınç, kömür kafes yapısında yer alan bozulmamış toplam köprü sayısı
p_0	: Gazlaştırma sonucu bozulmayan köprülerin, toplam köprü sayısına oranı
Pr	: Prandtl sayısı
q_r	: Işınım akısı
\vec{q}	: Isı akısı
Q_{gk}	: Gaz fazından kata faza geçen ısı
Q_{kg}	: Katı fazdan gaz faza geçen ısı

\vec{r}	: Konum vektörü (position vector)
R	: Evrensel gaz sabiti (universal gas constant)
Re	: Reynolds sayısı
R_{Arr}	: Arrhenius kinetik reaksiyon hızı
R_{Cevri}	: Çevri-yitimi (eddy-dissipation) reaksiyon hızı
R_i	: Her bir i reaksiyonu için reaksiyon hızı, her bir i bileşeni için oluşma veya tükenme hızı
$R_{g,i}$: Homojen reaksiyonlar sonucu her bir i gaz bileşeninin net üretim miktarı (net production rate of species)
$R_{k,i}$: Heterojen reaksiyonlar sonucu her bir i gaz bileşeninin net üretim miktarı (net production rate of species)
s	: Yol uzunluğu (path length)
\vec{s}	: Yön vektörü (direction vector)
\vec{s}'	: Saçılma yön vektörü (scattering direction vector)
Sh	: Sherwood sayısı
S_1, S_2	: Reaksiyona girmemiş kömür taneciği
S_{gk}	: Kaynak terimi (gaz fazdan katı faza geçen kütle)
S_G	: Işınım kaynak terimi
S_{kg}	: Kaynak terimi (katı fazdan gaz faza geçen kütle)
$S_{R,het}$: Kaynak terimi (heterojen reaksiyonlardan kaynaklanan)
$S_{R,hom}$: Kaynak terimi (homojen reaksiyonlardan kaynaklanan)
Sc_t	: Schmidt sayısı
t	: Zaman
T	: Sıcaklık
T_k, T_p	: Kömür taneciğinin sıcaklığı
T_{kt}	: Kireçtaşı sıcaklığı
$v_{i,r}$: Reaksiyona giren moleküller için stokiyometrik katsayı
$v_{j,r}$: Reaksiyon sonucu oluşan moleküller için stokiyometrik katsayı
\vec{v}	: Anlık hız
V_1, V_2	: Reaksiyon sonucu kömürden çıkan uçucu madde (volatile)
V_b, V_g	: Aktivasyon enerjisindeki standart sapma miktarı
w_C	: Karbonun mol kütlesi
w_i	: Mol kütlesi
X_i	: Her i bileşeni için mol oran (molar fraction)
X_C	: Kömürdeki karbonun yüzde kütle oranı
X_H	: Kömürdeki hidrojenin yüzde kütle oranı
X_O	: Kömürdeki oksijenin yüzde kütle oranı
X_U	: Kömürdeki uçucu maddenin yüzde kütle oranı
Y_i	: Her bir bileşen için kütle oranı (mass fraction)
Y_P	: Reaksiyon sonucu oluşan ürünler için kütle oranı (mass fraction)
Y_R	: Reaksiyona girenler için kütle oranı (mass fraction)

α_1, α_2	: Etki katsayısı
γ_i	: Stokiyometrik katsayı (stoichiometric coefficient)
γ_{Θ_k}	: Tanecik çarpışmalarından dolayı kaybolan enerji (collisional dissipation of energy)
δ	: Kömürde bulunan yan zincir (side chain) sayısı
ϵ	: Hacim oranı (volume fraction), türbülans yitim (dissipation) hızı
Θ_k	: Tanecik için sahte sıcaklık (granular temperature)
μ	: Viskozite (viscosity)
ξ	: Yığın viskozite (bulk viscosity)
ρ	: Yoğunluk
ρ_{CPD}	: Birleşik hız sabiti
σ	: Stefan-Boltzmann sabiti
$\sigma + 1$: Kafes uyumluluk sayısı (lattice coordination number)
σ_s	: Saçılma katsayısı (scattering coefficient)
$\bar{\tau}$: Stres tensörü (stress tensor)
ϕ	: Dahili sürtünme açısı (angle of internal friction)
Φ	: Faz fonksiyonu (phase function)
ϕ_{gk}	: Tanecik ve gaz fazı arasında gerçekleşen kinetik enerji transferi
Ω	: Katı açısı (solid angle)
\mathcal{L}	: Kömür kafes yapısındaki orijinal kararsız köprü (labile bridge) sayısı
\mathcal{L}_0	: Başlangıçtaki kömür kafes yapısındaki kararsız köprülerin sayısı
\mathcal{L}^*	: Kömürün ısıtılması sonucu reaktif hale gelen köprü sayısı

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Momentum denklemlerinin özeti.....	31
Çizelge 3.2 : CPD korelasyonu için kullanılan ilk 30 kömürün özellikleri.....	45
Çizelge 3.3 : CPD model parametreleri için regresyon sonucu elde edilen denklemlerin katsayıları.....	46
Çizelge 3.4 : Regresyonda kullanılmayan kömür verileri.....	46
Çizelge 3.5 : CPD korelasyonu için kullanılan yeni 15 kömürün özellikleri.....	47
Çizelge 3.6 : Doktora kapsamında geliştirilen regresyonda kullanılmayan kömür verileri.....	48
Çizelge 3.7 : Korelasyonun derecesine göre elde edilen regresyon katsayıları....	48
Çizelge 3.8 : Doktora kapsamında geliştirilen korelasyon için hesaplanan katsayılar.....	49
Çizelge 3.9 : CPD model için gerekli kömür tipinden bağımsız parametreler.....	52
Çizelge 3.10 : Modelde kullanılan heterojen reaksiyonlar ve onların kinetik hız sabitleri.....	54
Çizelge 3.11 : Modelde kullanılan homojen reaksiyonlar ve onların kinetik hız sabitleri.....	56
Çizelge 4.1 : Deney çalışma koşulları ve sonuçları.....	63
Çizelge 4.2 : Kömür özellikleri.....	63
Çizelge 4.3 : Sayısal çalışmaların önemli özellikleri.....	65
Çizelge 4.4 : Sayısal çalışmalarda yer alan özelliklerin açıklaması.....	66
Çizelge 4.5 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.....	70
Çizelge 4.6 : Reaksiyonların kinetik hız sabitleri.....	75
Çizelge 4.7 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.....	76
Çizelge 4.8 : Deney sınır şartları.....	79
Çizelge 4.9 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.....	79
Çizelge 4.10 : Ağ ölçülerini ve zaman adımlarını gösteren durumlar.....	83
Çizelge 4.11 : Modellemede kullanılan zaman adımları ve ağ sayıları.....	86
Çizelge 4.12 : Ağ sayısının ve zaman adımının model sonuçlarına etkisi.....	87
Çizelge 4.13 : Modelleme durumlarının bilgisayar zamanı.....	89
Çizelge 4.14 : Model sonuçlarının deney verileri karşılaştırılması.....	90
Çizelge 4.15 : Sayısal çalışmaların deney verilerine yakın sonuç verme sıralaması.....	105
Çizelge 4.16 : Deneysel çalışmanın sınır şartları.....	110
Çizelge 4.17 : Kömürdeki uçucu maddeyi oluşturan gaz bileşenleri.....	111
Çizelge 4.18 : Doktora çalışması kapsamında geliştirilen model özelliklerinin karşılaştırılması.....	111
Çizelge 4.19 : Modelde kullanılan ağ sayıları.....	112
Çizelge 4.20 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.....	114
Çizelge 4.21 : Kömürün yaklaşık ve kapsamlı analiz sonuçları.....	119
Çizelge 4.22 : Deney çalışma koşulları ve sonuçları.....	122

Çizelge 4.23 : Deney çalışma koşulları ve sonuçları.....	122
Çizelge 4.24 : Parametrik çalışmada kullanılan ağ sayıları.....	123
Çizelge 4.25 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.....	125
Çizelge 4.26 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.....	127
Çizelge 5.1 : Bazı Türk linyitlerinin özellikleri.....	129
Çizelge 5.2 : CPD modelde kullanılan kömürlerin veri aralığı ve ortalaması.....	130
Çizelge 5.3 : Seçilen Türk linyitlerinin analiz sonuçları.....	134
Çizelge 6.1 : Deney 1 çalışma koşulları ve sonuçları.....	136
Çizelge 6.2 : Yatak yüksekliği için parametrik çalışma bilgileri.....	137
Çizelge 6.3 : Gazlaştırma çalışmalarında kullanılan çalışma debi oranları ile ilgili özet bilgi.....	178
Çizelge 6.4 : L1 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.....	180
Çizelge 6.5 : L2 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.....	185
Çizelge 6.6 : L3 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.....	190
Çizelge 6.7 : L4 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.....	194
Çizelge 6.8 : L5 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.....	199
Çizelge 6.9 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L1 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.....	205
Çizelge 6.10 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L2 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.....	210
Çizelge 6.11 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L3 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.....	215
Çizelge 6.12 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L4 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.....	219
Çizelge 6.13 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L5 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.....	224
Çizelge 7.1 : Deneyin başlangıç ve gazlaştırma şartları.....	234
Çizelge 7.2 : Deneyde kullanılan kömür ve hava debileri.....	235
Çizelge 7.3 : Deneyde kullanılan kömürün yaklaşık (proximate) ve kesin (ultimate) analiz sonuçları.....	236
Çizelge 7.4 : Dolaşımli akışkan yatak için seçilen ağ sayıları.....	236
Çizelge 7.5 : Dolaşımli akışkan yatakta, yatak yüksekliği değiştirilerek yapılan parametrik çalışmaların bilgisi.....	241
Çizelge 7.6 : Yatak yüksekliğinin etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmalar için sınır şartları.....	242
Çizelge 7.7 : Gazlaştırma çalışmalarında kullanılan çalışma debi oranları ile ilgili özet bilgi.....	262
Çizelge 7.8 : L1 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.....	263
Çizelge 7.9 : L2 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.....	268
Çizelge 7.10 : L3 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.....	273
Çizelge 7.11 : L4 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.....	278

Çizelge 7.12 : L5 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.....	282
Çizelge 7.13 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L1 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.....	288
Çizelge 7.14 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L2 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.....	292
Çizelge 7.15 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L3 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.....	297
Çizelge 7.16 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L4 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.....	301
Çizelge 7.17 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L5 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.....	306





ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Doktora tezindeki bölümler ile ilgili kısa açıklamalar.....	3
Şekil 3.1 : Matematiksel teori bölümde yer alan konu başlıkları.....	23
Şekil 3.2 : Kömürün molekül yapısı.....	40
Şekil 3.3 : CPD modele göre kömürdeki aromatik kümelerin parçalanması.....	40
Şekil 3.4 : M_{δ} terimi için NMR testi sonuçlarının korelasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	49
Şekil 3.5 : M_{cl} terimi için NMR testi sonuçlarının korelasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	50
Şekil 3.6 : p_0 terimi için NMR testi sonuçlarının korelasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	50
Şekil 3.7 : $\sigma + 1$ terimi için NMR testi sonuçlarının korelasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.1 : Model doğrulaması bölümünün özeti.....	61
Şekil 4.2 : Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	62
Şekil 4.3 : Chejne ve Hernandez tarafından yapılan çalışmadaki deneysel verileri kullanarak sayısal çalışma yapan makaleler.....	64
Şekil 4.4 : Modelde kullanılan yatağın ağ yapısı.....	72
Şekil 4.5 : Zaman adımı ve ağ sayısının CO gazının yüzde mol oranı değerine etkisi.....	87
Şekil 4.6 : Zaman adımı ve ağ sayısının CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerine etkisi.....	88
Şekil 4.7 : Zaman adımı ve ağ sayısının H ₂ gazının yüzde mol oranı değerine etkisi.....	88
Şekil 4.8 : Model 1 sonuçlarının deney verisi ile karşılaştırılması.....	91
Şekil 4.9 : Model 2 sonuçlarının deney verisi ile karşılaştırılması.....	91
Şekil 4.10 : Model 3 sonuçlarının deney verisi ile karşılaştırılması.....	92
Şekil 4.11 : Model 4 sonuçlarının deney verisi ile karşılaştırılması.....	92
Şekil 4.12 : Model 5 sonuçlarının deney verisi ile karşılaştırılması.....	92
Şekil 4.13 : Model 6 sonuçlarının deney verisi ile karşılaştırılması.....	93
Şekil 4.14 : Model 1 sonuçlarının literatürde yer alan sayısal çalışmalar ile karşılaştırılması.....	93
Şekil 4.15 : Model 2 sonuçlarının literatürde yer alan sayısal çalışmalar ile karşılaştırılması.....	95
Şekil 4.16 : Model 3 sonuçlarının literatürde yer alan sayısal çalışmalar ile karşılaştırılması.....	97
Şekil 4.17 : Model 4 sonuçlarının literatürde yer alan sayısal çalışmalar ile karşılaştırılması.....	99
Şekil 4.18 : Model 5 sonuçlarının literatürde yer alan sayısal çalışmalar ile karşılaştırılması.....	101

Şekil 4.19 : Model 6 sonuçlarının literatürde yer alan sayısal çalışmalar ile karşılaştırılması.....	103
Şekil 4.20 : Model 1 için yatak içindeki CO, H ₂ ve CO ₂ gazlarının mol oranı dağılımları.....	106
Şekil 4.21 : Model 2 için yatak içindeki CO, H ₂ ve CO ₂ gazlarının mol oranı dağılımları.....	107
Şekil 4.22 : Model 3 için yatak içindeki CO, H ₂ ve CO ₂ gazlarının mol oranı dağılımları.....	107
Şekil 4.23 : Model 4 için yatak içindeki CO, H ₂ ve CO ₂ gazlarının mol oranı dağılımları.....	108
Şekil 4.24 : Model 5 için yatak içindeki CO, H ₂ ve CO ₂ gazlarının mol oranı dağılımları.....	108
Şekil 4.25 : Model 6 için yatak içindeki CO, H ₂ ve CO ₂ gazlarının mol oranı dağılımları.....	109
Şekil 4.26 : Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	110
Şekil 4.27 : Birinci sınır şartı koşullarında ağ sayısının model sonucuna etkisi.....	112
Şekil 4.28 : İkinci sınır şartı koşullarında ağ sayısının model sonucuna etkisi.....	113
Şekil 4.29 : Model sonuçlarının Deney 1 verileri ile karşılaştırılması.....	114
Şekil 4.30 : Model sonuçlarının Deney 2 verileri ile karşılaştırılması.....	115
Şekil 4.31 : Deney 1 sınır şartında CO, H ₂ ve CO ₂ gazlarının model ile elde edilen kütle oranı dağılımları.....	116
Şekil 4.32 : Deney 2 sınır şartında CO, H ₂ ve CO ₂ gazlarının model ile elde edilen kütle oranı dağılımları.....	117
Şekil 4.33 : Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	120
Şekil 4.34 : Yatağın alt tarafının yakından görünümü.....	121
Şekil 4.35 : Ağ sayısının model sonucuna etkisi.....	123
Şekil 4.36 : Ağ sayısının model sonucuna etkisi.....	124
Şekil 4.37 : Yatak geometrisi ve ağ yapısı.....	125
Şekil 4.38 : Yatağın alt bölgesinin yakından gösterimi.....	126
Şekil 4.39 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.....	127
Şekil 4.40 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.....	128
Şekil 5.1 : CPD model korelasyonlarında kullanılan 45 kömürün kütlece %C değerinin Türk linyitleri ile karşılaştırılması.....	131
Şekil 5.2 : CPD model korelasyonlarında kullanılan 45 kömürün kütlece %H değerinin Türk linyitleri ile karşılaştırılması.....	132
Şekil 5.3 : CPD model korelasyonlarında kullanılan 45 kömürün kütlece %O değerinin Türk linyitleri ile karşılaştırılması.....	133
Şekil 5.4 : CPD model korelasyonlarında kullanılan 45 kömürün kütlece %Uçucu madde değerinin Türk linyitleri ile karşılaştırılması.....	133
Şekil 6.1 : Kabarcıklı akışkan yatakta, seçilen Türk linyitleri için yapılan parametrik çalışmaların özeti.....	135
Şekil 6.2 : Yatak yüksekliğinin L1 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.....	138
Şekil 6.3 : L1 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	139
Şekil 6.4 : L1 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen H ₂ gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	141
Şekil 6.5 : L1 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ₂ gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	143
Şekil 6.6 : L1 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ve H ₂ gazlarının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	145

Şekil 6.7	: Yatak yüksekliğinin L2 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.....	146
Şekil 6.8	: L2 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	147
Şekil 6.9	: L2 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen H ₂ gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	149
Şekil 6.10	: L2 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ₂ gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	151
Şekil 6.11	: L2 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ve H ₂ gazlarının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	153
Şekil 6.12	: Yatak yüksekliğinin L3 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.....	154
Şekil 6.13	: L3 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	155
Şekil 6.14	: L3 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen H ₂ gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	157
Şekil 6.15	: L3 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ₂ gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	159
Şekil 6.16	: L3 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ve H ₂ gazlarının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	161
Şekil 6.17	: Yatak yüksekliğinin L4 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.....	162
Şekil 6.18	: L4 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	163
Şekil 6.19	: L4 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen H ₂ gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	165
Şekil 6.20	: L4 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ₂ gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	167
Şekil 6.21	: L4 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ve H ₂ gazlarının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	169
Şekil 6.22	: Yatak yüksekliğinin L5 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.....	170
Şekil 6.23	: L5 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	171
Şekil 6.24	: L5 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen H ₂ gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	173
Şekil 6.25	: L5 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ₂ gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.....	174
Şekil 6.26	: L5 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ve H ₂ gazlarının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	177
Şekil 6.27	: L1 kömürünün gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranının etkisi.....	181
Şekil 6.28	: L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	182
Şekil 6.29	: L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	183
Şekil 6.30	: L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	184
Şekil 6.31	: L2 kömürünün gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranının etkisi.....	186
Şekil 6.32	: L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	187
Şekil 6.33	: L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	188
Şekil 6.34	: L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	189

Şekil 6.35 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranının etkisi.....	190
Şekil 6.36 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	191
Şekil 6.37 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	192
Şekil 6.38 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	193
Şekil 6.39 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranının etkisi.....	195
Şekil 6.40 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	196
Şekil 6.41 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	197
Şekil 6.42 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	198
Şekil 6.43 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranının etkisi.....	200
Şekil 6.44 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	201
Şekil 6.45 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	202
Şekil 6.46 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	203
Şekil 6.47 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.....	206
Şekil 6.48 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	207
Şekil 6.49 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	208
Şekil 6.50 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	209
Şekil 6.51 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.....	211
Şekil 6.52 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	212
Şekil 6.53 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	213
Şekil 6.54 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	214
Şekil 6.55 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.....	216
Şekil 6.56 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	216

Şekil 6.57 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	217
Şekil 6.58 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	218
Şekil 6.59 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.....	220
Şekil 6.60 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	221
Şekil 6.61 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	222
Şekil 6.62 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	223
Şekil 6.63 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.....	225
Şekil 6.64 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	226
Şekil 6.65 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	226
Şekil 6.66 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	227
Şekil 7.1 : Dolaşımli akışkan yatağın şematik gösterimi.....	230
Şekil 7.2 : Dolaşımli akışkan yatağın alt tarafının ayrıntılı teknik resmi.....	231
Şekil 7.3 : Dolaşımli akışkan yatağın üst bölgesinin ayrıntılı teknik resmi.....	232
Şekil 7.4 : Dolaşımli akışkan yatağın ağ sayısının model sonuçlarına etkisi.....	237
Şekil 7.5 : Yatağın alt tarafının üç boyutlu model geometrisi.....	238
Şekil 7.6 : Yatağın üst tarafının üç boyutlu model geometrisi.....	239
Şekil 7.7 : Dolaşımli akışkan yatağın hücrelere bölünmüş hali.....	240
Şekil 7.8 : Dolaşımli akışkan yatakta, seçilen Türk linyitleri için yapılan parametrik çalışmaların özeti.....	241
Şekil 7.9 : Yatak yüksekliğinin L1 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.....	243
Şekil 7.10 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	244
Şekil 7.11 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	245
Şekil 7.12 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	245
Şekil 7.13 : Yatak yüksekliğinin L2 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.....	246
Şekil 7.14 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	247
Şekil 7.15 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	248

Şekil 7.16 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	249
Şekil 7.17 : Yatak yüksekliğinin L3 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.....	250
Şekil 7.18 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	251
Şekil 7.19 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	252
Şekil 7.20 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	252
Şekil 7.21 : Yatak yüksekliğinin L4 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.....	253
Şekil 7.22 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	254
Şekil 7.23 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	255
Şekil 7.24 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	256
Şekil 7.25 : Yatak yüksekliğinin L5 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.....	257
Şekil 7.26 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	258
Şekil 7.27 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	259
Şekil 7.28 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.....	259
Şekil 7.29 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan gazların yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi...	264
Şekil 7.30 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	265
Şekil 7.31 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	266
Şekil 7.32 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	267
Şekil 7.33 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan gazların yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi...	269
Şekil 7.34 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	270
Şekil 7.35 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	271
Şekil 7.36 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	272
Şekil 7.37 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan gazların yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi...	274
Şekil 7.38 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	275
Şekil 7.39 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	276
Şekil 7.40 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	277
Şekil 7.41 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan gazların yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi...	278

Şekil 7.42 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	279
Şekil 7.43 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	280
Şekil 7.44 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	281
Şekil 7.45 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan gazların yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi...	283
Şekil 7.46 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	284
Şekil 7.47 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	285
Şekil 7.48 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.....	286
Şekil 7.49 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.....	289
Şekil 7.50 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	289
Şekil 7.51 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	290
Şekil 7.52 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	291
Şekil 7.53 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.....	293
Şekil 7.54 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	294
Şekil 7.55 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	295
Şekil 7.56 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	296
Şekil 7.57 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.....	298
Şekil 7.58 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	298
Şekil 7.59 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	299
Şekil 7.60 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	300
Şekil 7.61 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.....	302

Şekil 7.62 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	303
Şekil 7.63 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	304
Şekil 7.64 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	305
Şekil 7.65 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.....	307
Şekil 7.66 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	307
Şekil 7.67 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	308
Şekil 7.68 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO ₂ gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.....	309

DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAĞIN HİDRODİNAMİK VE ISIL MATEMATİK MODELLEMESİ

ÖZET

Doktora tezi kapsamında kömürün hem kabarcıklı (bubbling) hem de dolaşimli (circulating) akışkan yatakta gazlaştırılması hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile sayısal olarak çalışılmıştır. Doktora tezinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği için ANSYS Fluent 15.0 paket programı kullanılmıştır. Sayısal çalışma için 5 adet Türk linyiti seçilmiştir. Türk linyitlerinin akışkan yatak teknoloji kullanılarak gazlaştırılmasının kapsamlı modellenmesi Türkiye'nin enerji kaynaklarını verimli bir şekilde kullanabilmesine katkı sağlayabilmesi açısından önemlidir. Sayısal modelleme için Eulerian-Eulerian yöntemi kullanılmıştır. Tüm sayısal çalışmalar üç boyutlu ve zamana bağlı yapılmıştır. Türbülans modellerinden $k - \epsilon$ ayrık türbülans modeli ve ışınlam modellerinden P-1 modeli seçilmiştir. Modellemede kömür, yatak malzemesi ve gaz olmak üzere üç faz bulunmaktadır.

Kömür gazlaştırılmasının modellenmesinde 10 adet reaksiyon kullanılmıştır. Bu reaksiyonlardan 5 tanesi homojen, 5 tanesi heterojen reaksiyon olarak sınıflandırılmaktadır. Homojen reaksiyonlar gaz fazında gerçekleşen reaksiyonlardır. Heterojen reaksiyonlar ise gaz fazı ile katı fazı arasında gerçekleşen reaksiyonlardır. Kullanılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programlarından ANSYS Fluent 15.0 homojen reaksiyonları doğrudan heterojen reaksiyonları ise dolaylı modelleyebilmektedir. Heterojen reaksiyonların gazlaştırma modeline dahil edilebilmesini için dışarıdan bir bilgisayar kodunun yazılması gerekmektedir. ANSYS Fluent için yazılan bu koda UDF (User Defined Functions) adı verilmektedir. Doktora tezi kapsamında oluşturulan modelde yer alan heterojen reaksiyonların tanımlanması için UDF yazılmıştır.

Gazlaştırma işleminin modellenmesinde en önemli konulardan biri olan kömürden uçucu maddenin çıkışı için CPD modeli (chemical percolation devolatilization model) seçilmiştir. CPD modeli kapsamlı bir modeldir ve kömürün molekül yapısının uçucu maddenin çıkışına etkisini dikkate almaktadır. CPD modelin kullanılabilmesi için kömürün molekül yapısını ortaya koyan kapsamlı testlerin yapılması ve bu testlerin ardından kömürün molekül yapısına bağlı olan 4 parametrenin elde edilmesi gerekmektedir. Kömürün molekül yapısını ortaya koyan testlerin yapılmasının zor olmasından dolayı gazlaştırma modellemelerinde CPD modeli yoğun bir şekilde kullanılmamakta ve bu nedenden ötürü de genellikle uçucu maddenin çıkışı için daha az kapsamlı modelleme yöntemleri tercih edilmektedir. Fakat uçucu maddenin kömürden çıkışının önem arz etmesinden dolayı CPD model gibi kapsamlı modellerin kullanılması önemli hale gelmektedir. CPD modelinin kömür için yapılan yaklaşık analiz (proximate analysis) ve kesin analiz (ultimate analysis) testlerinin sonuçlarını baz alarak kullanılabilmesi için literatürde yer alan korelasyonlar bulunmaktadır. Bu korelasyonlar sayesinde kömürün moleküler yapısını ortaya koyan test sonuçları yerine daha kolay ulaşılabilir yaklaşık (proximate) ve kesin (ultimate) analiz sonuçları

yardımıyla CPD model için gerekli 4 parametre hesaplanabilmekte ve böylece birçok kömür tipi CPD model kullanılarak modellenabilmektedir.

Literatürde yer alan korelasyonlarda, 30 kömür için yapılmış moleküler bazdaki kapsamlı test sonuçları kullanılmıştır. Doktora tezi kapsamında, literatürde CPD model için yer alan korelasyonlar geliştirilmiştir. Literatürdeki korelasyonlarda kullanılan kömür verisi sayısı %50 arttırılarak 45 kömüre çıkarılmıştır. Ayrıca literatürde yer alan korelasyonlar dördüncü dereceden denklemleri içerir iken doktora çalışmasında kapsamı geliştirilen korelasyonlar ise sekizinci dereceden denklemleri içermektedir. Literatürde yer alan korelasyonların, dört adet CPD model parametresi için ayrı ayrı hesaplanan regresyon katsayılarının (coefficient of determination, R^2) ortalaması 0.79 değerindedir. Buna karşın doktora çalışmasında kapsamı geliştirilen korelasyonların, bu dört parametre için hesaplanan regresyon katsayılarının ortalaması ise 0.987 değerindedir.

Ayrıca doktora tezinde, korelasyonlarda kullanılan 45 kömürün yaklaşık ve kesin analiz sonuçlarının seçilen 5 Türk linyitinin yaklaşık ve kesin analiz sonuçları ile uyumlu olduğu gösterilmiştir. Böylece literatürde yer alan korelasyonların kapsamı genişletilerek seçilen 5 Türk linyiti için de kullanılabilir hale getirildiği gösterilmiştir. Kapsamı geliştirilen bu korelasyonlar ile seçilen 5 Türk linyitinin yaklaşık ve kesin analiz sonuçlarından yola çıkarak CPD model için gerekli 4 adet parametre hesaplanmıştır. Bu hesaplanan parametreler CPD modelde kullanılarak seçilen 5 Türk linyitindeki uçucu maddenin çıkışı modellenmiştir.

Doktora tezi kapsamında geliştirilen model üç farklı akışkan yatak geometrisinde olmak üzere toplam 18 deneysel çalışma sonucu ile karşılaştırılmış ve model kapsamlı bir şekilde doğrulanmıştır. Seçilen 3 yatak geometrilerinden ikisi kabarcıklı, diğeri dolaşımli akışkan yatak geometrisidir. Kabarcıklı akışkan yataklardan birinin yüksekliği 2 metre iken diğerrinin yatak yüksekliği 2.81 metredir. Buna ek olarak, dolaşımli akışkan yatağın yüksekliği 5.46 metredir. Ayrıca doktora kapsamında geliştirilen model literatürde yer alan 7 adet sayısal çalışmada yer alan kabarcıklı akışkan yatak modelleme sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Doktora tezi kapsamında geliştirilen modelin kapsamlı bir şekilde doğrulanmasının ardından hem kabarcıklı akışkan yatak hem de dolaşımli akışkan yatak geometrilerinde seçilen 5 Türk linyiti kullanılarak parametrik çalışmalar yapılmıştır. Yatak yüksekliğinin, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının seçilen 5 Türk linyitinin gazlaştırılmasına etkileri araştırılmış ve yatak çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen mol oran değerlerinin değişimi incelenmiştir.

İlk olarak kabarcıklı akışkan yatak için yapılan parametrik çalışmalar ile ilgili açıklama yapılacaktır. Kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde seçilen 5 Türk linyitinin gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin, eşdeğerlik oranının ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının etkileri parametrik çalışılmıştır. Yatak yüksekliğinin etkisini araştırmak için 13 farklı yatak yüksekliğinde 5 Türk linyiti kullanılarak 65 modelleme yapılmıştır. Yatak yüksekliği en düşük 1.5 metre, en yüksek 12 metre alınmıştır. Yatak yüksekliğine bağlı olarak gazlaştırma sonucu oluşan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatak çıkışında elde edilen mol oran değerlerinin değişimi incelenmiştir. Eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) etkisini araştırmak için 17 farklı ER değerinde 5 Türk linyiti için toplam 85 modelleme yapılmıştır. Eşdeğerlik oranı için yapılan parametrik çalışmada en düşük ER değeri 0.10 ve en yüksek ER değeri 0.60 olarak alınmıştır. Eşdeğerlik oranının yatağın çıkışında elde edilen CO , H_2 ve CO_2 gazlarının mol oran

değerlerine etkisi araştırılmıştır. Kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde son yapılan parametrik çalışmada ise Su-Buharı/Kömür debisi oranının seçilen 5 Türk linyitinin gazlaştırılmasına etkisini araştırmak için 21 farklı Su-Buharı/Kömür debisi oranında toplam 105 modelleme yapılmıştır. Su-Buharı/Kömür debisi oranı için yapılan parametrik çalışmalarda seçilen en düşük oran 0.10 ve en yüksek oran 2.00 olarak belirlenmiştir. Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen mol oran değerlerine etkisi araştırılmıştır. Kabarcıklı akışkan yatak geometrisi kullanılarak yatak yüksekliğinin, eşdeğerlik ve Su-Buharı/Kömür debisi oranlarının seçilen 5 Türk linyitinin gazlaştırılmasına etkisini araştırmak için toplamda 255 modelleme yapılmıştır.

Kabarcıklı akışkan yatak kullanılarak yapılan parametrik çalışmalar sonucu elde edilen bazı önemli sonuçlar şu şekilde özetlenebilir: Kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğinin 3 metreden daha fazla olması durumunda yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen mol oran değerlerinin değişiminin az olduğu tespit edilmiştir. Eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) için yapılan parametrik çalışmalarda ER değerinin 0.32 olduğu durumda yatağın çıkışında CO , H_2 gazları için elde edilen mol oran değerlerinin en yüksek değere ulaştığı buna karşın CO_2 gazı için elde edilen mol oran değerinin aynı ER değerinde en düşük değere sahip olduğu görülmüştür. Kabarcıklı akışkan yatak için yapılan son parametrik çalışma olan Su-Buharı/Kömür debisi oranının artması ile yatağın çıkışında H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen mol oran değerlerinin arttığı buna karşın CO gazı için elde edilen mol oran değerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde de yatak yüksekliğinin, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının seçilen 5 Türk linyitinin gazlaştırılmasına etkileri araştırılmıştır. Yatak yüksekliğinin etkisini araştırmak için her bir Türk linyiti için 16 farklı yatak yüksekliğinde toplam 80 modelleme yapılmıştır. Yatak yüksekliği çalışma aralığı en düşük 2 metre, en yüksek 16 metre olarak alınmıştır. Eşdeğerlik oranı için yapılan parametrik çalışmada 17 farklı ER değeri seçilmiş ve seçilen 5 Türk linyiti için toplam 85 modelleme yapılmıştır. Eşdeğerlik oranı çalışma aralığı, kabarcıklı akışkan yatakta yapılan parametrik çalışmalarda olduğu gibi en düşük 0.10 ve en yüksek 0.60 olarak seçilmiştir. Dolaşımli akışkan yatakta son olarak yapılan parametrik çalışmada ise Su-Buharı/Kömür debisi oranının etkisini araştırmak için 20 durum belirlenmiştir. Seçilen 5 Türk linyiti için 20 farklı Su-Buharı/Kömür debisi oranında toplam 100 modelleme yapılmıştır. Su-Buharı/Kömür debisi oranı için yapılan parametrik çalışmalarda seçilen en düşük oran 0.10 ve en yüksek oran 2.00 olarak belirlenmiştir. Böylece dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğinin, eşdeğerlik oranının ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının seçilen 5 Türk linyitinin gazlaştırılmasında yatak çıkışında elde edilen CO , H_2 ve CO_2 gazlarının mol oran değerlerine etkisini araştırmak için toplam 265 modelleme yapılmıştır.

Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yapılan parametrik çalışmalardan yatak yüksekliğinin artması ile yatağın çıkış ağzında CO ve H_2 gazları için elde edilen mol oran değerlerinin arttığı, CO_2 gazı için elde edilen mol oran değerinin ise yatak yüksekliği arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. Dolaşımli akışkan yatakta yapılan ikinci parametrik çalışma olan eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) 0.1 değerinden 0.32 değerine kadar artırılması durumunda yatak çıkışında CO ve H_2 gazları için elde edilen mol oran değerinin arttığı buna karşın CO_2 gazı için elde edilen mol oran

değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Fakat eşdeğerlik oranının 0.32 değerinden 0.60 değerine doğru arttırıldığında ise tam tersi olarak yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için elde edilen mol oran değerlerinin azaldığı buna karşın CO_2 gazı için elde edilen mol oran değerinin arttığı görülmüştür. Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yapılan son parametrik çalışma ise Su-Buharı/Kömür debisi oranının etkisinin araştırıldığı çalışmadır. Su-Buhar/Kömür debisi oranının arttırılması yatağın çıkışında H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen mol oran değerlerinin artmasına buna karşın CO gazı için elde edilen mol oran değerinin azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak doktora tezinde kömürün gazlaştırılması için kapsamlı bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği modeli geliştirilmiş ve geliştirilen model literatürde yer alan deneysel çalışmalar ile doğrulanmıştır. Bunun ardından gazlaştırma için çok sık kullanılan iki akışkan yatak geometrisi seçilerek kapsamlı parametrik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu parametrik çalışmalar ile hem kabarcıklı hem de dolaşımli akışkan yatakta yatak yüksekliğinin, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkileri araştırılmıştır. Yatak yüksekliğinin, eşdeğerlik oranının ve Su-Buhar/Kömür debisi oranının yatak çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen mol oran değerlerine etkileri ortaya konulmuştur. Literatürde yer alan CPD model korelasyonunun veri sayısının ve korelasyon derecesinin arttırılması doktora tezini özgün hale getirmesi açısından önemlidir. Buna ek olarak doktora tezi kapsamında 5 farklı Türk linyiti için kapsamlı parametrik çalışmaların yapılması, bundan sonra yapılacak olan çalışmalara önemli bir katkı sağlaması açısından önemli görülmektedir. Bunlara ek olarak doktora tezinde gazlaştırma için önemli olan iki farklı yatak geometrisi kullanılarak parametrik çalışmaların yapılmış olması yatak tipinin seçilen Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisini ortaya koyması açısından önemlidir. Bu yatak geometrileri günümüzde yaygın olarak kullanılan kabarcıklı ve dolaşımli akışkan yatak geometrileridir. Kabarcıklı ve dolaşımli akışkan yatağın birbirine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Seçilen 5 Türk linyitinin hem kabarcıklı hem de dolaşımli akışkan yatakta modellenmesi ve kapsamlı parametrik çalışmaların yapılması doktora tezinin önemli çıkarımlarından biridir. Doktora tezinde hem kabarcıklı hem de dolaşımli akışkan yatak geometrilerinde 5 Türk linyiti için toplam 520 modelleme yapılmıştır. Bu kapsamlı modelleme sonuçlarının ileriki çalışmalara faydalı olacağı düşünülmektedir.

HYDRODYNAMIC AND THERMAL NUMERICAL MODELING OF COAL GASIFICATION IN CIRCULATING FLUIDIZED BED

SUMMARY

In the doctoral dissertation, the coal gasification has been numerically studied with using CFD (Computational Fluid Dynamics) calculation in both bubbling and circulating fluidized beds. ANSYS Fluent 15 was used as computational fluid dynamics (CFD) package software in this PhD thesis. Five Turkish lignites were selected for numerical studies. Comprehensive modeling of the gasification of Turkish lignites in fluidized bed technology is important to ensure that Turkey can use energy resources efficiently.

In recent years, noteworthy progress has been accomplished in enhancing the accuracy and stability of numerical techniques and algorithms. Computational fluid dynamics (CFD) has been connected as an imperative design tool in different industrial areas, and the CFD procedures have demonstrated the capacity to provide accurate prediction for some chemical processes. Currently, for CFD simulations of coal gasification, there are basically two sorts of techniques, the Eulerian-Lagrange approach, and the Eulerian-Eulerian approach.

In the Eulerian-Lagrange approach, the gas phase is defined by the Navier-Stokes equations, while the solid phase is treated as a discrete phase. The direction of every molecule is figured by Newton's laws of motion, and the impacts between particles are depicted by the model of soft-sphere or hard-sphere. Other variables such as temperature and gas concentration are calculated by the equations of energy and mass transfer for each particle. Since every molecule in the framework is followed, the precision of simulation results might be enhanced, however in the mean time this approach likewise requires a tremendous measure of computational resources. It won't not be plausible for the simulations of large scale fluidized bed systems that contain a huge number of particles.

When contrasted with the Eulerian-Lagrange approach, the Eulerian-Eulerian approach requires less measure of calculation because the solid phase is treated as a continuum. In this approach, the transport properties of solid phase are predicted by the kinetic theory of granular flow. In the Eulerian-Eulerian approach, the solid phase is treated as a continuum, and the transport properties of solid phase such as the shear viscosity and the bulk viscosity of the solid phase are modeled by the kinetic theory of granular flow.

In the Eulerian-Eulerian approach, both gas and solid phases are treated mathematically as inter-penetrating continua. The fundamental thought is to utilize the governing equations correlating the progressions of gas-particle flow in each computing unit to describe the properties of gas and solid phase. One does not need to monitor the directions of each solid particle. Thusly, Eulerian-Eulerian approach is one moderate modeling approach which could perform simulation of a pilot or industrial scale gasifier.

The Eulerian-Eulerian method was used for numerical modeling in the doctoral dissertation. All numerical studies were carried out in three-dimensional and unsteady. The $k - \epsilon$ dispersed turbulence model was used to model the gaseous phase. In addition, the P-1 radiation model is used to calculate the flux of the radiation and also the P-1 radiation model is computationally cheaper and efficient, which is usually incorporated to the Eulerian-Eulerian multi-fluid flow model. There are three phases in the modeling: Coal, bed material and gas.

Gasification reaction can be classified as homogeneous and heterogeneous chemical reactions. The reaction process that happens in a gas phase is named as homogeneous reaction while that happens between gas and particle phases is named as heterogeneous reaction. In this modeling, homogeneous and heterogeneous chemical reactions were considered. In this model, a total of 10 coal gasification reactions were used, including 5 homogenous and 5 heterogeneous reactions. The computational fluid dynamics package software ANSYS Fluent 15 can directly model homogeneous reactions. In order to be able to include heterogeneous reactions in the gasification model, an external code needs to be written. This code for ANSYS Fluent is called UDF (User Defined Functions). The UDF code was written for heterogeneous reaction modeling with ANSYS Fluent 15 in the PhD thesis.

The devolatilization is one of the critical issue for modeling coal gasification in fluidized bed technology. For this reason, a comprehensive CPD (chemical percolation devolatilization) model was chosen in this study. The chemical percolation devolatilization (CPD) model was improved to predict coal devolatilization yields as a function of time, temperature, pressure, and heating rate using a description of the coal's chemical structure. In addition to that, the CPD model characterizes the chemical and physical processes by considering the coal structure as a simplified lattice or network of chemical bridges that link the aromatic clusters. The CPD is able to accurately foresee volatiles rates, yield and composition in terms of high weight hydrocarbons (tar) and light gases. The model considers data from coal solid state Nuclear Magnetic Resonance (NMR) analysis as input. The Nuclear Magnetic Resonance (NMR) is very comprehensive test therefore it is not easily available analysis. Since such kinds of data are not easily finding, there are correlations to obtain them from proximate and ultimate analysis of the coal in the literature.

In order to use the CPD model, comprehensive tests (such as NMR) should be carried out which reveal the structure of the coal molecule, and after these tests, 4 parameters related to the coal molecule structure should be obtained. The CPD model is not used extensively in the gasification modeling studies because it is difficult to carry out the tests that reveal the structure of the coal molecule, so less comprehensive modeling methods are preferred. However, the use of comprehensive models such as the CPD model is becoming important because of the volatilization of coal is significant. There are correlations in the literature in order to be able to use the CPD model based on the results of the proximate analysis and ultimate analysis tests for coal. With these correlations, the four parameters required for the CPD model can be calculated with the help of the more accessible proximate and ultimate analysis results instead of the test results (such as NMR) showing the molecular structure of the coal. Thus, many types of coal can be modeled using the CPD model.

The correlations that can be found in the literature were used 30 coal's NMR data to calculate 4 parameters which are necessary for CPD model. The work presented

in this thesis, the CPD model correlations that can be found in the literature have been developed with using 45 NMR data of coals. In this manner the CPD model correlations data have been increased the number 45 by 50%. Besides the correlations that can be found in the literature have got fourth order equations but these equations order were upgraded to eight order by increasing coal's NMR data in this PhD thesis.

The coefficient of determination (R^2) is the proportion of the variance in the dependent variable that is predictable from the independent variables in statistic. The coefficient of determination (R^2) ranges from 0 to 1. The coefficient of determination (R^2) is a statistic that will give some information about the goodness of fit of a model. In regression, the (R^2) coefficient of determination is a statistical measure of how well the regression line adjacent to the real data points. If the coefficient of determination (R^2) is closed to 1, it means that the regression line perfectly fits the data. In the light of this information, the correlations that can be acquired in the literature have got 0.79 mean value of the coefficient of determination (R^2) for 4 parameters that are used in CPD model. In spite of that, after developing the correlations in PhD thesis with increasing data of the correlations, the mean value of the coefficient of determination is 0.987 for 4 parameters that are necessary to use CPD model.

The correlations that have been developed in this PhD thesis data are suitable and adaptable for 5 Turkish lignites. Because the results of 45 coals approximate and ultimate analyses used to improve the correlations are consistent with the results of the analysis of 5 selected Turkish lignites. This consistency has been shown in detail in the doctoral dissertation.

Thus, the scope of the correlations in the literature have been expanded and made available for 5 selected Turkish lignites. With these correlations, which are developed by the scope of the doctorate thesis, 4 parameters required for the CPD model were calculated from the results of the approximate and ultimate analysis of the selected 5 Turkish lignites. With these calculated parameters, the CPD model becomes available for 5 selected Turkish lignites.

The coal gasification model that has been developed in this study verified with 18 experimental results. These experiments have got three different reactor geometry also. By this way, the model was experienced with different reactor geometry. Of the 3 selected reactor bed geometries, two are bubbling and the other is a circulating fluidized bed. The height of one of the bubbling fluidized beds is 2 meters while the bed height of the other is 2.81 meters. In addition, the height of the circulating fluid bed is 5.46 meters. Additionally, the model developed within the scope of the doctorate was compared with the results of bubbling fluidized bed modeling in 7 numerical studies in the literature. Following extensive validation of the model developed in the doctoral dissertation, parametric studies have been carried out using 5 selected Turkish lignites in both bubbling fluidized bed and circulating fluidized bed geometries. The effect of the reactor height, equivalence ratio (ER) and steam to coal ratio on the selected 5 Turkish lignites gasification have been studied. The syngas mole fraction was generated at the exit of the reactor.

Firstly, the parametric studies for the bubbling fluidised bed will be explained. The effects of bed height, equivalence ratio (ER) and Steam/Coal mass ratio on the gasification of 5 selected Turkish lignites in bubbling fluidized bed geometry have been studied parametrically. In the bubbling fluidized bed, totally 13 different reactor heights were investigated to obtain the effect of the reactor height on the selected 5

Turkish lignites gasification. In other words, 65 cases have been created for 5 Turkish lignites at 13 different reactor heights in bubbling fluidized bed. In the parametric study, the minimum and maximum reactor height were chosen 1.5 and 12 meters respectively. The mole fraction composition of the exiting gases like CO , H_2 ve CO_2 have been obtained with according to the different bubbling fluidized bed reactor heights. A total of 85 case studies were made with using 17 different equivalence ratios (ER) for 5 selected Turkish lignites gasification in the bubbling fluidized bed. By this means, the effect of the equivalence ratio on 5 Turkish lignites gasification in the bubbling fluidized bed has been studied. In the parametric study for the equivalence ratio (ER), the lowest ER value was 0.10 and the highest ER value was 0.60. The effect of the equivalence ratio on the mole fractions of CO , H_2 and CO_2 gases obtained at bed exit was investigated. The final parametric study that was studied in the bubbling fluidized bed gasification with using 5 selected Turkish lignites is related about Steam/Coal mass ratio effects on the gasification. For this parametric study, a total of 105 cases have been created at 21 different Steam/Coal mass ratios for 5 selected Turkish lignites gasification. The Steam/Coal mass ratio range 0.10-2.00 was chosen for parametric study in the bubbling fluidized bed. These 105 cases were examined and obtained the mole fraction of the CO , H_2 and CO_2 gases at the exit of the bubbling fluidized bed. A total of 255 cases were constructed using bubbling fluid bed geometry to investigate the effect of bed height, equivalence ratio (ER), and Steam/Coal mass ratio on the gasification of 5 selected Turkish lignites.

Some important results obtained by parametric studies using selected 5 Turkish lignites in the bubbling fluidized bed can be summarized as follows: When the bed height is more than 3 meters in the bubbling fluid bed geometry, it is determined that the change in mole fractions obtained for the CO , H_2 and CO_2 gases at the exit of the bed is small. In the parametric studies for the equivalence ratio (ER), it is found that when the ER value is 0.32, the molar fractions obtained for CO and H_2 gases have the highest value whereas the molar fractions obtained for CO_2 gas have the lowest value. The final parametric study on the bubbling fluidized bed, the increase of the Steam/Coal mass ratio, revealed that the mole fractions obtained for the H_2 and CO_2 gases at the exit of the bed increased whereas the mole fractions obtained for the CO gas decreased.

The effects of bed height, equivalent ratio (ER) and Steam/Coal mass ratio on the gasification of 5 selected Turkish lignites were investigated in the circulating fluid bed geometry too. In order to investigate the effect of bed height, a total of 80 cases were created for each Turkish lignites at 16 different bed heights. The bed height working range was taken as 2 meters minimum and 16 meters maximum. In the parametric study for the equivalence ratio (ER), 17 different ER values were selected and a total of 85 cases were created for the 5 selected Turkish lignites. The equivalence ratio (ER) parametric study interval was chosen as the lowest 0.10 and the highest 0.60, as in the parametric studies which were studied in the bubbling fluidized bed. In the last parametric study in the circulating fluidized bed, 20 different ratios were determined to investigate the effect of the Steam/Coal mass ratio on gasification. For the 5 selected Turkish lignites, a total of 100 cases were created at the 20 different Steam/Coal mass ratios. Thus, the effects of bed height, equivalence ratio (ER) and Steam/Coal mass ratio in the circulating fluidized bed geometry were investigated. A total of 265 case were created to investigate the effects of bed height, equivalence ratio, and Steam/Coal mass ratio on the mole fractions of CO , H_2 , and CO_2 gases obtained at bed exit in the gasification of 5 selected Turkish lignites in the circulating fluidized bed.

It has been found that the molar fraction values obtained for the CO and H_2 gases at the outlet of the bed increase with the increase of the bed height from the parametric studies performed in the circulating fluidized bed geometry and the molar fraction value obtained for CO_2 gas decreases as the bed height increases. If the equivalence ratio (ER), which is the second parametric study in the circulating fluidized bed, is increased from 0.1 to about 0.32, the mole fractions obtained for the CO and H_2 gases at the bed exit are increased, whereas the molar fraction obtained for the CO_2 gas is decreased. However, when the equivalence ratio (ER) is increased from 0.32 to 0.60, the mole fractions obtained for the CO and H_2 gases at the exit of the bed are decreased while the mole fractions obtained for the CO_2 gas are increased. The last parametric study of the circulating fluidized geometry is to investigate the effect of the Steam/Coal mass ratio on the gasification with using 5 selected Turkish lignites. Increasing the Steam/Coal mass ratio has been found to increase the mole fractions obtained for H_2 and CO_2 gases at the bed exit, while causing a decrease in the mole fraction obtained for CO gas. This result is similar to the result that was obtained in the bubbling fluidized bed.

As a result, a comprehensive computational fluid dynamics (CFD) model was developed for coal gasification in the doctoral dissertation and the developed model was verified by experimental studies in the literature. After that, two fluidized bed geometries (bubbling and circulating) which are frequently used for gasification were selected and extensive parametric studies were carried out. These parametric studies have investigated the effect of reactor height, equivalent ratio (ER) and Steam/Coal mass ratio on gasification in both bubbling and circulating fluidized beds. The effect of bed height, equivalence ratio (ER) and Steam/Coal mass ratio on the mole fractions obtained for the CO , H_2 and CO_2 gases at the reactor outlet was determined. Increasing the number of data and the degree of correlations of the CPD model correlations in the literature is important in order to make the doctor's thesis unique. In addition, comprehensive parametric studies for 5 different Turkish lignites within the scope of doctorate thesis are important in terms of providing a significant contribution to the work to be done thereafter. Besides, parametric studies using two different reactor bed geometries in the doctoral dissertation are important in terms of showing the effect of bed type on the gasification of selected Turkish lignites. These reactor geometries are the bubbling and circulating fluidized bed geometries that are used commonly nowadays. The bubbling and circulating fluidized beds have advantages and disadvantages relative to each other. The modeling and extensive parametric studies of selected 5 Turkish lignites in both bubbling and circulating fluidized bed geometries are one of the preliminary conclusions of this doctoral thesis. In this doctoral dissertation, 520 cases were created for 5 Turkish lignites in both bubbling and circulating fluidized bed geometries. These comprehensive modeling results are thought to be useful for future studies.



1. GİRİŞ

Bu doktora tezi kapsamında Türk linyitlerinin hem kabarcıklı (bubbling) hem de dolaşımli (circulating) akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılması sayısal olarak çalışılmıştır. Enerji konusu her zaman önemini devam ettiren bir konudur. Özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin enerji konusunda dışa bağımlı olması önemli problemleri beraberinde getirmektedir. Tam bağımsız ve güçlü bir Türkiye için enerji konusunda dışa bağımlılığın olabildiğince azaltılması gerekmektedir. Bu nedenle hem yenilenebilir hem de geleneksel enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması önemlidir. Geleneksel enerji kaynaklarından biri olan kömür de bu kapsamda değerlendirilmeli ve doğaya olabildiğince az zarar verecek teknolojiler ile kömürün değerlendirilmesi hedeflenmelidir.

Türkiye’de bulunan linyit kömürünün ısı değeri düşük olmasından dolayı, bu linyitlerin doğrudan yakılması doğaya zarar vermektedir. Enerji ihtiyacından dolayı doğaya zarar vermek ileride çözülmesi imkansız problemlere neden olacağından, bu konuda dikkatli olunması ve olabildiğince doğaya zarar vermeden bu ısı değeri düşük kömürlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle ısı değeri düşük olan linyit kömürleri doğrudan yakılmak yerine gazlaştırma işlemine tabii tutulmaktadır. Gazlaştırma işlemi kömüre sıcak hava ve/veya oksijen ve/veya su buharı göndererek akışkan bir yatakta yanmaya göre düşük bir sıcaklıkta sentez (syngas) gaz elde edilmesi işlemidir. Gazlaştırma işleminin yanmadan temel farkı, akışkan yatağa kömürün tam yanması için gerekli oksijen miktarından daha az oksijenin gönderiliyor olmasıdır. Kömürün gazlaştırılmasında tek başına hava veya oksijen hatta oksijence fakir hava kullanılabilir. Hava ve oksijen kombinasyonlarına ek olarak gazlaştırma işleminde su buharı da kullanılabilir. Kömürün gazlaştırılması işleminde yanmadan farklı olarak akışkan yatak sıcaklığı endotermik reaksiyonlardan dolayı daha düşüktür.

Doktora tezinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) paket programı kullanılarak, 5 Türk linyitinin hem kabarcıklı hem de dolaşımli akışkan yatak geometrilerinde

gazlaştırılması parametrik olarak çalışılmıştır. Bunun için üç boyutlu, zamana bağlı sayısal modellemeler yapılmıştır. Yatak yüksekliğinin, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER), Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında elde edilen CO , H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranlarına etkisi araştırılmıştır.

Doktora tezinde Bölüm 2 ile literatür araştırması, Bölüm 3 ile tezde kullanılan sayısal çözümlemenin matematik denklemleri, Bölüm 4 ile doktora tezinde geliştirilen modelin literatürde yer alan deneysel ve sayısal çalışmalar ile kapsamlı bir şekilde doğrulanması, Bölüm 5 seçilen 5 Türk linyiti ile ilgili bilgiler, Bölüm 6 ile seçilen 5 Türk linyitinin kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında yapılan kapsamlı parametrik çalışma sonuçları, Bölüm 7 ile dolaşımli akışkan yatak geometrisinde seçilen 5 Türk linyitinin gazlaştırılması için yapılan parametrik çalışma sonuçları ve son olarak Bölüm 8 ile sonuç ve öneriler açıklanmaktadır. Şekil 1.1 ile doktora tezinde yer alan bölümler belirtilmektedir.

BÖLÜM 1: GİRİŞ

- Doktora tez konusunun önemi ve genel bilgiler açıklanmıştır.

BÖLÜM 2: LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

- Gazlaştırma ile ilgili yapılan akademik çalışmalar özetlenmiştir.
- Doktora tezinde geliştirilen modelin, literatürde yer alan çalışmalara benzer ve farklı tarafları açıklanmıştır.

BÖLÜM 3: MATEMATİKSEL TEORİ

- Modellemede kullanılan matematik denklemleri ile ilgili kapsamlı bilgiler verilmiştir.
- Kimyasal reaksiyonlar ve ışınım modeli ile ilgili bilgi verilmiştir.

BÖLÜM 4: MODEL DOĞRULAMASI

- Modelin doğrulanması kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır.
- Geliştirilen model için üç farklı karşılaştırma yapılmıştır.

BÖLÜM 5: SEÇİLEN TÜRK LİNYİTLERİNİN ÖZELLİKLERİ

- Doktora tezi kapsamında yapılan parametrik çalışmalarda kullanılmak için seçilen 5 adet Türk linyitinin özellikleri açıklanmıştır.
- Seçilen Türk linyitlerinin uçucu madde için kullanılan modele uygunluğu gösterilmiştir.

BÖLÜM 6: KABARCIKLI AKIŞKAN YATAK SONUÇLARI

- Kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde yapılan parametrik çalışmaların sonuçlarına yer verilmiştir.
- Yatak yüksekliğinin, eşdeğerlik ve Su-Buharı/Kömür debisi oranlarının gazlaştırmaya etkileri araştırılmıştır.

BÖLÜM 7: DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAK SONUÇLARI

- Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yapılan parametrik çalışmaların sonuçlarına yer verilmiştir.
- Yatak yüksekliğinin, eşdeğerlik ve Su-Buharı/Kömür debisi oranlarının gazlaştırmaya etkileri araştırılmıştır.

BÖLÜM 8: SONUÇ VE ÖNERİLER

- Doktora tezi ile elde edilen sonuçlara kısaca yer verilmiştir.
- İleriki dönemde yapılabilecek çalışmalar ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

Şekil 1.1 : Doktora tezindeki bölümler ile ilgili kısa açıklamalar.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Doğal gaz, petrol gibi geleneksel enerji kaynaklarının fiyatlarındaki belirsiz dalgalanmalarının yanı sıra geleneksel enerji kaynaklarının iklim değişikliğini de etkilenmesinden dolayı gün geçtikçe farklı enerji kaynaklarına ilgi duyulmaktadır. Bu nedenle gazlaştırma gün geçtikçe önemini arttırmaktadır. Gazlaştırma işlemi basitçe karbon içerikli yakıtların (kömür ve biyoyakıt gibi) tam yanması için gerekli oksijen miktarından daha az miktarda oksijen ile buluşturulması olarak açıklanabilir. Gazlaştırma sonucu sentez gaz (synthetic gas) oluşmaktadır. Yapay gaz olarak adlandırılan ve karbon içerikli yakıtların gazlaştırılması ile elde edilen gazın içinde CO , H_2 , CO_2 , CH_4 gibi gazlar bulunmaktadır. Yapay gazın elde edilerek kullanılması ile karbon içerikli yakıtların doğrudan yakılması arasındaki en büyük fark ise özellikle karbon miktarı düşük yakıtların doğrudan yakılmasında çevreye verilen zararın büyük olmasıdır. Bu nedenle özellikle karbon miktarı düşük linyit kömürlerinin ve çeşitli biyoyakıtların gazlaştırılması önemli hale gelmektedir. Yapay gaz birçok endüstride rahatlıkla kullanılabilir. Doğrudan yakıldığında çevreye zarar verebilecek linyit ve biyoyakıtların gazlaştırılması ile hem ekonomiye hem de çevreye fayda sağlanabilmektedir.

Gazlaştırma için en yoğun kullanılan teknoloji akışkan yatak teknolojisidir. Akışkan yatak (fluidized bed) kullanılarak kömür ve diğer karbon içerikli yakıtlar gazlaştırılmakta ve sentez gaz elde edilmektedir. Akışkan yatak teknolojisi ile yatakta yakıt ile gaz yüksek oranda karışabilmekte ve bu da gazlaştırmadaki verimi arttırmaktadır. Ayrıca akışkan yatak teknolojisi ile yatak içinde düzgün bir sıcaklık dağılımı oluşturulabilmektedir. Yatak içindeki düzgün sıcaklık dağılımı ile karbon dönüşüm (carbon conversion) oranı artmakta ve bu da gazlaştırma verimine olumlu etki yapmaktadır [1–6]. Karbon dönüşüm oranı yakıt içinde yer alan karbonun ne kadarlık kısmının sentez gaz içine aktarıldığını gösteren gazlaştırma için bir verimlilik tarifidir [7].

Gazlaştırma işlemi, yoğun tanecikli reaksiyonlu sistemler (YTRS, dense particulate reaction system) genel başlığı altında toplanabilir. Yoğun tanecikli reaksiyonlu sistemler içinde çok sayıda tanecik barındıran ve aynı zamanda bu taneciklerin kimyasal reaksiyonlara tabii olduğu sistemlerdir. Bu sistemler karmaşık çok fazlı (multiphase) ve içinde reaksiyonların gerçekleştiği fiziksel ve kimyasal olaylardır. Çoğunlukla bu sistemlere kimya ve enerji endüstrilerinde karşılaşılmaktadır. Akışkan yatak teknoloji yoğun tanecikli reaksiyonlu sistemlere en iyi örneklerden biri olarak sayılabilir. Akışkan yatakların değişik tipleri bulunmaktadır. Bunlar arasında en çok karşılaşılan iki tipinden biri kabarcıklı akışkan yatak (bubbling fluidized bed) iken diğeri dolaşımli akışkan (circulating fluidized) yataktır.

Yüksek yoğunlukta tanecik içeren reaksiyonlu sistemler ile ilgili araştırmacılar birçok deneysel çalışma yapmışlardır [8–13]. Fakat deneysel çalışmaların kıymetli olması ile birlikte sadece deneysel çalışmalar ile tasarım yapmak maddi ve zaman anlamında yarar yitimine (dezavantaj) neden olmaktadır.

Deneysel çalışmaların yanı sıra birçok araştırmacı yarı-deneysel (semi-empirical) çalışmalarda da bulunmuştur. Yarı-deneysel çalışmaların ortak özelliği yatak içindeki gaz ve katı fazlar için çözülmesi gereken hidrodinamik denklemlerin doğrudan çözülmeyip onun yerine yarı-deneysel korelasyonların kullanılmasıdır [10, 11, 14–17].

Zaman içinde çok hızlı bir şekilde gelişen işlemci hızları ile kapsamlı modeller oluşturulmaya başlanmıştır. Kapsamlı bir modelleme için üç önemli husus vardır. Bunlardan birincisi katı taneciklerin gaz içinde hareketlerinin modellenmesidir. İkincisi hem homojen hem heterojen ve hem de uçucu maddenin çıkışı için tanımlanan reaksiyonların doğru modellenmesidir. Son olarak ta gaz ve katı faz arasındaki etkileşimin doğru modellenmesidir. Bu üç önemli hususu dikkate alarak modelleme yapılması modellemenin doğruluk oranını arttıracak önemli bir unsurdur.

Katı taneciklerin gaz fazı içindeki hareketlerinin ve taneciklerin birbiri ile etkileşiminin oldukça karmaşık bir fiziği olmasından dolayı bu mekanizmanın modellenmesi oldukça zorluğu içinde barındırmakta ve her geçen gün de modellerin daha kapsamlı hale getirmesini zorunlu kılmaktadır. Bu karmaşık mekanizmayı modellemek için birçok araştırmacı farklı yöntemler denemiştir. Bu gelişmeleri en iyi özetleyen çalışmalardan biri Zhu ve diğ. [18] tarafından yapılan çalışmadır. Yoğun tanecikli reak-

siyonlu sistemlerin içindeki katı fazın HAD kullanılarak modellenmesinde temelde iki yöntem kullanıldığı söylenebilir. Bu yöntemlerden birincisi Eulerian-Eulerian yöntemi iken ikinci ise Eulerian-Lagrangian yöntemidir.

Yöntemlerden birincisi olan Eulerian-Eulerian yönteminde gaz ve katı fazı olarak adlandırılan iki fazın iç içe geçmiş bir şekilde modellenmesi söz konusudur. Diğer bir deyiş ile gaz fazı içindeki taneciklerin toplu hareketleri dikkate alınmaktadır. Her bir taneciğin ayrı ayrı hareketi modellenmemektedir. Eulerian-Eulerian yöntemi için literatürde karşılaşılan diğer bir ad ise İki Akışkan Modelidir (İKM, Two Fluid Model) [19]. Taneciklerin birbiri ile çarpışması sonucu akış içinde oluşan hidrodinamiğin modellenmesi ayrıca önemlidir. Bu nedenle de Eulerian-Eulerian yöntemine taneciklerin birbiri ile etkileşimin daha etkili modellenebilmesi için tanecik akışı için kinetik teori (Kinetic Theory of Granular Flow, KTGF) denklemlerinin eklenmesi gerekmektedir [19]. Eulerian-Eulerian yönteminin önemli yararlarından biri bilgisayar zamanının diğer yönteme göre daha az olmasıdır. Özellikle kapsamlı parametrik çalışmalarda bilgisayar zamanının çok önemli olmasından dolayı bu özelliği Eulerian-Eulerian yönteminin kıymetini arttırmaktadır. Buna karşılık bu yöntemin yarar yitimlerinden biri ise her bir taneciğin akış içindeki hareketinin ve şekil değişikliğinin takip edilememesidir.

İkinci modelleme yöntemi olan Eulerian-Lagrangian yöntemi için şu açıklamalar yapılabilir: Eulerian-Lagrangian yönteminin çatısı altına giren en önemli modelleme yöntemi Ayrık Eleman/Tanecik Yöntemi (AEY veya ATY, Discrete Element/Particle Method) olarak adlandırılmaktadır [20–22]. AEY yöntemi ile her bir tanecik akış içinde takip edilmekte, diğer tanecikler ile etkileşimi tam anlamıyla izlenmektedir. Her bir tanecik için Newton denklemleri kullanılarak hareket denklemleri oluşturulmaktadır. Bu yöntem çoğunlukla tanecik boyutu göreceli olarak daha büyük ve özellikle tanecik sayısının az olduğu sistemlerde kullanılmaktadır. Günümüz işlemci hızlarının artmasına rağmen tanecik sayısının çok olduğu durumlarda bu yöntem ile yapılan çözümlerlerin bilgisayar zamanı açısından hala yarar yitimini koruduğu görülmektedir [23–25]. Fakat günümüz bilgisayar işlemci hızlarını daha etkin kullanacak programlama dilleri ile tanecik sayısı fazla olduğu sistemlerin modellenmesi için araştırmacılar çalışmalarını sürdürmektedir [26, 27]. Hem Eulerian-Eulerian hem de Eulerian-Lagrangian yöntemlerinin birbirlerine göre yararları ve yarar

yitimleri vardır. Her iki yöntem ile de yoğun tanecikli reaksiyonlu sistemler etkin bir şekilde modellenenmektedir. Buradaki önemli nokta araştırmacıların hedefledikleri sonuç için en uygun ve etkin modeli seçebilmeleridir. Eğer her bir taneciğin hareketinin izlenmesi vazgeçilemeyecek hedeflerden birisi ise araştırmacıların Eulerian-Lagrangian yöntemini seçmeleri gerekmektedir. Eğer amaç gazlaştırma için ön tasarım yapmak, gazlaştırma verimini arttırmak için yatak geometrisini ve çalışma debilerini belirlemek ise bu durumda Eulerian-Eulerian yönteminin kullanılması daha doğru olacaktır.

Yoğun tanecikli reaksiyonlu sistemlerde doğru modellenmesi gereken diğer bir önemli bölüm ise yatak içinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlardır. Gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar üç başlık altında toplanabilir. Bunlardan birincisi ısı ayrışım (pyrolysis/devolatilization) olarak adlandırılan ve organik bileşiklerin yani yapısında karbon bulunan kömür, biyoyakıt gibi bileşiklerin ısı ve oksijen yardımı ile ısıl-kimyasal (thermochemical) ayrışmaya uğramasıdır. İkinci reaksiyon tipi homojen (homogeneous) reaksiyonlar olarak adlandırılır ve gazlar arasında gerçekleşen reaksiyonları ifade etmek için kullanılan reaksiyon tipidir. Son olarak üçüncü reaksiyon tipi ise heterojen (heterogeneous) reaksiyonlar diye adlandırılır ve katı tanecikler ile gazlar arasında gerçekleşen reaksiyonları tanımlamak için kullanılan reaksiyon tipidir.

Gazlaştırmada ısıl ayrışım (pyrolysis) veya diğer adıyla uçucu maddenin tanecikten ayrılması (devolatilization) olayının birinci aşamasında katı tanecikli yakıtlar (kömür, biyoyakıt gibi), kok (char), kül (ash) ve uçucu madde (volatile) şeklinde üç yapıya dönüşür. Uçucu madde içinde yoğunlaşmayan (non-condensable) gazları, yoğunlaşabilen (condensable) uçucuları diğer adıyla katranı (tar) ve son olarak ta su buharını barındırmaktadır. Gazlaştırmada ısıl ayrışımın ikinci aşamasında ise katran oksitlenebilmekte veya yapı değişikliğine uğrayabilmektedir [28]. Isıl ayrışımın çok karmaşık yapıya sahip fiziksel ve kimyasal bir olay olmasından dolayı ısıl ayrışımın gerçeğe çok yakın bir şekilde modellenmesi ihtimalinin günümüz şartlarında oldukça zor olduğu açıktır. Fakat buna rağmen belirli kabuller ve basitleştirmeler ile ısıl ayrışım olayı tatmin olunabilecek şekilde modellenenmektedir. Isıl ayrışım olayının modelleme yöntemleri temelde üç bölüme ayrılabilir. Birincisi yalıtılmış kinetik model (isolated kinetics models) olarak adlandırılan modeldir. İkinci model türü ise

dağıtılmış etkinleşme modeli (distributed activation model) olarak adlandırılmaktadır. Sonuncusu ve en kapsamlı olan model ise organik yapı modeli (structural model) olarak adlandırılmaktadır [29].

Yalıtılmış kinetik model (isolated kinetics models) ısıl ayrışımını (pyrolysis) tek bir reaksiyon ile veya çok adımlı bir kaç reaksiyon ile modellemektedir [30]. İkinci model türü olan etkinleşme modeli (distributed activation model) ise kömürün ve benzeri yakıtların fiziksel ve kimyasal iç yapılarını dikkate alarak reaksiyon mekanizmalarını modellemeye çalışmaktadır. Son olarak organik yapı modeli (structural model) ile daha karmaşık bir modelleme yapılmaktadır. Örneğin, yakıt (kömür veya biyoyakıt gibi) molekülü içindeki aromatik (aromatic) yapıların ve köprülerin (bridges) ısıl ayrışma olayına etkisini ortaya koymaktadır. Bu yapıların kömür ve benzeri organik yakıtlardan uçucu maddenin çıkışını doğrudan etkilediği bilinmektedir [29, 31–33]. Organik yapı modeli kategorisine giren en önemli modellerden birisi CPD (chemical percolation devolatilization) modelidir. Bu model ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 3.2.2 ile verilmektedir.

Yoğun tanecikli reaksiyonlu sistemlerde homojen reaksiyonlara sıklıkla karşılaşılır. Bu nedenle de homojen reaksiyonların doğru modellenmesi gerekmektedir. Homojen reaksiyonların modellenmesinde literatürde birçok model vardır [30, 34, 35]. Araştırmacılar arasında en yaygın modelleme yöntemi ise sonlu-hız/çevri-kayı (finite-rate/eddy-dissipation) olarak adlandırılan yöntemdir [36–39]. Bu yöntemde homojen reaksiyonlara hem kimya hem de akışta meydana gelen türbülans etki etmektedir. Bu modelde homojen reaksiyonlar için hem Arrhenius hem de çevri-kayı (eddy-dissipation) reaksiyon hızları hesaplanmakta ve bu iki hesaplanan hızdan küçük olanı net reaksiyon hızı olarak alınmaktadır [24].

Isıl ayrışma ve homojen reaksiyonların modellenme yöntemlerinin açıklanmasından sonra heterojen reaksiyonların modellenme yöntemleri açıklanacaktır. Heterojen reaksiyonların modellenmesinde literatürde çoğunlukla iki yöntem karşımıza çıkmaktadır. Bu modellerden birincisi ham-çekirdek (unexposed-core) veya diğer adıyla büzülen-çekirdek (shrinking-core) modelidir. Bu modelde taneciğin etrafını kül (ash) sarmaktadır ve bu kül tabakası çekirdek etrafında bir bakıma gözenekli ortam oluşturmaktadır. Bu kül tabakasının dışında ise tepkimeyi oluşturacak gazlar bulunmaktadır. Bu gazlar kül tabakasından yayılım (diffusion) yolu ile taneciğin

çekirdeğine ulaşmakta ve böylece de taneciğin çapı reaksiyonların etkisi ile azalmakta diğer bir deyişle büzülmeindedir. Ham-çekirdek veya diğer adıyla büzülen-çekirdek modelinde çekirdek (core) yüzeyi doğrudan reaksiyonları tetikleyen gazlar ile karşılaşmaz [29]. Heterojen reaksiyonların modellenmesinde kullanılan ikinci yöntem açıkta-çekirdek (exposed-core) veya diğer adıyla külden-ayrılmış-çekirdek (ash-segregated-core) modelidir. Bu modelde çekirdeğin (core) diğer modelde olduğu gibi bir kül tabakası ile sarılmadığı, çekirdeğin doğrudan reaksiyonları başlatacak gazlar ile temas halinde olduğu kabul edilmektedir [29,34].

Gaz ve katı faz arasındaki etkileşimin modellenmesi yoğun tanecikli reaksiyonlu sistemlerinde üçüncü ve sonuncu modelleme başlığıdır. Yoğun tanecikli reaksiyonlu sistemlerde her bir faz için yazılan korunum denklemleri bulunmaktadır. Bu denklemlerin dışında fazlar arasındaki etkileşimden doğan denklemler de vardır. Özellikle kimyasal reaksiyonlar nedeniyle fazlar birbiri ile çok sıkı bir etkileşim içindedir. Fazlar arasında ısı, kütle ve momentum aktarımı olmaktadır. Bu aktarımların da tüm diğer fiziksel ve kimyasal olayların modellenmesi gibi olabildiğince gerçeğe uygun modellenmesi gerekmektedir [34]. Fazlar arasındaki etkileşimin en büyük nedenini heterojen reaksiyonlar oluşturmaktadır. Çünkü heterojen reaksiyonların meydana gelmesinden dolayı gaz karışımının hem kütlesi, hem momentumu hem de enerjisi değişmektedir. Heterojen reaksiyonlar ile katı fazdan gaz fazına kütle geçişi olmaktadır. Bu kütle geçişi, kütle korunum denkleminde yer alan kaynak terimleri kullanılarak modele dahil edilmektedir. Ayrıca katı ile gaz arasında gerçekleşen reaksiyonlardan dolayı momentum ve enerji aktarımı da oluşmaktadır. Bu aktarımlar da aynı şekilde kaynak terimleri ile modele dahil edilmektedir [30,40]. Buna karşılık homojen reaksiyonlar gaz karışımının kütlesinde, momentumunda ve entalpisinde bir değişikliğe neden olmamaktadır [34]. Homojen reaksiyonlar gaz-gaz arasında gerçekleşen reaksiyonlar olduğu için kimyasal reaksiyonlara giren gazlar farklı gazlara dönüşmekte ve bu da gaz fazının toplam kütlesinin değişmemesi anlamına gelmektedir. Gaz fazının özellikleri gaz karışımını oluşturan gaz bileşenlerinin kütle oranları dikkate alınarak hesaplanmaktadır [41].

Birçok araştırmacı akışkan yatakta gazlaştırma işlemini modelleme konusunda çalışmalar yapmıştır. Chejne ve Hernandez [42] kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcısında kömürün gazlaştırılması için bir boyutlu zamandan bağımsız sayısal çözüm yolu

(numerical algorithm) geliştirerek modelleme yapmışlardır. Çalışmalarında yatak içindeki gaz ve katı akışı olmak üzere iki fazın olduğu kabulünü yapmışlardır. Bu iki fazı ise şu şekilde açıklamaktadırlar: Hem gaz hem de katının birlikte olduğu asıltı fazı (emulsion phase) birinci fazı belirtmektedir. Sadece gazdan oluşan kabarcık fazı (bubble phase) ise ikinci faz olarak tanımlamaktadır. Her bir fazda gerçekleşen hem homojen (gaz-gaz) hem de heterojen (gaz-katı) reaksiyonlar için literatürde yer alan kinetik hız korelasyonları (kinetic rate correlations) kullanılmıştır. Homojen reaksiyonlar olarak gazlar arasında gerçekleşen reaksiyonlar kastedilirken heterojen reaksiyonlar olarak ta gaz ve katı arasında gerçekleşen reaksiyonlar ifade edilmektedir. Çalışmalarında yer alan hidrodinamik parametreler için ampirik (empirical) korelasyonlar kullanmışlardır. Burada şu not edilmelidir ki, ampirik korelasyonların her bir çeşit akışkan yatak geometrisinde kullanılması mümkün değildir. Çünkü ampirik korelasyonlar elde edilirken kullanılan akışkan yatak geometrisinin ve fiziğinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle de her çeşit ampirik korelasyonun tüm akışkan yatak geometrilerinde ve fiziğinde kullanılabilmesi mümkün değildir.

Chejne ve diğ. [43] bir önce yapmış oldukları çalışmaya ek olarak yatak basıncının gazlaştırıcının başarımına (performance) etkisini araştırmışlardır. Yatak basıncının artması ile katı ve gaz arasındaki ısı transfer katsayısının kayda değer bir şekilde arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Bunun en önemli nedenini şu şekilde açıklamaktadırlar: Yataktaki basıncın artması gaz yoğunluğunun da ciddi oranda artmasına neden olmakta ve bu da fazlar arasındaki temasın artması ile sonuçlanmaktadır. Buna karşılık çalışmalarında yatak basıncının artmasının katı faz ile gaz fazı arasındaki kütle transferine etkisinin ise az olduğu tespitini de yapmışlardır. Fakat çalışmalarında gazlaştırma için önemli olan diğer bazı değişkenlerin, örneğin sıcaklık veya eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) gibi gazlaştırmaya etkisine yer vermemişlerdir.

Armstrong ve diğ. [36] Eulerian-Eulerian hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemini kullanarak kabarcıklı akışkan yatakta kömürün gazlaştırılmasını iki boyutlu modellemişlerdir. Modellerine kireçtaşı kireçleştirme (limestone calcination) reaksiyonunu eklenmişler ve bu reaksiyonun etkisini araştırmışlardır. Türbülans modeli olarak $k - \epsilon$ modelini seçmişlerdir. Fazlar arasındaki momentum aktarımı (momentum transfer) için Gidaspow sürüklenme (drag) modelini [44] kullanmışlardır. Modellemesi

yapılan kömürün karbon (char), uçucu madde (volatile), su ve külden (ash) oluştuğu kabulü yapılmıştır. Uçucu maddenin ise CO_2 , CO , CH_4 , H_2 , H_2O ve katrandan (tar) oluştuğu kabul edilmiştir. Uçucu maddenin kömürden çıkışı için Kobayashi [45] tarafından belirtilen ve iki-denkleme yöntemi (two-equation method) olarak adlandırılan yöntem kullanılmıştır. Modelleme sonuçları deneysel veriler ile doğrulanmıştır. Çalışmalarında sonuç olarak kireçtaşı kireçleştirme (limestone calcination) reaksiyonunun gazlaştırma sonucu oluşan gazların mol oranlarına etkisinin oldukça az olduğu ortaya konulmuştur.

Xie ve diğ. [46] ise Eulerian-Lagrangian HAD modelini kullanarak kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde kömürün gazlaştırılmasını çalışmışlardır. Gaz fazı için Eulerian, katı faz için ise Lagrangian yöntemi kullanılarak modelleme yapmışlardır. Yaptıkları modelde üç boyutlu yatak geometrisi kullanmışlardır. Modellemelerini atmosfer basıncında yapmışlardır. Gaz fazı için LES (Large Eddy Simulation) türbülans modelini kullanmışlardır. Gazlaştırma için tanımladıkları homojen ve heterojen reaksiyon hızlarının yatak yüksekliği ile değişimini ortaya koymuşlardır. Fakat eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER), Su-Buharı/Kömür debisi oranının ve yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisini araştırmamışlardır.

Esmaili ve diğ. [47] Eulerian-Eulerian yöntemi kullanarak kabarcıklı akışkan yatakta kömürün gazlaştırılmasını çalışmışlardır. Yatak içindeki hidrodinamik diğer deyişle soğuk akış bölümünü ANSYS Fluent 14 HAD paket programını kullanarak modellemişlerdir. Yatak içinde gerçekleşen hem homojen hem de heterojen reaksiyonları ise VMG-Sim paket programını kullanılarak modellemişlerdir. Daha sonra bu iki çözüm birleştirilerek nihai çözüme ulaşmışlardır. Tüm hesaplamaların ANSYS Fluent 14 paket programı kullanılarak yapılmamasının en önemli nedeni bilgisayar zamanından tasarruf etme istediği olduğunu belirtmişlerdir. Fakat hidrodinamiği ayrı reaksiyonları ayrı çözümlerin beraberinde olayın fiziğinden uzaklaşmasından dolayı içinde hata barındıracağı muhakkaktır. Fakat bu çalışmada elde edilen model sonuçlarının deneysel veriler ile arasındaki %15'lik bağıl hata fark mazur görülmesi ve daha çok parametrik çalışmalara yer verilmiştir. Yatak sıcaklığının, Kömür/Hava debisi oranının ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde kömürün gazlaştırılmasına etkileri araştırılmıştır. Ayrıca kömürden uçucu maddenin aniden çıktığı kabulü ile çözümlenmiştir. Bu

yönden bilgisayar zamanından tasarruf edilmesini sağlamasına rağmen günümüz modelleme yöntemlerinin gerisinde kalmaktadır.

Armstrong ve diğ. [48] kömürün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasını Eulerian–Eulerian matematik modelini kullanarak hem iki boyutlu hem de üç boyutlu olarak modellemişlerdir. Türbülans modeli olarak $k - \varepsilon$ modelini kullanmışlardır. Modellerine kükürtten arındırma (desulfurization) ve kireçleştirme (calcination) reaksiyonlarını da eklemişlerdir. Modelleme sonuçlarını deneysel veriler ile doğrulamışlardır. Kömürden uçucu maddenin çıkışının, aniden gerçekleştiği kabulünü yapmışlardır. Kullanılan kömür özellikleri dikkate alınarak uçucu maddenin kömürden çıkışı modellenmemiştir. Uçucu maddenin ise CO_2 , CO , CH_4 , H_2 , H_2O , NH_3 , H_2S ve katrandan (tar) oluştuğu kabul edilmiştir. Buna ek olarak kömürün karbon (char) ve uçucu maddeden oluştuğunu kabul etmişlerdir. Ayrıca kömürün içinde kül olmadığı kabul edilmiştir. Kükürtten arındırma (desulfurization) ve kireçleştirme (calcination) reaksiyonlarının gazlaştırma sonucu oluşan tüm gazların mol oranlarına etkisinin az olduğu ortaya konulmuştur.

Xie ve diğ. [46] kömürün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasını üç boyutlu olarak ve Eulerian–Lagrangian yöntemini kullanarak modellemişlerdir. Türbülans modellerinden LES (Large Eddy Simulation) modelini kullanmışlardır. Kömürün karbon, uçucu madde, su ve külden oluştuğunu kabul etmişlerdir. Uçucu maddenin ise CO_2 , CO , CH_4 ve H_2 gazlarından oluştuğu kabul edilmiştir. Ayrıca uçucu maddenin kömürden çıkışının aniden gerçekleştiği kabulü yapılmıştır. Bu nedenle uçucu maddenin kömürden ayrılması kimyasal reaksiyonlar kullanılarak modellenmemiştir. Model sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Yatak içindeki kömür taneciklerinin hareketleri ve zaman içinde oluşan kabarcıklar gösterilmiştir. Buna ek olarak homojen ve heterojen reaksiyon hızlarının yatak yüksekliği boyunca değişimi verilmiştir.

Yu ve diğ. [49] kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde kömürün gazlaştırılmasını iki boyutlu ve Eulerian–Eulerian iki fazlı matematik denklemlerini kullanarak modellemişlerdir. Modelde tanecikler arası çarpışma (collision) dikkate alınmıştır. Türbülans modeli olarak $k - \varepsilon$ modeli seçilmiştir. Kömürden uçucu maddenin çıkışının aniden gerçekleştiği kabulü yapılmıştır. Kömürün karbon (char), uçucu madde, su ve külden (ash) oluştuğu kabul edilmiştir. Uçucu maddenin ise CO_2 , CO , H_2 , CH_4 ,

C_2H_6 , H_2S , NH_3 ve katrandan (tar) oluştuğu kabulü yapılmıştır. Model sonuçları altı tane deneysel çalışma verisi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar bölümünde yatak içinde CO , H_2 , CO_2 ve CH_4 gazlarının derişiklik (concentration) değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Model sonuçları kullanılarak yatak içindeki sıcaklığın ve O_2 gazının mol derişikliğinin (molar concentration), yatak genişliği boyunca değişimi üç farklı yatak yüksekliğinde (0.002 m, 0.004 m ve 0.006 m) elde edilmiş ve birbiri ile karşılaştırılmıştır. Yatak yüksekliği arttıkça O_2 gazının mol derişikliği azalırken yatak sıcaklığının arttığı ortaya konulmuştur. Son olarak ta yatak içindeki kömürün hacim oranı (volume fraction) ile reaksiyon hızlarının ilişkisi gösterilmiştir.

Wang ve diğ. [24] kömürün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasını çalışmışlardır. Bunun için üç boyutlu bir model kullanmışlardır. Modellerinde Eulerian-Eulerian yöntemini seçmişlerdir. Türbülans modellerinden ise $k - \epsilon$ modelini kullanmışlardır. Kömürün karbon (char), uçucu madde (volatile), su ve külden (ash) oluştuğu kabulü yapılmıştır. Uçucu maddenin ise CO_2 , CO , CH_4 ve H_2 gazlarından oluştuğu kabul edilmiştir. Kömürden uçucu maddenin çıkışı için Ceng ve diğ. [50] tarafından önerilen ve iki-denklemler yöntemi (two-equation method) olarak bilinen yöntem kullanılmıştır. Çalışmalarında yatak yüksekliği boyunca hem gaz fazının hem de katı fazın akış hızlarındaki değişim incelenmiştir. Buna ek olarak heterojen reaksiyonların yatak içinde elde edilen hızları gösterilmiştir. Ayrıca heterojen reaksiyonlar için önemli olan C ve O_2 için hesaplanan kütle oranlarının yatak içindeki dağılımı da gösterilmiştir.

Xue ve Fox [51] Eulerian-Eulerian modeli kullanarak akışkan yatakta biyoyakıtın hava kullanılarak gazlaştırılmasını çalışmışlardır. Çalışmalarında biyoyakıt olarak talaş kullanmışlardır. Modellemeleri iki boyutludur ve modelleme için MFIIX (Multiphase Flow with Interphase Exchanges) paket programını kullanmışlardır. Talaşın karbon (char), uçucu madde ve sudan oluştuğu kabul edilmiştir. Uçucu maddenin ise CO , CO_2 , CH_4 , H_2 , H_2O ve katrandan (tar) oluştuğu kabulü yapılmıştır. Farklı Hava/Biyoyakıt debisi oranlarında, farklı yatak sıcaklıklarında ve farklı biyoyakıt nem miktarlarında çalışmalar yaparak sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu değişik çalışma koşullarının, gazlaştırma sonucu oluşan çıkış gazlarına etkileri araştırılmıştır.

Couto ve diğ. [52] kahve kabuğunun akışkan yatakta gazlaştırılmasını hem deneysel hem de sayısal çalışmışlardır. ANSYS Fluent paket programı kullanarak problemin modellemesini yapmışlardır. Modellemelerinde iki boyutlu yatak kullanmışlardır.

Deneysel çalışması ve modellenmesi yapılan akışkan yatağın kömür besleme debisi 70 kg/h olarak alınmıştır. Akışkan yatağın çalışma sıcaklığı yaklaşık $800 \text{ }^\circ\text{C}$ değerinde sabitlenmiştir. Geliştirilen model ile elde edilen sonuçlar deney verisi ile karşılaştırılmıştır. Gazlaştırma sonucu oluşan gazlardan H_2 ve CO_2 gazları için yatağın çıkışında elde edilen kütle oranların CO gazı için elde edilen değere kıyasla deneysel veriye daha yakın olduğu görülmüştür. Özellikle CO gazı için elde edilene kütle oranının deney verisinden uzak olmasının nedenini biyoyakıttan uçucu maddenin çıkışının aniden gerçekleştiği kabulünün yapılmış olması olarak açıklamışlardır.

Couto ve diğ. [37] oksijen ile zenginleştirilmiş hava kullanarak tarımsal atıkların akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasını modellemişlerdir. Modellemelerinde yatak geometrisi iki boyutlu alınmıştır. Modelleme için Eulerian-Eulerian hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemini kullanmışlardır. Modelde biyoyakıt ve gaz fazı olmak üzere iki faz dikkate alınmıştır. Modelleme için HAD paket programlarından ANSYS Fluent paket programını kullanmışlardır. Biyoyakıtın karbon (char), uçucu madde (volatile), nem ve külden (ash) oluştuğu kabul edilmiştir. Uçucu maddenin ise CO , CO_2 , CH_4 ve H_2 gazlarından oluştuğu kabulü yapılmıştır. Uçucu maddenin biyoyakıttan çıkışı için Badzioch ve Hawsley [53] tarafından geliştirilen tek-hız modeli (single-rate model) kullanılmıştır. Türbülans modellerinden $k - \epsilon$ modeli seçilmiştir. Yaptıkları çalışmada su buharı debisinin biyoyakıt debisine oranının gazlaştırmaya etkileri araştırılmıştır. Su buharı debisinin biyoyakıt debisine oranı için üç farklı oran (1.5, 1 ve 0) seçilmiştir. Su buharının soğuk gaz verimini (cold gas efficiency) düşürdüğü tespit edilmiştir.

Liu ve diğ. [54] akışkan yatakta biyoyakıt gazlaştırılmasını Eulerian-Eulerian yaklaşımını kullanarak modellemişlerdir. Modelleme için hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programlarından ANSYS Fluent 14.0 kullanılmıştır. Modellemeleri üç boyutludur. Türbülans modeli olarak standart, RNG (renormalization group) ve gerçekleştirilebilir (realizable) $k - \epsilon$ modellerini kullanmışlardır. Çalışmalarında kullanılan akışkan yatak dolaşımını akışkan yatak olarak sınıflandırılmıştır. Modelleme sonuçları literatürde yer alan bir deneysel çalışma ile karşılaştırılmıştır. Biyoyakıtın karbon (char), kül (ash), uçucu madde (volatile) ve nemden oluştuğu kabul edilmiştir. Uçucu maddenin ise CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_4 ve H_2O gazlarından meydana geldiği kabulü yapılmıştır. Gazlaştırma için önemli bir konu olan uçucu maddenin yakıttan

çıkışı için tek adımlı standart reaksiyon kullanılmıştır. Kullanılan biyoyakıtın gazlaşması sonucu oluşacak katranın (tar) yapısı bilinmediğinden dolayı uçucu maddenin biyoyakıttan çıkışı kapsamlı bir şekilde modellenemediği belirtilmiştir. Liu ve diğ. [54] çalışmalarında $k - \varepsilon$ türbülans modeli çeşitlerinin etkisini, ışıınım (radiation) modellerinden P-1 modelinin etkisini, su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunun etkisini ve eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) etkisini araştırmışlardır. Makalede, dolaşımli akışkan yatak için çalışma koşulları şu şekilde özetlenmiştir: Hava debisi $109 \text{ Nm}^3/\text{h}$, biyoyakıt debisi $60 \text{ kg}/\text{h}$, eşdeğerlik oranı 0.41 ve çalışma basıncı 1 atm olarak alınmıştır. Çalışmada kullanılan yatağın çapı 0.2 m ve yüksekliği 6.5 m metredir. Makalede dolaşımli akışkan yatak geometrisinin modellendiği söylenmesine rağmen aslında sadece dolaşımli akışkan yatağın bir bölümü modellenmiştir. Dolaşımli akışkan yatağın geri dönüş kolu ve siklon (cyclone) modellenmemiştir. Liu ve diğ. [54] tarafından yapılan çalışmada elde edilen en önemli sonuçlar şu şekilde açıklanabilir: Işıınım modellerinden P-1 modeli kullanılarak ve ışıınım modeli kullanılmadan iki farklı modelleme yapılmış ve yatak sıcaklık dağılımları birbiri ile karşılaştırılmıştır. Işıınım modeli (P-1 modeli) kullanılarak yapılan modellemede yatak içindeki sıcaklık dağılımının diğer duruma (ışıınım modelinin kullanılmadığı durum) kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Modellemede üç farklı çeşitte $k - \varepsilon$ modeli kullanılmış ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Üç farklı çeşitte $k - \varepsilon$ türbülans modelinde de yatak için elde edilen gaz ve katı fazların yatak içindeki hız dağılımlarının, çıkıştaki gaz bileşenlerinin mol oranlarının ve yatak yüksekliği boyunca yatak sıcaklığının çok değişmediği sonucuna ulaşmışlardır. Su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu için iki farklı modelleme yapmışlardır. Birinci modelde su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu kullanılmış, ikinci modelde ise su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu kullanılmamıştır. Bu iki model sonuçları birbiri ile karşılaştırılmıştır. Su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunun kullanıldığı durumda kullanılmadığı duruma göre yatağın çıkış ağzında mol oranı olarak daha az CO gazı buna karşın daha çok H_2 gazı olduğu görülmüştür. Su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunun CO gazının mol oranını düşürür iken H_2 gazının mol oranını yükseltmesi beklenen bir sonuç olmasına rağmen bu çalışma bu sonucu modelleme yaparak ta göstermiştir. Liu ve diğ. [54] çalışmalarında son olarak eşdeğerlik oranının etkisini araştırmak için üç farklı modelleme yapmışlardır. Bu modellemelerde

eşdeğerlik oranı sırası ile 0.41, 0.5 ve 0.6 alınmıştır. Eşdeğerlik oranı arttıkça yatak çıkışında hesaplanan CO , H_2 ve CH_4 gazları için elde edilen mol oranlarının azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Fakat çalışmalarında eşdeğerlik oranının CO_2 gazına etkisi gösterilmemiştir.

Manchasing ve diğ. [55] çift yataklı gazlaştırıcı (dual-bed gasifier) kullanarak hem deneysel hem de sayısal çalışma yapmışlardır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği için ANSYS Fluent 12.1 paket programını kullanmışlardır. Deneyde kullanılan akışkan yatağın yüksekliği 3 metre iken yatağın ana kolunun (riser) çapı 0.14 metre ve dönüş kolunun (downcomer) çapı 0.40 metredir. Eulerian-Eulerian yöntemi kullanılarak iki boyutlu modelleme yapılmıştır. Hem kömür hem de biyoyakıt gazlaştırılması çalışılmıştır. Yakıttan uçucu maddeden çıkışının aniden olduğu kabulü yapılmıştır. Çalışmada sürüklenme kuvveti (drag force) modellerinden Gidaspow, Wen-Yu ve Syamlal-O'Brien modelleri için ayrı ayrı çözümlenmeler yapılmış ve sonuçlar birbiri ile ve deneysel veri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada Gidaspow ve Wen-Yu sürüklenme kuvveti (drag force) modellerinin deneysel veri ile oldukça uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Breault ve diğ. [56] hem iki hem de üç boyutlu olarak dolaşimli akışkan yatağın ana kolunu (riser) modellemişlerdir. Modellemelerinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarından MFIX paket programını kullanmışlardır. MFIX paket programı Eulerian-Eulerian yöntemini kullanarak modelleme yapan açık kaynak kodlu bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programıdır. Modelde sadece dört adet heterojen reaksiyon kullanılmıştır. Bu çalışmada gaz fazı ile katı fazı arasında gerçekleşen kütle aktarımı incelendiği için sadece heterojen reaksiyonların dikkate alındığı vurgulanmıştır. Heterojen reaksiyonların modellenmesinde büzülen-çekirdek (shrinking-core) modeli kullanılmıştır. Literatürde bulunan çeşitli kütle aktarım katsayısı hesaplama yöntemlerine ek yeni bir hesaplama yöntemi önermişlerdir.

Boateng ve Mtui [57] laboratuvar ölçekli akışkan yatak gazlaştırıcısında biyoyakıtın gazlaştırılmasını sayısal çalışmışlardır. Model için hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programlarından ANSYS Fluent 12'yi kullanmışlardır. Modelleme için Eulerian-Eulerian yöntemini seçmişlerdir. Akışkan yatağın biyoyakıt besleme debisi 5 kg/h olarak verilmiştir. Yatağın yüksekliği 50 cm ve çapı 7.5 cm değerindedir. Biyoyakıttan uçucu maddenin çıkışı için tek adımlı reaksiyon yöntemini

kullanmışlardır. Tek adımlı reaksiyon ile gerçekleştiği kabulü yapılan uçucu maddenin çıkışı için yazılan Arrhenius denkleminin aktivasyon enerjisi (activation energy) ve ön-üstel (pre-exponential) katsayı değerlerini çalışmalarında belirtmişlerdir.

Xie ve diğ. [58] orman atıklarının akışkan yatakta gazlaştırılmasını üç boyutlu olarak ve Eulerian-Lagrangian yaklaşımını kullanarak modellemişlerdir. Sayısal çalışma sonuçları laboratuvar ölçekli bir gazlaştırıcının deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Laboratuvar ölçekli akışkan yatağın yüksekliği 1400 mm, yatağın alt bölgesinin çapı 40 mm iken üst bölgesinin çapı 60 mm değerindedir. Makalede orman atığı olarak çam ağacı talaşı kullanılmıştır. Tanecik çapı 0.3-0.45 mm aralığında alınmıştır. Gazlaştırma için hava kullanılmıştır. Biyoyakıtın karbon (char), CO , H_2O , CO_2 , H_2 , CH_4 , katran (tar) bileşenlerinden oluştuğu kabul edilmiştir. Uçucu maddenin biyoyakıttan çıkışının aniden meydana geldiği kabul edilmiştir. Çalışmalarında yatak sıcaklığının, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Biyoyakıt debisi oranının gazlaştırmaya etkisi araştırılmıştır. Yatak sıcaklığının gazlaştırmaya etkisini araştırmak için yatak sıcaklığı 700 °C, 800 °C ve 900 °C alınarak üç modelleme yapılmıştır. Eşdeğerlik oranının etkisini araştırmak için 0.21, 0.23 ve 0.25 şeklinde üç eşdeğerlik oranı için modelleme yapılmıştır. Su-buharı/Biyoyakıt debisi oranının gazlaştırma etkisi için ise 1.3, 2.0 ve 2.7 şeklinde üç oran için modelleme yapmışlardır. Yatak sıcaklığının, eşdeğerlik oranını ve Su-Buharı/Biyoyakıt debisi oranının gazlaştırma etkisinin araştırıldığı bu çalışmada yapılan parametrik çalışma sayısının kısıtlı olduğu görülmektedir. Yatak çalışma sıcaklığının artması ile CH_4 gazının mol oranı azalırken H_2 gazının mol oranının arttığı tespit edilmiştir. Buna karşılık yatak sıcaklığın artması ile CO ve CO_2 gazları için elde edilen mol oranında ise ufak bir artış olduğu belirtilmiştir. Eşdeğerlik oranın 0.21-0.25 olduğu aralık içinde yapılan üç modellemede eşdeğerlik oranının artmasının CO_2 gazı için elde edilen mol oranının artmasına, buna karşılık CO gazının mol oranının azalmasına neden olduğu belirtilmiştir. H_2 gazı için elde edilen mol oranının ise seçilen eşdeğerlik oranı aralığından kayda değer bir değişim göstermediği ifade edilmiştir. Son olarak Su-Buharı/Biyoyakıt değerinin artması CO gazı için elde edilen mol oranının azalmasına buna karşılık CO_2 ve H_2 gazları için elde edilen mol oranlarının artmasına neden olduğu belirtilmiştir.

Lv ve diğ. [7] biyoyakıtın hava ve su buharı kullanılarak gazlaştırılmasını deneysel çalışmışlardır. Deneyde kullanılan yatağın yüksekliği 1400 mm iken yatağın alt ve üst çapı sırasıyla 40 ve 60 mm değerindedir. Deneyde çam ağacı talaşı kullanılmıştır. Kullanılan çam ağacı talaşının tanecik çapı için dört farklı aralık (0.6-0.9, 0.45-0.6, 0.3-0.45 ve 0.2-0.3 mm) seçilmiştir. Deneyde yatak malzemesi olarak kum alınmış ve kullanılan kum taneciklerinin çapının 0.2-0.3 mm aralığında olduğu belirtilmiştir. Deneyde yatak çalışma sıcaklığının etkisini araştırmak için 5 farklı çalışma sıcaklığında (700, 750, 800, 850, 900 °C) deney yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda yatak çalışma sıcaklığının artması ile yatağın çıkışında elde edilen H_2 gazının yüzde hacim değeri artarken CO ve CH_4 gazlarının yüzde hacim değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak yatağın çıkışında elde edilen CO_2 gazının yüzde hacim değerinin ise yatak çalışma sıcaklığı 700-800 °C arasında iken az miktarda azaldığı buna karşın yatak çalışma sıcaklığının 800-900 °C olduğu aralıkta ise az miktarda arttığı belirtilmiştir. Deneysel çalışmada diğer incelenen konu eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) gazlaştırmaya etkisidir. Bunun için 5 adet eşdeğerlik oranı (0.19, 0.21, 0.23, 0.25 ve 0.26) için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yatağın çıkışında CO gazı için elde edilen yüzde hacim oranı değerlerinin ER değerinin 0.23'e kadar olduğu bölümde arttığı daha sonra azaldığı buna karşılık CO_2 gazının yüzde hacim oranı değerinin tam zıttı bir şekilde ER değerinin 0.23'e kadar olduğu bölümde azaldığı daha sonra da arttığı belirtilmiştir. Bu ER çalışma aralığında (0.19-0.27) yatağın çıkışında H_2 gazı için elde edilen yüzde hacim değerinin küçük artış ve azalışlara sahne olmasına rağmen ER değerine göre çok değişmediği ifade edilmiştir. Bu deneysel çalışma şartları için en uygun ER değerinin 0.23 olduğu belirtilmiştir. Lv ve diğ. [7] tarafından yapılan deneysel çalışmada araştırılan diğer bir konu ise Su-Buharı/Biyoyakıt debisi oranının gazlaştırmaya etkisinin araştırılmasıdır. Bunun için 5 farklı Su-Buharı/Biyoyakıt debisi oranı (0, 1.35, 1.8, 2.7 ve 4.04) seçilmiş ve deneysel çalışma yapılmıştır. Su-Buharı/Biyoyakıt debisi oranı 0-1.35 aralığında iken yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde hacim değerlerinin azaldığı buna karşın CO_2 ve CH_4 gazları için elde edilen yüzde hacim değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Su-Buharı/Biyoyakıt debisi oranının 1.35 ile 2.70 arasında olduğu bölgede ise CO ve CH_4 gazları için elde edilen yüzde hacim değerleri azalmakta, buna karşın CO_2 ve H_2 gazları için elde edilen yüzde hacim değerlerinin hafifçe artmakta olduğu tespit edilmiştir. Makalede Su-Buharı/Biyoyakıt debisi oranının 2.70'den

daha fazla olduğu durumda tüm gazlar için yüzde hacim değerinin çok az değiştiği belirtilmiştir. Son olarak makalede biyoyakıtın tanecik çapının gazlaştırma sonucu oluşan gazların yüzde hacim değerlerine etkisi araştırılmıştır. Biyoyakıtın tanecik çapının küçük olması daha fazla CH_4 , CO ve daha az CO_2 gazı oluşmasa neden olduğu söylenmiştir. Yapılan çalışmada biyoyakıt çapının H_2 gazının yüzde hacim değerinin değişimine etkisinin az olduğu belirtilmiştir.

Silva ve Rouboa [59] değişik biyoyakıtlar (orman atıkları, kahve kabuğu ve üzüm yaprağı) kullanarak akışkan yatakta gazlaştırma modellemesi yapmışlardır. Modelleme sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Modelleme iki boyutlu yapılmış ve Eulerian-Eulerian yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan akışkan yatak kabarcıklı akışkan yataktır. Yatağın atmosfer basıncında çalıştırıldığı ve en yüksek biyoyakıt çalışma debisinin de 70 kg/h olduğu söylenmiştir. Yatağın yüksekliği 2.5 m iken çapı 0.5 m değerindedir. Gazlaştırma için hava ve su buharı kullanılmıştır. Türbülans modeli olarak $k - \epsilon$ türbülans modeli seçilmiştir. Modelde biyoyakıtın karbon (char), uçucu madde (volatile), su buharı ve külden (ash) oluştuğu kabul edilmektedir. Ayrıca uçucu maddenin bir adımlı bir reaksiyon ile CO , CO_2 , CH_4 ve H_2 gazlarına dönüştüğü kabul edilmiştir. Modelde uçucu maddenin içinde katran (tar) olmadığı varsayılmıştır. Çalışmada yatak sıcaklığının, Su-Buharı/Biyoyakıt debisi oranının ve biyoyakıt tiplerinin gazlaştırmaya etkisi araştırılmıştır. Bu etkiler ışığında üretilen H_2 gazı miktarı, H_2/CO oranı, CH_4/H_2 oranı ve soğuk gaz verimliliği (cold gas efficiency) hesaplanmıştır.

Gerber ve Oevermann [60] Euler–Lagrangian yöntemini kullanarak iki boyutlu zamana bağlı olarak, talaşın gazlaştırılmasını kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde modellemişlerdir. Çalışmada reaksiyonlara girmeyen (inert) katı yatak malzemesi kullanılmamıştır. Euler–Lagrangian yönteminde her bir katı taneciğin hareketinin incelenmesi bilgisayar zamanının çok artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de yatak içinde reaksiyonlara girmeyen yatak malzemesi olmadığı kabulü yapılmıştır. Çalışmalarında 12000 katı tanecik kullanarak modelleme yapmışlardır. Kullanılan kömür taneciklerinin mükemmel küresel formda olduğu kabul edilmiştir. Modelleme iki boyutlu olmasına rağmen taneciklerin üç boyutlu seçilmesi taneciğin iki boyutlu hacim oranından hareket ederek üç boyutlu hacim oranının hesaplanmasını gerekli kılmıştır. Bu nedenle Hoomans ve diğ. [61] tarafından yapılan çalışmada yer alan

formülü kullanmışlardır. Taneciklerin bir biri ile çarpışması modele dahil edilmiştir. Bu makalelerinde modelin alt modelleri ve yapılan kabuller ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Bu çalışmalarında literatürde yer alan laboratuvar ölçekli bir kabarcıklı akışkan yatağın çalışma koşullarının en iyi şekilde modellenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma Geber ve Oevermann tarafından yapılan diğer bir çalışmanın [62] temel çalışması olarak adlandırılabilir. Modelde kullanılan yatak alt ve üst bölge olmak üzere iki bölgeden oluşmaktadır. Yatağın alt bölgesi 600 mm yüksekliğinde ve 95 mm çapındadır. Yatağın üst bölgesi ise 450 mm yüksekliğinde ve 134 mm çapındadır. Yatağın alt bölgesi ile üst bölgesi 50 mm yüksekliğinde kesik bir koni bağlantı elemanı ile birbirine bağlanmıştır. Yatağın toplam yüksekliği 1100 mm değerindedir. Gazlaştırma için hava kullanılmıştır. Çalışmada türbülans modeli olarak LES (Large Eddy Simulation) modeli seçilmiştir. Gerber ve Oevermann [60] tarafından yapılan çalışmada daha kapsamlı modelleme yapabilmek için modele eklenen alt modellerin geliştirilebilmesi için birçok deneysel çalışma sonucuna ihtiyaç duyulduğunu ve bu suretiyle alt modellerin doğruluğunun artırılması gerektiği vurgulanmıştır.

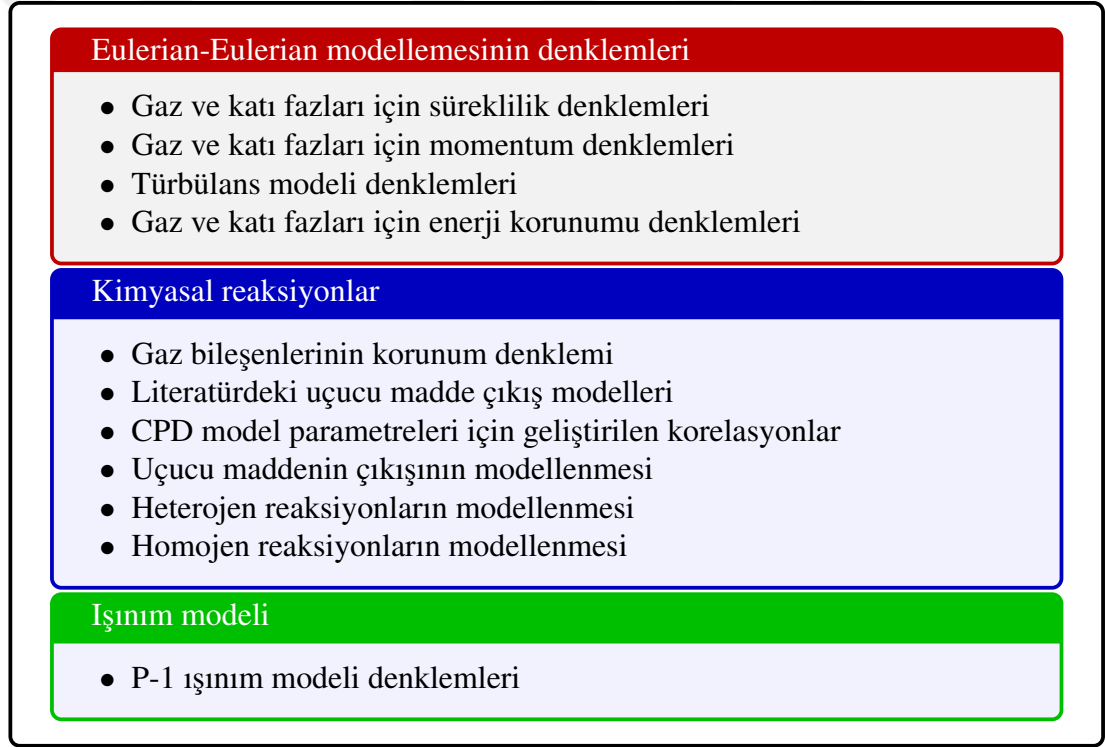
Gerber ve Oevermann [62] tarafından yapılan bu çalışma, 2014 yılında yaptıkları çalışmanın ([60]) devamı niteliğindedir. Bu çalışmada ([62]) kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde talaşın gazlaştırılması problemi için kapsamlı parametrik çalışmalar yapılmıştır. İncelenen parametreler: Yatak sıcaklığı, yakıt debisi, reaksiyonlara girmeyen katranın (tar) miktarı, taneciklerin birbiri ve yatak duvarı ile çarpması sonucu kinetik enerjideki kayıp miktarı şeklinde sıralanabilir. Bu parametrelerin yatak çıkış sıcaklığına, ortalama tanecik sıcaklığına, toplam talaş kütesine, toplam karbon kütesine, yatağın çıkışında elde edilen gazların derişikliklerine etkisi araştırılmıştır. Modellemede katranın (tar) bir kısmının reaksiyonlara katıldığı bir kısmının ise reaksiyonlara katılmadığı kabulü yapılmıştır [62]. Bu kabul çerçevesinde reaksiyonlara katılmayan katran (tar) miktarının gazlaştırmaya etkisi araştırılmıştır. Yapılan modelleme sonuçlarına göre reaksiyonlara katılmayan katran (tar) miktarının ve yatağa gönderilen yakıt debisinin diğer incelenen parametrik çalışmalara göre gazlaştırmaya etkisinin daha çok olduğu tespit edilmiştir. Taneciklerin birbiri ile ve yatak duvarı ile çarpışmasının gazlaştırma sonuçlarına etkisinin oldukça az olduğu belirtilmektedir.

Ju ve diğ. [63] ticari ölçekli dolaşımli akışkan yatak geometrisinde deneysel çalışma yapmışlardır. Hem Hava/Kömür debisi hem de Su-Buharı/Kömür debisi oranların yatak sıcaklığına etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan dolaşımli akışkan yatağın yüksekliği 12 metredir. Yatağın ana kolu alt ve üst olmak üzere iki bölgeden oluşmaktadır. Alt bölgenin çapı 800 mm değerinde iken üst bölgenin çapı 900 mm değerindedir. Denejde karbon oranı yüksek taşkömürü (kapsamlı kömür analiz sonuçlarına göre %80 karbon içermektedir) kullanılmıştır. Denejde kullanılan kömürün çapının 2 mm değerinden az olduğu belirtilmiştir. Denejde Hava/Kömür debisi oranının etkisinin araştırılması için 2.65-4.22 aralığında beş deneysel çalışma yapılmıştır. Makalede Hava/Kömür debisi oranının artmasının yanma reaksiyonlarını hızlandırdığı ve bu nedenle de yatağın çıkışında ölçülen CO , H_2 ve CH_4 gazlarının derişikliklerinin azalmasına buna karşın CO_2 gazı derişikliğinin artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Hava/Kömür debisi oranının çalışılan aralıkta artırılması yatak sıcaklığının da artmasına neden olduğu belirtilmiştir. Deneysel çalışmada Su-Buharı/Kömür debisi oranının etkisini araştırmak için 0-0.82 aralığı seçilmiştir. Bu aralıkta altı deney yapılarak inceleme yapılmıştır. Su-Buharı/Kömür debisi oranının etkisi araştırılır iken Hava/Kömür debisi oranı 2.65 olarak sabit alınmıştır. Su-Buharı/Kömür debisi oranı 0.32 değerine doğru arttıkça yatağın çıkışında ölçülen CO ve H_2 gazlarının derişikliğinin arttığı daha sonra da azaldığı belirlenmiştir. Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça (0-0.82 aralığında) yatağın çıkışında ölçülen CH_4 gazının derişikliğinde küçük bir azalış olduğu buna karşın CO_2 gazının derişikliğinde ise %11'lik bir artışın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça yatak sıcaklığın azaldığı belirtilmiştir.

Öncelikle bu bölümde gazlaştırmanın ne olduğu açıklanmış ve gazlaştırmanın modelleme adımlarından bahsedilmiştir. Daha sonra da literatürde yer alan ve gazlaştırma ile ilgili önemli çalışmalar hakkında özet bilgiler verilmiştir. Literatür araştırmasında hem sayısal hem de deneysel çalışmalara yer ver verilmiştir. Böylece gazlaştırma konusunda yapılan çalışmaların çerçevesi çizilerek gazlaştırma işleminin literatürdeki yeri belirtilmek istenmiştir.

3. MATEMATİK MODELLEMESİ

Bu bölümde kömürün akışkan yatakta gazlaştırılması problemini oluşturan denklemlere yer verilmektedir. Gazlaştırma için temelde iki farklı matematiksel denklemler kümesi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi Eulerian-Eulerian diğeri ise Eulerian-Lagrangian matematik denklemleridir. Doktora tezinde bu iki yöntemden Eulerian-Eulerian yöntemi seçilerek modelleme yapılmıştır. Bu bölümde yer alan konu başlıkları Şekil 3.1 ile özetlenmektedir.



Şekil 3.1 : Matematiksel teori bölümünde yer alan konu başlıkları.

3.1 Eulerian-Eulerian Modellemesinin Denklemleri

Burada sırası ile süreklilik, momentum korunum, türbülans ve son olarak ta enerji korunum denklemleri verilecektir. Ayrıca bu denklemler ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır.

3.1.1 Süreklilik denklemi

Eulerian-Eulerian (E-E) matematik modeli kömür gazlaştırılması için sıklıkla kullanılan modellerden bir tanesidir. Çok fazlı modellerden olan E-E modelinde hem katı fazı hem de gaz fazı sürekli ortam kabulü yapılarak çözümlenebilir. Bu modelin matematiksel denklemlerine yer verilecek olan bu bölümde öncelikle süreklilik denkleminin en genel hali Denklem 3.1 ve 3.2 ile gösterilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_g \rho_g) + \nabla \cdot (\varepsilon_g \rho_g \vec{v}_g) = S_{kg} \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_k \rho_k) + \nabla \cdot (\varepsilon_k \rho_k \vec{v}_k) = S_{gk} \quad (3.2)$$

Denklem 3.1 ve 3.2'de yer alan ε hacim oranı (volume fraction) ifade ederken, ρ yoğunluğu ve \vec{v} ise yatak içindeki anlık hızı (instantaneous velocity) göstermektedir. Alt indisler g ve k sırasıyla gaz ve katı fazı ifade etmektedir. Denklemlerin sağ tarafında yer alan terimler (S_{kg} , S_{gk}) ise kaynak terimlerini göstermektedir. Kaynak terimleri olan S_{kg} ve S_{gk} sırasıyla katı fazdan gaz fazına ve gaz fazından katı faza birim zaman ve hacimde geçen kütleyi temsil etmektedir. Bu çalışmada katı fazdan gaz fazına heterojen reaksiyonlar (katı faz ile gaz fazı arasında gerçekleşen reaksiyonlar) nedeni ile kütle geçişi olmaktadır. Buna karşın bu çalışmada gaz fazından katı faza ise bir kütle geçişi yoktur. Heterojen reaksiyonlar ile katı fazdaki karbon gaz fazındaki çeşitli gazlar ile reaksiyona girerek tekrar gaz bileşenleri oluşturmaktadır. Bu nedenden dolayı da katı fazdaki kütle azalması gaz fazında oluşan gaz bileşenleri ile dengelenmektedir. Bu tür heterojen reaksiyonlar sonunda gerçekleşen fazlar arası kütle geçişi, kaynak terimi olarak süreklilik denkleminin sağ tarafında gösterilmiştir. Kaynak terimi Denklem 3.3 ile ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.

$$S_{kg} = M_i \sum \gamma_i R_i = -S_{gk} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3 ile gösterilen R_i her bir bileşenin oluşumunu ya da tükenmesini tanımlayan reaksiyon hızını (reaction rate), γ_i her bir bileşen için stokiyometrik katsayıyı (stoichiometric coefficient) ve M_i her bir bileşen için mol kütlesini göstermektedir. Denklem 3.3 ile anlaşılacağı üzere katı fazdan gaz fazına geçen kütle

ile gaz fazından katı faza geçen kütle miktarı birbirine eşit fakat zıt işaretlidir. Bu da kütle korunumunun gereğidir. Süreklilik denkleminde kullanılan S_{kg} ve S_{gk} kaynak terimlerinin toplamı sıfırdır. Gaz fazının yoğunluğunu ideal gaz karışımı kabulü yapılarak Denklem 3.4 ile gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\rho_g = \frac{p}{RT \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{M_i}} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4 yer alan p , R , T , Y_i ve M_i terimleri sırasıyla gaz basıncını, evrensel gaz sabitini (universal gas constant), gaz karışımının ortalama sıcaklığını, her bir bileşen için kütle oranını (mass fraction) ve her bir bileşenin mol kütlelerini ifade etmektedir. Katı fazın yoğunluğu bu çalışmada sabit alınmıştır. Katı fazı için yoğunluk Denklem 3.5 ile hesaplanmaktadır [36].

$$\rho_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{\rho_i}} \quad (3.5)$$

3.1.2 Momentum denklemleri

Gaz fazı için momentum denklemleri Denklem 3.6 ile gösterilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\epsilon_g \rho_g \vec{v}_g) + \nabla \cdot (\epsilon_g \rho_g \vec{v}_g \vec{v}_g) = -\epsilon_g \nabla p + \nabla \cdot \bar{\bar{\tau}}_g + \epsilon_g \rho_g \vec{g} + K_{mt} (\vec{v}_g - \vec{v}_k) + S_{kg} \vec{v}_k \quad (3.6)$$

Denklem 3.6 ile gösterilen gaz fazı için yazılmış momentum denklemindeki terimlerin açıklaması aşağıda yer almaktadır.

ϵ_g : Gaz fazı için hacim oranı (volume fraction) [-]

ρ_g : Gaz fazı için yoğunluk [kg/m^3]

\vec{v}_g : Gaz fazı için anlık hız [m/s]

p : Basınç [Pa]

\vec{g} : Yerçekimi ivmesi [m/s^2]

K_{mt} : Gaz fazı ile katı faz arasındaki sürüklenme katsayısı (drag coefficient) [$kg/m^3 s$]

$\bar{\bar{\tau}}_g$: Gaz fazı için stres tensörü (stress tensor) [Pa]

$S_{kg} \vec{v}_k$: Heterojen reaksiyonlardan dolayı katı fazından gaz fazına aktarılan momentum kaynak terimi [$kg/m^2 s^2$]

Gaz fazına benzer şekilde katı fazı için momentum korunum denklemleri Denklem 3.7 ile gösterilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\epsilon_k \rho_k \vec{v}_k) + \nabla \cdot (\epsilon_k \rho_k \vec{v}_k \vec{v}_k) = -\epsilon_k \nabla p - \nabla p_k + \nabla \cdot \bar{\bar{\tau}}_k + \epsilon_k \rho_k \vec{g} + K_{mt} (\vec{v}_k - \vec{v}_g) + S_{gk} \vec{v}_g \quad (3.7)$$

Katı fazı için yazılmış ve Denklem 3.7 ile gösterilen momentum denkleminde yer alan terimlerin açıklaması aşağıda gösterilmektedir.

ε_k : Katı fazı için hacim oranı (volume fraction) [-]

ρ_k : Katı fazı için yoğunluk [kg/m^3]

\vec{v}_k : Katı fazı için anlık hız [m/s]

p_k : Katı basıncı [Pa]

$\bar{\bar{\tau}}_k$: Katı fazı için stres tensörü (stress tensor) [Pa]

$S_{gk}\vec{v}_k$: Heterojen reaksiyonlardan dolayı gaz fazından katı faza aktarılan momentum kaynak terimi [kg/m^2s^2]

Momentum denklemleri (Denklem 3.6 ve 3.7) içinde daha ayrıntılı açıklanması gereken terimleri barındırmaktadır. Şimdi sırasıyla bu terimlerin denklemlerine yer verilecektir. Öncelikle momentum denklemleri içinde yer alan gaz ve katı fazı için gerilme tensörü (stress tensor) denklemleri ile başlanacaktır. Denklem 3.8 ve 3.9 ile sırasıyla gaz ve katı fazı için gerilme tensörü denklemleri gösterilmektedir [19].

$$\bar{\bar{\tau}}_g = \varepsilon_g \mu_g \left[\left(\nabla \vec{v}_g + (\nabla \vec{v}_g)^T \right) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}_g) \bar{\bar{I}} \right] \quad (3.8)$$

$$\bar{\bar{\tau}}_k = \varepsilon_k \left[\mu_k \left(\nabla \vec{v}_k + (\nabla \vec{v}_k)^T \right) + \left(\xi_k - \frac{2}{3} \mu_k \right) (\nabla \cdot \vec{v}_k) \bar{\bar{I}} \right] \quad (3.9)$$

Denklem 3.8 ve 3.9'da yer alan bazı yeni terimler bulunmaktadır. Bu terimlerin açıklaması aşağıda verilmektedir.

μ_g : Gaz fazı için viskozite [kg/ms]

μ_k : Katı fazı için viskozite [kg/ms]

ξ_k : Yığın viskozite (bulk viscosity) [kg/ms]

$\bar{\bar{I}}$: Birim tensör

Gaz fazı için viskozite terimi laminer ve türbülanslı akış için viskozite terimlerinin toplamı olarak alınmış ve Denklem 3.10'da görüldüğü gibi tanımlanmıştır [36].

$$\mu_g = \mu_{g,l} + \mu_{g,t} \quad (3.10)$$

Katı fazı için tanımlanan viskozite terimi ise çarpışma (collisional), kinetik ve sürtünme (frictional) olmak üzere üç farklı viskozite teriminin toplamı olarak ifade edilmektedir [64].

$$\mu_k = \mu_{k,col} + \mu_{k,kin} + \mu_{k,fr} \quad (3.11)$$

Katı faz için yazılan viskozitenin ilk ve ikinci terimi olan çarpışma viskozitesi (collisional viscosity) ve kinetik viskozite (kinetic viscosity) sırasıyla Denklem 3.12 ve 3.13 ile gösterilmektedir [65].

$$\mu_{k,col} = \frac{4}{5} \varepsilon_k^2 \rho_k d_p g_0 (1+e) \left(\frac{\Theta_k}{\pi} \right)^{1/2} \quad (3.12)$$

$$\mu_{k,kin} = \frac{10 \rho_k d_p \sqrt{\Theta_k \pi}}{96 (1+e) g_0} \cdot \left[1 + \frac{4}{5} \varepsilon_k g_0 (1+e) \right]^2 \quad (3.13)$$

Denklem 3.12 ile gösterilen çarpışma viskozitesi kömür taneciklerinin birbiri ile çarpışmalarından dolayı meydana gelen viskoz etkiyi göz önüne alırken, Denklem 3.13 ile gösterilen kinetik viskozite ise kömür taneciklerinin gaz fazı ile etkileşmesinden meydana gelen viskoz etkiyi göz önüne almaktadır [66]. Bunun yanı sıra katı fazı için tanımlanan viskozitenin son terimi olan sürtünme viskozitesi (friction viscosity) terimi Denklem 3.14 ile açıklanmaktadır [67].

$$\mu_{k,fr} = \frac{p_k \sin \phi}{2 \sqrt{I_{2D}}} \quad (3.14)$$

Katı fazı için verilen viskozite denklemlerinde yeni terimler karşımıza çıkmıştır. Bu terimler aşağıda açıklanmaktadır.

d_p : Tanecik çapı [m]

g_0 : Radyal dağılım fonksiyonu (radial distribution function)

e : Düzeltme katsayısı (coefficient of restitution)

Θ_k : Tanecik için sahte sıcaklık (granular temperature) [m^2/s^2]

ϕ : Dahili sürtünme açısı (angle of internal friction)

I_{2D} : Gerilim tensörünün ikincil değişimsiz terimi (second invariant of the deviatoric stress tensor)

p_k : Katı tanecik basıncı [Pa]

Radyal dağılım fonksiyonu (g_0) Denklem 3.15 ile açıklanmaktadır [65].

$$g_0 = \left[1 - \left(\frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_{k,max}} \right)^{1/3} \right]^{-1} \quad (3.15)$$

Radyal dağılım fonksiyonu akış içindeki parçacıkların çarpışma durumunu istatistik açıdan düzenleyen bir fonksiyondur [36]. Düzeltme katsayısı (e) ise değeri 1 ile 0 arasında olan bir sayıdır. Değerinin 1 olması taneciklerin tam elastik olduğu ve değerinin 0 olması da taneciklerin elastik olmadıkları anlamına gelmektedir

[68]. Ayrıca bu katsayı akışkan yatakta baloncuk oluşmasını etkilemektedir [69]. Düzeltme katsayısı taneciklerin çarpışmasından dolayı kaybettikleri enerjinin de bir göstergesidir. Değerinin 0 olması taneciklerin birbiri ile çarpışmasından dolayı kaybettikleri enerjinin yüksek olduğunu gösterirken değerinin 1 olması ise kaybedilen enerjinin düşük olduğunu göstermektedir [70]. Araştırmacılar düzeltme katsayısının değerinin modelleme üzerinde kritik bir etki yaratmadığını deneysel veriler ile de karşılaştırarak göstermişlerdir [71, 72]. Bu nedenle bu çalışmada, düzeltme katsayısının değeri literatürde yoğunlukla karşılaşılan bir değer olan 0.9 olarak alınmıştır [68]. Katı fazı için tanımlanan viskozite teriminde yer alan diğer bir önemli terim ise tanecik için sahte sıcaklık (granular temperature) terimidir. Bu terimin açıklaması Denklem 3.16 ile verilmektedir [73].

$$\Theta_k = \frac{1}{3} \bar{C}^2 \quad (3.16)$$

Burada \bar{C} tanecik dalgalanma hızını (particle velocity fluctuation) göstermektedir [74]. Tanecik sahte sıcaklık teriminin aktarım denklemi kinetik teori kullanılarak elde edilmektedir. Denklem 3.17 ile tanecik sahte sıcaklık terimi (granular temperature) açıklanmaktadır [74].

$$\frac{3}{2} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\rho_k \varepsilon_k \Theta_k) + \nabla \cdot (\rho_k \varepsilon_k \vec{v}_k \Theta_k) \right] = \left(-p_k \bar{I} + \bar{\tau}_k \right) : \vec{v}_k + \nabla \cdot (k_{\Theta_k} \nabla \Theta_k) - \gamma_{\Theta_k} + \phi_{gk} \quad (3.17)$$

Ayrıca Denklem 3.17 ile verilen denklemin diğer bir adı ise kinetik dalgalanma (kinetic fluctuation) denklemidir [72]. Denklem 3.17 ile karşılaşılan yeni terimlerin açıklaması aşağıda yer almaktadır.

k_{Θ_k} : Tanecik enerjisi için yayılım (diffusion) katsayısı [J/kg]

γ_{Θ_k} : Tanecik çarpışmalarından dolayı kaybolan enerji (collisional dissipation of energy) [J]

ϕ_{gk} : Tanecik ve gaz fazı arasında gerçekleşen kinetik enerji transferi [J]

Bu terimlerin teker teker açıklaması yapıldıktan sonra kinetik dalgalanma denkleminin (Denklem 3.17) sol tarafındaki terimlerin fiziksel anlamı aşağıda açıklanmaktadır.

$\left(\left(-p_k \bar{I} + \bar{\tau}_k \right) : \vec{v}_k \right)$: Taneciklerin birbiri ile etkileşiminden dolayı (çarpışma, viskoz etkiler gibi) üretilen kinetik dalgalanma enerjisini (kinetic fluctuation energy) göstermektedir [75].

$\nabla \cdot (k_{\Theta_k} \nabla \Theta_k)$: Kinetik dalgalanma enerjisinin iletimle taşınmasını göstermektedir [75].

Şimdi kinetik dalgalanma denkleminde karşılaşılan terimlerin denklemleri yazılacaktır. Öncelikle Denklem 3.18 ile tanecik enerjisi için yayılım katsayısının denklemini gösterilmektedir [19].

$$k_{\Theta_k} = \frac{150\rho_k d_p \sqrt{\Theta_k \pi}}{384(1+e)g_0} \left[1 + \frac{6}{5}\varepsilon_k g_0(1+e) \right]^2 + 2\rho_k \varepsilon_k^2 d_p (1+e) g_0 \sqrt{\frac{\Theta_k}{\pi}} \quad (3.18)$$

Tanecik çarpışmalarından dolayı kaybolan enerjiyi gösteren terimin denklemini Denklem 3.19 ile verilmektedir [76,77].

$$\gamma_{\Theta_k} = \frac{12(1-e^2)g_0}{d_p \sqrt{\pi}} \rho_k \varepsilon_k^2 \Theta_k^{3/2} \quad (3.19)$$

Kinetik dalgalanma denkleminin (Denklem 3.17) en sağında yer alan ve açıklaması Denklem 3.20 ile verilen son terim ise tanecik ve gaz fazı arasında gerçekleşen kinetik enerji transferi terimidir [19].

$$\phi_{gk} = -3K_{mt}\Theta_k \quad (3.20)$$

Katı faz denkleminde yer alan sürtünme viskozitesi ifadesindeki (Bakınız Denklem 3.14) gerilim tensörünün ikincil değişimsiz teriminin (I_{2D}) açıklaması yapılarak katı fazı için yazılan viskozite denklemindeki tüm iç içe geçmiş bilinmeyen terimlerin denklemleri tanımlanmış olacaktır [78].

$$I_{2D} = \frac{1}{6} \left[(D_{xx} - D_{yy})^2 + (D_{yy} - D_{zz})^2 + (D_{zz} - D_{xx})^2 \right] + D_{xy}^2 + D_{yz}^2 + D_{zx}^2 \quad (3.21)$$

Denklem 3.21'de yer alan D_{ij} teriminin açıklaması Denklem 3.22 ile gösterilmektedir.

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \left[\nabla \vec{v}_k + (\nabla \vec{v}_k)^T \right] \quad (3.22)$$

Böylece Denklem 3.22 ile katı fazının viskozitesi denklemindeki (Denklem 3.11) iç içe geçmiş tüm terimler açıklanmıştır.

Katı fazı için tanımlanan ve Denklem 3.9 ile gösterilen gerilim tensörü denkleminde yer alan yığın viskozite terimi (bulk viscosity) Denklem 3.23 ile gösterildiği şekildedir [65].

$$\xi_k = \frac{4}{3} \varepsilon_k^2 d_p \rho_k g_0 (1+e) \left(\frac{\Theta_k}{\pi} \right)^{1/2} \quad (3.23)$$

Denklem 3.23 ile gösterilen katı faz için yazılmış yığın viskozite denklemindeki her terimin ayrıntılı açıklaması önceki sayfalarda yapılmıştır. Yığın viskozite denkleminin verilmesi ile katı faz için yazılan gerilim tensörü denkleminin (Denklem 3.9)

tamamen açıklamış olmaktadır. Momentum denkleminde (Denklem 3.7) katı faz için basınç terimi (p_k) bulunmaktadır. Katı tanecik fazı için kinetik teori katı basıncını tanımlamaktadır. Katı basıncının tanımı Denklem 3.24 ile gösterilmektedir [65].

$$p_k = \varepsilon_k \rho_k \Theta_k + 2\rho_k(1+e)\varepsilon_k^2 g_0 \Theta_k \quad (3.24)$$

Katı tanecik basıncı, taneciklerin birbiri ile etkileşiminden meydana gelen kuvvetlerin neden olduğu etkiyi tanımlamaktadır. Bu terim tanecikli akış için geliştirilen kinetik teoriyi temel almaktadır [19]. Katı tanecik basıncı tanımlanırken tanecikler arası çarpışmanın etkisi de göz önüne alınmıştır. Katı basınç teriminde yer alan tüm terimler daha önceki sayfalarda açıklanmıştır. Son olarak momentum denklemlerinde (Denklem 3.6 ve 3.7) açıklanmayan tek bir terim kalmıştır. Bu terim de gaz fazı ile katı fazı arasındaki sürüklenme direnci katsayısı (K_{mt}) terimidir. Bu terim gaz fazı hacim oranına göre iki farklı denklem olarak Denklem 3.25 ile tanımlanmaktadır [64, 79].

$$K_{mt} = \begin{cases} \frac{150\varepsilon_k^2 \mu_g}{\varepsilon_g d_p^2} + 1.75 \frac{\varepsilon_k \rho_g |\vec{v}_g - \vec{v}_k|}{d_p}, & \varepsilon_g \leq 0.8 \\ \frac{3}{4} C_D \frac{\varepsilon_k \varepsilon_g \rho_g |\vec{v}_k - \vec{v}_g|}{d_p} \varepsilon_g^{-2.65}, & \varepsilon_g > 0.8 \end{cases} \quad (3.25)$$

Denklem 3.25'de yer alan sürüklenme katsayısı (C_D , drag coefficient) ise Denklem 3.26 ile gösterildiği gibi tanımlanmaktadır [79].

$$C_D = \begin{cases} \frac{24}{\varepsilon_g Re_k} \left[1 + 0.15(\varepsilon_g Re_k)^{0.687} \right], & Re_k < 1000 \\ 0.44, & Re_k \geq 1000 \end{cases} \quad (3.26)$$

Denklem 3.26 ile açıklanan sürüklenme katsayısının içinde yer alan katı faz için Reynolds (Re_k) sayısı Denklem 3.27 ile tanımlanmaktadır [79].

$$Re_k = \frac{\rho_g d_p |\vec{v}_k - \vec{v}_g|}{\mu_g} \quad (3.27)$$

Gaz fazı ile katı fazı arasındaki sürüklenme direnci katsayısı (K_{mt}) teriminin açıklanması ile momentum denklemlerinde (Denklem 3.6 ve 3.7) yer alan tüm terimler açıklanmış olmaktadır. Denklemlerin iç içe geçmesinden dolayı momentum denklemleri (Denklem 3.6 ve 3.7) karmaşık bir hal almaktadır. Bu nedenle momentum denklemlerinin ve onu tamamlayan denklemlerin özeti Çizelge 3.1 ile verilmektedir.

Çizelge 3.1 : Momentum denklemlerinin özeti.

MOMENTUM DENKLEMLERİ

Gaz Fazı

$$\frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_g \rho_g \vec{v}_g) + \nabla \cdot (\varepsilon_g \rho_g \vec{v}_g \vec{v}_g) = -\varepsilon_g \nabla p + \nabla \cdot \bar{\tau}_g + \varepsilon_g \rho_g \vec{g} + K_{mt} (\vec{v}_g - \vec{v}_k) + S_{kg} \vec{v}_k$$

Katı Fazı

$$\frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_k \rho_k \vec{v}_k) + \nabla \cdot (\varepsilon_k \rho_k \vec{v}_k \vec{v}_k) = -\varepsilon_k \nabla p - \nabla p_k + \nabla \cdot \bar{\tau}_k + \varepsilon_k \rho_k \vec{g} + K_{mt} (\vec{v}_k - \vec{v}_g) + S_{gk} \vec{v}_k + \vec{F}_k$$

Tamamlayıcı Denklemler 1

Gaz fazı için gerilim tansörü

$$\bar{\tau}_g = \varepsilon_g \mu_g \left[\left(\nabla \vec{v}_g + (\nabla \vec{v}_g)^T \right) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}_g) \bar{I} \right]$$

Katı fazı için gerilim tansörü

$$\bar{\tau}_k = \varepsilon_k \left[\mu_k \left(\nabla \vec{v}_k + (\nabla \vec{v}_k)^T \right) + \left(\xi_k - \frac{2}{3} \mu_k \right) (\nabla \cdot \vec{v}_k) \bar{I} \right]$$

Katı basıncı

$$p_k = \varepsilon_k \rho_k \Theta_k + 2 \rho_k (1 + e) \varepsilon_k^2 g_0 \Theta_k$$

Gaz fazı ile katı faz arasındaki sürüklenme direnci katsayısı

$$K_{mt} = \begin{cases} \frac{150 \varepsilon_k^2 \mu_g}{\varepsilon_g d_p^2} + 1.75 \frac{\varepsilon_k \rho_g |\vec{v}_g - \vec{v}_k|}{d_p}, & \varepsilon_g \leq 0.8 \\ \frac{3}{4} C_D \frac{\varepsilon_k \varepsilon_g \rho_g |\vec{v}_k - \vec{v}_g|}{d_p} \varepsilon_g^{-2.65}, & \varepsilon_g > 0.8 \end{cases}$$

Sürüklenme katsayısı

$$C_D = \begin{cases} \frac{24}{\varepsilon_g Re_k} \left[1 + 0.15 (\varepsilon_g Re_k)^{0.687} \right], & Re_k < 1000 \\ 0.44, & Re_k \geq 1000 \end{cases}$$

Katı faz için Reynolds sayısı

$$Re_k = \frac{\rho_g d_p |\vec{v}_k - \vec{v}_g|}{\mu_g}$$

Tamamlayıcı Denklemler 2

Yığın viskozite

$$\xi_k = \frac{4}{3} \varepsilon_k^2 d_p \rho_k g_0 (1 + e) \left(\frac{\Theta_k}{\pi} \right)^{1/2}$$

Gaz fazı için viskozite

$$\mu_g = \mu_{g,l} + \mu_{g,t}$$

Katı fazı için viskozite

$$\mu_k = \mu_{k,col} + \mu_{k,kin} + \mu_{k,fr}$$

$$\mu_{k,col} = \frac{4}{5} \varepsilon_k^2 \rho_k d_p g_0 (1 + e) \left(\frac{\Theta_k}{\pi} \right)^{1/2}$$

$$\mu_{k,kin} = \frac{10 \rho_k d_p \sqrt{\Theta_k \pi}}{96(1+e)g_0} \cdot \left[1 + \frac{4}{5} \varepsilon_k g_0 (1 + e) \right]^2$$

$$\mu_{k,fr} = \frac{p_k \sin \phi}{2 \sqrt{I_{2D}}}$$

$$I_{2D} = \frac{1}{6} \left[(D_{xx} - D_{yy})^2 + (D_{yy} - D_{zz})^2 + (D_{zz} - D_{xx})^2 \right] + D_{xy}^2 + D_{yz}^2 + D_{zx}^2$$

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \left[\nabla \vec{v}_k + (\nabla \vec{v}_k)^T \right]$$

Çizelge 3.1 (devam) : Momentum denklemlerinin özeti.

Tamamlayıcı Denklemler 3

Tanecik için sahte sıcaklık

$$\Theta_k = \frac{1}{3}\bar{C}^2$$

Kinetik dalgalanma denklemi

$$\frac{3}{2} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\rho_k \varepsilon_k \Theta_k) + \nabla \cdot (\rho_k \varepsilon_k \vec{v}_k \Theta_k) \right] = \left(-p_k \bar{I} + \bar{\tau}_k \right) : \vec{v}_k + \nabla \cdot (k_{\Theta_k} \nabla \Theta_k) - \gamma_{\Theta_k} + \phi_{gk}$$

Tanecik enerjisi için iletim katsayısı

$$k_{\Theta_k} = \frac{150\rho_k d_p \sqrt{\Theta_k \pi}}{384(1+e)g_0} \left[1 + \frac{6}{5}\varepsilon_k g_0 (1+e) \right]^2 + 2\rho_k \varepsilon_k^2 d_p (1+e) g_0 \sqrt{\frac{\Theta_k}{\Pi}}$$

Tanecik çarpışmalarından dolayı kaybolan enerji

$$\gamma_{\Theta_k} = \frac{12(1-e^2)g_0}{d_p \sqrt{\pi}} \rho_k \varepsilon_k^2 \Theta_k^{3/2}$$

Tanecik ve gaz fazı arasında gerçekleşen kinetik enerji transferi

$$\phi_{gk} = -3K_{mt} \Theta_k$$

Radyal dağılım fonksiyonu

$$g_0 = \left[1 - \left(\frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_{k,max}} \right)^{1/3} \right]^{-1}$$

3.1.3 Türbülans modeli

Bu çalışmada $k - \varepsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır. Türbülans modelleri arasından $k - \varepsilon$ modeli hem kabarcıklı hem de dolaşımli akışkan yatak gazlaştırıcılarda sıkça kullanılan modellerden birisidir [40, 72, 80, 81]. İki fazlı akış problemleri için ANSYS Fluent [68] paket programı üç farklı $k - \varepsilon$ türbülans modeli seçeneği sunmaktadır. Bunlar sırasıyla $k - \varepsilon$ karışım türbülans modeli ($k - \varepsilon$ mixing turbulence model), $k - \varepsilon$ ayrık türbülans modeli ($k - \varepsilon$ dispersed turbulence model) ve her bir faz için $k - \varepsilon$ türbülans modeli ($k - \varepsilon$ turbulence model for each phase) olarak isimlendirilmektedir [68]. Bu üç modelden birincisi olan model ($k - \varepsilon$ karışım türbülans modeli) hem kabarcıklı hem de dolaşımli akışkan yatak için uygun bir model değildir [68]. Bunun nedeni bu modelin katı fazın seyrek olduğu gazlaştırma durumlarında kullanılabilir olmasından kaynaklanmaktadır. Kabarcıklı ve dolaşımli akışkan yatakta katı taneciğin hacim oranının yüksek olmasından dolayı $k - \varepsilon$ karışım türbülans modeli bu çalışma için uygun değildir.

Diğer iki modelin ise bu çalışma için uygun modeller olduğunu literatürdeki birçok çalışma ile kanıtlamıştır [24, 49, 54, 82–84]. Ancak her bir faz için ayrı ayrı türbülans denklemlerinin yazıldığı ve çözüldüğü model olan üçüncü model (her bir faz için $k - \varepsilon$ türbülans modeli) bilgisayar zamanı açısından çözümlemelere oldukça fazla yük

getirmektedir [68]. İkinci model ($k - \varepsilon$ ayrık türbülans modeli) literatürde birçok çalışma için kullanılmış ve deneysel veriler ile de iyi uyduğu görülmüştür [36, 49]. Birçok parametrik çalışma yapılacağından bilgisayar zamanının önemi büyüktür. Bu nedenle de bu çalışmada $k - \varepsilon$ ayrık türbülans modeli seçilmiştir.

Denklem 3.28 ve 3.29 sırasıyla türbülanslı kinetik enerjinin (turbulent kinetic energy, k_t) ve türbülanslı kinetik enerji kaybolma miktarının (turbulent kinetic energy dissipation rate, ε_t) denklemleri verilmektedir [48].

$$\frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_g \rho_g k_t) + \nabla \cdot (\varepsilon_g \rho_g \vec{v}_g k_t) = \nabla \cdot \left[\varepsilon_g \left(\mu_{g,l} + \frac{\mu_{g,t}}{\sigma_k} \right) \nabla k_t \right] + \varepsilon_g G_k - \varepsilon_g \rho_g \varepsilon_t \quad (3.28)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_g \rho_g \varepsilon_t) + \nabla \cdot (\varepsilon_g \rho_g \vec{v}_g \varepsilon_t) = \nabla \cdot \left[\varepsilon_g \left(\mu_{g,l} + \frac{\mu_{g,t}}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon_t \right] + \frac{\varepsilon_g \varepsilon_t}{k_t} (C_{1\varepsilon} G_k - C_{2\varepsilon} \rho_g \varepsilon_t) \quad (3.29)$$

Denklem 3.28 ve 3.29 ile anlaşıldığı üzere $k - \varepsilon$ ayrık türbülans modelinde sadece gaz fazı için türbülans denklemleri yazılmaktadır. Katı fazın laminar olduğu kabulü yapılmaktadır. Türbülans modelinde yer alan katsayıların değeri $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$ ve $\sigma_\varepsilon = 1.3$ olarak alınmıştır [24]. Ayrıca Denklem 3.28'de yer alan σ_k terimi k_t için türbülanslı Prandtl sayısını ve σ_ε terimi de ε_t için türbülanslı Prandtl sayısını göstermektedir. Denklem 3.28 ve 3.29'da yer alan gaz fazı için türbülans viskozitesi Denklem 3.30 ile açıklanmaktadır [36, 68].

$$\mu_{g,t} = \rho_g C_\mu \frac{k_t^2}{\varepsilon} \quad (3.30)$$

Denklem 3.30'da yer alan C_μ sabit teriminin değeri 0.09 olarak alınmıştır [24]. Akışın hız gradyanlarından kaynaklanan türbülanslı kinetik enerji üretimini gösteren ve Denklem 3.28 ve 3.29'da yer alan G_k teriminin açıklaması Denklem 3.31 ile gösterilmektedir [48, 68, 82].

$$G_k = -\rho_g \overline{v_i' v_j'} \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \quad (3.31)$$

Denklem 3.31'de yer alan ilk çarpanın ($-\rho_g \overline{v_i' v_j'}$) açık hali Denklem 3.32 ile verilmektedir.

$$-\rho_g \overline{v_i' v_j'} = \mu_{g,t} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho_g k_t \delta_{ij} \quad (3.32)$$

Ayrıca G_k terimi Denklem 3.33 ile gösterildiği şekilde de yazılabilmektedir [24, 49].

$$G_k = \mu_{g,t} \nabla \vec{v}_g \cdot \left[\nabla \vec{v}_g + (\nabla \vec{v}_g)^T \right] - \frac{2}{3} \nabla \vec{v}_g \left(\mu_{g,t} \nabla \vec{v}_g + \rho_g k_t \right) \quad (3.33)$$

Denklem 3.31 ve 3.33 aynı terimi ifade eden farklı yazılmış iki denklemdir. Bu iki denklem birbirinden türetilmektedir.

3.1.4 Enerji korunumu denklemi

Enerji korunumu denklemleri sırasıyla gaz fazı ve katı fazı için Denklem 3.34 ve 3.35 ile gösterildiği gibi yazılmaktadır [85, 86].

$$\frac{\partial}{\partial t} (\epsilon_g \rho_g h_g) + \nabla \cdot (\epsilon_g \rho_g \vec{v}_g h_g) = -\epsilon_g \frac{\partial p_g}{\partial t} + \bar{\tau}_g : \nabla (\vec{v}_g) - \nabla \cdot \vec{q}_g + Q_{kg} + S_{R,het} + S_{R,hom} \quad (3.34)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\epsilon_k \rho_k h_k) + \nabla \cdot (\epsilon_k \rho_k \vec{v}_k h_k) = -\epsilon_k \frac{\partial p_k}{\partial t} + \bar{\tau}_k : \nabla (\vec{v}_k) - \nabla \cdot \vec{q}_k + Q_{gk} \quad (3.35)$$

Denklem 3.34 ve 3.35'de yer alan h_g ve h_k sırasıyla gaz ve katı fazları için özgül entalpiyi göstermektedir. Ayrıca \vec{q}_g ve \vec{q}_k sırasıyla gaz ve katı fazı için ısı akısını ifade etmektedir. Enerji korunum denklemlerinde yer alan Q_{gk} ve Q_{kg} terimleri fazlar arasında gerçekleşen ısı transferini göstermektedir.

Enerji denklemlerinde (Denklem 3.34 ve 3.35) yer alan özgül entalpiler (h_g ve h_k) Denklem 3.36 ile gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır [49].

$$h_{g(k)} = \sum_i^n Y_i h_i \quad (3.36)$$

Denklem 3.36'da yer alan Y_i ve h_i terimleri sırasıyla her bir bileşenin kütle oranını ve karışımdaki her bir kimyasal bileşenin özgül entalpisini göstermektedir. Fazlar arasında gerçekleşen ısı transferi terimlerinden Q_{kg} ve Q_{gk} sırasıyla katı fazından gaz fazına ve gaz fazından katı fazına birim zamanda birim hacim başına geçen enerjiyi ifade etmektedir. Bu terimlerin açıklaması ise Denklem 3.37 ile gösterilmektedir.

$$Q_{kg} = -Q_{gk} = h_{ft} A_i (T_k - T_g) \quad (3.37)$$

Denklem 3.37'de yer alan h_{ft} fazlar arasında meydana gelen ısı taşınım katsayısını, A_i ara yüzey alanını (interfacial area) göstermektedir. Bu terimlerin açıklaması Denklem 3.38 ve 3.39 ile yapılmaktadır.

$$h_{ft} = \frac{k_g Nu_k}{d_p} \quad (3.38)$$

$$A_i = \frac{6\varepsilon_g \varepsilon_k}{d_p} \quad (3.39)$$

Fazlar arasındaki ısı taşınım katsayısının denkleminde (Denklem 3.38) yer alan Nusselt Nu_k sayısı ise Denklem 3.40 ile gösterildiği gibi tanımlanmaktadır [87].

$$Nu_k = (7 - 10\varepsilon_g + 5\varepsilon_g^2) \left(1 + 0.7Re_k^{0.2}Pr^{1/3}\right) + (1.33 - 2.4\varepsilon_g + 1.2\varepsilon_g^2) Re_k^{0.7}Pr^{1/3} \quad (3.40)$$

Denklem 3.40 ile gösterilen Nu_k denkleminde yer alan katı faz için Reynolds sayısı daha önce açıklamıştır (Bakınız Denklem 3.27, sayfa 30). Denklem 3.40'da bulunan Pr sayısı ise gaz fazı için Denklem 3.41 ile gösterildiği gibi ifade edilmektedir [36].

$$Pr = \frac{\mu_g c_{p,g}}{k_g} \quad (3.41)$$

Denklem 3.41'de yer alan $c_{p,g}$ terimi özgül ısıyı, μ_g terimi dinamik viskoziteyi ve k_g terimi ısı iletim katsayısını ifade etmektedir. Gaz fazı için ısı iletim katsayısı ideal gaz kabulü yapılarak Denklem 3.42'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır [88].

$$k_g = \sum_{i=1}^n \frac{X_i k_i}{\sum_{i \neq j} X_j \phi_{ij}} \quad (3.42)$$

Denklem 3.42'de yer alan X_i terimi mol oranı (molar fraction) temsil etmektedir ve Denklem 3.42'de yer alan ϕ_{ij} teriminin denklemi ise Denklem 3.43 ile verilmektedir.

$$\phi_{ij} = \frac{\left[1 + \left(\frac{\mu_i}{\mu_j}\right)^{1/2} \left(\frac{M_j}{M_i}\right)^{1/4}\right]}{\left[8 \left(1 + \frac{M_i}{M_j}\right)\right]^{1/2}} \quad (3.43)$$

3.2 Kimyasal Reaksiyonlar

Bu bölümde modelde kullanılan kimyasal reaksiyonlar ile ilgili bilgi verilecektir. Öncelikle gaz bileşenleri için korunum denklemi ardında da gazlaştırma için çok önemli olan uçucu maddenin kömürden çıkışı için literatürde yer alan modeller ile ilgili bilgi verilecektir. Doktora tezinde, literatürde yer alan uçucu maddenin çıkışı için önerilen modeller arasından en kapsamlı model olan CPD (chemical percolation devolatilization) modeli seçilmiştir. CPD modelinin kullanılabilmesi için iki türlü parametre tipine ihtiyaç vardır. Bu parametrelerin bir kısmı kömür tipine bağlı bir kısmı da kömür tipinden bağımsız parametrelerdir. CPD modelde kömür tipine bağlı parametrelerin belirlenmesi için kapsamlı bir kömür testi olan NMR (Nuclear

Magnetic Resonance, Nükleer Manyetik Rezonans) testinin sonuçlarına ihtiyaç vardır. NMR testinin kapsamlı ve bu nedenle de yapılması zor bir test olmasından dolayı araştırmacılar NMR testi sonuçlarının yerine kömürün yaklaşık (proximate) ve kesin (ultimate) analiz sonuçlarını kullanan korelasyonlar geliştirmişlerdir. Bu korelasyonlar ile ulaşılması kolay yaklaşık ve kesin analiz sonuçları kullanılarak CPD model için gerekli kömür tipine bağlı parametreler hesaplanabilmektedir. Bu doktora tezinde literatürde yer alan korelasyonların gerek veri sayısı gerekse de regresyon katsayısı (coefficient of determination, R^2) değerleri arttırılmış ve böylece de korelasyonların kapsamı geliştirilmiştir. CPD parametreleri için geliştirilen korelasyonlar başlığı altında yeni korelasyonlar ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Son olarak bu bölümün sonunda sırasıyla kömürden uçucu maddenin çıkışı, heterojen ve homojen reaksiyon modelleri ile ilgili kapsamlı açıklamalar yapılmıştır.

3.2.1 Gaz bileşenlerinin korunum denklemi

Gaz fazındaki bileşenlerin korunum denklemi Denklem 3.44 ile gösterildiği şekildedir [89].

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_g \varepsilon_g Y_{g,i}) + \nabla \cdot (\rho_g \varepsilon_g \vec{v}_g Y_{g,i}) = -\nabla \cdot \varepsilon_g \vec{J}_{g,i} + \varepsilon_g R_{g,i} + R_{k,i} \quad (3.44)$$

Denklem 3.44'te yer alan $Y_{g,i}$ terimi gaz fazında yer alan her bir i bileşeninin kütle oranını (mass fraction) göstermektedir. Ayrıca $R_{g,i}$ ve $R_{k,i}$ terimleri sırasıyla homojen ve heterojen reaksiyonlar sonucu her bir i gaz bileşeninin birim zamanda net üretim miktarını (net production rate of species) göstermektedir. Denklem 3.44'te yer alan diğer bir terim olan $\vec{J}_{g,i}$ ise her bir bileşen için bileşenlerin yayılım akısını (diffusion flux of species) ifade etmektedir. Bu terim akışın laminar veya türbülanslı olmasına göre değişmektedir. Bu çalışmada akışın türbülanslı olmasından dolayı bileşenlerin yayılım akısı denklemi Denklem 3.45 ile gösterildiği şekilde yazılmaktadır [36].

$$\vec{J}_i = - \left(\rho_g D_{i,m} + \frac{\mu_{g,t}}{Sc_t} \right) \nabla Y_{g,i} - D_{T,i} \frac{\nabla T}{T} \quad (3.45)$$

Denklem 3.45'te yer alan $D_{i,m}$ terimi her bir bileşen için kütle yayılım katsayısını (mass diffusion coefficient) göstermektedir. Ayrıca $D_{T,i}$ terimi ise her bir bileşen için ısı yayılım katsayısını (thermal diffusion coefficient) belirtmektedir. Kütle yayılım katsayısı Denklem 3.46 ile gösterilmektedir [49].

$$D_{i,m} = \frac{1 - X_i}{\sum_{j,j \neq i} (X_j / D_{ij})} \quad (3.46)$$

Denklem 3.46'da yer alan X_i terimi her bir bileşen için mol oranını (molar fraction) göstermektedir. Termal yayılım katsayısı ise Denklem 3.47 ile gösterildiği şekilde alınmıştır [68].

$$D_{T,i} = -2.59 \cdot 10^{-7} \cdot T_g^{0.659} \left[\frac{M_{w,i}^{0.511} X_i}{\sum_{i=1}^N M_{w,i}^{0.511} X_i} - Y_i \right] \cdot \left[\frac{\sum_{i=1}^N M_{w,i}^{0.511} X_i}{\sum_{i=1}^N M_{w,i}^{0.489} X_i} \right] \quad (3.47)$$

Son olarak yayılım akısı denkleminde (Denklem 3.45) yer alan türbülanslı Schmidt sayısı Denklem 3.48 ile gösterildiği gibi yazılmaktadır.

$$Sc_t = \frac{\mu_{g,t}}{\rho D_t} \quad (3.48)$$

Denklem 3.48 ile tanımlanan Schmidt sayısının değeri doktora tezinde 0.7 olarak alınmıştır [24, 36, 49].

3.2.2 Literatürdeki uçucu madde çıkış modelleri

Kömürün içinde yer alan uçucu madde, kömürün yatakta belirli bir sıcaklığa ulaşması ile kömürden ayrılmaktadır. Literatürde uçucu maddenin kömürden ayrılmasının modellenmesi çoğunlukla dört farklı model kullanılarak yapılmıştır. Bu modeller sırasıyla sabit hızlı uçucu madde çıkışı modeli (constant rate devolatilization model), tek kinetik hız modeli (single kinetic rate model), iki rakipli hız modeli (two competing rates model) ve CPD modeli (chemical percolation devolatilization model) şeklinde isimlendirilmektedir.

Sabit hızla uçucu madde çıkışı modeli Pillai [90] tarafından geliştirilmiştir. Pillai [90] çalışmasında uçucu madde çıkışının çok hızlı gerçekleştiğini ifade etmiştir. Çalışmasında birçok kömür için kömür çapının yaklaşık 0.5 mm değerine sahip olduğu durumda, uçucu maddenin kömürden ayrılma süresinin 2 saniyenin altında olduğunu söylemiştir. Ayrıca kömür çapının küçülmesi ile uçucu maddenin çıkışının daha da hızlandığını da çalışmasında belirtmiştir. Bu modeli kullanarak akışkan yatakta kömürün veya biyokütlenin gazlaştırılmasının çalışıldığı makalelerde, bu modelin bilgisayar zamanını düşürmesi açısından faydalı olduğu vurgulanmaktadır [48, 49, 88, 89].

İkinci model olan tek kinetik hız modelinde uçucu maddenin kömürden çıkış hızı Denklem 3.49 ile ifade edilmektedir [53].

$$-\frac{dm_p}{dt} = k [m_p - (1 - f_{v,0})(1 - f_{w,0})m_{p,0}] \quad (3.49)$$

Denklem 3.49'da yer alan terimler aşağıda açıklanmaktadır.

m_p : Kömür tanecik kütlesi [kg]

$f_{v,0}$: Kömür içindeki uçucu maddenin başlangıçtaki kütle oranı (mass fraction)

$f_{w,0}$: Kömür içinde yer alan nemim başlangıçtaki kütle oranı

$m_{p,0}$: Başlangıçtaki kömür tanecik kütlesi [kg]

k : Kinetik hız [1/s]

Bu modelde kinetik hız Arrhenius denklemi ile tanımlanmakta ve Denklem 3.50 ile gösterildiği şekilde yazılmaktadır.

$$k = A \cdot e^{-(E/RT)} \quad (3.50)$$

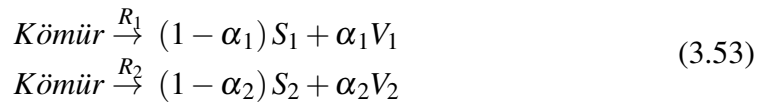
Denklem 3.50'de yer alan ön-üstel faktörü (pre-exponential factor) ve aktivasyon enerjisi sırasıyla $A = 4.92 \times 10^5$ ve $E = 7.4 \times 10^7 [J/kmol]$ değerlerinde alınmaktadır [91, 92]. Bu değerler deneysel verilerin analizi ile elde edilmiş ampirik değerlerdir. Bu modeli kullanan literatürde değişik çalışmalar yer almaktadır [37, 48, 59, 89].

Üçüncü model olan iki rakipli hız modeli Kobayashi ve diğ. [93] tarafından geliştirilmiş ve uçucu maddenin kömürden çıkış hızını düşük ve yüksek sıcaklıklarda farklı şekillerde modellemişlerdir. Birbirine rakip olan iki tane uçucu madde çıkış hızı Denklem 3.51 ve 3.52 ile gösterildiği şekilde tanımlanmaktadır.

$$R_1 = A_1 \exp[-E_1/RT_p] \quad (3.51)$$

$$R_2 = A_2 \exp[-E_2/RT_p] \quad (3.52)$$

İki rakipli hız modelinde tanımlanan reaksiyon hızları kullanılarak kömürün düşük ve yüksek sıcaklıkta olmasına göre Denklem 3.53 ile gösterildiği gibi iki farklı uçucu madde üretimi tanımlanmaktadır.



Denklem 3.53'te yer alan terimlerin açıklaması aşağıdaki gibidir:

α_1, α_2 : Etki katsayıları

S_1, S_2 : Reaksiyona girmemiş kömür taneciği (char)

V_1, V_2 : Reaksiyon sonucu kömürden çıkan uçucu madde (volatile)

T_p : Kömür taneciğinin sıcaklığı (Denklem 3.51 ve 3.52) [K]

Birinci reaksiyon düşük sıcaklıkta gerçekleşirken, ikinci reaksiyon ise daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmektedir [39]. Reaksiyon hızları R_1 ve R_2 uçucu maddenin farklı sıcaklıklarda kömürden çıkışını kontrol etmektedir. Bu kinetik hızlara bağlı olarak oluşan uçucu madde çıkışı Denklem 3.54 ile gösterilmektedir [93].

$$\frac{m_v(t)}{(1 - f_{w,0})m_{p,0} - m_a} = \int_0^t (\alpha_1 R_1 + \alpha_2 R_2) \exp\left(-\int_0^t (R_1 + R_2) dt\right) dt \quad (3.54)$$

Denklem 3.54'te yer alan terimler aşağıda açıklanmaktadır:

$m_v(t)$: Zaman içinde üretilen uçucu madde kütlesi [kg]

$m_{p,0}$: Başlangıç anındaki kömür taneciğinin kütlesi [kg]

m_a : Kömür taneciğindeki kül (ash) miktarı [kg]

Kobayashi ve diğ. [93] tarafından geliştirilen bu modelde gerekli olan parametreler birçok literatür çalışmasında karşılaştığı üzere aşağıda gösterildiği gibi seçilmektedir [24, 39, 94–97].

$$A_1 = 2 \times 10^5 [1/s]$$

$$A_2 = 1.3 \times 10^7 [1/s]$$

$$E_1 = 104.6 [kJ/kmol]$$

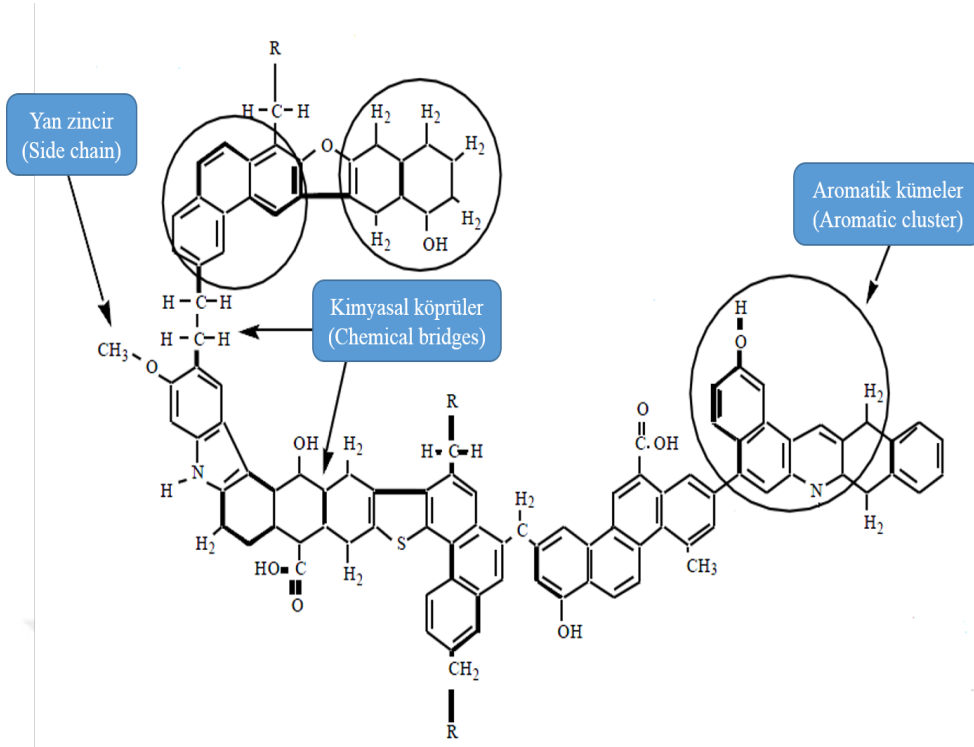
$$E_2 = 167.4 [kJ/kmol]$$

$$\alpha_1 = 0.3$$

$$\alpha_2 = 1$$

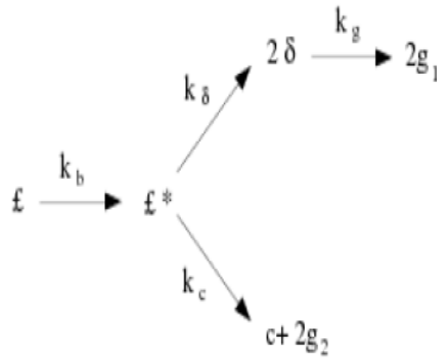
Şimdi son model olan CPD model (chemical percolation devolatilization model) ile ilgili bilgi verilecektir. Bu modelde, ısıtılan kömürde kömürün yapısında meydana gelen hem fiziksel hem de kimyasal dönüşümler göz önüne alınmaktadır [31–33].

Kömürün içinden uçucu madde çıkışı meydana gelirken kömür kafes yapısındaki aromatik kümelerin (aromatic cluster) arasındaki kararsız bağlar parçalanmaktadır. Bu parçalanma iki kısımda anlatılabilir. Birincisi, kömür içinde yer alan düşük mol kütlesine sahip bileşenlerin hafif gaz (light gas) olarak kömürden ayrılmasıdır. Diğer kısım ise daha fazla mol kütlesine sahip ve kömür içinde kalma eğilimine sahip katran (tar) bileşenini oluşturan parçalardır. Mol kütlesi fazla olan kısmın tekrardan kömür kafes yapısına eklenme eğilimi vardır. Kömürün içinden uçucu maddenin ayrılması ile karbon (char) ve kül (ash) geriye kalmaktadır. Kömür yapısındaki aromatik kümeler ve kimyasal köprüler Şekil 3.2 ile gösterilmektedir [98]. CPD modeli kömürün yapısını aromatik kümeler ile bağlantılı basitleştirilmiş kafes (lattice) veya kimyasal köprüler



Şekil 3.2 : Kömürün moleküler yapısı.

ağı (network of chemical bridges) şeklinde tanımlamaktadır. Kömür içinde yer alan aromatik kümelerin parçalanıp hafif gazların, ağır gazların, katranın, karbonun ve külün oluşumu Şekil 3.3 ile gösterilmektedir. Şekil 3.3 ile gösterilen çizimde yer alan



Şekil 3.3 : CPD modele göre kömürdeki aromatik kümelerin parçalanması.

terimlerin açıklaması aşağıda gösterildiği gibidir.

\mathcal{L} : Kömür kafes yapısındaki orijinal kararsız köprülerin sayısı (population of labile bridges)

\mathcal{L}^* : Kömürün ısıtılması sonucu reaktif hale gelen kararsız köprülerin sayısı

δ : Kömürde bulunan yan zincirlerin sayısı (population of side chains)

g_1 : Yan zincirlerden oluşan gaz (gas formed from side chains)

g_2 : Reaktif hale gelen köprülerin (\mathcal{L}^*) dengelenerek kararlı karbon (char) köprülerine

(c) dönüşmesi sırasında açığa çıkan gaz (gas formed from labile bridge stabilization to form char)

c : Karbon köprülerinin sayısı (population of char bridges)

k_b, k_δ, k_g ve k_c : Reaksiyon hız sabitleri (kinetic rate coefficient)

Şekil 3.3 ile belirtilen ayrışmalar için reaksiyon hızları tanımlanmaktadır. Reaktif hale gelen köprülerin (\mathcal{L}^*) meydana gelir gelmez parçalanmaya başladığı ($\partial\mathcal{L}^*/\partial t = 0$) kabul edilmektedir [31]. Denklem 3.55-3.59 ile sırasıyla \mathcal{L} , c , δ , g_1 ve g_2 bileşenlerinin oluşum veya tüketim hızları verilmektedir [33].

$$\frac{d\mathcal{L}}{dt} = -k_b\mathcal{L} \quad (3.55)$$

$$\frac{dc}{dt} = k_b \frac{\mathcal{L}}{\left(\frac{k_\delta}{k_c}\right) + 1} \quad (3.56)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \left[2 \left(\frac{k_\delta}{k_c}\right) k_b \frac{\mathcal{L}}{\left(\frac{k_\delta}{k_c}\right) + 1} \right] - k_g\delta \quad (3.57)$$

$$\frac{dg_1}{dt} = k_g\delta \quad (3.58)$$

$$\frac{dg_2}{dt} = 2 \frac{dc}{dt} \quad (3.59)$$

Denklem 3.55-3.59 ile verilen reaksiyon hız sabitleri (k_b ve k_g) Arrhenius formunda yazılmaktadır ve Denklem 3.60 ve 3.61 ile gösterildiği gibidir [33].

$$k_b = A_b \exp \left[\frac{-(E_b \pm V_b)}{RT} \right] \quad (3.60)$$

$$k_g = A_g \exp \left[\frac{-(E_g \pm V_g)}{RT} \right] \quad (3.61)$$

Denklem 3.60 ve 3.61'de farklı bir terim olarak karşımıza çıkan V_i (V_b ve V_g) terimi aktivasyon enerjisindeki değişimleri düzenleyen bir katsayıdır (V_i , distributed variation in the activation energy). Denklem 3.60 ve 3.61 ile gösterilen bu iki reaksiyon hızının yanı sıra k_δ ve k_c reaksiyon hız sabitleri ise Denklem 3.62'de birbirinin oranı olarak Arrhenius formunda tanımlanmaktadır [33].

$$\frac{k_\delta}{k_c} = A_{\delta c} \exp \left[\frac{-(E_{\delta c} \pm V_{\delta c})}{RT} \right] \quad (3.62)$$

Denklem 3.62’de yer alan $V_{\delta c}$ terimi aktivasyon enerjisindeki değişimleri (distributed variation in the activation energy) düzenlemek için kullanılmaktadır. Ayrıca Denklem 3.62’de yer alan diğer terimlerin açıklaması Denklem 3.63 ve 3.64 ile gösterildiği gibidir.

$$A_{\delta c} = \frac{A_{\delta}}{A_c} \quad (3.63)$$

$$E_{\delta c} = E_{\delta} - E_c \quad (3.64)$$

Denklem 3.63 ve 3.64’de yer alan A_{δ} ve A_c terimleri sırasıyla k_{δ} ve k_c reaksiyon hız sabitleri için ön-üstel frekans çarpanlarını (pre-exponential frequency factor) göstermektedir. Ayrıca Denklem 3.64’de yer alan E_{δ} ve E_c terimleri ise sırasıyla k_{δ} ve k_c reaksiyon hız sabitleri için aktivasyon enerjislerini (activation energy) göstermektedir. CPD modeldeki kütle korunum denklemleri ise Denklem 3.65-3.67 ile gösterildiği şekilde yazılmaktadır [33].

$$g = g_1 + g_2 \quad (3.65)$$

$$g_1 = 2f - \delta \quad (3.66)$$

$$g_2 = 2(c - c_0) \quad (3.67)$$

Denklem 3.65-3.67 denklemleri ile gösterilen kütle korunum denklemlerinde yer alan f terimin açık hali Denklem 3.68 ile gösterilmektedir [33].

$$f = 1 - p = 1 - (\mathcal{L} + c) \quad (3.68)$$

Denklem 3.68’de yer alan p terimi (population of intact bridges) kömür kafes yapısında yer alan (bozulmamış) toplam köprü sayısını ifade etmektedir. Ayrıca kütle korunumu denklemlerinin çözümü için gerekli olan başlangıç şartları Denklem 3.69-3.72 ile açıklanmaktadır [33].

$$c(0) = c_0 \quad (3.69)$$

$$\mathcal{L}(0) = \mathcal{L}_0 = p_0 - c_0 \quad (3.70)$$

$$\delta(0) = 2f_0 = 2(1 - c_0 - \mathcal{L}_0) \quad (3.71)$$

$$g_0 = g_1(0) = g_2(0) = 0 \quad (3.72)$$

Denklem 3.69-3.72 denklemlerinde yer alan c_0 terimi kömürdeki karbon köprülerinin başlangıçtaki sayısını, p_0 terimi gazlaştırma sonucu bozulmayan köprülerin sayısını ve ξ_0 terimi başlangıçtaki kömür kafes yapısındaki kararsız köprülerin sayısını göstermektedir. Ayrıca başlangıç şartlarındaki tüm bilinmeyenler c_0 ve ξ_0 terimleri ile ifade edilebilmektedir [33].

CPD modelde kömürün kütle oranı; hafif gazların kütle oranının (f_{gaz}), katran (tar) bölümünün kütle oranının (f_{katran}) ve karbonun kütle oranının (f_c) toplamı olarak modellenmektedir. Zamanla kömürden uçucu maddenin çıkışı ile kütle oranlarındaki değişim Denklem 3.73-3.75 denklemleri ile gösterilmektedir [33].

$$f_{gaz}(t) = \frac{r(g_1 + g_2)(\sigma + 1)}{4 + 2r(1 - c_0)(\sigma + 1)} \quad (3.73)$$

$$f_{katran}(t) = \frac{2[\Phi F(p) + r\Omega K(p)]}{2 + r(1 - c_0)(\sigma + 1)} \quad (3.74)$$

$$f_c(t) = 1 - f_{gaz}(t) - f_{zi\tilde{f}t}(t) \quad (3.75)$$

Denklem 3.73-3.75 denklemleri ile açıklanan kütle oranı denklemlerinde yer alan terimlerin açıklaması Denklem 3.76-3.79 ile verilmektedir.

$$\Phi = 1 + r \left[\frac{\xi}{p} + \frac{(\sigma - 1)\delta}{4(1 - p)} \right] \quad (3.76)$$

$$\Omega = \frac{\delta}{2(1 - p)} - \frac{\xi}{p} \quad (3.77)$$

$$F(p) = \left(\frac{p'}{p} \right)^{\frac{\sigma+1}{\sigma-1}} \quad (3.78)$$

$$K(p) = \left[1 - \left(\frac{\sigma+1}{2} \right) p' \right] \left(\frac{p'}{p} \right)^{\frac{\sigma+1}{\sigma-1}} \quad (3.79)$$

Denklem 3.76-3.79 denklemlerinde yer alan p' terimi Denklem 3.80 ile gösterilen denklemin çözümünden elde edilmektedir.

$$p'(1 - p')^{\sigma-1} = p(1 - p)^{\sigma-1} \quad (3.80)$$

Denklem 3.80 ile gösterilen r terimi kömürde yer alan köprü yapısının kütlelerinin (m_b), yan zincir kütlelerine (m_a) oranıdır. Burada tanımlanan kütlelerin açıklaması Denklem 3.81 ve 3.82 ile gösterilmektedir.

$$m_b = 2M_\delta \quad (3.81)$$

$$m_a = M_{cl} - (\sigma + 1)M_\delta \quad (3.82)$$

Denklem 3.81 ve 3.82’de yer alan terimler aşağıda açıklanmaktadır:

M_δ : Yan zincir (side chain) mol kütlesi

M_{cl} : Aromatik kümenin (aromatic cluster) mol kütlesi

$\sigma + 1$: Kafes uyumluluk sayısı (lattice coordination number)

Böylece kömürden uçucu madde çıkışı için geliştirilen literatürdeki modeller ile ilgili kapsamlı bilgiler verilmiştir. Doktora tezinde kömürden uçucu maddenin çıkış modellerinden en kapsamlı ve kömür tipine bağlı model olan CPD model seçilmiştir. Bir sonraki başlıkta CPD modelde yer alan ve kömür tipine bağlı parametrelerin hesaplanmasını sağlayan korelasyonlar ile ilgili bilgi verilecektir.

3.2.3 CPD parametreleri için geliştirilen korelasyonlar

CPD kömürden uçucu madde çıkışı için geliştirilmiş kapsamlı modellerden biridir. CPD modelin kullanılabilmesi için 9 adet kömür tipinden bağımsız ve 5 adet kömür tipine bağlı olmak üzere toplam 14 tane parametreye ihtiyaç vardır. $A_b, E_b, V_b, E_g, A_g, V_g, A_{\delta c}, E_{\delta c}$ ve $V_{\delta c}$ parametreleri kömür tipine göre değişmeyen parametrelerdir. Aynı zamanda bu parametreler k_b, k_g ve k_δ/k_c reaksiyon hızlarının fonksiyonudur [33].

Bu parametrelerin dışında kullanılacak kömür tipine göre değişen parametreler ise $p_0, c_0, \sigma + 1, M_{cl}$ ve M_δ parametreleridir. CPD model için kritik öneme sahip olan bu kömür tipine bağlı parametrelerin elde edilmesi önemlidir. Ancak bu şekilde CPD model etkin kullanılacaktır. Kömür tipine bağlı parametrelerin bilinmesi için birinci yol kömür üzerinde nükleer manyetik rezonans (NMR) testinin yapılmasıdır. Böylece kömür tipine bağlı parametreler ($p_0, c_0, \sigma + 1, M_{cl}$ ve M_δ) elde edilebilmektedir. Fakat literatürde yer alan birçok kömür için NMR deney sonuçları bulunmamaktadır.

Bu yüzden Genetti ve diğ. [99] 30 kömürün NMR verilerini kullanarak p_0 , $\sigma + 1$, M_{cl} ve M_{δ} parametreleri için korelasyonlar geliştirmişlerdir. Bu dört parametre (p_0 , $\sigma + 1$, M_{cl} ve M_{δ}) için geliştirilen korelasyonlarda her çeşit kömür için kolaylıkla bulunabilen yaklaşık (proximate) ve kesin (ultimate) analiz sonuçlarına ihtiyaç vardır. Kömürün yaklaşık ve kesin analiz sonuçları kullanılarak CPD model için gerekli kömür tipine bağlı 4 adet parametre (p_0 , $\sigma + 1$, M_{cl} ve M_{δ}) hesaplanabilmektedir.

Genetti ve diğ. [99] kömürün yaklaşık ve kesin analiz sonuçlarından elde edilebilecek özelliklerini (%C, %H, %O ve % uçucu madde) kullanarak CPD model için gerekli parametreleri (p_0 , $\sigma + 1$, M_{cl} ve M_{δ}) veren korelasyonlar geliştirmişlerdir. Genetti ve diğ. [99] tarafından yapılan çalışmada yer alan ve korelasyonlar için kullanılan kömürlerin NMR testi ile elde edilmiş parametreler (p_0 , $\sigma + 1$, M_{cl} ve M_{δ}) Çizelge 3.2 ile gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 : CPD korelasyonu için kullanılan ilk 30 kömürün özellikleri. [99].

No	Kömür adı	%C	%H	%O	%Uc	M_{δ}	M_{cl}	p_0	$\sigma + 1$
1	PSOC-1507	72.9	4.83	20.34	49.8	40	269	0.64	4.1
2	PSOC-1520	75	5.35	18.02	49	42	408	0.55	5.6
3	PSOC-1502	80.7	5.76	11.58	48.1	36	366	0.49	5.1
4	PSOC-1493	77.7	5	13.51	47.4	27	322	0.63	5
5	PSOC-1451	83.2	5.32	8.83	41.7	28	330	0.64	4.7
6	ANL	82.6	5.25	9.83	37.6	20	272	0.69	4.8
7	ANL	85.5	4.7	7.51	31.6	17	312	0.67	5.3
8	PSOC-1508	91.1	4.44	2.47	19.5	13	307	0.74	4.4
9	PSOC-1443	72.3	5.21	20.11	78.7	36	297	0.59	4.8
10	PSOC-1488	76	5.23	17.27	44.2	37	310	0.54	4.7
11	PSOC-1468	95.4	1.38	1.86	3.9	12	656	0.89	4.7
12	PSOC-1445D	75.6	5.26	17.33	48.2	45	384	0.48	5
13	PSOC-1451D	84.2	5.54	7.56	38.7	33	329	0.48	4.8
14	PSOC-1493D	74.1	4.96	13.18	43.4	39	402	0.52	5.5
15	PSOC-1507D	66.6	4.26	25.16	49.6	58	392	0.59	4.4
16	PSOC-1508D	88.8	4.37	5.14	17.2	18	285	0.7	4.2
17	GOUDEY A	87.9	3.77	4.65	36.9	21	264	0.64	4.8
18	GOUDEY B	88.5	4.94	1.4	19.3	19	295	0.65	5
19	DECS-1	70.7	5.83	20.83	53.6	55	505	0.42	5.8
20	DECS-7	72.5	5.22	20.09	45.6	43	381	0.55	5.1
21	DECS-11	68.5	4.94	24.96	61.7	42	329	0.68	4.6
22	DECS-13	85.5	4.91	7.12	33.2	72	483	0.72	4.5
23	DECS-18	79.4	5.62	8.57	44.6	35	370	0.48	5.3
24	DECS-20	82.7	5.73	8.76	40.5	21	247	0.64	4.7
25	DECS-21	93.8	2.72	1.96	5.1	13	216	1	3.8
26	DECS-27	76.5	5.24	15.95	40.6	34	361	0.55	5.2
27	PSOC-1515	88.4	4.02	5.47	11.8	4	231	1	6
28	PSOC-1516	86.2	4.86	4.64	21.6	21	354	0.35	4.5
29	PSOC-1520	67.4	5.37	24.39	53.4	46	282	0.64	3.7
30	PSOC-1521	91.2	4.56	1.53	23.5	14	225	0.69	4.4

Genetti ve diğ. [99] kömür özelliklerini (%C, %H, %O ve % uçucu madde) kullanılarak ikinci dereceden lineer olmayan regresyon yapmışlar ve CPD model için gerekli parametreleri (p_0 , $\sigma + 1$, M_{cl} ve M_{δ}) Denklem 3.83'ü kullanılarak elde etmişlerdir.

$$y = c_1 + c_2X_C + c_3X_C^2 + c_4X_H + c_5X_H^2 + c_6X_O + c_7X_O^2 + c_8X_U + c_9X_U^2 \quad (3.83)$$

Denklem 3.83'te yer alan c_i (c_1, c_2, \dots) terimleri regresyon sonucu bulunan her bir korelasyon için farklı olan katsayılardır. Sırasıyla X_C, X_H, X_O ve X_U kuru kömürdeki karbonun, hidrojenin, oksijenin ve uçucu maddenin yüzde kütle oranını göstermektedir. Son olarak y terimi ise CPD model parametrelerini (M_δ, M_{cl}, p_0 ve $\sigma + 1$) göstermektedir. Genetti ve diğ. [99] tarafından lineer olmayan regresyon sonucu elde edilen denklemlerin katsayıları Çizelge 3.3 ile gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 : CPD model parametreleri için regresyon sonucu elde edilen denklemlerin katsayıları. [99].

Katsayılar	M_δ	M_{cl}	p_0	$\sigma + 1$
c_1	4.220E+2	1.301E+3	4.898E-1	-5.2105E+1
c_2	-8.647E+0	1.639E+1	-9.816E-3	1.6387E+0
c_3	4.639E-2	-1.875E-1	1.330E-4	-1.0755E-2
c_4	-8.473E+0	-4.548E+2	1.555E-1	-1.2369E+0
c_5	1.182E+0	5.171E+1	-2.439E-2	9.3194E-2
c_6	1.154E+0	-1.007E+1	7.052E-3	-1.6567E-1
c_7	-4.340E-2	7.608E-2	2.192E-4	4.0956E-3
c_8	5.568E-1	1.360E+0	-1.105E-2	9.2610E-3
c_9	-6.546E-3	-3.136E-2	1.009E-4	-8.2672E-5

Genetti ve diğ. [99] tarafından geliştirilen korelasyonlarda bazı kömür verileri kullanılmamıştır. Bunun en önemli nedeni, regresyonun doğruluğunu gösteren regresyon katsayısının (coefficient of determination, R^2) tüm verilerin kullanılması durumunda düşük çıkmasından dolayıdır. Bu nedenle Çizelge 3.4 ile gösterildiği gibi bazı kömür verileri regresyondaki katsayıların hesaplanmasına dahil edilmemiştir.

Çizelge 3.4 : Regresyonda kullanılmayan kömür verileri. [99].

CPD parametreleri	Kullanılmayan kömür numaraları	Toplam kullanılan kömür sayısı
M_δ	6, 7, 22, 24, 27	25/30
M_{cl}	22, 24	28/30
p_0	6, 24, 27, 28	26/30
$\sigma + 1$	1, 19, 27	27/30

Genetti ve diğ. [99] tarafından yapılan korelasyonlarda regresyon katsayısı (R^2) değeri M_δ için 0.94, M_{cl} için 0.72, p_0 için 0.88 ve $\sigma + 1$ için 0.62 değerine sahiptir.

Kömürün gazlaştırılması model çalışmalarında kömürden uçucu maddenin çıkışının doğru modellenmesi modelleme adımlarının en önemlilerinden biridir [34]. Bu

nedenle bu doktora çalışmasında daha kapsamlı bir model olmasından dolayı CPD model kullanılacağı belirtilmişti. Fakat Genetti ve diğ. [99] tarafından geliştirilen ve CPD modelinin kullanılabilmesi için gerekli olan parametrelerin tayinini sağlayan korelasyonların geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Genetti ve diğ. [99] tarafından yapılan ve 30 kömür kullanılarak yapılmış korelasyonların veri sayısının artırılması ile daha kapsamlı korelasyonlar geliştirilmesi hedeflenmiştir. Literatüründe kapsamlı araştırmalar yapılarak 15 adet ilave kömür verisi (NMR test sonuçları) daha bulunarak veri sayısı %50 artırılmıştır. Çizelge 3.5 ile korelasyona ilave edilecek 15 kömürün verileri ve kaynakları gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 : CPD korelasyonu için kullanılan yeni 15 kömürün özellikleri.

No	Kömür adı	%C	%H	%O	%Uc	M_{δ}	M_{cl}	p_0	$\sigma + 1$	
31	Guasare	81.6	5.5	10.7	37.1	30	300	0.5	5	[100, 101]
32	Zhundong	75.39	3.48	15.19	30.86	25	329	0.7	5.6	[102]
33	Endonezya	73.32	4.56	20.12	51.29	50	400	1	5	[103]
34	Datong	79.94	4.65	8.44	23.97	26	291	0.65	4.8	[102]
35	Yuanbaoshan	42.83	3.15	14.44	28.34	37	263	0.63	4.62	[104]
36	Güney Afrika A	83.4	4.4	7.5	28.7	26.37	563.1	1	8.44	[105]
37	Güney Afrika B	80	5.4	8.2	41.1	35.52	573	1	7.79	[105]
38	DEN	79.5	3.9	13	25.2	23.41	504.1	0.63	8.65	[106]
39	OGS	81.1	4.1	11.8	25.6	23.38	527.2	0.6	8.71	[106]
40	FOZ	79.4	4.4	13	29.1	27.1	544.4	0.33	9.07	[106]
41	TKD	86.2	4.7	6.1	23.2	17.3	536.4	0.9	9.39	[106]
42	Güney Banko	71.37	5.36	21.55	56	47	410	0.55	5.3	[107]
43	Pittsburgh	82.77	5.48	6.73	41.7	28	311	0.62	4.5	[107]
44	Uzun alevli	78.13	5	14.7	41.62	36.18	326.17	0.57	5.11	[108]
45	Illinois No 6	75.7	5.16	12.8	45.4	24	355	0.65	5.8	[109]

Toplam 45 kömürün NMR testi verileri kullanılarak lineer olmayan regresyon yapılmıştır. Genetti ve diğ. [99] tarafından yapılan korelasyonlar üçüncü derecedendir. Regresyon katsayısı (R^2) değerinin mümkün olabildiği kadar yüksek olması hedeflendiğinden dolayı bu çalışmada korelasyonun derecesi kademeli bir şekilde artırılarak denemeler yapılmış ve en uygun korelasyon derecesi seçilmiştir. Korelasyon denkleminin genel ifadesi Denklem 3.84 ile gösterilmektedir.

$$y = c_b + \sum_{i=1}^n c_{c,i} X_C^i + \sum_{i=1}^n c_{h,i} X_H^i + \sum_{i=1}^n c_{o,i} X_O^i + \sum_{i=1}^n c_{u,i} X_U^i \quad (3.84)$$

Denklem 3.84'te yer alan c_b korelasyon başlangıç katsayısıdır. X_C , X_H , X_O ve X_U terimleri sırasıyla kömürün analizi ile elde edilen kuru kömür (nemden arındırılmış kömür) içindeki karbonun, hidrojenin, oksijenin ve uçucu maddenin yüzde kütle oranı değerlerini göstermektedir. Ayrıca $c_{c,i}$, $c_{h,i}$, $c_{o,i}$ ve $c_{u,i}$ sırasıyla karbon, hidrojen, oksijen ve uçucu maddelerinin korelasyon katsayılarını belirtmektedir. Korelasyon denkleminde yer alan y terimi ise CPD model parametreleri (M_{δ} , M_{cl} , p_0 ve $\sigma + 1$) ifade etmektedir. Son olarak korelasyon denkleminde yer alan n terimi ise

korelasyonun derecesini göstermektedir ve bu çalışmada n için 4, 5, 6, 7 ve 8 değerleri kullanılmıştır.

Yapılan lineer olmayan regresyonda regresyon katsayısının (R^2) yüksek olması hedeflendiğinden dolayı bazı kömür verileri regresyona dahil edilmemiştir. Çizelge 3.6 da kullanılmayan kömürlerin numaraları ve toplam kullanılan kömür sayısı verilmiştir.

Çizelge 3.6 : Doktora kapsamında geliştirilen regresyonda kullanılmayan kömür verileri.

CPD parametreleri	Kullanılmayan kömür numaraları	Toplam kullanılan kömür sayısı
M_δ	1, 4, 6, 7, 12, 22, 24, 27, 45	36/45
M_{cl}	1, 5, 16, 22, 24, 25, 27, 32, 34, 36, 37, 41	33/45
p_0	6, 12, 24, 27, 28, 33, 36, 37, 40, 41, 42	34/45
$\sigma + 1$	1, 16, 28, 32, 34, 36, 37, 40, 41	36/45

Lineer olmayan regresyon için PASW paket programı kullanılmıştır. Geliştirilen korelasyonun derecesine göre belirme katsayısının (R^2) değişimi Çizelge 3.7 ile gösterilmektedir.

Çizelge 3.7 : Korelasyonun derecesine göre elde edilen regresyon katsayıları.

Korelasyon derecesi	Regresyon katsayısı (R^2)			
	M_δ	M_{cl}	p_0	$\sigma + 1$
4. derece ($n = 4$)	0.9770	0.9323	0.9136	0.9413
5. derece ($n = 5$)	0.9783	0.9714	0.9556	0.9459
6. derece ($n = 6$)	0.9811	0.9759	0.9678	0.9671
7. derece ($n = 7$)	0.9884	0.9782	0.9812	0.9832
8. derece ($n = 8$)	0.9914	0.9807	0.9894	0.9871

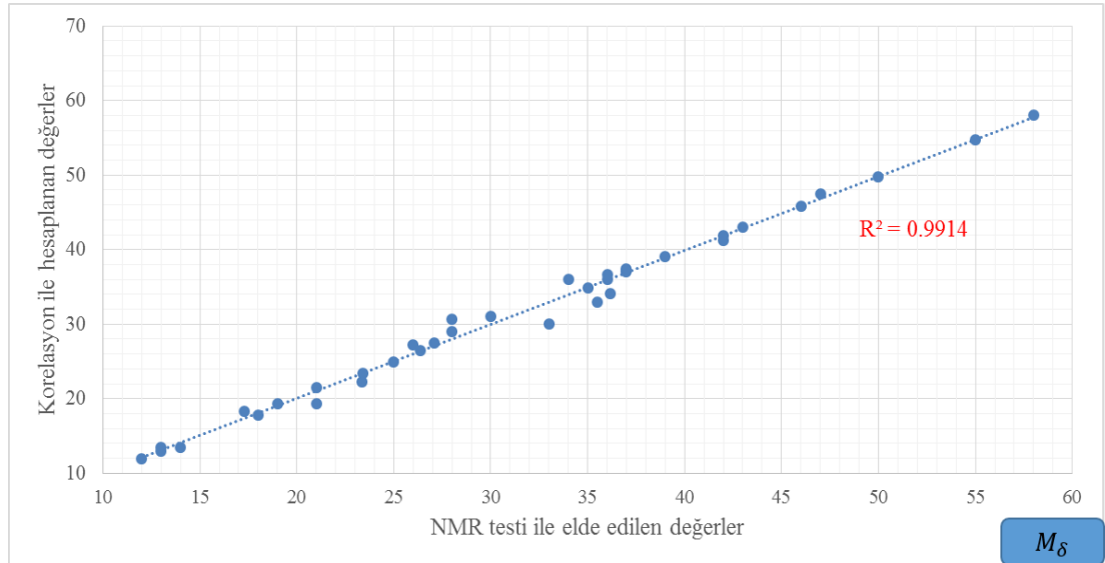
Çizelge 3.7 incelendiğinde korelasyonun 8. dereceden olması durumunda en yüksek regresyon katsayısına (R^2) ulaşıldığı görülmektedir. Korelasyon derecesinin 8 olması durumunda her bir korelasyon için 33 katsayının hesaplanması gerekmektedir. Eğer korelasyon derecesi 9'a çıkartılmak istenirse hesaplanması gereken katsayı sayısı 37'e çıkmaktadır. Korelasyonların katsayılarının belirlenebilmesi için en fazla veri sayısı kadar katsayı tanımlanabilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada korelasyonun derecesi 8 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.8 ile geliştirilen dört korelasyonun (M_δ , M_{cl} , p_0 ve $\sigma + 1$ parametreleri için) katsayıları verilmektedir. Katsayıların ondalık kısımlarının basamak sayısının sonuçlara etkisi fazla olduğu için korelasyonda elde edilen katsayılar yuvarlama yapılmadan verilmektedir. CPD model için gerekli olan parametrelerin (M_δ ,

Çizelge 3.8 : Doktora kapsamında geliştirilen korelasyon için hesaplanan katsayılar.

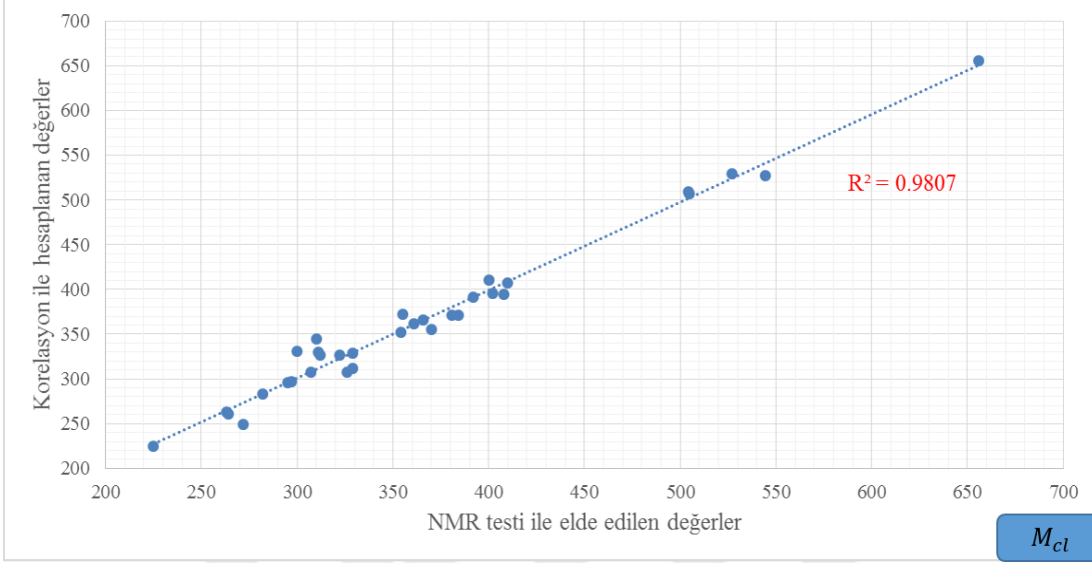
Katsayılar	M_{δ}	M_{cl}	p_0	$\sigma + 1$
c_b	318357.56072749791	-6745707.4773813747	336.13950229127136	25374.070200751561
$c_{c,1}$	-17765.903905505435	389510.00760727649	64.452010927942069	491.06035906062323
$c_{c,2}$	731.81095188666427	16.346133193067477	150.40608652629587	-254.62858617329243
$c_{c,3}$	-21.184683870910288	-530.32721183266472	-8.6285834127750256	13.993527682385579
$c_{c,4}$	0.46209019030293924	18.15774617248648	0.22786583396275428	-0.36865346153626599
$c_{c,5}$	-7.002865137311064E-3	-0.29578623581056968	-3.3843821938917911E-3	5.519604880605827E-3
$c_{c,6}$	6.6539623841074631E-5	2.6556063615212912E-3	2.9180146079828967E-5	-4.8173459517688136E-5
$c_{c,7}$	-3.5083876722778808E-7	-1.2681703053305646E-5	-1.3690392268950994E-7	2.2923430432986075E-7
$c_{c,8}$	7.7972894703975171E-10	2.5271040557215226E-8	2.7123917309135744E-10	-4.6108495038520245E-10
$c_{h,1}$	-230342.55991749195	-6.9956238692307693	-61744.810991682745	14727.377734005731
$c_{h,2}$	201956.49303199069	-192416.28148391112	58437.965511927745	-9396.1784854476464
$c_{h,3}$	-96181.939439340276	201395.19376857899	-30416.677969458215	2276.7772979010183
$c_{h,4}$	27550.769007263279	-92605.98749200665	9616.6354818225645	146.65052750926193
$c_{h,5}$	-4895.6116742793756	23239.924174426567	-1902.7764428305723	-203.29102614761294
$c_{h,6}$	529.40825386237725	-3321.0780454101723	231.03714930377544	45.734221280704631
$c_{h,7}$	-31.951515503632649	255.05299637748109	-15.784654426130231	-4.5316089692610637
$c_{h,8}$	0.82577639754376686	-8.2054727818160398	0.46555972940127188	0.17370369387331511
$c_{o,1}$	-2.7585146978200972	-432.15519085182444	1.63497660480846	-20.903133462997587
$c_{o,2}$	-1.3487379626032261E-2	249.26040342319018	-0.75243134441033621	9.0130879429082746
$c_{o,3}$	7.9376515031815004E-2	-64.956078675482289	0.15737635864350513	-1.834023040879188
$c_{o,4}$	-5.7525947902503285E-3	8.8149269182312686	-1.8527534221076527E-2	0.20864602214360373
$c_{o,5}$	-7.0420945057451598E-4	-0.67171416540255302	1.306417580941368E-3	-1.401280863389834E-2
$c_{o,6}$	1.0673998962500398E-4	2.9032534537931271E-2	-5.4865060105608313E-5	5.5123785750852848E-4
$c_{o,7}$	-4.726445747737833E-6	-6.6519963796679506E-4	1.2658382098221973E-6	-1.1732240434088077E-5
$c_{o,8}$	7.0747939334123194E-8	6.2751716855382312E-6	-1.2316300118179434E-8	1.041875887739779E-7
$c_{u,1}$	-249.10023410696593	-5802.1923030065846	-12.208607772958462	34.548631050472416
$c_{u,2}$	26.186856601519931	387.56004689309094	0.68159688597804025	-3.5258370418736544
$c_{u,3}$	-1.6053317077363309	-12.157063598953068	-1.2255441057923781E-2	0.20337738534477609
$c_{u,4}$	6.1280491859530502E-2	0.14153964518197637	-2.9760341832275736E-4	-7.2408346965842545E-3
$c_{u,5}$	-1.4619642921960497E-3	1.6963827436796853E-3	1.8128283541997271E-5	1.6164318314980264E-4
$c_{u,6}$	2.1034745871980517E-5	-6.9909568264347576E-5	-3.4798206194728071E-7	-2.1941445453776941E-6
$c_{u,7}$	-1.6592573555423419E-7	7.6851290446952724E-7	3.08165062768947E-9	1.648200292609791E-8
$c_{u,8}$	5.480949111284196E-10	-2.9647901063879921E-9	-1.0615488560472492E-11	-5.2312003511683688E-11

M_{cl} , p_0 ve $\sigma + 1$) korelasyonlar kullanılarak hesaplanan değerleri ile NMR testi değerlerinin grafik ile karşılaştırılması, korelasyonların kullanılan NMR testi verileri ile uyduğuna göstermek açısından kolaylık sağlayacaktır. Bu nedenle Şekil 3.4 ile M_{δ} parametresinin NMR testi değerlerinin korelasyon ile hesaplanan değerler ile karşılaştırılması yer almaktadır.



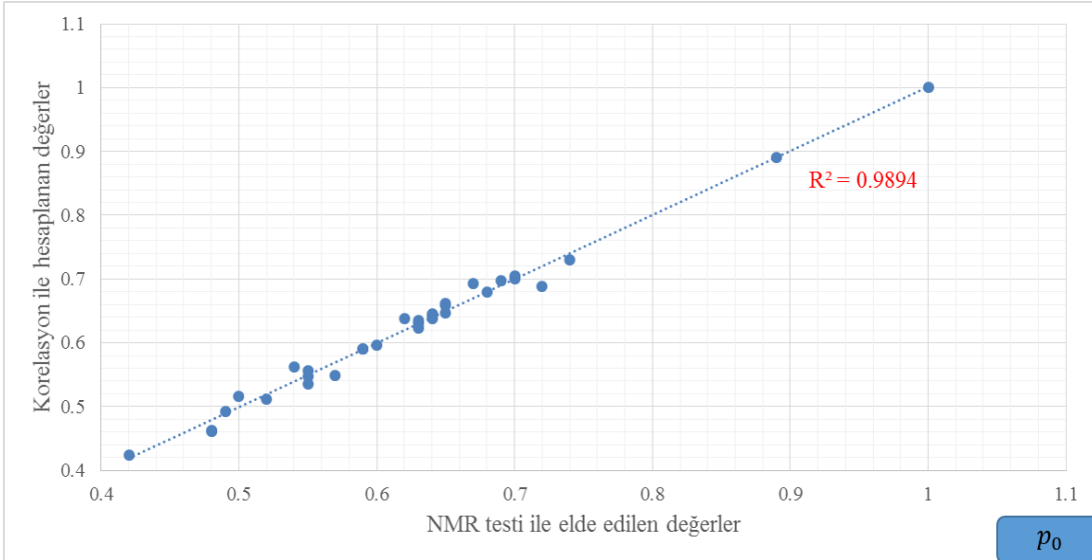
Şekil 3.4 : M_{δ} terimi için NMR testi sonuçlarının korelasyon sonuçları ile karşılaştırılması.

Korelasyon kullanılarak hesaplan değerlerin NMR testi verileri ile iyi uyduğu Şekil 3.4 ile gösterilmektedir. Şekil 3.5 ile M_{cl} parametresinin NMR testi değerleri ile korelasyon kullanılarak hesaplanan değerleri karşılaştırılmaktadır.



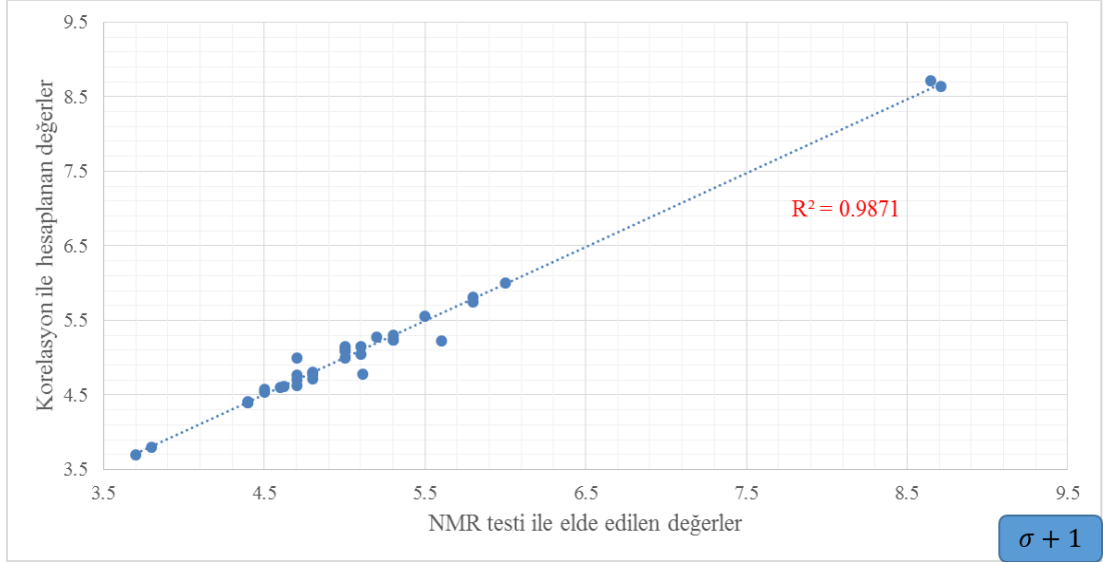
Şekil 3.5 : M_{cl} terimi için NMR testi sonuçlarının korelasyon sonuçları ile karşılaştırılması.

Şekil 3.6 ile p_0 parametresinin NMR testi değerleri ile korelasyon kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 3.6 : p_0 terimi için NMR testi sonuçlarının korelasyon sonuçları ile karşılaştırılması.

Son olarak $\sigma + 1$ parametresinin NMR testi değerleri ile korelasyon kullanılarak elde edilen değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.7 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : $\sigma + 1$ terimi için NMR testi sonuçlarının korelasyon sonuçları ile karşılaştırılması.

3.2.4 Uçucu maddenin çıkışının modellenmesi

Kömürden uçucu maddenin çıkışı için Bölüm 3.2.2 ile kapsamlı bir şekilde açıklanan modellerden CPD (chemical percolation devolatilization) modeli seçilmiştir. CPD modeli kömür tipine bağlı bir modeldir. CPD modelinin kullanılabilmesi için kömürün NMR (Nükleer Manyetik Rezonans) testi ile elde edilen parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametreler her kömür tipi için literatürde bulunması kolay olmayan parametrelerdir. Çünkü NMR testi kolay yapılan bir test değildir. Bu nedenden ötürü Genetti ve diğ. [99] tarafından NMR testi sonuçlarına ihtiyaç duymadan literatürde her bir kömür tipi için kolaylıkla bulunabilen yaklaşık analiz (proximate analysis) ve kesin analiz (ultimate analysis) sonuçlarını kullanılarak CPD model için gerekli parametreleri hesaplayan korelasyonlar geliştirmişlerdir. Genetti ve diğ. [99] tarafından geliştirilen korelasyonlar ile ilgili kapsamlı bilgi Bölüm 3.2.3 ile verilmiştir. Doktora çalışmasında, Genetti ve diğ. [99] tarafından yapılan korelasyonların kapsamı geliştirilmiştir. Kapsamı geliştirilen bu korelasyonların ayrıntıları Bölüm 3.2.3 ile verilmiştir. Bu bölümde kısaca CPD modelin kullanılabilmesi için gerekli parametreler ve uçucu maddenin kömürden çıkışı için seçilen CPD model reaksiyonları ile ilgili bilgi verilecektir.

Uçucu maddenin kömürden çıkışı için kullanılan CPD modeli, kapsamlı bir modeldir. Bu modelin kullanılabilmesi için kömür tipinden bağımsız 9 adet, kömür tipine bağlı

5 adet olmak üzere toplam 14 parametreye ihtiyaç vardır. Kömür tipine bağlı olmayan parametrelerin değerleri Çizelge 3.9 ile verilmektedir [31].

Çizelge 3.9 : CPD model için gerekli kömür tipinden bağımsız parametreler [31].

Parametre	Değer	Açıklama (Bakınız Bölüm 3.2.2)
E_b	54.4 [kcal/mol]	Köprü ayrılma aktivasyon enerjisi (Bridge scission activation energy)
A_b	2.6×10^{15} [1/s]	Köprü ayrılma frekans faktörü (Bridge scission frequency factor)
σ_b	1.8 [kcal/mol]	E_b dağılımı için standart sapma (Standart deviation for distributed E_b)
E_g	69 [kcal/mol]	Gaz çıkışı için aktivasyon enerjisi (Gas release activation energy)
A_g	3×10^{15} [1/s]	Gaz çıkışı için frekans faktörü (Gas release frequency factor)
σ_g	8.1 [kcal/mol]	E_g dağılımı için standart sapma (Standart deviation for distributed E_g)
ρ_{CPD}	0.9	Birleşik hız sabiti, k_δ/k_c (Composite rate constant, k_δ/k_c)
E_c	65 [kcal/mol]	Çapraz bağlantı aktivasyon enerjisi (Cross-linking activation energy)
A_c	3×10^{15} [1/s]	Çapraz-bağlantı frekans faktörü (Cross-linking frequency factor)

Ayrıca CPD model için kömür özelliklerine bağlı olan 5 parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden 4 tanesi (M_δ , M_{cl} , p_0 ve $\sigma + 1$) ile ilgili kapsamlı bilgi Bölüm 3.2.2 ile verilmiştir. Bu dört parametre (M_δ , M_{cl} , p_0 ve $\sigma + 1$) ile ilgili literatürde yer alan korelasyonlar, doktora tezi kapsamında geliştirilerek daha kapsamlı hale getirilmiştir. Kapsamı geliştirilen korelasyonlar ile ilgili detaylı açıklama ve korelasyon denklemleri Bölüm 3.2.3'de yer almaktadır. Bu dört parametrenin (M_δ , M_{cl} , p_0 ve $\sigma + 1$) dışında kömür tipine bağlı olan son bir parametre de c_0 parametresidir. Bu parametre karbon köprüleri için başlangıç oran (initial fraction of char bridges) değerini göstermektedir. Bu parametrenin kömür tipine göre hesaplanabilmesi için literatürde yer alan ve Denklem 3.85 ile gösterilen korelasyon kullanılmıştır [99].

$$c_0 = \min[0.36, \max\{(0.118 \cdot X_C - 10.1), 0.0\}] + \min[0.15, \max\{(0.014 \cdot X_O - 0.175), 0.0\}] \quad (3.85)$$

Denklem 3.85'te yer alan X_C ve X_O terimleri nemden ve külden arındırılmış kömür içindeki karbonun ve oksijenin yüzde kütle oranı değerlerini göstermektedir.

Böylece doktora tezinde kullanılan CPD model ile ilgili tüm parametreler tanımlanmış ve değerleri veya korelasyonları verilmiştir. Buna ek olarak doktora tezinde kömürün

karbon, uçucu madde, nem ve külden oluştuğu kabul edilmiştir. Denklem 3.86 ile kömür içeriği gösterilmektedir.

$$Komur \xrightarrow{k_{CPD}} Karbon + Ucucu madde + Nem + Kul \quad (3.86)$$

Denklem 3.86 ile gösterilen k_{CPD} terimi, CPD modelin içinde yer alan bir dizi reaksiyon hız sabitlerinin (k_b , k_δ , k_c ve k_g) temsili gösterimi olarak kullanılmıştır. CPD modelde yer alan bu reaksiyon hız sabitleri (k_b , k_δ , k_c ve k_g) Bölüm 3.2.2'de ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Ayrıca bu reaksiyon hız sabitlerinin (Bakınız Bölüm 3.2.2, Şekil 3.3) hesaplanmasında bu bölümde açıklanan 9 tanesi kömür tipinden bağımsız 5 tanesi kömür tipine bağlı olan toplam 14 parametre kullanılmaktadır. Doktora tezi kapsamında yapılan modellemelerde kömürdeki uçucu maddenin içindeki gaz bileşenleri Denklem 3.87 ile gösterildiği şekilde kabul edilmiştir.



Uçucu maddeyi oluşturan gazların kütle oranlarının belirlenmesi için Armstrong ve diğ [48] tarafından yapılan çalışmada yer alan korelasyonlar kullanılmıştır. Bu korelasyonlarda uçucu maddeyi oluşturan gazların kütle oranları, külden ve nemden arındırılmış kömür ile yapılan yaklaşık analiz (proximate analysis) sonucu ile elde edilen kömür içindeki uçucu maddenin kütle oranı kullanılarak hesaplanmaktadır. Uçucu maddeyi oluşturan gazların kütle oranı değerlerini hesaplamak için kullanılan korelasyonlar Denklem 3.88-3.93 ile verilmektedir [48].

$$Y_{CO_2} = 0.135 - 0.900 \cdot Y_{Ucucu} + 1.906 \cdot Y_{Ucucu}^2 \quad (3.88)$$

$$Y_{CO} = 0.428 - 2.653 \cdot Y_{Ucucu} + 4.845 \cdot Y_{Ucucu}^2 \quad (3.89)$$

$$Y_{CH_4} = 0.201 - 0.496 \cdot Y_{Ucucu} + 0.241 \cdot Y_{Ucucu}^2 \quad (3.90)$$

$$Y_{H_2} = 0.157 - 0.868 \cdot Y_{Ucucu} + 1.388 \cdot Y_{Ucucu}^2 \quad (3.91)$$

$$Y_{H_2O} = 0.409 - 2.389 \cdot Y_{Ucucu} + 4.554 \cdot Y_{Ucucu}^2 \quad (3.92)$$

$$Y_{Katran} = -0.325 + 7.279 \cdot Y_{Ucucu} - 12.880 \cdot Y_{Ucucu}^2 \quad (3.93)$$

3.2.5 Heterojen reaksiyonlar

Seçilen Türk linyitlerinin gazlaştırılmasında 5 adet heterojen reaksiyon göz önüne alınmıştır. Heterojen reaksiyonlardan bir tanesi de kireçtaşı kireçleştirme (limestone calcination) reaksiyonudur. Doktora kapsamında geliştirilen modelde yatak malzemesi olarak kireçtaşı kullanılmıştır. Çizelge 3.10 ile modelde kullanılan heterojen reaksiyonlar ve bu reaksiyonların kinetik hız sabitleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.10 : Modelde kullanılan heterojen reaksiyonlar ve onların kinetik hız sabitleri.

Reaksiyonlar	Kinetik hız sabiti	Birim	Kaynak
R1 $C + O_2 \rightarrow CO_2$	$K_{R1} = 1.04 \times 10^5 \cdot T_k \cdot \exp\left(\frac{-11200}{T_k}\right)$	$[kg/m^3s]$	[48]
R2 $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$	$K_{R2} = 342 \cdot T_k \cdot \exp\left(\frac{-15600}{T_k}\right)$	$[kg/m^3s]$	[48]
R3 $C + CO_2 \rightarrow 2CO$	$K_{R3} = 342 \cdot T_k \cdot \exp\left(\frac{-15600}{T_k}\right)$	$[kg/m^3s]$	[48]
R4 $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	$K_{R4} = 0.342 \cdot \exp\left(\frac{-15600}{T_k}\right)$	$[kg/m^3s]$	[48]
R5 $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$	$K_{R5} = \frac{3.07 \times 10^{11}}{3.336 \times 10^7 \cdot p \cdot \exp(-20269/T_{kt})} \cdot \exp\left(\frac{-24670}{T_{kt}}\right)$	$[kg/m^3s]$	[36]

Çizelge 3.10 ile gösterilen heterojen reaksiyonların kinetik hız sabitlerinde yer alan T_k kömür taneciğinin sıcaklığını, T_{kt} kireçtaşı sıcaklığını ve son olarak p yataktaki basıncı ifade etmektedir.

Heterojen reaksiyonlar katı faz ile gaz fazı arasında gerçekleşen reaksiyonlardır. Kömürün içindeki karbonun (char) oksijen ile reaksiyonu çok hızlı gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonun hızlı bir reaksiyon olmasından dolayı hem yayılım (diffusion) hem de Arrhenius kinetik hız sabitleri dikkate alınarak karbonun oksijen ile girdiği reaksiyon hızı Denklem 3.94 ile gösterildiği gibi tanımlanmaktadır [48].

$$R_{R1} = \left[(K_{R1-Arr})^{-1} + (K_{R1-Yayılım})^{-1} \right] \cdot C_{O_2} \quad (3.94)$$

Denklem 3.94 ile gösterilen K_{R1-Arr} terimi Çizelge 3.10 ile gösterilen R1 reaksiyonu için yazılan Arrhenius hız sabitini göstermektedir. Heterojen reaksiyonlar için Arrhenius hız sabitinin genel formülü Denklem 3.95 ile gösterilmektedir.

$$K_{Arr} = A \cdot T_k \cdot \exp\left(\frac{E_a}{R \cdot T_k}\right) \quad (3.95)$$

Denklem 3.95'de yer alan A terimi ön-üstel sabitini (pre-exponential constant), T_k terimi katı tanecik sıcaklığını, E_a terimi aktivasyon enerjisini (activation energy) ve son olarak R terimi evrensel gaz sabitini (universal gas constant) ifade etmektedir.

Ayrıca Denklem 3.94 ile verilen ve R1 reaksiyonu için yazılan hız denkleminde yer alan yayılım hız sabiti ise $K_{R1-Yayılım}$ terimi ile gösterilmektedir. Son olarak Denklem

3.94'de yer alan C_{O_2} ile oksijen gazının derişimi ifade edilmektedir. Denklem 3.94'de yer alan yayılım hız sabitinin formülü Denklem 3.96 ile gösterilmektedir.

$$K_{R1-Yayılım} = \frac{Sh \cdot D_{gk} \cdot w_C}{R \cdot T_k \cdot d_k} \quad (3.96)$$

Denklem 3.96'da yer alan Sh terimi Sherwood sayısını, D_{gk} terimi gaz katı arasındaki yayılım katsayısını, w_C terimi karbonun mol kütlelerini, R terimi evrensel gaz sabitini, T_k terimi kömür tanecik sıcaklığını ve son olarak d_k terimi kömür tanecik çapını göstermektedir. Denklem 3.96'da gösterilen Sherwood sayısı, Denklem 3.97 ile ifade edilmektedir.

$$Sh = 2.0 + 0.6 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3} \quad (3.97)$$

Ayrıca Denklem 3.96'da yer alan ve D_{gk} terimi ile gösterilen, gaz katı arasındaki yayılım katsayısı Denklem 3.98 ile açıklanmaktadır.

$$D_{gk} = \frac{8.34 \cdot 10^{-6} \cdot T^{1.75}}{p} \quad (3.98)$$

Çizelge 3.10 ile gösterilen heterojen reaksiyonlardan birincisi (R1) dışındaki karbonun gazlaştırma reaksiyonları (R2, R3 ve R4) daha yavaş reaksiyonlardır. Bu nedenle de birinci reaksiyonda olduğu gibi hem Arrhenius hem de yayılım hız katsayıları dikkate alınarak modellenmesi yerine sadece Arrhenius hız katsayısı dikkate alınarak modellenmiştir. Bunun en önemli nedeni karbonun gazlaştırılması reaksiyonlarının (R2, R3 ve R4) göreceli olarak karbonun yanmasına göre yavaş reaksiyon olmalarından kaynaklanmaktadır. Karbonun gazlaştırma reaksiyonlarının yavaş olması nedeni ile yayılım etkisi ihmal edilmiştir. Bu nedenle karbonun gazlaştırma reaksiyonları (R2, R3 ve R4) için sadece Arrhenius hız sabiti kullanılmış ve reaksiyon hızları genelleştirilerek Denklem 3.99 ile gösterildiği şekilde tanımlanmıştır.

$$R = K_{Arr} \cdot [C_g^n] \quad (3.99)$$

Denklem 3.99 ile gösterilen K_{Arr} terimi Çizelge 3.10 ile verilen karbonun gazlaştırma reaksiyonlarının (R2, R3 ve R4) Arrhenius hız sabitlerini ifade etmektedir. Buna ek olarak C_g ile reaksiyona giren gazların derişimleri belirtilmektedir.

Heterojen reaksiyonlardan sonuncusu olan kireçtaşı kireçleştirme (limestone calcination) reaksiyonu (R5), kireçtaşının ($CaCO_3$) kalsiyum okside (CaO) ve karbondioksidede (CO_2) dönüştüğü reaksiyondur. Bu reaksiyon için de Arrhenius hız sabiti Çizelge 3.10 ile verilmektedir.

ANSYS Fluent 15.0 HAD paket programı heterojen reaksiyonları doğrudan modelleyememektedir. Heterojen reaksiyonları modellemek için dışarıdan bir bilgisayar kodunun yazılması ve bu bilgisayar kodunun ANSYS Fluent HAD paket programına okutulması gerekmektedir. ANSYS Fluent HAD paket programı yarı açık kodlu bir HAD paket programıdır. Heterojen reaksiyonların modellenmesinde olduğu gibi bazı farklı modelleme yöntemleri için dışarıdan kod yazılmasına imkan sağlamaktadır. ANSYS Fluent için yazılan bu koda UDF (User Defined Function) genel ismi verilmektedir.

3.2.6 Homojen reaksiyonlar

Doktora tezi kapsamında 5 adet homojen reaksiyon kullanılmıştır. Bu homojen reaksiyonlar ve bu reaksiyonların Arrhenius hız sabitleri Çizelge 3.11 ile gösterilmektedir.

Çizelge 3.11 : Modelde kullanılan homojen reaksiyonlar ve onların kinetik hız sabitleri.

Reaksiyonlar	Kinetik hız sabiti	Birim	Kaynak
R6 $CO + 0.5O_2 \rightarrow CO_2$	$K_{R6} = 1.0 \times 10^{15} \cdot \exp\left(\frac{-16000}{T_g}\right) \cdot C_{CO} \cdot C_{O_2}^{0.5}$	$[kg/m^3s]$	[48]
R7 $H_2 + 0.5O_2 \rightarrow H_2O$	$K_{R7} = 5.159 \times 10^{15} \cdot \exp\left(\frac{-3430}{T_g}\right) \cdot T^{-1.5} \cdot C_{H_2}^{1.5} \cdot C_{O_2}$	$[kg/m^3s]$	[48]
R8 $CH_4 + 2O_2 \rightarrow 2H_2O + CO_2$	$K_{R8} = 3.552 \times 10^{14} \cdot \exp\left(\frac{-15700}{T_g}\right) \cdot T^{-1} \cdot C_{CH_4} \cdot C_{O_2}$	$[kg/m^3s]$	[48]
R9 $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	$K_{R9} = 2780 \cdot \exp\left(\frac{-1510}{T_g}\right) \cdot C_{CO} \cdot C_{H_2O}$	$[kg/m^3s]$	[48]
R10 $CO_2 + H_2 \rightarrow CO + H_2O$	$K_{R10} = 1.05 \times 10^5 \cdot \exp\left(\frac{-5478}{T_g}\right) \cdot C_{CO_2} \cdot C_{H_2}$	$[kg/m^3s]$	[48]

Homojen reaksiyonların hızları modellenirken hem türbülansın etkisi hem de Arrhenius kinetik hız denkleminin etkisi göz önüne alınmıştır. Bu nedenle de doktora tezi kapsamında sonlu-hız/çevri-yitimi (finite-rate/eddy-dissipation) modeli kullanılmaktadır. Sonlu-hız/çevri-yitimi modelinde hem türbülansın kaynaklanan çevri reaksiyon hızı hem de Arrhenius kinetik hızı hesaplanmakta ve bu iki hızdan küçük olanı homojen reaksiyonun hızı olarak kabul edilmektedir. Sonlu-hız/çevri-yitimi modelinin reaksiyon hızını belirleme yöntemi Denklem 3.100 ile basitçe ifade edilmektedir.

$$R_{i,r} = \min(R_{Arr}, R_{Cevri}) \quad (3.100)$$

Denklem 3.100'de yer alan R_{Arr} terimi Arrhenius kinetik hızı göstermektedir ve bu hızın genel formülü Denklem 3.101 ile gösterilmektedir.

$$R_{Arr} = K_{Arr} \cdot T^z \cdot C_A^n \cdot C_B^m \quad (3.101)$$

Ayrıca Denklem 3.100'de yer alan R_{Cevri} terimi ise çevri-yitimi (eddy-dissipation) ile hesaplanan reaksiyon hızını göstermektedir. Bu çevri-yitimi reaksiyon hızının genel formülü Denklem 3.102 ile gösterilmektedir.

$$R_{Cevri} = 4.0 \cdot v'_{i,r} \cdot w_i \cdot \rho_g \cdot \frac{\varepsilon}{k} \cdot \min \left[\frac{Y_R}{R}, \frac{\sum_P Y_P}{2 \cdot \sum_j^N v''_{j,r} \cdot w_j} \right] \quad (3.102)$$

Denklem 3.102 ile gösterilen denklemde yer alan $v'_{i,r}$ terimi reaksiyona giren moleküller için stokiyometrik katsayı değerini, $v''_{j,r}$ terimi reaksiyon sonucu oluşan moleküller için stokiyometrik katsayı değerini, w_i terimi mol kütesini, ρ_g terimi gaz yoğunluğunu, ε terimi türbülans yitim (dissipation) hızını, k terimi türbülans kinetik enerjisini, Y_R terimi reaksiyona girenler için kütle oranı (mass fraction) değerini ve son olarak Y_P terimi reaksiyon sonunda oluşan ürünler için kütle oranı değerini ifade etmektedir.

3.3 Işınm Modeli

Doktora tezi kapsamında yapılan sayısal modellemede ışınm modellerinden P-1 ışınm modeli kullanılmıştır. Bu bölümde ışınm denklemi ve seçilen P-1 ışınm modeli ile ilgili genel bilgiler verilecektir. Işınm transfer denkleminin (radiative transfer equation) en genel hali Denklem 3.103 ile gösterildiği gibidir.

$$\frac{dI(\vec{r}, \vec{s})}{ds} + (a + \sigma_s)I(\vec{r}, \vec{s}) = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s} \cdot \vec{s}') d\Omega' \quad (3.103)$$

Denklem 3.103'de yer alan terimlerin açıklaması aşağıda maddeler halinde verilmektedir:

- \vec{r} : Konum vektörü (position vector)
- \vec{s} : Yön vektörü (direction vector)
- \vec{s}' : Saçılma yön vektörü (scattering direction vector)
- s : Yol uzunluğu (path length)
- a : Soğurma katsayısı (absorption coefficient)
- n : Kırılma indisi (refractive index)
- σ_s : Saçılma katsayısı (scattering coefficient)
- σ : Stefan-Boltzmann sabiti ($5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

- I : Işınım şiddeti (radiation intensity)
- T : Yerel sıcaklık (local temperature)
- Φ : Faz fonksiyonu (phase function)
- Ω' : Katı açısı (solid angle)

P-1 ışınım modeli daha genel olan P-N modelinin en basit örneğidir. Bu nedenle de P-1 modelinin bilgisayar zamanı açısından faydası bulunmaktadır. Özellikle birçok parametrik çalışmanın yapıldığı bu doktora tezinde bilgisayar zamanının önemi büyüktür. P-1 ışınım modeli ışınım şiddetinin (I) küresel harmonikli ortogonal seriye açılması prensibine dayanmaktadır [110]. P-1 ışınım modelinde gri ışınım (gray radiation) modellenir iken Denklem 3.104 ile gösterilen ışınım akısı q_r kullanılmaktadır.

$$q_r = -\frac{1}{3 \cdot (a + \sigma_s) - C \cdot \sigma_s} \cdot \nabla G \quad (3.104)$$

Denklem 3.104'de yer alan G terimi gelen ışınımı (incident radiation) ve C terimi doğrusal-yönlü faz fonksiyon katsayısını (linear-anisotropic phase function coefficient) belirtmektedir. Yazım kolaylığı sağlaması için Denklem 3.104, Denklem 3.105 ile gösterildiği gibi de yazılabilmektedir.

$$q_r = -\Gamma \cdot \nabla G \quad (3.105)$$

Denklem 3.105 ile gösterilen Γ teriminin açık hali Denklem 3.106 ile gösterildiği gibidir.

$$\Gamma = \frac{1}{3 \cdot (a + \sigma_s) - C \cdot \sigma_s} \quad (3.106)$$

Bunlara ek olarak gelen ışınım (G) için aktarım denklemi Denklem 3.107 ile verilmektedir.

$$\nabla \cdot (\Gamma \nabla G) - a \cdot G - 4 \cdot a \cdot n^2 \cdot \sigma \cdot T^4 = S_G \quad (3.107)$$

Denklem 3.107'de yer alan S_G terimi ışınım kaynak terimidir. ANSYS Fluent [68] hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı Denklem 3.107'i çözerek bölgesel gelen ışınım (incident radiation) değerini hesaplamaktadır. Denklem 3.105 ile Denklem 3.107'nin birleştirilmesi ile Denklem 3.108 elde edilmektedir.

$$-\nabla \cdot q_r = a \cdot G - 4 \cdot a \cdot n^2 \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (3.108)$$

Denklem 3.108 ile gösterilen $-\nabla \cdot q_r$ terimi doğrudan enerji denklemindeki kaynak terimine ışınımından dolayı oluşan veya kaybolan ısı enerjisi olarak eklenebilmektedir.

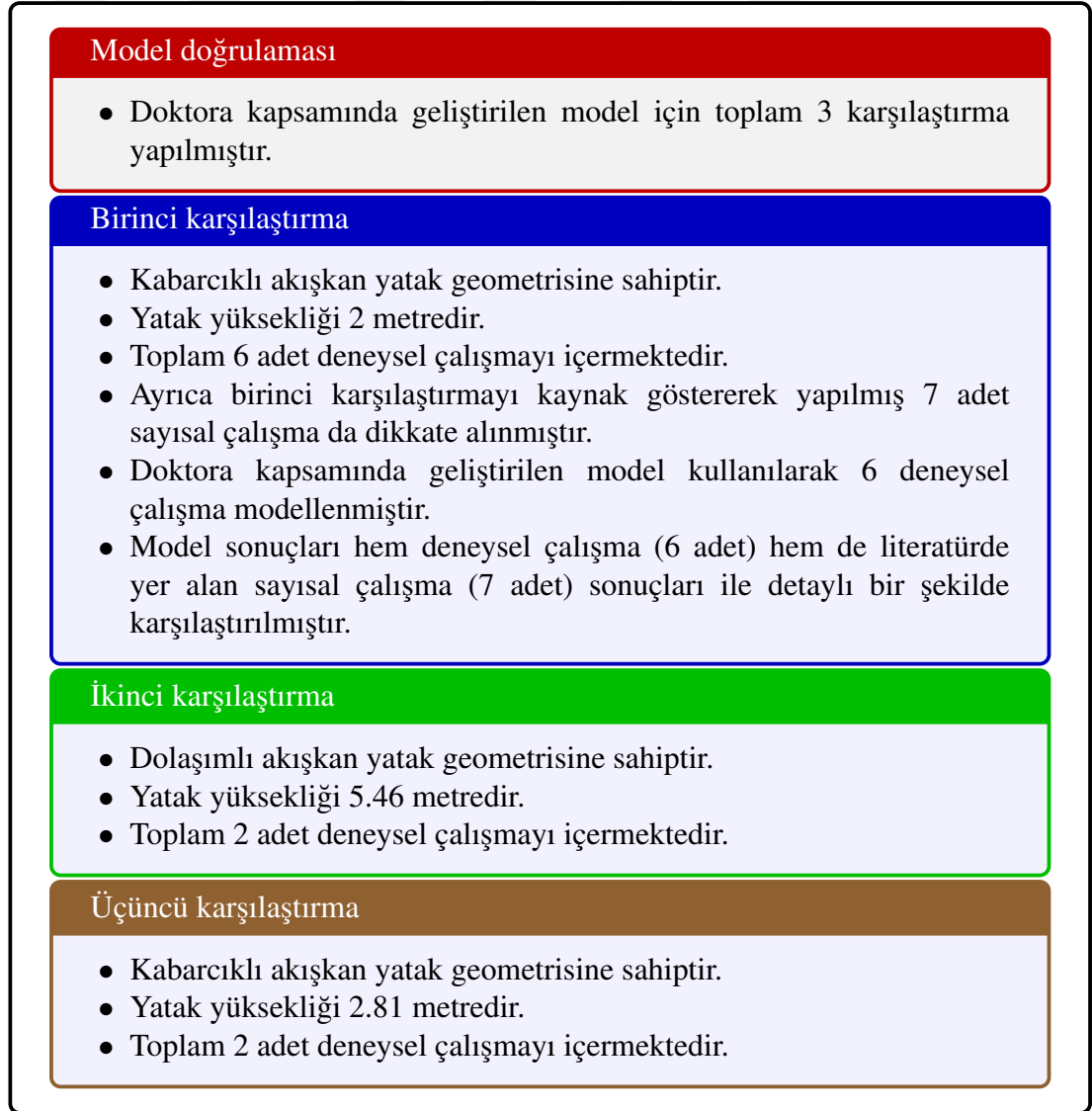
Böylece doktora tezi kapsamında yapılan kömürün akışkan yatakta gazlaştırılmasının modellenmesinde kullanılan ışıınım modeli ile ilgili bilgi ve bu modelin denklemleri bu bölümde paylaşılmıştır.





4. MODEL DOĞRULAMASI

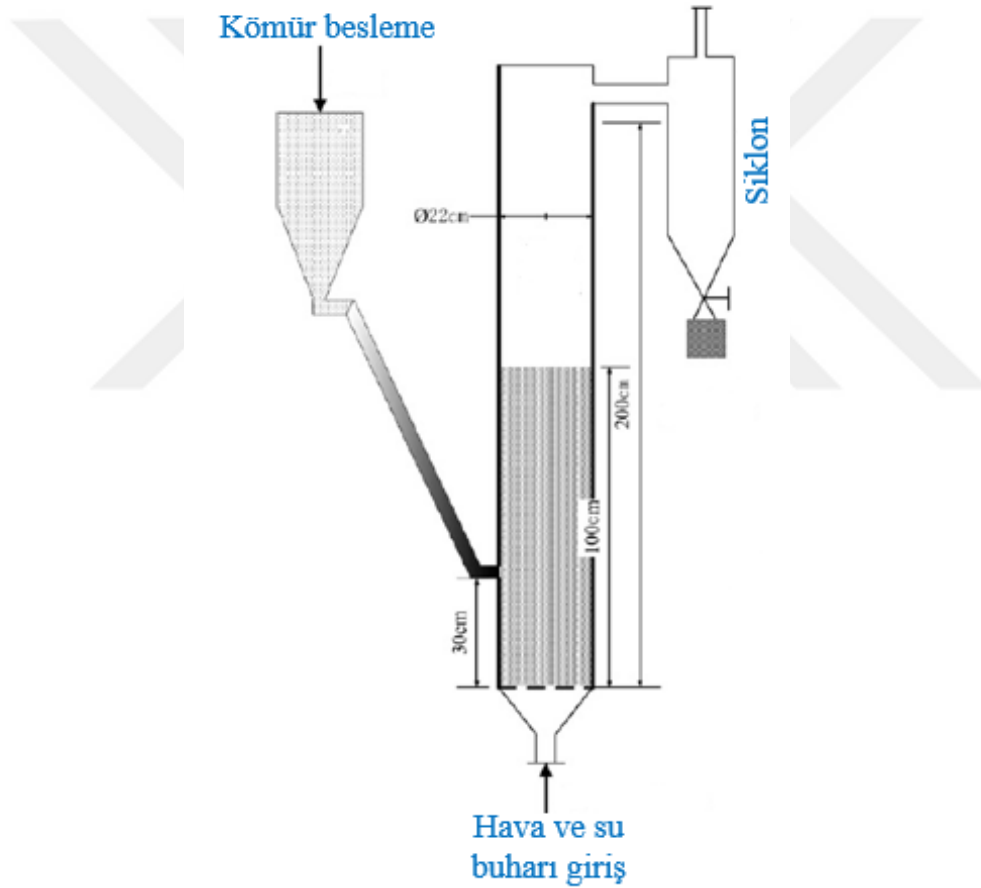
Bu bölümde doktora kapsamında geliştirilen modelin deneysel çalışmalar ile doğrulanması anlatılmaktadır. Model değişik yatak geometrilerinde yapılmış üç farklı deneysel çalışma ile doğrulanmıştır. Diğer bir deyişle model hem kabarcıklı akışkan yatak için hem de dolaşimli akışkan yatak için doğrulanmıştır. Ayrıca doktora kapsamında geliştirilen model, karşılaştırma yapılan deneysel çalışmalar kullanılarak yapılmış sayısal çalışma sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Şekil 4.1 ile bölüm özeti verilmektedir.



Şekil 4.1 : Model doğrulaması bölümünün özeti.

4.1 Birinci Karşılaştırma

Doktora kapsamında geliştirilen gazlaştırma modelinin ilk karşılaştırılması için Chejne ve Hernandez [42] tarafından yapılan çalışma seçilmiştir. Bu çalışmada deneysel çalışma sonuçlarına da yer verilmiştir. Chejne ve Hernandez [42] kabarcıklı akışkan yatakta kömürün gazlaştırılmasını çalışmışlardır. Bir boyutlu zamandan bağımsız modelleme yapmışlar ve model sonuçlarını deneysel veriler ile karşılaştırmışlardır. Farklı çalışma koşulları altında 6 deneysel çalışma sonuçlarına yer verilmiş olan bu çalışmada yer alan deney düzeneği Şekil 4.2 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.2 : Deneysel düzeneğin şematik gösterimi.

Deneyde kullanılan akışkan yatağın yüksekliği 2 m ve çapı 0.22 metredir. Yatağa sol taraftan kömür beslemesi yapılırken alt taraftan ise hava ve su buharı girişi olmaktadır. Akışkan yatağın çıkışında ise siklon bulunmaktadır. Akışkan yatağın alt tarafında 3 mm kalınlığında ve üzerinde çapı 1 mm olan 142 deliğin bulunduğu ayırıcı plaka yer almaktadır. Deneysel çalışmada Kolombiya kömürü kullanılmıştır. Deneysel atmosfer

basıncı altında yapılmıştır. Deneyin başlangıcında akışkan yatak 1 metre yüksekliğinde kömür ve yatak malzemesi (kum) ile doldurulmaktadır. Altı deneysel çalışmanın sınır şartları ve çalışma koşulları Çizelge 4.1 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : Deney çalışma koşulları ve sonuçları.

	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Deney 6
Deney çalışma koşulları						
Kömür debisi [kg/h]	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	6.6
Hava debisi [kg/h]	21.9	17.0	19.4	21.9	28.4	14.8
Su buharı debisi [kg/h]	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.0
Hava ve su buharı giriş sıcaklığı [$^{\circ}C$]	420	413	422	435	368	336
Yatak sıcaklığı [$^{\circ}C$]	855	812	841	866	826	829
Eşdeğerlik oranı	0.30	0.23	0.27	0.30	0.39	0.25
Su-Buharı/Kömür debisi oranı	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.61
Deney sonuçları (Çıkıştaki)						
H_2 (Yüzde mol oranı)	8.53	8.84	9.63	7.88	6.48	10.80
CO_2 (Yüzde mol oranı)	19.31	18.38	14.40	15.60	14.86	21.59
CO (Yüzde mol oranı)	10.94	10.59	9.97	10.94	5.80	10.14

Deneyde kullanılan Kolombiya kömürün özellikleri ise Çizelge 4.2 ile gösterilmektedir.

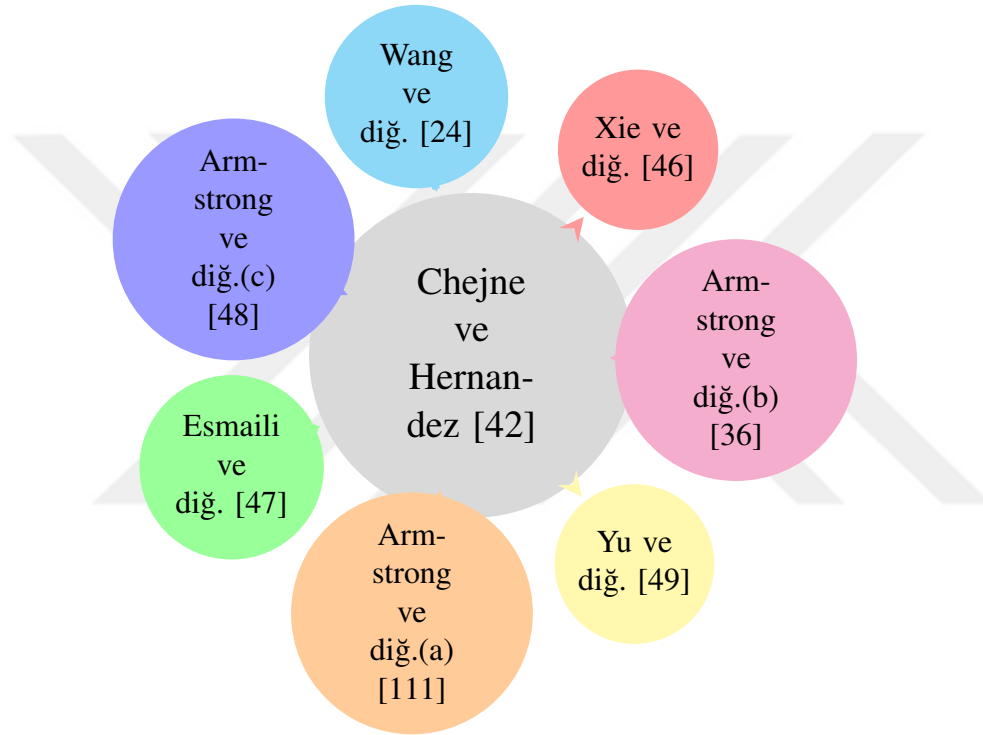
Çizelge 4.2 : Kömür özellikleri.

Kömür özellikleri	Değerler
<i>Kısmi (proximate) tahlil sonuçları (yüzde kütle oranı)</i>	
Nem	2.6
Uçucu madde	41.8
Sabit karbon	54.1
Kül	1.5
<i>Kesin (ultimate) tahlil sonuçları (yüzde kütle oranı)</i>	
Karbon	75.28
Hidrojen	5.36
Nitrojen	1.82
Oksijen	15.67
Sülfür	0.37
<i>Diğer özellikleri</i>	
Ortalama tanecik çapı [mm]	0.62
Yoğunluk [kg/m^3]	1250
Yüksek ısı değeri (High heating value) [kJ/kg]	29695

Chejne ve Hernandez [42] Çizelge 4.1 ile belirtilen deney koşulları için bir boyutlu zamandan bağımsız Eulerian-Eulerian matematik modelini kullanarak model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri matematik model sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırıldığında yaklaşık %20 oranında bağıl fark olduğu görülmüştür [42]. Deneysel veriler ile model arasındaki en çok fark H_2 gazının mol oranı değerinde görülmüştür. Bunun en büyük nedeni olarak ise uçucu maddenin kömürden çıkış hızı için sabit bir hız kullanmış olmalarından kaynaklandığını belirtmektedirler. Kömür

özelliğine bağlı olarak uçucu maddenin kömürden çıkış hızının değiştiği ve bu verinin kendilerinde olmamasından dolayı deneysel veriler ile %20 oranında bağlı farklılıklar oluştuğunu vurgulamışlardır [42].

Literatürde yukarıda anlatılan deney koşullarını modelleyen birçok sayısal çalışma vardır. Burada bu modelleme çalışmaları ve sonuçları ile ilgili de ayrıntılı bilgi verilecektir. Fakat öncesinde Şekil 4.3 ile Chejne ve Hernandez [42] tarafından yapılan çalışmada yer alan deneysel veriler üzerinden sayısal çalışmalar yapan makaleler gösterilmektedir.



Şekil 4.3 : Chejne ve Hernandez [42] tarafından yapılan çalışmadaki deneysel verileri kullanarak sayısal çalışma yapan makaleler.

Şekil 4.3 incelendiğinde Chejne ve Hernandez [42] tarafından yapılan çalışmada yer alan deneyi (Bakınız sayfa 62) kullanarak modelleme yapan 7 önemli sayısal çalışma olduğu görülmektedir. Şimdi sırası ile bu çalışmalar ile ilgili detaylı bilgi verilecektir. Daha sonra da doktora çalışması kapsamında geliştirilen model özellikleri ve sonuçlarına yer verilerek doktora kapsamında geliştirilen model doğrulanacaktır.

Literatürde yer alan 7 sayısal çalışma ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmeden önce Çizelge 4.3 ile bu çalışmaların önemli özellikleri özetlenecektir. Bu sayede model özellikleri ile ilgili hızlı bilgi edinilebilecektir.

Çizelge 4.3 : Sayısal çalışmaların önemli özellikleri.

Özellikler	Wang ve diğ. [24]	Armstrong ve diğ. [48]	Esmaili ve diğ. [47]	Yu ve diğ. [49]	Xie ve diğ. [46]	Armstrong ve diğ. [36]	Armstrong ve diğ. [111]
	Belirtilmemiş	ANSYS Fluent 12	ANSYS Fluent 14	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	ANSYS Fluent 12	ANSYS Fluent 12
1	E-E	E-E	E-E	E-E	E-L	E-E	E-E
2	3B	2B ve 3B	2B	2B	3B	2B	2B ve 3B
3	Belirtilmemiş	2215 (2B), 66243 (3B)	355000	2200	Belirtilmemiş	49200	2215 (2B), 66243 (3B)
4	k-epsilon	k-epsilon	k-epsilon	k-epsilon	LES	k-epsilon	k-epsilon
5	Gıdaspow [65]	Gıdaspow [65]	Di Felice [112]	Wen ve Yu [113]	Wen ve Yu [113]	Gıdaspow [65]	Gıdaspow [65]
6	0,0002 [s]	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	0,0001	0,00018	0,0001	0,0001
7	Kobayashi [93]	Modelenmemiş	Modelenmemiş	Modelenmemiş	Modelenmemiş	Kobayashi [93]	Kobayashi [93]
8	9	12	10	11	12	9	9
9	Yok	Var	Var	Yok	Yok	Var	Var
10	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
11	FOU	Belirtilmemiş	SOU	SOU	FOU	SOU	SOU
12							
Kesalmaların açıklaması							
E-E	Eulerian-Eulerian	FOU	First order upwind				
E-L	Eulerian-Lagrangian	SOU	Second order upwind				
2B	İki boyutlu	3B	Uç boyutlu				

Çizelge 4.3'te yer alan özellikler fazla yer kaplamasından dolayı numaralandırılarak gösterilmiştir. Çizelge 4.4 ile bu özellikler açıklanmıştır.

Çizelge 4.4 : Sayısal çalışmalarda yer alan özelliklerin açıklaması.

Özellikler	Açıklama
1	Kullanılan paket CFD program
2	Kullanılan matematik model
3	Modellemenin iki boyutlu veya üç boyutlu olma durumu
4	Modellemede kullanılan geometrinin ağ sayısı
5	Kullanılan türbülans modeli
6	Fazlar arası sürüklenme kuvveti (drag force) modeli
7	Modelleme zaman adımı
8	Kömürden uçucu maddenin çıkışı için kullanılan model
9	Modellemede kullanılan reaksiyon sayısı
10	Kalsinasyon (calcination) reaksiyonunun modelde olup olmaması
11	Sülfürden arındırma (desulfurization) reaksiyonunun olup olmaması
12	Denklemlerin ayrıklaştırma yöntemi

Şimdi sırası ile yukarıda bahsedilen sayısal çalışmalar ile ilgili ayrıntılı bilgi verilecektir.

4.1.1 Birinci sayısal çalışma bilgisi

Wang ve diğ. [24] üç boyutlu zamana bağlı kabarcıklı akışkan yatak modellemesi yapmışlar ve sonuçları Chejne ve Hernandez [42] tarafından yapılan çalışmada yer alan deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Wang ve diğ. [24] tarafından yapılan modelin belli başlı özellikleri aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır:

1. Eulerian-Eulerian matematik modeli kullanılmıştır.
2. Türbülans modellerinden $k - \varepsilon$ modeli seçilmiştir.
3. Sürüklenme kuvveti (drag force) için Gidaspow [65] tarafından geliştirilen model kullanılmıştır.
4. Kömürden uçucu maddenin çıkışı için iki rakipli model (two competing model) kullanılmıştır.
5. Uçucu maddenin CO_2 , CO , CH_4 ve H_2 gazlarına dönüştüğü kabul edilmiştir.
6. Modelde hem homojen hem de heterojen reaksiyonlar göz önüne alınmıştır.
7. Modelde kalsinasyon (calcination) ve kükürtsüzleştirme (desulfurization) reaksiyonları ihmal edilmiştir.

8. Modellemede zaman adımı olarak 2×10^{-4} s seçilmiştir.
9. Denklemlerin ayrıklaştırılması için FOU (First Order Upwind) yöntemi kullanılmıştır.

Modelleme ile elde edilen önemli sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır:

1. Çalışmada model sonuçlarının sayısal değerleri doğrudan verilmemiş, deneysel veriler ile karşılaştırma için sütun grafik kullanılmıştır. Ancak metin içinde deneysel veriler ile karşılaştırıldığında en düşük bağıl farkın %1 en yüksek bağıl farkın ise %25 olduğu söylenmiştir.
2. Model, Chejne ve Hernandez [42] tarafından yapılan çalışmada yer alan 6 deneysel çalışmadan 3 tanesi ile karşılaştırılmıştır. Üç model sonucunda da yatağın çıkış ağzında CO_2 ve H_2 gazları için hesaplanan mol oranı değerleri deneysel sonuçlardan daha yüksek çıkmıştır. Buna karşılık modelde CO gazı için ise deneysel verilerden daha düşük mol oranı hesaplanmıştır.

4.1.2 İkinci sayısal çalışma bilgisi

Armstrong ve diğ. [48] hem iki boyutlu hem de üç boyutlu ve zamana bağlı kabarcıklı akışkan yatakta kömürün gazlaştırılması problemi için model geliştirmişlerdir. Modellemelerinde kükürtsüzleştirme işlemlerini de çalışmışlardır. Yaptıkları model sonuçlarını Chejne ve Hernandez [42] tarafından yapılan çalışmada yer alan deneysel veriler ile karşılaştırmışlardır. Armstrong ve diğ. [48] tarafından geliştirilen modelin önemli özelliklerine aşağıda maddeler halinde değinilmektedir:

1. Eulerian-Eulerian matematik modeli kullanılarak modelleme yapılmıştır.
2. ANSYS Fluent 12 paket HAD programı kullanılarak modelleme yapılmıştır.
3. Kömür taneciklerinin birbiri ile kinetik dalgalanmaları dikkate alınmış ve KTGF (Kinetic Theory of Granular Flow) modeli sayısal modele eklenmiştir.
4. Sanal kütle (virtual mass) ve kaldırma etkileri (lift effect) ihmal edilmiştir. Kaldırma etkisinin, tanecik çapının büyük olması durumlarında etkili olmasından dolayı ihmal edildiği belirtilmiştir.
5. Sürüklenme kuvveti (drag force) için Gidaspow [65], Wen ve You [113] tarafından geliştirilen iki modelin birleşimi kullanılmıştır.

6. Türbülans modeli olarak $k - \varepsilon$ modeli seçilmiştir.
7. Kömürden uçucu maddenin çıkışı için bir model kullanılmamış, uçucu maddenin kömürden çok hızlı çıktığı kabul edilmiştir.
8. Uçucu maddenin CO_2 , CO , CH_4 , H_2 , H_2O , NH_3 , H_2S ve katran (tar) bileşenlerinden oluştuğu kabul edilmiş ve bu bileşenlerin kütle oranları kömür özellikleri dikkate alınarak geliştirilmiş bir korelasyon kullanılarak hesaplanmıştır.
9. Modellemede altı tane heterojen ve altı tane homojen olmak üzere toplam 12 reaksiyon kullanılmıştır.
10. Kalsinasyon (calcination) ve kükürtsüzleştirme (desulfurization) reaksiyonları da dikkate alınmıştır.
11. Başlangıç şartı olarak yatağın yarısı (1 metre) hacim oranları eşit olmak kaydıyla kireç taşı ($CaCO_3$) ve kömür ile doldurulmuştur. Karışımın hacim oranı değeri 0.48 iken bunun yarısı (0.24) kireç taşı ve diğer yarısı (0.24) kömür olarak alınmıştır.
12. Çözümlemenin başında yatağın her tarafı reaktif olmayan N_2 gazı ile doldurulmuştur.
13. İki boyutlu modellemede yatak 2215 ağ (mesh) sayısına sahip iken üç boyutlu modellemede ise yatak 66243 ağ (mesh) sayısına sahiptir.

Armstrong ve diğ. [48] tarafından yapılan çalışma ile elde edilen belli başlı sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır.

1. Modellemenin iki boyutlu ya da üç boyutlu olmasının sonuçlarda çok az bir değişiklik yaptığı sonucuna ulaşıldığı vurgulanmıştır.
2. Modelde kükürtsüzleştirme (desulfurization) reaksiyonu aktif edildiğinde yataktaki SO_2 değerinin beklenildiği gibi düştüğü gözlenmiştir. Fakat kükürtsüzleştirme reaksiyonu aktif değilken yataktaki SO_2 gazının ortalama mol oranı 1.2×10^{-9} değerinin altında olduğunu vurgulamak gerekir. Kükürtsüzleştirme reaksiyonunun aktif olması ile bu değer 4.0×10^{-10} değerinin altına düştüğü gösterilmiştir.

4.1.3 Üçüncü sayısal çalışma bilgisi

Esmaili ve diğ. [47] yaptıkları modellemede Chejne ve diğ. [42] tarafından yapılan deneysel çalışmayı kullanmışlardır. Eulerian-Eulerian matematik modelini kullanarak modelleme yapmışlardır. Modellemelerinde öne çıkan özellikler aşağıda maddeler halinde açıklanmaktadır.

1. ANSYS Fluent 14 HAD paket programı kullanılmıştır.
2. Sürüklenme kuvveti (drag force) olarak Di Felice [112] modeli kullanılmıştır.
3. Yatak 355000 ağ (mesh) sayısına sahiptir.
4. Kömürden uçucu maddenin çıkışı için bir model kullanılmamış, uçucu maddenin kömürden çok hızlı çıktığı kabul edilmiştir.
5. Yatak dolgu malzemesi (kireçtaşı) ihmal edilmemiştir.
6. Beş heterojen, dört homojen olmak üzere toplam 10 reaksiyon göz önüne alınmıştır.
7. Uçucu maddenin kimyasal formülü için deneysel korelasyon kullanılmıştır
8. İki boyutlu ve zamana bağlı modelleme yapılmıştır.

Modellemelerinin doğrulaması için Chejne ve diğ. [42] tarafından yapılan çalışmada yer alan 6 farklı deneysel çalışmanın hepsini kullanmışlardır. Deneylemin çalışma şartları, model sonuçları ve bu sonuçların deneysel veriler ile karşılaştırılması Çizelge 4.5 ile verilmiştir.

Yapılan modelleme sonuçlarının çoğunlukla deney sonuçlarına yakın olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarına daha yakın sonuçlar elde edilebilmesi için kömür özelliklerinin dikkate alınarak modelleme yapılması gerektiği söylenmiştir. Modelin doğrulanmasından sonra bazı parametrik çalışmalar yapılmıştır. Bu parametrik çalışmalar ve özet sonuçları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Gaz hızının yatak hidrodinamiğine etkisi incelenmiştir.
 - (a) Minimum akışkanlaştırma hızı 0.14 m/s olarak hesaplanmıştır.
 - (b) Minimum akışkanlaştırma hızınının 2, 3, 4 ve 10 katı alınarak akışkan yatak içinde oluşan baloncuk yapıları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.5 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması [47].

Deney No		1	2	3	4	5	6
Yatak sıcaklığı	°C	855	812	841	866	826	829
Kömür debisi	kg/h	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	6.6
Kireçtaşı debisi	kg/h	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.66
Hava debisi	kg/h	21.9	17.0	19.4	21.9	28.4	14.8
Su buharı debisi	kg/h	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.0
Hava ve su buharı giriş sıcaklığı	C	420	413	422	435	368	336
Deney Sonuçları (Çıkıştaki ortalama mol oranları)							
CO	%	10.94	10.59	9.97	10.94	5.80	10.14
CO ₂	%	19.31	18.38	14.40	15.60	14.86	21.59
H ₂	%	8.53	8.84	9.63	7.88	6.48	10.80
CH ₄	%	0.84	1.07	1.34	1.01	1.29	0.86
N ₂	%	60.37	61.10	64.62	64.52	71.54	56.60
H ₂ /CO	-	0.78	0.83	0.96	0.72	1.11	1.06
CO/CO ₂	-	0.57	0.58	0.69	0.70	0.39	0.47
CH ₄ /CO ₂	-	0.04	0.06	0.09	0.06	0.09	0.04
Model Sonuçları (Çıkıştaki ortalama mol oranı)							
CO	%	10.55	9.20	10.02	10.70	7.61	9.66
CO ₂	%	16.83	17.00	17.25	16.80	13.99	18.04
H ₂	%	8.55	10.86	9.39	8.29	7.77	9.61
CH ₄	%	0.87	1.19	1.19	1.12	1.11	1.10
N ₂	%	63.19	61.75	62.16	63.08	69.52	61.60
H ₂ /CO	-	0.81	1.18	0.94	0.77	1.02	0.99
CO/CO ₂	-	0.63	0.54	0.58	0.64	0.54	0.53
CH ₄ /CO ₂	-	0.05	0.07	0.07	0.07	0.08	0.06
Yüzde bağıl fark							
CO	-	3.56	13.13	0.50	2.19	31.21	4.73
CO ₂	-	12.84	7.51	19.79	7.69	5.85	16.44
H ₂	-	0.23	22.85	2.49	5.20	19.91	11.02
CH ₄	-	3.57	11.21	11.19	10.89	13.95	27.91
N ₂	-	4.67	1.06	3.81	2.23	2.82	8.83

(c) En uygun akışkanlaştırma hızının $3 \times U_{mf}$ (U_{mf} , minimum akışkanlaştırma hızı) olduğu tespiti yapılmıştır.

2. Kömür tanecik çapının yatağın hidrodinamiğine etkisi araştırılmıştır.

(a) Akışkanlaştırma hızı $3 \times U_{mf}$ alınmış ve kömür çapı sırasıyla 0.2, 0.62, 1, 5 mm alınarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

(b) Kömür çapı arttıkça akışkan yatakta oluşan baloncukların sayısı artmakta fakat buna karşılık baloncuk büyüklüğünün azalmakta olduğu tespit edilmiştir.

i. Bu durumun en önemli nedeni olarak tanecik boyutu büyürken akışkanlaştırma hızının büyük baloncuklar oluşturabilmesi için küçük kalmasından dolayı olduğu söylenebilir.

(c) Küçük kömür çapının ısı ve kütle transferi açısından olumlu özellikleri olurken buna karşılık küçük kömür taneciklerinin akış ile daha kolay sürüklenip yatağı terk etme problemi yarattığı belirtilmiştir.

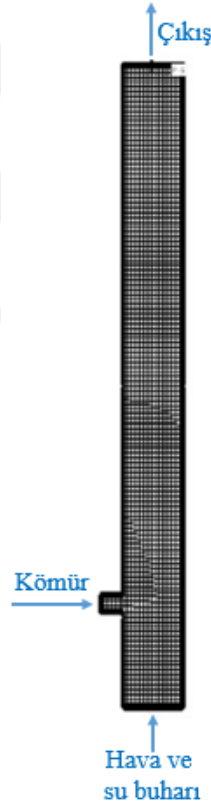
3. Yatak çalışma sıcaklığının oluşan gazların mol oranlarına etkisi araştırılmıştır.

- (a) Yatağın her yerinde sıcaklığın sabit kaldığı kabulü yapılarak modelleme yapılmıştır.
- (b) Sıcaklık 600 °C ile 1000 °C arasında değiştirilmiştir.
- (c) Modellemede Buhar/Kömür debisi oranı 0.57 kg/kg ve Hava/Kömür debisi oranı 2.74 kg/kg olarak alınmıştır.
- (d) H_2 gazının mol oranı sıcaklık ile artmakta olduğu ve 900 °C den sonra yatay bir hal aldığı söylenmiştir.
- i. Bunun nedeni ise ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift) reaksiyonun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) endotermik bir reaksiyon olmasına bağlanmıştır.
- ii. Su-gaz dönüşümü reaksiyonu ileri ve geri yönlü (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9, R10) olduğu için H_2 gazının mol oranı değerinde sürekli bir artış olmadığı vurgulanmıştır.
- (e) H_2 gazının mol oranı sıcaklık ile artarken CO gazının da mol oranı 810 °C ye kadar azalmakta ve en düşük değer olarak %10'un altına düşmektedir. 810 °C'ye kadar olan sıcaklık artışı su-gaz dönüşümü reaksiyonunu hızlandırdığı için CO gazının mol oranı azalmaktadır. Fakat 810 °C'den sonra sıcaklığın artması ve heterojen reaksiyonların da hızlanması ile tekrar CO gazı üretimi artmaktadır.
- (f) CO_2 gazının mol oranı değeri ise 860 °C'ye kadar yavaş yavaş azalmakta, 860 °C'den sonra ise kısmen daha hızlı azalmaya devam etmektedir.
4. Su buharı debisinin kömür debisine oranının yatağın çıkışındaki gazların mol oranlarına etkisi araştırılmıştır.
- (a) Yatak sıcaklığı 855 °C, Hava/Kömür debisi oranı 2.74 kg/kg ve Su-Buharı/Kömür debisi oranı 0.2 ile 1.8 kg/kg arasında alınarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.
- (b) Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkışındaki ortalama mol oranı değerlerinin arttığı, buna karşılık CO gazının mol oranı değerinin azaldığı görülmüştür.
5. Hava debisinin kömür debisine oranının yatağın çıkışındaki gazların mol oranlarına etkisi araştırılmıştır.

- (a) Yatak sıcaklığı $855\text{ }^{\circ}\text{C}$, Su-Buharı/Kömür debisi oranı 0.57 kg/kg ve Hava/Kömür debisi oranı 1.7 ile 3.2 kg/kg arasında alınarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.
- (b) Hava/Kömür debisi oranı arttıkça CO ve CO_2 gazlarının yatağın çıkışındaki ortalama mol oranı değerlerinin arttığı buna karşılık H_2 gazının mol oranı değerinin azaldığı görülmüştür.

4.1.4 Dördüncü sayısal çalışma bilgisi

Yu ve diğ. [49] iki boyutlu zamana bağlı Eulerian-Eulerian matematik denklemlerini kullanarak modelleme yapmışlardır. Modelleme için 22×100 adet kontrol hacmi kullanmışlardır. Yatağın ağ (mesh) yapısı Şekil 4.4 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.4 : Modelde kullanılan yatağın ağ yapısı [49].

Modelin önemli özellikleri maddeler halinde aşağıda sıralanmaktadır.

1. Çıkış basıncı olarak atmosfer basıncı alınmıştır.
2. Yatak başlangıçta yarısına kadar yani 1 metre yüksekliğinde kömür ile doldurulmaktadır. Taneciklerin toplam hacim oranı değeri 0.48 olarak alınmıştır.

Çözümleme sırasında tanecikler arasındaki boşluğun azalarak sıfır değerine ulaşmaması için en yüksek tanecik paketleme değeri 0.64 olarak kabul edilmiştir.

3. Yatak duvarlarında, hem gaz hem de katı faz için kaymama sınır şartı alınmıştır.
4. Modelleme sonlu hacim metodu (finite volume method) ile yapılmıştır ve modellemede zaman adımı olarak 10^{-4} saniye seçilmiştir.
5. Sürtünme stresi (frictional stresses), kaldırma kuvveti (lift force), ısıl dalgalanmalar sonucu oluşan kuvvetler (thermophoretic force), Brownian kuvveti ve sanal kütle kuvveti (virtual mass force) modellemede göz ardı edilmiştir.
6. Kömür taneciklerinin birbiri ile çarpışmalarının sıcaklık ile değişmediği, ekzotermik ve endotermik reaksiyonların akış içindeki katı taneciklerin hızlarında dalgalanma yaratmadığı ve reaksiyonların tanecik sıcaklığını (granular temperature) yükseltmediği kabulleri yapılmıştır.
7. Ayrıca, ışıyım ile ısı kaybı ihmal edilmiş ve taneciklerin izotermal, esnek olmadığı ve küresel olduğu kabulleri yapılmıştır.
8. Uçucu maddenin çıkışının aniden meydana geldiği kabulü yapılmıştır.

Bu kabuller altında modelleme yapılmış ve yatak içindeki sıcaklık dağılımının gazlaştırma sonucu oluşan gaz bileşenlerine etkisi araştırılmıştır. Yapılan modellemenin sonuçları aşağıda maddeler halinde özetlenmektedir.

1. Deney verileri ile karşılaştırıldığında CO_2 ve N_2 gazlarının yatağın çıkışında hesaplanan mol oranı değerlerinin, deney verileri ile arasındaki bağıl fark değeri %5'in altındadır.
2. CH_4 gazının mol oranı değerinde oluşan bağıl hata %10 mertebelerindedir.
 - (a) Bunun en önemli nedenlerinden biri CH_4 gazının oluşumunun sadece kömürden uçucu maddenin çıkışına bağlı olması ve ikinci nedenin ise karbonun H_2 ile reaksiyona girip CH_4 gazı oluşturduğu reaksiyona modelde yer verilmemesi olarak açıklanmıştır.
3. Buna karşılık en fazla bağıl fark %20 mertebelerinde olup H_2 ve CO gazlarının mol oranı değerlerinde ortaya çıktığı söylenebilir.

- (a) H_2 ve CO gazlarının mol oranı değerlerinde ortaya çıkan bu farkın en önemli nedeni olarak yatak malzemesi olarak kullanılan kireçtaşının ihmal edilmesi olarak açıklanmıştır.
- (b) Kireçtaşının yatak malzemesi olarak kullanıldığında reaksiyonlar sonucu CO_2 gazının oluştuğu ve oluşan bu gaz ile su-gaz dönüşümü (water-gas shift) reaksiyonu sonucu yatak içindeki H_2 gazının mol oranı azalacağı ve CO gazının mol oranı artacağı şeklinde açıklama yapılmıştır [114, 115].

4.1.5 Beşinci sayısal çalışma bilgisi

Armstrong ve diğ. [36], yaptıkları kabarcıklı akışkan yatak modellemesinin sonuçlarını Chejne ve Hernandez [42] tarafından yapılan çalışmada yer alan deneysel verileri kullanarak doğrulamışlardır. Bu çalışmanın modelleme bilgisi aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır.

1. Eulerian-Eulerian matematik denklemlerini kullanarak iki boyutlu zamana bağlı modelleme yapmışlardır.
2. Modellemenin en önemli özelliği kireçtaşı kireçleştirme (limestone calcination) reaksiyonun modele dahil edilmiş olmasıdır. Kireçtaşının ve kireçtaşı kireçleştirme reaksiyonun modele katkısı, sonuçların deneysel veriler ile karşılaştırılmasıyla ortaya konulmuştur.
3. Modelin başlangıç sınır şartı olarak yatak yarısına kadar (1 metre) kömür ve kireçtaşı ile doldurulmuştur.
 - (a) Kömür ve kireçtaşının toplam hacim oranı değeri 0.48 olarak alınmıştır. Bu hacim oranı hem kömür hem de kireçtaşı tanecikleri eşit paylaşmaktadır. Yani kömürün ve kireçtaşının hacim oranı ayrı ayrı 0.24 değerindedir.
4. Yatağı 49200 adet ağ (mesh) sayısına sahip olacak şekilde bölerek ve sonlu hacim metodu kullanılarak sayısal modelleme yapmışlardır.
5. Zaman adımı olarak 10^{-4} saniye seçilmiş ve yakınsama kriteri olarak tüm hesaplamalarda elde edilen sonuçların bir önceki hesaplama değerleri ile arasındaki farkın 10^{-3} veya daha düşük olması durumu seçilmiştir.

6. Modelde 5 adet heterojen ve 4 adet homojen reaksiyon olmak üzere toplam 9 adet reaksiyon dikkate alınmıştır. Bu reaksiyonların kinetik parametreleri Çizelge 4.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.6 : Reaksiyonların kinetik hız sabitleri

Kinetik hız sabitleri	
Heterojen reaksiyonlar	
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	$K_1 = 1.04 \times 10^5 T_k \exp(-11200/T_k)$
$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$	$K_2 = 342 T_k \exp(-15600/T_k)$
$C + CO_2 \rightarrow 2CO$	$K_3 = 342 T_k \exp(-15600/T_k)$
$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	$K_4 = 3.42 \times 10^{-3} \exp(-15600/T_k)$
$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$	$K_5 = \frac{3.07 \times 10^{11} \exp(-24670/T)}{3.336 \times 10^7 p \times \exp(-20269/T)}$
Homojen reaksiyonlar	
$CO + 0.5O_2 \rightarrow CO_2$	$K_6 = 1.0 \times 10^5 \exp(-16000/T_g) C_{CO} C_{O_2}^{1.5}$
$H_2 + 0.5O_2 \rightarrow H_2O$	$K_7 = 5.159 \times 10^{15} \exp(-3430/T_g) T^{-1.5} C_{O_2} C_{H_2}^{1.5}$
$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$	$K_8 = 3.552 \times 10^{14} \exp(-15700/T_g) T^{-1} C_{O_2} C_{H_2}^{1.5}$
$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	$K_9 = 2780 \exp(-1510/T_g) \left[C_{CO} C_{H_2O} - \frac{C_{CO_2} C_{H_2}}{0.0265 \exp(3968/T_g)} \right]$

Model için belirtilmesi gereken diğer önemli bir husus ise uçucu maddenin kömürden çıkışının Kobayashi ve diğ. [93] tarafından geliştirilmiş olan iki rakipli hız modeli (two competing rates model) kullanılarak yapılmış olmasıdır. Daha önceden uçucu maddenin modellenmesi konu başlığında anlatılan (Bakınız Bölüm 3.2.2, sayfa 37) iki rakipli model için kullanılan parametrelerin değerleri Denklem 4.1-4.6 ile gösterildiği gibi seçilmiştir.

$$A_1 = 2 \times 10^5 [1/s] \quad (4.1)$$

$$A_2 = 1.3 \times 10^7 [1/s] \quad (4.2)$$

$$E_1 = 1.046 \times 10^8 [J/kgmol] \quad (4.3)$$

$$E_2 = 1.67 \times 10^8 [J/kgmol] \quad (4.4)$$

$$Z_1 = 0.418 \quad (4.5)$$

$$Z_2 = 1.0 \quad (4.6)$$

Denklemler 4.1-4.6 ile gösterilen parametrelerin açıklaması iki rakipli modelin tanımlandığı bölümde (Bakınız Bölüm 3.2.2, sayfa 37) yer almaktadır. Fakat bu parametreler kömürün özelliklerine göre değişmektedir. Bu nedenle burada kullanılan parametreler literatürde de yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen her kömür tipine uygun olmayabilmektedir. Uçucu maddenin kömürden çıkışının doğru modellenmesi sonucu çok etkileyen bir unsurdur [34]. Armstrong ve diğ. [36] tarafından yapılan çalışmada iki farklı model (Model 1 ve Model 2) yapılmıştır. Bu model sonuçlarının deneysel veriler ile karşılaştırılması Çizelge 4.7 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.7 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması

	Yatağın çıkışındaki mol oranları (%)						
	<i>CO</i>	<i>CO₂</i>	<i>H₂</i>	<i>CH₄</i>	<i>N₂</i>	<i>H₂O</i>	Katran (tar)
Model 1							
Kireçtaşı reaksiyonu yok	0.13464	0.0915	0.06226	0.0002	0.54675	0.16428	0.00037
Kireçtaşı reaksiyonu var	0.13249	0.09279	0.06094	0.0002	0.54671	0.16649	0.00037
Kireçtaşı reaksiyonu farkı	-0.00214	0.0013	-0.00132	0	-0.00003	0.0022	0
Deney 1	0.1094	0.1931	0.0853	0.0084	0.6037	Veri yok	Veri yok
Model 1 sonuçları ile Deney 1 arasındaki yüzde bağıl fark (kireçtaşı reaksiyonu yok)							
	23.07	52.62	27.01	97.62	9.43	Veri yok	Veri yok
Model 1 sonuçları ile Deney 1 arasındaki yüzde bağıl fark (kireçtaşı reaksiyonu var)							
	21.11	51.95	28.56	97.62	9.44	Veri yok	Veri yok
Model 2							
Kireçtaşı reaksiyonu yok	0.10135	0.09742	0.0523	0.00014	0.52268	0.22584	0.00026
Kireçtaşı reaksiyonu var	0.10268	0.09818	0.05422	0.00014	0.52379	0.22073	0.00026
Kireçtaşı reaksiyonu farkı	0.00132	0.00076	0.00192	0	0.00111	-0.00511	0
Deney 2	0.1059	0.1838	0.0884	0.0107	0.611	Veri yok	Veri yok
Model 2 sonuçları ile Deney 2 arasındaki yüzde bağıl fark (kireçtaşı reaksiyonu yok)							
	4.3	47	40.84	98.69	14.45	Veri yok	Veri yok
Model 2 sonuçları ile Deney 2 arasındaki yüzde bağıl fark (kireçtaşı reaksiyonu var)							
	3.04	46.58	38.67	98.69	14.27	Veri yok	Veri yok

Armstrong ve diğ. [36] tarafından yapılan modellerin (Model 1 ve Model 2) sonuçları aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır.

1. Birinci modelin (Model 1) sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırıldığında *CO* gazının mol oranı değerinin deneysel veriden yüksek (kireçtaşı reaksiyonu yok iken bağıl fark %23.07 ve kireçtaşı reaksiyonu var iken bağıl fark %21.11) olduğu görülmektedir.
2. Buna karşılık birinci modelde (Model 1) *CO₂* gazının yatak çıkışındaki mol oranı değeri deneysel veriden düşük (kireçtaşı reaksiyonu yok iken bağıl fark %52.62 ve kireçtaşı reaksiyonu var iken bağıl fark %51.95) olduğu açıklanmış ve modelin deneysel sonuç ile uyumlu olmadığı kabul edilmiştir [36].
3. İkinci modelde de *CO₂* gazının yatağın çıkışındaki mol oranı değerinin deneysel veri ile karşılaştırılmasında bağıl farkın bir önceki kadar olmamasına rağmen

yüksek olduğu görülmektedir (kireçtaşı reaksiyonu yok iken bağıl fark %47 ve kireçtaşı reaksiyonu var iken bağıl fark %46.58).

4. Buna karşılık ikinci model (Model 2) ile elde edilen CO gazının yatağın çıkışındaki mol oranı değerinin deney verisine oldukça yakın olduğu görülmektedir (kireçtaşı reaksiyonu yok iken bağıl fark %4.30 ve kireçtaşı reaksiyonu var iken bağıl fark %3.04).
5. H_2 gazı için ise birinci modeldeki (Model 1) bağıl farkın %27'den yüksek (kireçtaşı reaksiyonu yok iken bağıl fark %27.01 ve kireçtaşı reaksiyonu var iken bağıl fark %28.56) olduğu görülmektedir.
6. Buna karşılık ikinci model (Model 2) de ise bu bağıl farkın arttığı (kireçtaşı reaksiyonu yok iken bağıl fark %40.84 ve kireçtaşı reaksiyonu var iken bağıl fark %38.67) görülmektedir.
7. Her iki modelde (Model 1 ve 2) de CH_4 gazının yatağın çıkış ağzındaki mol oranı değerinin deney sonucu ile uyuşmadığı açık bir şekilde görülmektedir (bağıl fark %97 değerinden büyüktür).
8. Reaksiyonlara katılmayan N_2 gazı için her iki modelde elde edilen bağıl fark değeri %15'ten küçüktür.
9. Yatak içinde kireçtaşı kalsinasyon reaksiyonun gaz bileşenlerinin yatak çıkışındaki mol oranlarına etkisinin az olduğu görülmektedir. Bunun nedenleri ise aşağıda sıralanmaktadır.

(a) Birinci neden: Kireçtaşı kalsinasyon reaksiyonun yüksek sıcaklık isteyen ve gerçekleşmesi göreceli olarak uzun olan bir reaksiyon olmasıdır. Wang ve diğ. [116] yaptıkları çalışmada kireçtaşının ($CaCO_3$) %73'lük kısmı, $920^\circ C$ sıcaklıkta yaklaşık 70 dakikalık bir sürede CaO ve CO_2 bileşenlerine ayrıştığını göstermişlerdir.

(b) İkinci neden: Armstrong ve diğ. [36] çalışmalarında modelleme süresini 100 saniye seçmelerinden kireçtaşının kalsinasyon reaksiyonunun tam gerçekleşmediğini iddia etmektedirler.

(c) Üçüncü neden: Deneyde, önce yatağın yarısına kadar kireçtaşı ile doldurulmuş ve kireçtaşının sıcaklığının $700^\circ C$ ulaşmasının ardından yatağa kömür beslemesi yapılmış olmasına rağmen modelde bu işlem sırasına

uyulmadan başlangıç anı olarak yatağın yarısına kadar kömür ve kireçtaşı doldurulmuştur.

4.1.6 Altıncı sayısal çalışma bilgisi

Armstrong ve diğ. [111] Eulerian-Eulerian matematiksel denklemlerini kullanarak kabarcıklı akışkan yatakta kömürün gazlaştırılmasını hem iki boyutlu hem de üç boyutlu ve zamana bağlı olarak sayısal modellemesini yapmışlardır. Modelin doğrulaması Chejne ve Hernandez [42] tarafından yapılan çalışmada yer alan deneysel veriler kullanılarak yapılmıştır. Model doğrulanmasının ardından aşağıda maddeler halinde gösterilen konuların model sonuçlarına etkisini araştırmışlardır.

1. Uçucu maddenin kömürden çıkışının model sonuçlarına etkisini araştırmışlardır.
2. Yatak malzemesinin (kireç taşı) hacim oranının model sonuçlarına etkisini araştırmışlardır.
3. Başlangıçta yatağa doldurulan kömür miktarının model sonuçlarına etkisini araştırmışlardır.
4. Sayısal çözümlemedeki zaman adımının model sonuçlarına etkisini araştırmışlardır.
5. Toplam çözümleme zamanının model sonuçlarına etkisini araştırmışlardır.
6. Modellemenin iki veya üç boyutlu olmasının model sonuçlarına etkisini araştırmışlardır.

Yapılan modellemenin önemli özellikleri aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır.

1. Modelleme hem iki boyutlu hem de üç boyutlu yapılmıştır.
 - (a) İki boyutlu yapılan modellemede yatak 2215 adet ağ (mesh) sayısına sahiptir.
 - (b) Üç boyutlu modellemede yatak 66243 adet ağ (mesh) sayısına sahiptir.
2. Modelde uçucu maddenin kömürden çıkışı için iki farklı model kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.
 - (a) Kullanılan modellemelerden birincisi tek hız modelidir (single rate model) [53].

- (b) Kullanılan modellemelerden ikincisi ise iki rakipli hız modelidir (Kobayashi iki denklem metodu) [93].
- (c) Uçucu maddenin çıkışı için kullanılan modellerden tek hız modeli, tek bir reaksiyon ile uçucu maddenin çıkışını modellemektedir.
- (d) İki rakipli hız modelinin düşük ve yüksek sıcaklıklar için iki farklı reaksiyon ile modelleme yapmasından dolayı tek hız modeline göre daha hızlı yakınsadığı ve deney sonuçları ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.
- (e) Bu nedenle uçucu madde çıkış modeli olarak iki rakipli hız modeli seçilmiş ve parametrik çalışmalarda bu model kullanılmıştır.

Armstrong ve diğ. [111], Chejne ve Hernandez [42] tarafından yapılan çalışmada yer alan 6 deneysel çalışmadan 4 tanesi için modelleme yapmışlardır. Modellemede kullanılan deneylerin sınır şartları Çizelge 4.8 ile ve bu modelleme koşulları altında elde edilen sonuçların deneysel veriler ile karşılaştırılması ise Çizelge 4.9 ile verilmektedir.

Çizelge 4.8 : Deney sınır şartları.

Sınır şartları	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4
Hava debisi [kg/h]	21.9	17	19.4	21.9
Su buharı debisi [kg/h]	4.6	4.6	4.6	4.6
Kömür debisi [kg/h]	8	8	8	8
Kireçtaşı debisi [kg/h]	0.8	0.8	0.8	0.8
Hava ve su buharı giriş sıcaklığı [K]	693.15	686.15	695.15	708.15
Yatak sıcaklığı [K]	1128.15	1085.15	1114.15	1139.15

Çizelge 4.9 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.

	Yatağın çıkışındaki mol oranları						
	CO	CO_2	H_2	CH_4	N_2	H_2O	Katran (tar)
Model 1	0.08503	0.11023	0.04261	0.00006	0.56551	0.19647	0.00009
Deney 1	0.1094	0.1931	0.0853	0.0084	0.6037	Veri yok	Veri yok
Yüzde bağıl fark	22.3	42.9	50	99.3	6.3	Veri yok	Veri yok
Model 2	0.06748	0.10906	0.03898	0.00004	0.53538	0.249	0.00007
Deney 2	0.1059	0.1838	0.0884	0.0107	0.611	Veri yok	Veri yok
Yüzde bağıl fark	36.3	40.7	55.9	99.6	12.4	Veri yok	Veri yok
Model 3	0.07904	0.10987	0.0423	0.00005	0.55385	0.2148	0.00009
Deney 3	0.0997	0.144	0.0963	0.0134	0.6462	Veri yok	Veri yok
Yüzde bağıl fark	20.7	23.7	56.1	99.6	14.3	Veri yok	Veri yok
Model 4	0.08919	0.10833	0.0435	0.00006	0.56919	0.18963	0.0001
Deney 4	0.1094	0.156	0.0788	0.0101	0.64520	Veri yok	Veri yok
Yüzde bağıl fark	18.5	30.6	44.8	99.4	11.8	Veri yok	Veri yok

Modelleme sonuçlarının deneysel veriler ile karşılaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının mol oranı değeri için en düşük %18.5 ve en yüksek ise %36.3 bağıl fark görülmektedir. CO_2 gazı için en düşük %23.7 ve en yüksek %42.9, H_2 gazı

için en düşük %44.8 ve en yüksek %56.1, CH_4 gazı için en düşük %99.3 ve en yüksek %99.6 son olarak N_2 gazı için en düşük %6.3 ve en yüksek %14.3 yüzde bağıl fark hesaplanmıştır. Armstrong ve diğ. [111] modelleme sonuçlarının deney verileri ile makul oranda uyduğunu belirtmektedir.

Armstrong ve diğ. [111] tarafından yapılan parametrik çalışmalarından ilki yatağa konulan kireç taşının etkisinin araştırılmasıdır. Modelde yatağın yarısına kadar doldurulan kömür ve kireç taşının toplam hacim oranı 0.48 (kireç taşının hacim oranı 0.24, kömürün hacim oranı 0.24) değerinde alınmıştır. Yatak içindeki kireç taşının etkisini araştırmak için üç farklı parametrik çalışma yapılmıştır. Bu parametrik çalışmalar ile ilgili bilgiler aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır.

1. Birinci parametrik çalışmada hacim oranı değerinin %25'i kömür ve %75'i kireç taşı olarak alınmıştır. Diğer bir deyişle kömürün hacim oranı 0.12 ($0.48 \times 0.25 = 0.12$) ve kireç taşının hacim oranı 0.36 ($0.48 \times 0.75 = 0.36$) değerinde alınarak yatağın yarısı kireç taşı ve kömür ile doldurulmuştur.
2. İkinci parametrik çalışmada toplam hacim oranı değerinin %50'si kömür %50'si kireç taşı alınmıştır. Yani kireç taşı ve kömürün hacim oranı değeri 0.24 alınarak yatağın yarısına kadar kömür ve kireç taşı doldurulmuştur. (Bu parametrik çalışma aynı zamanda çalışmanın deneysel veri ile karşılaştırıldığı temel haldir.)
3. Son olarak üçüncü parametrik çalışmada ise toplam hacim oranı değerinin %75'i kömür, %25'i kireç taşı alınmıştır. Yani yatağın yarısı kömür ve kireç taşı ile doldurulur iken kömürün hacim oranı değeri 0.36 ($0.48 \times 0.75 = 0.36$) ve kireç taşının hacim oranı değeri 0.12 ($0.48 \times 0.25 = 0.12$) değerindedir.

Bu üç durum için yapılan parametrik çalışmaların sonucunda yatak içindeki kireç taşı miktarı arttıkça (kömür miktarı azaldıkça) yatağın çıkışında hesaplanan CO ve H_2 gazının mol oranı azalmakta, CO_2 gazının mol oranı artmakta olduğu tespit edilmiştir. Armstrong ve diğ. [111] tarafından yapılan çalışmada diğer bir parametrik çalışma ise yatağın kömür ve kireç taşı ile doldurma yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin araştırılmasıdır. Bu parametrik çalışma ile ilgili bilgiler maddeler halinde sıralanmaktadır.

1. Yatak sırası ile 50 cm, 75 cm, 100 cm ve 125 cm yüksekliğe kadar kömür ve kireç taşı ile doldurulmuştur.
2. Bu parametrik çalışmalar sırasında hem kömürün hem de kireç taşının hacim oranı değerleri 0.24 olarak alınmıştır.
3. Modellemeler toplam 100 saniyelik çözümlmeyi içermektedir ve bu süre zarfında yatak içindeki gazların ortalama mol oranı değerlerine bakıldığında en az dalgalanmanın yatağın 50 cm yükseklikte doldurulduğu durumda ortaya çıktığı vurgulanmaktadır.
4. Yatağın kömür ve kireç taşı ile doldurulma yüksekliği arttıkça yatak içindeki gazların ortalama mol oranı değerlerindeki dalgalanma miktarının arttığı gözlemlenmiştir.
5. Yatağın dolgu yüksekliği arttıkça çıkış ağzında ölçülen CO ve H_2 gazlarının ortalama mol oranı değerlerinin artmakta olduğu buna karşılık CO_2 gazının ortalama mol oranı değerinin ise azaldığı söylenebilir.
6. Bunun en büyük nedeni yatak dolgu yüksekliği arttıkça yatağın içinde daha fazla kömür bulunmakta ve bu kömürün heterojen reaksiyonları tetikleyerek CO ve H_2 gazlarının yatak çıkışındaki mol oranı değerlerini arttırdığı olarak açıklanmaktadır.

Armstrong ve diğ. [111] Deney 1'in çalışma koşulları (Bakınız Çizelge 4.8) altında yatak sıcaklığındaki değişimin gazlaştırmaya etkisini de parametrik olarak çalışmışlardır. Deney 1'de yatağın ortalama sıcaklığı 1128.15 K değerindedir. Yatak sıcaklığını sırasıyla 1078.15 K, 1128.15 K ve 1178.15 K olarak üç farklı modelleme yapılmış ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Yatağın ortalama sıcaklığı arttıkça yatağın çıkış ağzında hesaplanan CO ve H_2 gazlarının mol oranı değerleri artmakta olduğu belirtilmiştir. Armstrong ve diğ. [111] tarafından yapılan diğer bir parametrik çalışma ise yatak duvarındaki ısı taşınım katsayısının sonuçlara etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmadır. Isı taşınım katsayısının modele etkisini araştırmak için dört farklı (2, 4, 6 ve 8 W/m^2K) ısı taşınım katsayısı denenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Beklendiği üzere ısı taşınım katsayısının azaltılması ile yatak içindeki sıcaklık artmaktadır. En düşük ısı taşınım katsayısında yatağın çıkışında hesaplanan ortalama sıcaklığın yüksek dalgalanmalar gösterdiği bu nedenle de sayısal çözümlemenin yakınsamadığı tespit edilmiştir. Isı taşınım katsayısının, yatak çıkışındaki sıcaklığının

değişmesine neden olduğu görülmüştür. Buna karşılık ısı taşınım katsayısının çıkışta hesaplanan gazların mol oranlarının değişimine etkisinin ise az olduğu ifade edilmiştir. Bunun nedeni ise şu şekilde açıklanmıştır: Isı taşınım katsayısının yatak duvarına yakın bölgedeki sıcaklığa etkisi olmaktadır. Yatağın alt tarafında yoğun kömür ve yatak malzemesi olduğundan duvarın yakınındaki bölgede meydana gelen sıcaklık değişimleri heterojen reaksiyonların yoğun olduğu ve sıcaklığın yüksek olduğu alt bölgeye göre ihmal edilebilecek mertebededir. Ayrıca yatağın üst belgesinde yani katı taneciklerin az olduğu (seyrek bölge) bölgede yoğun gaz bileşenleri vardır. Bu bölgede duvarın yakınında oluşan sıcaklık değişimi yatak içinde taşınım ile gaz bileşenlerini etkilemektedir. Bu nedenle de ısı taşınım katsayısındaki değişim yatağın üst bölgesinde sayısal çözümlemeyi daha fazla etkilenmekte ve yatağın çıkışında sıcaklık dalgalanmalarına neden olmaktadır.

Diğer bir parametrik çalışma ise zaman adımının ve yatağın ağ sayısının model sonuçlarına etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmalardır. Bu nedenle 12 durum için modelleme yapılmış ve sonuçların değişimi incelenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar akışkan yatak gazlaştırma modellemelerinin yaklaşık 100 saniyelik çözümleme süresinde kararlı yapıya (steady state) ulaştığını göstermektedir [117].

Fakat modellemelerde 100 saniyenin üstüne çıkarak daha doğru sonuçlar elde edilmesi de hedeflerden biri olmalıdır. Fakat çözümleme zamanının artırılması beraberinde çok uzun bilgisayar zamanı getirmekte ve parametrik çalışmaların yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada ağ (mesh) sayısının ve zaman adımının 12 farklı durumu için toplam 20 saniyelik çözümler yapılmış ve bu çözümlerinin bilgisayar zamanı olarak ne kadar sürdüğü elde edilmiştir. Buradan modelleme sonuçlarının doğruluğundan ödün vermeden en uygun ağ sayısı ve zaman adımının seçilmesi hedeflenmiştir. Çizelge 4.10 ile Armstrong ve diğ. [111] tarafından yapılan çalışmadaki 12 farklı durum özetlemiştir.

Yatağın ağ sayısının yatak içindeki gaz bileşenleri tarafından oluşturulan baloncukların şekillerine etkisi olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık yatağın çıkış ağzında hesaplanan gazların ortalama mol oranlarının ise bu 12 farklı durum için çok az değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle genişletilmiş parametrik çalışmalar için yatağın ağ sayısı $0.02 \text{ m} \times 0.02 \text{ m}$, zaman adımı 0.0005 saniye yani Çizelge 4.10 ile gösterilen 11. durum seçilmiştir. Çalışmanın başında Çizelge 4.10 ile gösterilen 6. durum temel

Çizelge 4.10 : Ağ ölçülerini ve zaman adımlarını gösteren durumlar.

Durumlar	Ağ ölçüleri (Yatay [m] x Düşey [m])	Zaman adımı [s]
1	0.01 × 0.01	0.00005
2	0.01 × 0.01	0.0001
3	0.01 × 0.01	0.0005
4	0.01 × 0.01	0.001
5	0.01 × 0.02	0.00005
6	0.01 × 0.02	0.0001
7	0.01 × 0.02	0.0005
8	0.01 × 0.02	0.001
9	0.02 × 0.02	0.00005
10	0.02 × 0.02	0.0001
11	0.02 × 0.02	0.0005
12	0.02 × 0.02	0.001

alınarak modelleme yapılırken, sonuçların çok farklılık göstermemesi ve bilgisayar zamanı açısından kolaylık sağlaması açısından 11. Durumun daha uygun olduğu gösterilmiştir.

Durum 11 koşulları altında ve kireç taşı kömür hacim oranı 25 : 75 alınarak genişletilmiş model çalışması yapılmış ve toplam 2000 saniyelik çözümleme sonuçları elde edilmiştir. Bu çalışmada çözümlemenin yakınsaması için 400 saniyelik bir çözümle yapılması gerektiği gösterilmiştir. Zaman adımının 0.0001 olduğu durum için yakınsama zamanının yaklaşık 100 saniye olmasına karşın zaman adımının yükselmesi yakınsama süresini uzatmıştır. Yapılan çözümlemelerde toplam çözümleme süresinin artması CO ve H_2 gazlarının çıkışta hesaplanan ortalama mol oranlarını artırarak deneysel verilere daha yaklaştığını göstermektedir. Buna karşılık CO_2 gazının mol oranı değeri ise çözümleme süresi arttıkça azaldığı ve deneysel verilerden daha fazla uzaklaştığı belirtilmiştir.

4.1.7 Yedinci sayısal çalışma bilgisi

Xie ve diğ. [46], Chejne ve Hernandez [42] tarafından yapılan çalışmada yer alan deneysel çalışmaları kullanarak üç boyutlu ve zamana bağlı modelleme yapmışlardır. Yaptıkları model ile ilgili özet bilgi aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

1. Eulerian-Lagrangian matematik modelini kullanarak modelleme yapmışlardır.
2. Türbülans modeli olarak LES (Large Eddy Simulation) seçilmiştir.

3. Enerji denkleminde viskoz yutulma (viscous dissipation) ihmal edilmiştir.
4. Türbülans kütle yayınma (turbulent mass diffusivity) katsayısı 0.9 alınmıştır.
5. Sürüklenme kuvveti (drag force) için Wen ve Yu [113] tarafından geliştirilen model kullanılmıştır.
6. Kimyasal reaksiyonlar sonucu kömür taneciklerinin sıcaklığının değişmedi kabulü yapılmıştır.
7. Heterojen reaksiyonlar kullanılarak katı fazı ile gaz fazı arasında kütle ve enerji aktarımı modellemeye dahil edilmiştir.
8. Altı heterojen ve altı homojen reaksiyon olmak üzere toplam 12 reaksiyon kullanılmıştır.
9. Uçucu maddenin kömürden çıkışının aniden gerçekleştiği kabulü yapılmıştır.
10. Sonlu hacimler (finite volumes) metodu kullanılarak sayısal modelleme yapılmıştır.
11. SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations) çözümleme yöntemi kullanılmıştır.
12. Taneciklerin birbiri ile çarpışması, taneciklerin normal stresleri kullanılarak modellenmiştir.
13. Yatak çıkış ağzından sadece gaz fazının çıktığı buna karşılık kömür taneciklerinin çıkmadığı kabulü yapılmıştır.
14. Çıkış basıncı, atmosfer basıncı olarak alınmıştır.
15. Çözümlemenin başında yatak yarısına kadar 0.48 hacim oranı değerinde yatak malzemesi (kum) ve kömür ile doldurulmuştur.
16. Yatağa kireç taşı beslemesi ihmal edilmiştir.
17. Çözümlemede zaman adımı olarak 1.8×10^{-4} saniye alınmıştır.

Xie ve diğ. [46] tarafından yapılan modelleme ile elde edilen sonuçlar deneysel veriler ile karşılaştırıldığında aşağıda maddeler halinde sıralanan sonuçlar elde edilmiştir:

1. Modelleme sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırılırken sayısal değer verilmemiş, karşılaştırma sütun grafik kullanılarak yapılmıştır. Buna karşılık en düşük bağıl farkın %3 ve en yüksek bağıl farkın ise %30 civarında olduğu belirtilmiştir. Tüm bağıl farkların ortalamasının ise %15 değerinden az olduğu vurgulanmıştır.

2. Kireçtaşının ihmal edilmesinden dolayı CO_2 gazının deneysel verilerde elde edilen değerden daha düşük çıktığı belirtilmiştir.

4.1.8 Birinci karşılaştırma için doktora tezinde geliştirilen model çalışması ve sonuçları

Bu bölümde birinci karşılaştırma kapsamında anlatılan deneysel çalışmaların (Bakınız Çizelge 4.1) doktora kapsamında geliştirilen sayısal model kullanılarak modellenmesi yapılmıştır. Model sonuçları, deney sonuçları ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Model sonuçlarına geçmeden önce doktora çalışması kapsamında geliştirilen modelin belli başlı özellikleri, aşağıda kısaca özetlenmektedir:

1. Modelde Eulerian-Eulerian matematik modeli kullanılmıştır.
2. Modelleme üç boyutlu yapılmıştır.
3. Zamana bağlı çözümlenme yapılmıştır. En uygun zaman adımı ve yatağın ağ sayısı parametrik çalışmalar ile elde edilmiştir.
4. Türbülans modeli olarak $k - \epsilon$ ayrık türbülans modeli seçilmiştir.
5. Sürüklenme kuvveti (drag force) için Gidaspow [65] modeli kullanılmıştır.
6. Uçucu maddenin kömürden çıkışı için CPD (chemical percolation devolatilization) model kullanılmıştır. CPD modelin kullanılabilmesi için kömürün özelliklerine bağlı ve NMR (Nükleer Manyetik Rezonans) testi ile elde edilebilen parametreler için doktora tezi kapsamında geliştirilen korelasyonlar kullanılmıştır (Bakınız Bölüm 3.2.3, sayfa 44).
7. Modelde kullanılan tüm heterojen ve homojen reaksiyonların açıklaması sırası ile Bölüm 3.2.5 (Bakınız sayfa 54) ve Bölüm 3.2.6 (Bakınız sayfa 56) ile detaylı bir şekilde açıklanmıştır.
8. Işınım P-1 modeli kullanılarak modellenmiştir (Bakınız Bölüm 3.3, sayfa 57).
9. Duvarlardaki ısı taşınım katsayısı $20 W/m^2K$ olarak kabul edilmiştir.
10. Modelde kireçtaşı kireçleştirme (limestone calcination) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.10, R5) dikkate alınmıştır.

11. Model sonuçları Chejne ve Hernandez [42] tarafından yapılan çalışmada yer alan 6 deneysel sonuç ile karşılaştırılmıştır. Bu altı deneysel çalışmanın koşulları daha önceden anlatılmıştır (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63).

Modellemede zaman adımı ve ağ (mesh) sayısı parametrik çalışma yapılarak optimize edilmiştir. Bu nedenle 3 farklı zaman adımı ve 3 farklı ağ sayısı kullanılarak modelleme yapılmış ve sonuçlar deney verisi ile karşılaştırılmıştır. Uygun zaman adımı ve ağ sayısı belirlenirken deney sonucuna yakınlığı ve bilgisayar zamanı gibi parametreler dikkate alınmıştır. Hem deney verisine yakın hem de bilgisayar çözümlene zamanı açısından tasarruflu olan durum seçilecektir. En uygun zaman adımını ve ağ sayısını belirlemek amacı ile 9 durum incelenmiştir. Bu durumların bilgisi Çizelge 4.11 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.11 : Modellemede kullanılan zaman adımları ve ağ sayıları.

Durumlar	Zaman adımı [s]	Ağ sayısı
Durum 1	1×10^{-4}	10^5
Durum 2	1×10^{-4}	2×10^5
Durum 3	1×10^{-4}	4×10^5
Durum 4	5×10^{-5}	10^5
Durum 5	5×10^{-5}	2×10^5
Durum 6	5×10^{-5}	4×10^5
Durum 7	2.5×10^{-5}	10^5
Durum 8	2.5×10^{-5}	2×10^5
Durum 9	2.5×10^{-5}	4×10^5

Her bir durum için çözümlenmeler yapılmış ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Tüm durum sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için her bir durum için 600 saniyelik çözümlene yapılmıştır. 600 saniye seçilmesinin nedeni tüm modelleme sonuçların bu süre içinde yakınsamış olmasındandır. Problemin yakınsama süresi durumlara göre değişmesine rağmen yakınsaması en uzun süren durum göz önüne alınarak toplam çözümlene süresi 600 saniye olarak seçilmiştir. Yakınsama olup olmadığı ise zaman adımları sonucu hesaplanan değerler arasındaki değişim dikkate alınarak karar verilmiştir. Sayısal çalışma sonucu hesaplanan değerlerin arasındaki farkın her zaman adımında azalarak uygun bir değere yaklaşıp yaklaşmadığına dikkat edilmiştir. Bu konu kapsamında yakınsama kriteri olarak zaman adımları sonrasında hesaplanan değerler arasındaki farkın momentum denkleminde 10^{-3} , tüm gaz bileşenlerinde 10^{-3} ve enerji denklemi için 10^{-4} olması durumunda problemin yakınsadığı kabulü

yapılmıştır. Çizelge 4.11’de bahsedilen durumlar ile elde edilen sonuçlar Çizelge 4.12 ile gösterilmiştir. Çizelge 4.12 ile her bir durum için yatağın çıkış ağzında hesaplanan gaz bileşenlerin (CO , CO_2 ve H_2) yüzde mol oranı değerleri Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.12 : Ağ sayısının ve zaman adımının model sonuçlarına etkisi.

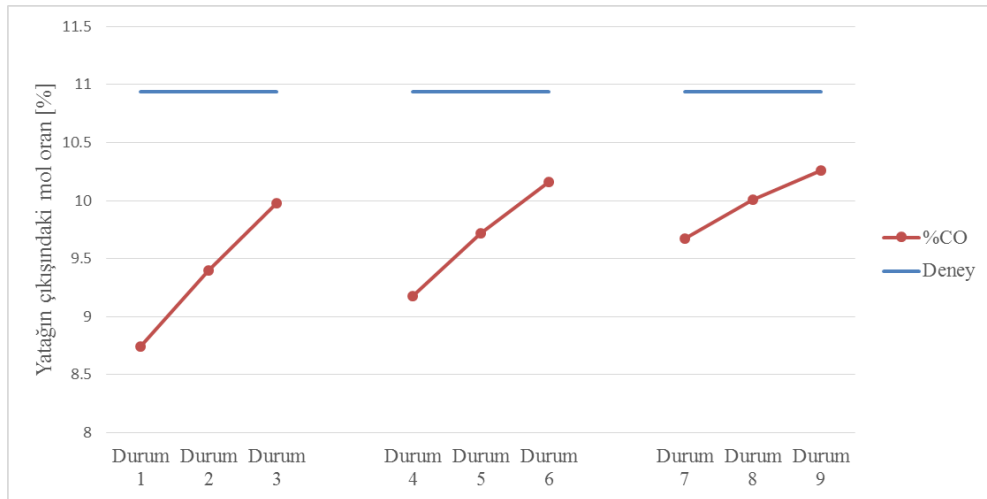
	CO (%)	YBH (CO)	CO_2 (%)	YBH (CO_2)	H_2 (%)	YBH (H_2)
Durum 1	8.74	20.09	23.98	24.16	6.78	20.52
Durum 2	9.40	14.07	22.41	16.04	7.29	14.54
Durum 3	9.98	8.80	21.18	9.70	7.74	9.30
Durum 4	9.18	16.10	23.04	19.32	7.03	17.55
Durum 5	9.72	11.16	21.83	13.04	7.45	12.69
Durum 6	10.16	7.10	20.91	8.30	7.87	7.74
Durum 7	9.67	11.59	21.94	13.64	7.57	11.21
Durum 8	10.01	8.55	21.24	9.98	7.83	8.16
Durum 9	10.26	6.20	20.72	7.30	8.04	5.80
Deney 1	10.94	-	19.31	-	8.53	-

YBH: Deney ile HAD sonuçları arasındaki yüzde bağıl hata

Ayrıca zaman adımı ve ağ sayısının sonuçlara etkisini daha anlaşılır bir şekilde ortaya koyabilmek için model sonuçlarının deney verileri ile arasındaki yüzde bağıl hata (YBH) hesaplanmıştır. YBH değerinin hesaplanması Denklem 4.7 ile gösterilmektedir.

$$YBH = \frac{|Model\ sonuc\ u - Deney\ sonuc\ u|}{Deney\ sonuc\ u} \times 100 \quad (4.7)$$

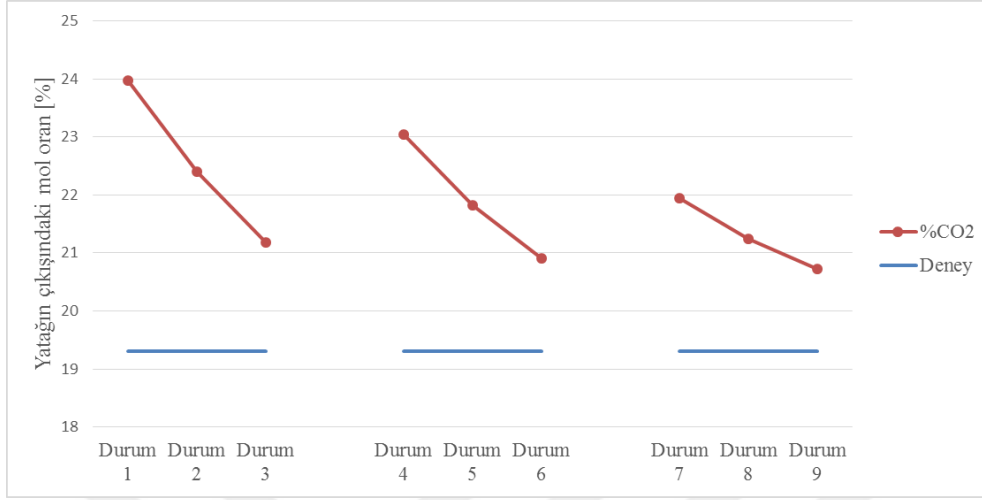
Zaman adımı ve ağ sayısının etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmanın daha iyi anlaşılması için yatağın çıkış ağzında hesaplanan CO gazının mol oranı değerinin durumlara (Durum 1-9, bakınız Çizelge 4.11) göre değişimi Şekil 4.5 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Zaman adımı ve ağ sayısının CO gazının yüzde mol oranı değerine etkisi.

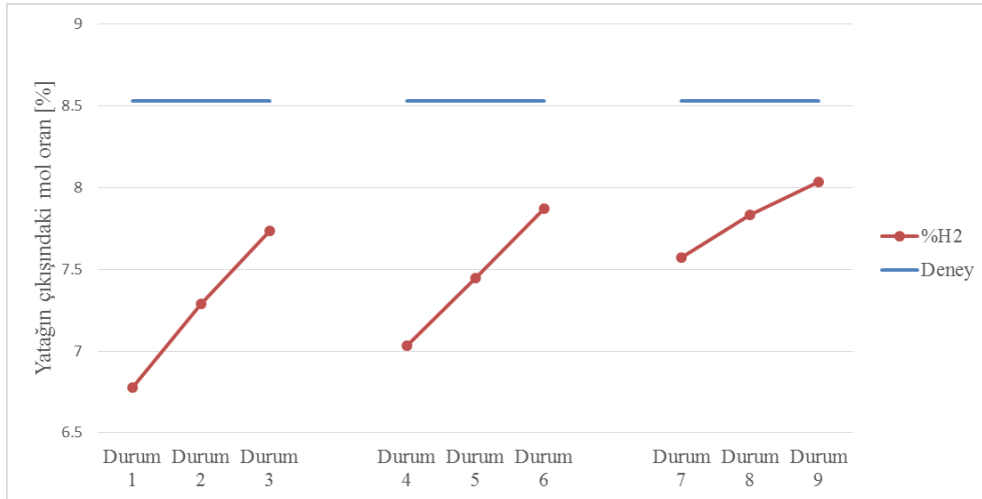
Şekil 4.5 incelendiğinde deney sonucuna en yakın değer Durum 9 (yüzde bağıl hata 6.20) ile sağlandığı görülmektedir. Deney sonucuna en yakın ikinci sonuç ise Durum 6

(yüzde bağıl hata 7.10) ile elde edilmiştir. Yatağın çıkış ağzındaki durumlara (Durum 1-9, bakınız Çizelge 4.11) göre elde edilen CO_2 gazının yüzde mol oranı değerleri ve bu değerlerin deney sonucu ile karşılaştırılması Şekil 4.6 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.6 : Zaman adımı ve ağ sayısının CO_2 gazının yüzde mol oranı değerine etkisi.

Şekil 4.6 incelendiğinde deney sonucuna en yakın değer Durum 9 (yüzde bağıl hata 7.30) ile elde edilmiştir. Buna karşılık deney sonucuna en yakın ikinci sonuç ise Durum 6 (yüzde bağıl hata 8.30) ile elde edilmiştir. Son olarak yatağın çıkış ağzında değişik durumlar (Bakınız Çizelge 4.11, Durum 1-9) için hesaplanan H_2 gazının mol oranı değerinin deney sonucu ile karşılaştırılması Şekil 4.7 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.7 : Zaman adımı ve ağ sayısının H_2 gazının yüzde mol oranı değerine etkisi.

Yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan mol oranı değerlerinin verildiği Şekil 4.7 incelendiğinde, deney sonucuna en yakın değerin Durum 9 (yüzde bağıl hata 5.80) ile elde edildiği görülmektedir. Deney sonuçlarına en yakın ikinci çözümleme sonucu ise Durum 6 (yüzde bağıl hata 7.74) ile elde edilmiştir.

Çözümlemelerin zaman adımına ve yatağın ağ (mesh) sayısına bağlı olarak analizi yapıldığında zaman adımının küçülmesi ve ağ sayısının artması ile deneysel verilere yaklaşıldığı görülmektedir. Fakat bu yaklaşma oranı azalarak devam etmektedir. Yani zaman adımını ve ağ sayısını daha fazla küçültmek deneysel veriye sürekli yaklaşılaacağı anlamına gelmemektedir. Zaman adımının küçülmesi ve ağ sayısının artması ile elde edilen sonuçların deney verileri ile arasındaki fark gittikçe yavaşlayarak kapanmakta ve yatay bir hal oluşmaktadır. Toplam 9 durum arasında (Bakınız Çizelge 4.12) deney sonucuna en yakın sonuç Durum 9 ile elde edilir iken en yakın ikinci sonuç ise Durum 6 ile elde edilmiştir.

En uygun zaman adımının ve ağ (mesh) sayısının belirlenmesi çalışmasında her bir durum için toplam bilgisayar zamanı da dikkate alınmıştır. Bilgisayar zamanı yapılacak parametrik çalışmalar için önem arz etmektedir. Durumlar (Bakınız Çizelge 4.11, Durum 1-9) için elde edilen bilgisayar zamanları Çizelge 4.13 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.13 : Modelleme durumlarının bilgisayar zamanı.

Durumlar	Bilgisayar zamanı [saat]
Durum 1	23
Durum 2	30
Durum 3	40
Durum 4	37
Durum 5	47
Durum 6	54
Durum 7	51
Durum 8	68
Durum 9	79

Çözümlemeler için işlemci hızı 2.6 Ghz olan 8 çekirdekli ve 16 GB bellek kapasiteli iş istasyonu (workstation) kullanılmıştır. Toplam çözümleme süresi en fazla Durum 9'da oluşmuştur. Durum 9 deney sonuçlarına en yakın durum olmasına karşılık bilgisayar zamanı açısından en uzun (79 saat) süreye sahiptir. Deney sonuçlarına ikinci yakınlıkta olan Durum 6'da ise bilgisayar zamanı 54 saattir. Bu değer, Durum 9 (79 saat) ile elde edilen değer yaklaşık %68.8'i olduğu görülmektedir. Diğer bir deyiş ile Durum 6'nın bilgisayar zamanı açısından Durum 9'a göre %31.6 kazanımı bulunmaktadır. Tez kapsamında yapılacak parametrik çalışmalardan dolayı bilgisayar zamanının dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle parametrik çalışmalar için Durum 6'da belirtilen zaman adımı ve ağ sayısı seçilmiştir. Zaman adımı 5×10^{-5} s ve ağ (mesh) sayısı

4×10^5 alınarak 6 deney için (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) çözümlenmeler yapılmıştır. Tüm sonuçlar Çizelge 4.14 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.14 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.

	CO_2 (% mol oranı)	CO (% mol oranı)	H_2 (% mol oranı)
Deney 1	19.31	10.94	8.53
Model 1	20.91	10.16	7.87
BH 1	8.30	7.10	8.70
Deney 2	18.38	10.59	8.84
Model 2	17.27	10.02	9.37
BH 2	6.04	5.38	6.00
Deney 3	14.4	9.97	9.63
Model 3	14.71	10.01	9.43
BH 3	2.15	0.40	2.08
Deney 4	15.6	10.94	7.88
Model 4	16.32	10.72	8.21
BH 4	4.62	2.01	4.19
Deney 5	14.86	5.8	6.48
Model 5	14.57	6.2	6.78
BH 5	1.95	6.90	4.63
Deney 6	21.59	10.14	10.8
Model 6	20.12	10.08	9.91
BH 6	6.81	0.59	8.24

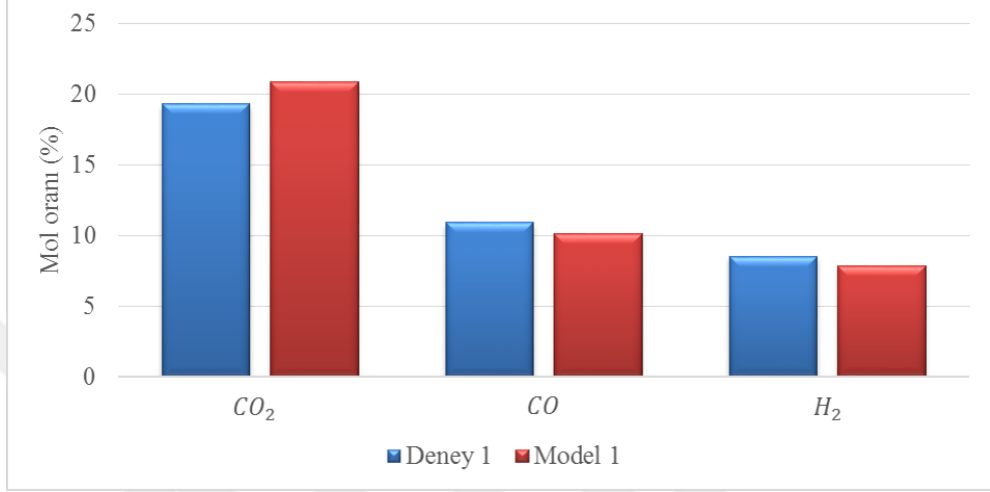
Çizelge 4.14 incelendiğinde yatak çıkışında hesaplanan CO_2 gazının mol oranı değerinin, toplam 6 deneysel veri ile karşılaştırıldığı yüzde bağıl hata (YBH) değerlerinin ortalaması 4.98 değerindedir. CO_2 gazı için en yüksek YBH değeri 8.30 ile Deney 1 için hesaplanmıştır. Buna karşılık en düşük YBH değeri ise 1.95 ile Deney 5 koşulları altında hesaplanmıştır. CO_2 gazı için elde edilen model sonuçlarının deney verileri ile uyduğu görülmektedir.

Doktora kapsamında geliştirilen model ile yatağın çıkışında hesaplanan CO gazı mol oranı değerlerinin, toplam 6 deneysel veri ile karşılaştırıldığı yüzde bağıl hata (YBH) değerlerinin ortalaması 3.73'tür. CO gazı için en yüksek YBH değeri 7.10 ile Deney 1 için hesaplanmıştır. Buna karşılık en düşük YBH değeri ise 0.4 ile Deney 3 koşulları altında hesaplanmıştır. CO gazı için elde edilen model sonuçlarının deney verileri ile iyi uyduğu görülmektedir.

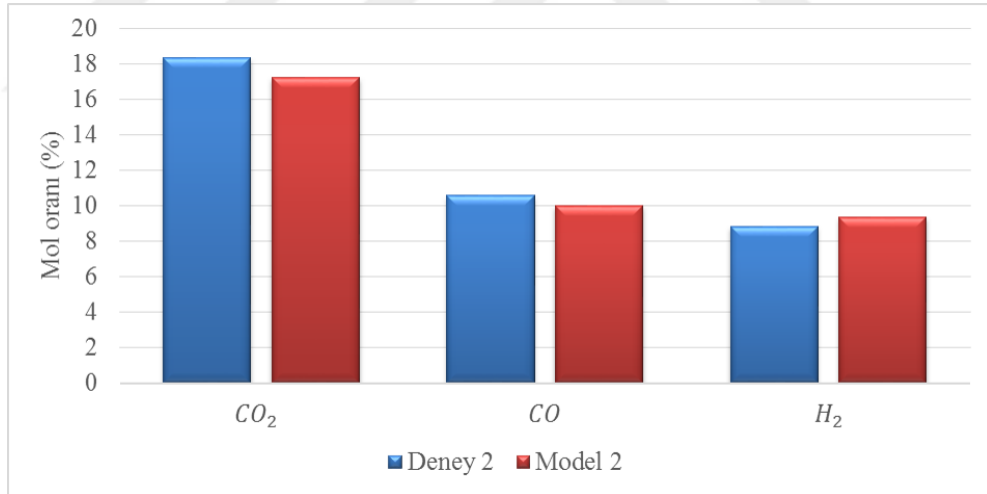
Model ile yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazı mol oranı değerlerinin, toplam 6 deneysel veri ile karşılaştırıldığı yüzde bağıl hata (YBH) değerlerinin ortalaması 5.48'dir. H_2 gazı için en yüksek YBH değeri 8.24 ile Deney 6 için hesaplanmıştır. Buna

karşılık en düşük YBH değeri ise 2.08 ile Deney 3 koşulları altında hesaplanmıştır. H_2 gazı için elde edilen model sonuçlarının deney verileri ile uyduğu görülmektedir.

Şimdi sırası ile model sonuçlarının deney sonuçları ile karşılaştırıldığı grafiklere yer verilecektir. Sırası ile Model 1-6'nın deney sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 4.8-4.13 ile gösterilmektedir.

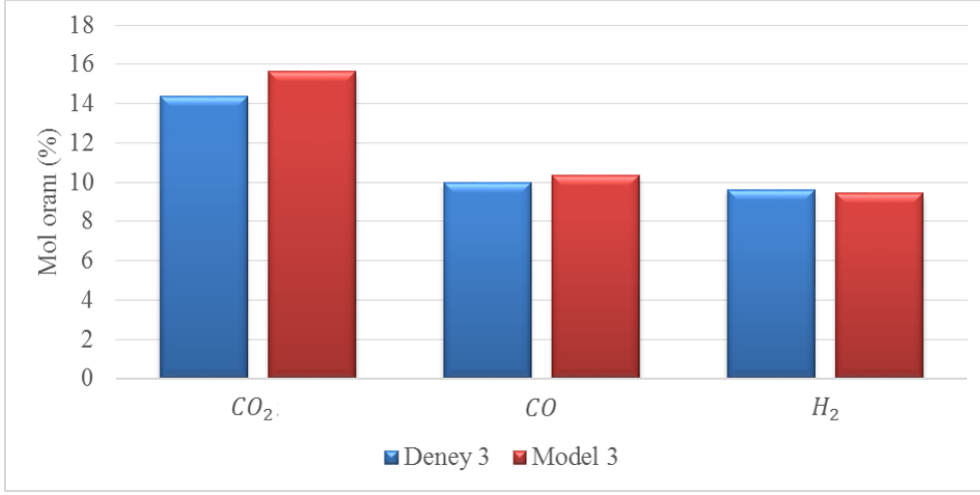


Şekil 4.8 : Model 1 sonuçlarının deney verisi ile karşılaştırılması.

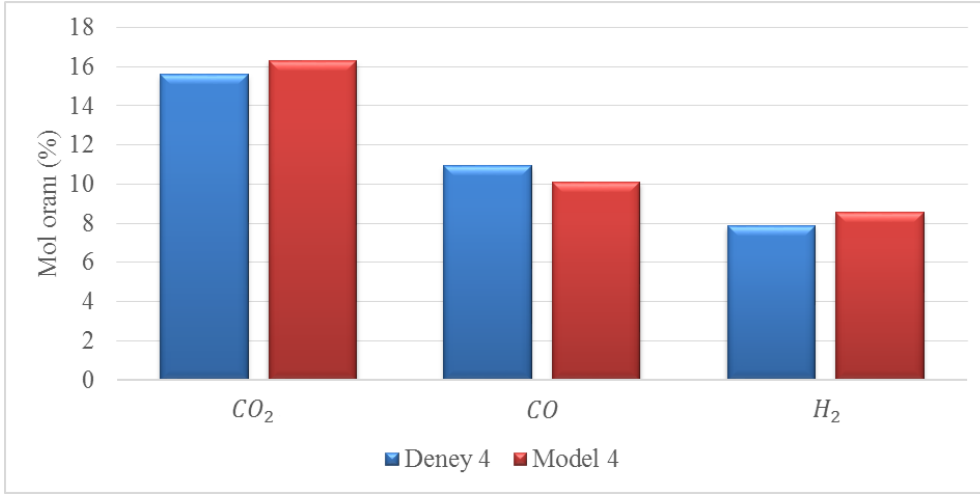


Şekil 4.9 : Model 2 sonuçlarının deney verisi ile karşılaştırılması.

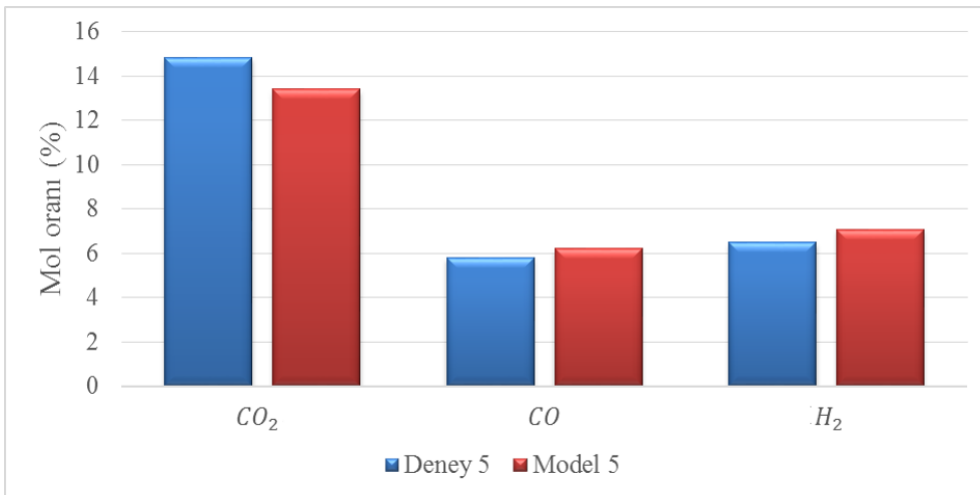
Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılmasına bakıldığında (Şekil 4.8-4.13) model sonuçlarının deney verileri ile iyi uyduğu görülmektedir. Buna karşılık model sonuçlarının literatürde yer alan sayısal çalışmalar (Bakınız sayfa 64, Şekil 4.3) ile karşılaştırılması, geliştirilen modelin etkinliğini ortaya koymak açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle Deney 1 sınır koşulları altında, doktora kapsamında geliştirilen model (Model 1) ile elde edilen sonuçların literatürdeki 5 sayısal çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 4.14'te gösterilmektedir.



Şekil 4.10 : Model 3 sonuçlarının deney verisi ile karşılaştırılması.

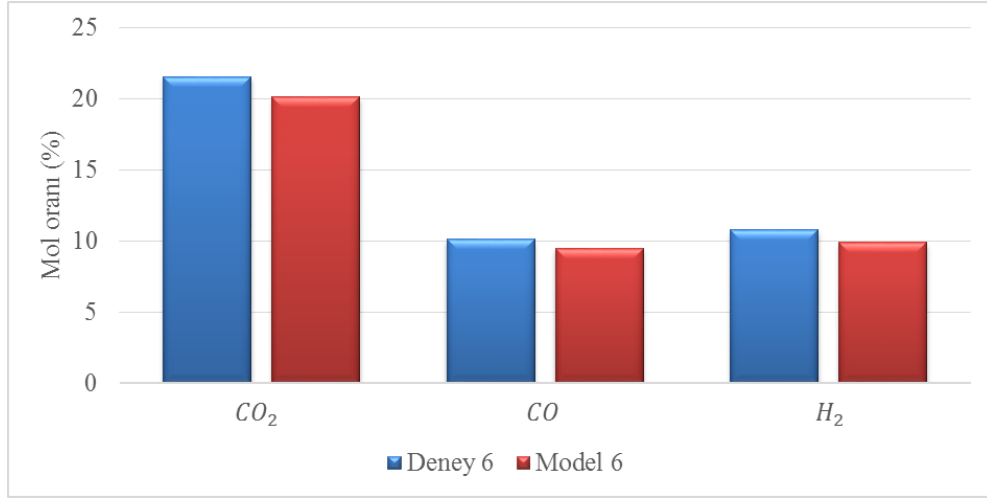


Şekil 4.11 : Model 4 sonuçlarının deney verisi ile karşılaştırılması.

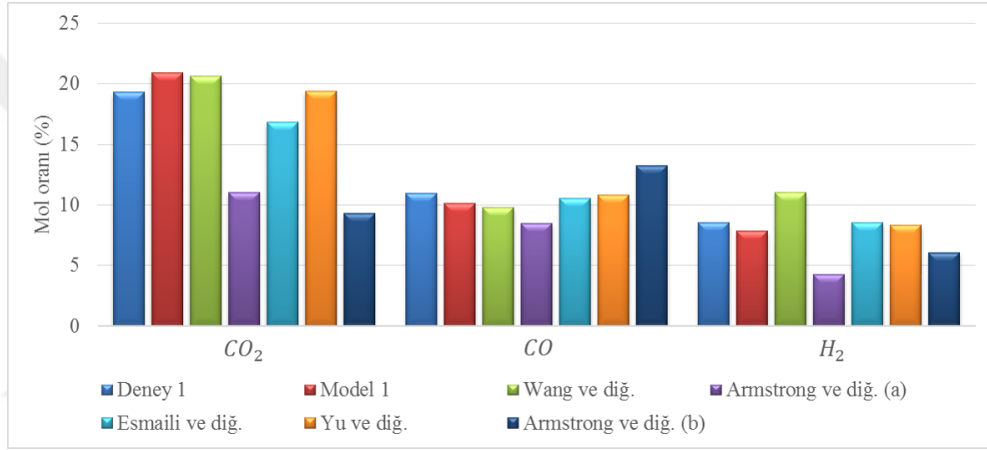


Şekil 4.12 : Model 5 sonuçlarının deney verisi ile karşılaştırılması.

Model 1 sonuçlarının literatürde yer alan bazı önemli sayısal çalışma sonuçları ile karşılaştırıldığı Şekil 4.14 incelendiğinde, sayısal çalışmalar arasından yatağın



Şekil 4.13 : Model 6 sonuçlarının deney verisi ile karşılaştırılması.



Şekil 4.14 : Model 1 sonuçlarının literatürde yer alan sayısal çalışmalar ile karşılaştırılması.

çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranları arasında deney sonucuna en yakın olanı Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.4, sayfa 72) olduğu görülmektedir. Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan çalışmanın deney sonucu ile arasındaki yüzde bağıl hata değeri (YBH) 0.31'dir. Deney sonucuna en yakın ikinci sayısal çalışma ise Wang ve diğ. [24] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.1, sayfa 66). Bu çalışmanın deney sonucu ile arasındaki YBH değeri 6.70'tir. Doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilen sonuç ise YBH değeri 8.30 ile deney verisine yakınlık açısından üçüncü sırada yer almaktadır. CO_2 gazı için sayısal çalışmalar arasında deney sonucuna en uzak olanı ise YBH değeri 51.90 ile Armstrong ve diğ. [36] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.5, sayfa 74). Deney 1 koşulları altında CO_2 gazı için elde edilen ve Şekil 4.14 ile gösterilen sayısal çalışma değerlerinin deney sonucu ile arasındaki YBH değerlerinin ortalaması ise

22.94'tür. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen modelin YBH değerinin yaklaşık 2.76 katıdır.

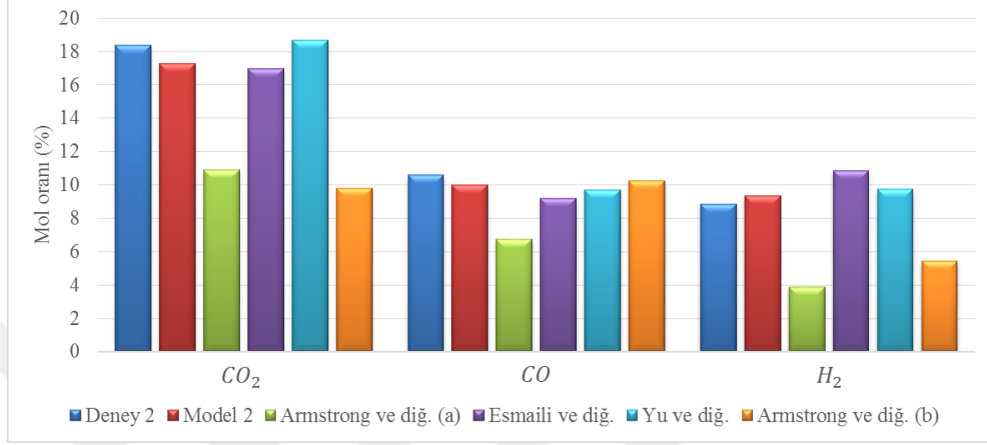
Deney 1 koşullarında, CO gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden deney verisine en yakın sonuç YBH değeri 1.30 ile Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.4, sayfa 72) elde edilmiştir. Deney verisine ikinci en yakın sonuca sahip olan çalışma ise YBH değeri 3.56 ile Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69) olduğu görülmektedir. Doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ise deney verisine yakınlık açısından YBH değeri 7.10 ile üçüncü sırada yer almaktadır. CO gazı için literatürde yer alan sayısal çalışmalar arasından deney sonucunda en uzak olanı ise YBH değeri 22.28 ile Armstrong ve diğ. [111] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.6, sayfa 78). Deney 1 koşulları altında CO gazı için elde edilen ve Şekil 4.14 ile gösterilen sayısal çalışma sonuçlarının deney sonucu ile arasındaki YBH değerlerinin ortalaması 11.68'dir. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 1.65 katıdır.

Son olarak Deney 1 koşulları altında H_2 gazı için sayısal çalışmalar ile elde edilen yüzde mol oranı değerleri birbiri ile karşılaştırılacaktır. sayısal çalışmalar arasından deney verisine en yakın sonuç YBH değeri 0.23 ile Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69). Deney verisine ikinci en yakın sonuç ise YBH değeri 2.23 ile Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan sayısal çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.4, sayfa 72). Doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ise Şekil 4.14 ile gösterilen sayısal çalışmalar arasından deney sonucuna yakınlık açısından üçüncü sırada yer almaktadır. Doktora kapsamında geliştirilen modelin YBH değeri 7.74'tür. H_2 gazı için sayısal çalışmalar arasından deney sonucuna en uzak sonuç veren ise YBH değeri 29.10 ile Wang ve diğ. [24] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.1, sayfa 66). Deney 1 koşulları altında H_2 gazı için elde edilen ve Şekil 4.14 ile gösterilen sayısal çalışma değerlerinin deney sonucu ile arasındaki YBH değerlerinin ortalaması 22.03'tür. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 2.85 katıdır.

Deney 1 koşulları altında doktora kapsamında geliştirilen model sonuçlarının literatürde yer alan önemli sayısal çalışmalar ile karşılaştırıldığında deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Doktora kapsamında geliştirilen model kullanılarak

yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 , CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri Şekil 4.14 ile gösterilen sayısal çalışmalar arasından deney verisine üçüncü yakınıktadır.

Deney 2 sınır koşulları altında, doktora kapsamında geliştirilen model (Model 2) ile elde edilen sonuçların literatürdeki 4 sayısal çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 4.15 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.15 : Model 2 sonuçlarının literatürde yer alan sayısal çalışmalar ile karşılaştırılması.

Model 2 sonuçlarının literatürde yer alan bazı önemli sayısal çalışma sonuçları ile karşılaştırıldığı Şekil 4.15 incelendiğinde, CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden deney sonucuna en yakın olanın YBH değeri 1.52 ile Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.4, sayfa 72) olduğu görülmektedir. Deney verisine en yakın ikinci sonuç ise YBH değeri 6.04 ile doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilmiştir. Üçüncü en yakın sonuç ise YBH değeri 7.51 ile Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69) ile elde edilmiştir. CO_2 gazı için deney sonucuna en uzak sonuç ise YBH değeri 46.59 ile Armstrong ve diğ. [36] tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.5, sayfa 74) görülmektedir. Deney 2 koşulları altından CO_2 gazı için elde edilen ve Şekil 4.15 ile gösterilen sayısal çalışma değerlerinin deney sonucu ile arasındaki YBH değerlerinin ortalaması 24.07'dir. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 3.99 katıdır.

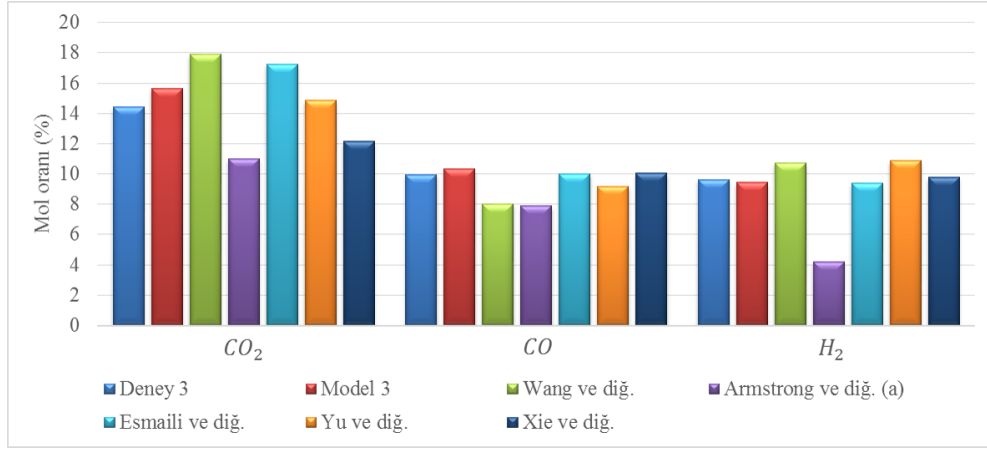
Deney 2 koşullarında, CO gazı için deney verilerine en yakın sonuç YBH değeri 3.04 ile Armstrong ve diğ. [36] tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.5, sayfa 74) elde edilmiştir. Deney verisine ikinci en yakın sonuç ise YBH değeri 5.38 ile doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilmiştir. Üçüncü en yakın

sonuç ise YBH değeri 8.22 ile Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.4, sayfa 72) görülmektedir. CO gazı için sayısal çalışmalar arasından deney sonucuna en uzak olanı ise YBH değeri 36.28 ile Armstrong ve diğ. [111] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.6, sayfa 78). Deney 2 koşulları altında CO gazı için elde edilen ve Şekil 4.15 ile gösterilen sayısal çalışma değerlerinin deney sonucu ile arasındaki YBH değerlerinin ortalaması 15.17'dir. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 2.82 katıdır.

Son olarak Deney 2 koşulları altında H_2 gazı için sayısal çalışmalar ile elde edilen yüzde mol oranı değerleri birbiri ile karşılaştırılacaktır. Deney verisine en yakın sonuç YBH değeri 5.99 ile doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilmiştir. Deney sonucuna en yakın ikinci sonucu veren sayısal çalışma ise Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.4, sayfa 72). Bu çalışmanın deney sonucu ile arasındaki YBH değeri 10.18'dir. Üçüncü en yakın sonuç ise YBH değeri 22.85 ile Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69) ile elde edilmiştir. Sayısal çalışmalar arasından deney sonucundan en uzak olan sonucu veren ise YBH değeri 55.90 ile Armstrong ve diğ. [111] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.6, sayfa 78). Şekil 4.15 ile gösterilen sayısal çalışmalarda Deney 2 koşullarında H_2 gazı için elde edilen sonuçların deney verisi ile arasındaki YBH değerlerinin ortalaması 31.90'dir. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 5.32 katıdır.

Deney 2 koşulları altında doktora kapsamında geliştirilen model sonuçlarının literatürde yer alan 4 önemli sayısal çalışma ile karşılaştırılmasından sonra deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Doktora kapsamında geliştirilen model kullanılarak yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 , CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri Şekil 4.14 ile gösterilen sayısal çalışmalar arasından deney verisine yakınlık sıralamasında sırasıyla ikinci, ikinci ve birinci sırada yer almaktadır.

Deney 3 sınır koşulları altında, doktora kapsamında geliştirilen model (Model 3) ile elde edilen sonuçların literatürdeki 5 sayısal çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 4.16 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.16 : Model 3 sonuçlarının literatürde yer alan sayısal çalışmalar ile karşılaştırılması.

Model 3 sonuçlarının literatürde yer alan bazı önemli sayısal çalışma sonuçları ile karşılaştırıldığı Şekil 4.16 incelendiğinde, doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilen CO₂ gazının yüzde mol oranı değerinin diğer sayısal çalışmalar arasından deney verisine en yakın olanı olduğu görülmektedir. Doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilen sonucun deney verisi ile arasındaki YBH değeri 2.15'tir. Deney verisine ikinci en yakın sonuç YBH değeri 3.19 ile Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.4, sayfa 72) görülmektedir. Üçüncü en yakın sonuç ise YBH değeri 15.69 ile Xie ve diğ. [46] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.7, sayfa 83) ile elde edilmiştir. CO₂ gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden deney sonucuna en uzak olanı ise YBH değeri 24.24 ile Wang ve diğ. [24] tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.1, sayfa 66) görülmektedir. Şekil 4.16 ile gösterilen sayısal çalışmalarda CO₂ gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin deney sonucu ile arasında hesaplanan YBH değerlerinin ortalaması 17.32'dir. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 8.05 katıdır.

Deneý 3 koşullarında, CO gazı için elde edilen mol oranı değerlerinden deney verisine en yakın olan sonuç YBH değeri 0.4 ile doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilmiştir. Esmaili ve dię. [47] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69) ile elde edilen mol oranı değeri ise YBH değeri 0.50 ile deney verisine yakınlık sıralamasında ikinci sıradadır. Deney verisine üçüncü en yakın değere sahip olan çalışma ise YBH değeri 0.90 ile Xie ve dię. [46] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.7, sayfa 83) olduğu görülmektedir. CO gazı için literatürde yer

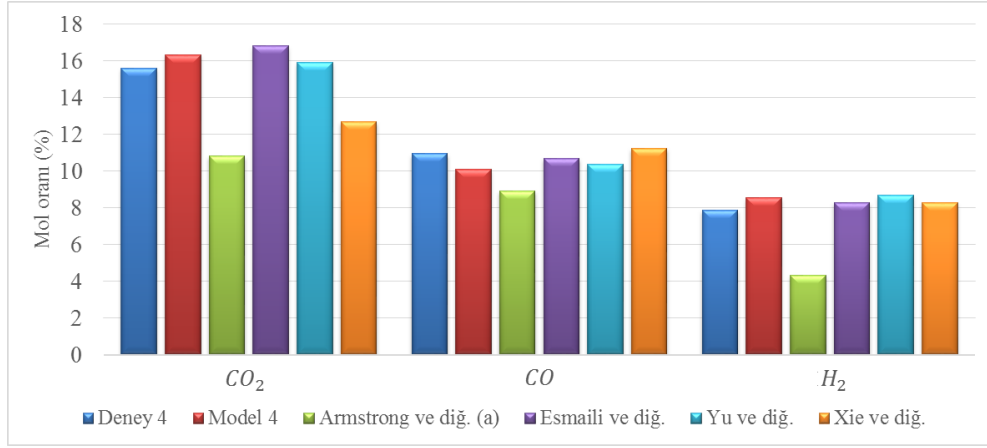
alan sayısal çalışmalar arasından deney sonucuna en uzak olanı ise YBH değeri 20.72 ile Armstrong ve diğ. [111] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.6, sayfa 78). Deney 3 koşulları altından CO gazı için elde edilen ve Şekil 4.16 ile gösterilen sayısal çalışma değerlerinin deney sonucu ile arasındaki YBH değerlerinin ortalaması 9.86'dır. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 24.58 katıdır.

Son olarak Deney 3 koşulları altında H_2 gazı için sayısal çalışmalar ile elde edilen yüzde mol oranı değerleri birbiri ile karşılaştırılacaktır. Sayısal çalışmalar arasından deney verisine en yakın sonuç YBH değeri 1.56 ile Xie ve diğ. [46] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.7, sayfa 83). Doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ise Şekil 4.16 ile gösterilen sayısal çalışmalar arasında deney sonucuna en yakın ikinci sıradaki sonuçtur. Doktora kapsamında geliştirilen modelin YBH değeri 2.08'dir. Deney verisine üçüncü en yakın sonuç ise YBH değeri 2.49 ile Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan sayısal çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69) görülmektedir. H_2 gazı için literatürde yer alan sayısal çalışmalar arasından deney sonucuna en uzak olanı ise YBH değeri 56.07 ile Armstrong ve diğ. [111] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.6, sayfa 78). Deney 3 koşulları altında H_2 gazı için elde edilen ve Şekil 4.16 ile gösterilen sayısal çalışma değerlerinin deney sonucu ile arasındaki YBH değerlerinin ortalaması 16.88'dir. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 8.13 katıdır.

Deney 3 koşulları altında doktora kapsamında geliştirilen model sonuçlarının literatürde yer alan 5 önemli sayısal çalışma ile karşılaştırılmasından sonra deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Doktora kapsamında geliştirilen model kullanılarak yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 , CO ve H_2 gazlarının mol oranı değerleri Şekil 4.16 ile gösterilen sayısal çalışmalar arasından deney verisine yakınlık sıralamasında sırasıyla birinci, birinci ve ikinci sırada yer almaktadır.

Deney 4 sınır koşulları altında, doktora kapsamında geliştirilen model (Model 4) ile elde edilen sonuçların literatürdeki 4 sayısal çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 4.17 ile gösterilmektedir.

Model 4 sonuçlarının literatürde yer alan bazı sayısal çalışma sonuçları ile karşılaştırıldığı Şekil 4.17 incelendiğinde, CO_2 gazı için elde edilen sonuçlardan deney



Şekil 4.17 : Model 4 sonuçlarının literatürde yer alan sayısal çalışmalar ile karşılaştırılması.

sonucuna en yakın olan sonucun Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.4, sayfa 72) ile elde edildiği görülmektedir. Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan çalışmanın deney sonucu ile arasındaki YBH değeri 1.99'dur. Doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilen sonuç ise YBH değeri 4.62 ile deney verisine en yakın ikinci sonuçtur. Deney sonucuna en yakın sonuç veren üçüncü sayısal çalışma ise Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69). Bu çalışmanın deney sonucu ile arasındaki YBH değeri 7.69'dur. CO_2 gazı için Şekil 4.17 ile gösterilen sayısal çalışmalar arasından deney sonucuna en uzak sonuca sahip olan çalışma ise YBH değeri 30.56 ile Armstrong ve diğ. [111] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.6, sayfa 78). Şekil 4.17 ile gösterilen sayısal çalışmalarda CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin deney sonucu ile arasında hesaplanan YBH değerlerinin ortalaması 14.72'dir. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 3.19 katıdır.

Deney 4 koşullarında, CO gazı için elde edilen mol oranı değerlerinden deney verisine en yakın olan sonuç YBH değeri 2.01 ile doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilmiştir. Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69) ile elde edilen mol oranı değeri ise YBH değeri 2.19 ile deney verisine yakınlık sıralamasında ikinci sıradadır. Deney verisine üçüncü en yakın sonuca sahip olan çalışmanın ise YBH değeri 2.74 ile Xie ve diğ. [46] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.7, sayfa 83) olduğu görülmektedir. CO gazı için sayısal çalışmalar arasından deney sonucuna en uzak olan sonuç ise YBH değeri 18.47 ile Armstrong

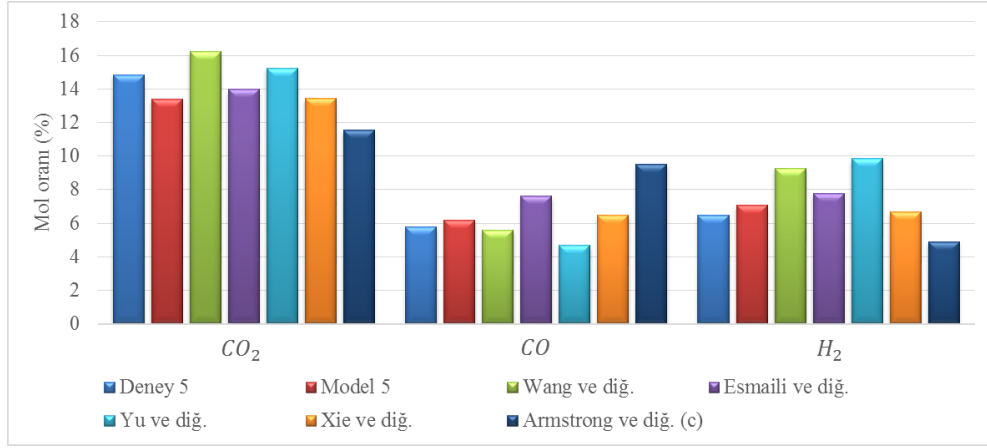
ve diğ. [111] tarafından yapılan çalışmada yer almaktadır (Bakınız Bölüm 4.1.6, sayfa 78). Deney 4 koşulları altından CO gazı için elde edilen ve Şekil 4.17 ile gösterilen sayısal çalışma değerlerinin deney sonucu ile arasındaki YBH değerlerinin ortalaması 7.15'tir. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 3.56 katıdır.

Son olarak Deney 4 koşulları altında H_2 gazı için sayısal çalışmalar ile elde edilen yüzde mol oranı değerleri birbiri ile karşılaştırılacaktır. Deney verisine en yakın olan sonuç YBH değeri 4.18 ile doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilmiştir. Deney verisine en yakın ikinci sonuç ise YBH değeri 5.20 ile Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69) elde edilmiştir. Deney sonucuna en yakın üçüncü sonucu veren sayısal çalışma ise Xie ve diğ. [46] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.7, sayfa 83). Bu çalışmanın deney sonucu ile arasındaki YBH değeri 5.33'tür. Sayısal çalışmalar arasından deney sonucuna en uzak olan sonucu veren çalışma ise YBH değeri 44.79 ile Armstrong ve diğ. [111] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.6, sayfa 78). Şekil 4.17 ile gösterilen sayısal çalışmalarda Deney 4 koşullarında H_2 gazı için elde edilen mol oranı değerlerinin deney verisi ile arasındaki YBH değerlerinin ortalaması 16.37'dir. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 3.91 katıdır.

Deney 4 koşulları altında doktora kapsamında geliştirilen model sonuçlarının literatürde yer alan 4 önemli sayısal çalışma ile karşılaştırılmasından sonra deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Doktora kapsamında geliştirilen model kullanılarak yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 , CO ve H_2 gazlarının mol oranı değerleri Şekil 4.17 ile gösterilen sayısal çalışmalar arasından deney verisine yakınlık sıralamasında sırasıyla ikinci, birinci ve birinci sırada yer almaktadır.

Deney 5 sınır koşulları altında, doktora kapsamında geliştirilen model (Model 5) ile elde edilen sonuçların literatürdeki 5 sayısal çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 4.18 ile gösterilmektedir.

Model 5 sonuçlarının literatürde yer alan bazı sayısal çalışma sonuçları ile karşılaştırıldığı Şekil 4.18 incelendiğinde, doktora kapsamında geliştirilen model ile hesaplanan CO_2 gazının mol oranı değeri diğer sayısal çalışmalar arasından deney



Şekil 4.18 : Model 5 sonuçlarının literatürde yer alan sayısal çalışmalar ile karşılaştırılması.

verisine en yakın olanıdır. Model ile elde edilen sonucun deney verisi ile arasındaki YBH değeri ise 1.95'tir. CO_2 gazı için elde edilen sonuçlardan deney sonucuna ikinci yakınlıkta olan çalışma ise YBH değeri 2.56 ile Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.4, sayfa 72) olduğu görülmektedir. Deney verisine en yakın üçüncü sonuç YBH değeri 5.85 ile Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69) elde edilmiştir. Sayısal çalışmalar arasından deney sonucuna en uzak sonuç ise YBH değeri 22.26 ile Armstrong ve diğ. [48] tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.2, sayfa 67) görülmektedir. Şekil 4.18 ile gösterilen sayısal çalışmalarda CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerleri ile deney sonucu arasında hesaplanan YBH değerlerinin ortalaması 9.88'dir. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 5.06 katıdır.

CO gazı için Deney 5 sınır şartlarında elde edilen mol oranı değerlerinden deney verisine en yakın olan sonuç YBH değeri 3.31 ile Wang ve diğ. [24] tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.1, sayfa 66) elde edilmiştir. Doktora kapsamında geliştirilen model sonucu deney verisine yakınlık açısından YBH değeri 6.89 ile ikinci sırada yer almaktadır. Deney verisine üçüncü en yakın sonuca sahip olan çalışma ise YBH değeri 11.90 ile Xie ve diğ. [46] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.7, sayfa 83) olduğu görülmektedir. CO gazı için literatürde yer alan sayısal çalışmalar arasından deney sonucuna en uzak olan sonuç ise YBH değeri 64.32 ile Armstrong ve diğ. [48] tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.2, sayfa 67) yer almaktadır. Şekil 4.18 ile gösterilen sayısal çalışmalarda CO gazı için elde edilen yüzde mol oranı

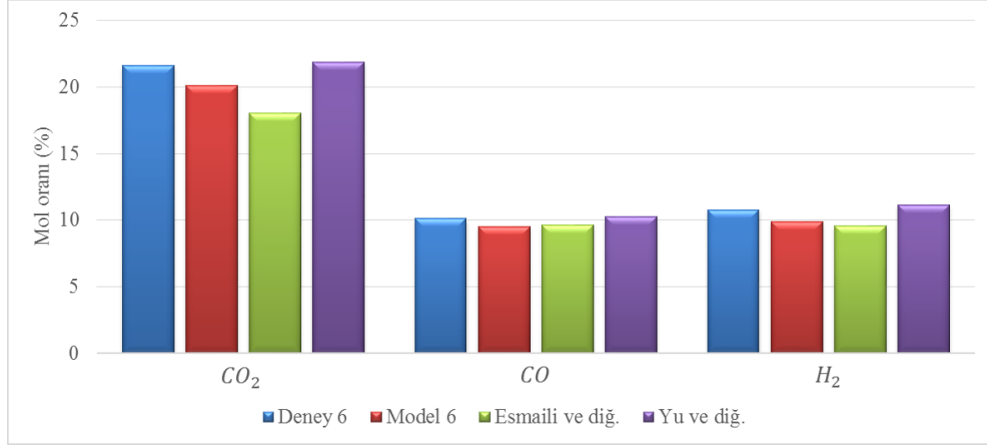
değerleri ile deney sonucu arasında hesaplanan YBH değerlerinin ortalaması 25.94'tür. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 3.76 katıdır.

Son olarak Deney 5 koşulları altında H_2 gazı için sayısal çalışmalar ile elde edilen yüzde mol oranı değerleri birbiri ile karşılaştırılacaktır. Sayısal çalışmalar arasından deney verisine en yakın sonuç veren çalışma YBH değeri 3.09 ile Xie ve diğ. [46] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.7, sayfa 83). Doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilen sonuç ise Şekil 4.18 ile gösterilen sayısal çalışmalar arasında deney sonucuna yakınlık sıralamasında ikinci sırada yer almaktadır. Doktora kapsamında geliştirilen modelin YBH değeri 4.63'tür. Deney verisine üçüncü en yakın sonuç ise YBH değeri 19.91 ile Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan sayısal çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69) yer almaktadır. Sayısal çalışmalar arasından deney sonucuna en uzak sonuç veren çalışma ise YBH değeri 51.85 ile Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.4, sayfa 72). Şekil 4.18 ile gösterilen sayısal çalışmalarda H_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranları ile deney sonucu arasında hesaplanan YBH değerlerinin ortalaması 28.45'tir. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 6.15 katıdır.

Deney 5 koşulları altında doktora kapsamında geliştirilen model sonuçlarının literatürde yer alan 5 önemli sayısal çalışma ile karşılaştırılmasından sonra deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Doktora kapsamında geliştirilen model kullanılarak yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 , CO ve H_2 gazlarının mol oranı değerleri Şekil 4.18 ile gösterilen sayısal çalışmalar arasından deney verisine yakınlık sıralamasında sırasıyla birinci, ikinci ve ikinci sırada yer almaktadır.

Deney 6 sınır koşulları altında, doktora kapsamında geliştirilen model (Model 6) ile elde edilen sonuçların literatürdeki 2 sayısal çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 4.19 ile gösterilmektedir.

Model 6 sonuçlarının literatürde yer alan bazı sayısal çalışma sonuçları ile karşılaştırıldığı Şekil 4.19 incelendiğinde, CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden deney sonucuna en yakın olan sonucun Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.4, sayfa 72) olduğu görülmektedir. Yu ve diğ. [49]



Şekil 4.19 : Model 6 sonuçlarının literatürde yer alan sayısal çalışmalar ile karşılaştırılması.

tarafından yapılan çalışmanın deney sonucu ile arasındaki YBH 1.20'dir. Doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilen sonuç ise deney verisine en yakın ikinci sonuçtur ve YBH değeri 6.81'dir. Şekil 4.19 ile gösterilen sayısal çalışmalar arasından deney sonucuna en uzak sonuç veren çalışma ise YBH değeri 16.44 ile Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan çalışmadır (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69). Şekil 4.19 ile gösterilen sayısal çalışmalarda CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerleri ile deney sonucu arasında hesaplanan YBH değerlerinin ortalaması 8.82'dir. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 1.30 katıdır.

Deneysel 6 koşullarında, CO gazı için hesaplanan mol oranı değerlerinden deney verisine en yakın sonuç YBH değeri 0.59 ile doktora kapsamında geliştirilen modelle elde edilmiştir. Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan çalışma (Bakınız Bölüm 4.1.4, sayfa 72) ise YBH değeri 0.99 ile deney verisine en yakın ikinci sonucun görüldüğü sayısal çalışmadır. Deney verisine üçüncü en yakın sonuç ise YBH değeri 4.73 ile Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69) yer almaktadır. Şekil 4.19 ile gösterilen sayısal çalışmalarda CO gazı için elde edilen yüzde mol oranları ile deney sonucu arasında hesaplanan YBH değerlerinin ortalaması 2.86'dır. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 4.83 katıdır.

Son olarak Deneysel 6 koşulları altında H_2 gazı için sayısal çalışmalar ile elde edilen yüzde mol oranı değerleri birbiri ile karşılaştırılacaktır. Sayısal çalışmalar arasından deney verisine en yakın sonuç YBH değeri 3.24 ile Yu ve diğ. [49]

tarafından yapılan çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.4, sayfa 72) yer almaktadır. Doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ise Şekil 4.19 ile gösterilen sayısal çalışmalar arasından deney sonucuna yakınlık sıralamasında ikinci sırada yer almaktadır. Doktora kapsamında geliştirilen modelin YBH değeri 8.24'tür. Deney verisine üçüncü en yakın sonuç ise YBH değeri 11.02 ile Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan sayısal çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69) görülmektedir. Şekil 4.19 ile gösterilen sayısal çalışmalarda H_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerleri ile deney sonucu arasında hesaplanan YBH değerlerinin ortalaması 7.13'tür. Bu değer doktora kapsamında geliştirilen model sonucu ile elde edilen YBH değerinin yaklaşık 0.87 katıdır.

Deney 6 koşulları altında doktora kapsamında geliştirilen model sonuçlarının literatürde yer alan 2 önemli sayısal çalışma ile karşılaştırılmasından sonra deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Doktora kapsamında geliştirilen model kullanılarak yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 , CO ve H_2 gazlarının mol oranı değerleri Şekil 4.19 ile gösterilen sayısal çalışmalar arasından deney verisine yakınlık sıralamasında sırasıyla ikinci, birinci ve ikinci sırada yer almaktadır.

Altı deneysel çalışma için doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilen gaz bileşenlerinin yüzde mol oranı değerleri hem deney verileri ile hem de literatürde yer alan önemli sayısal çalışma sonuçları ile kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda CO_2 gazı için model sonucu deney verisine yakınlık sıralamasında diğer sayısal çalışmalar arasından iki kere birinci, üç kere ikinci ve bir kere de üçüncü en yakın sonuca sahip olmuştur. CO gazı için ise model sonucu deney verisine yakınlık sıralamasında diğer sayısal çalışmalar arasından üç kere birinci, iki kere ikinci ve bir kere de üçüncü en yakın sonucu elde etmiştir. Son olarak H_2 gazı için model sonucu deney verisine yakınlık sıralamasında diğer sayısal çalışmalar arasından iki kere birinci, üç kere ikinci ve bir kere de üçüncü en yakın sonuca sahiptir. Tüm altı deneydeki üç gaz bileşeni (CO_2 , CO ve H_2) için doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilen deney verisine yakınlık sıralamasında dördüncü sıraya düşmemiştir. Çizelge 4.15 ile deney verisine en yakın sonuç veren üç sayısal çalışma ve ayrıca deney verisine en uzak sonuç veren sayısal çalışma adları verilmektedir.

Çizelge 4.15 incelendiğinde doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilen sonuçların deney verilerine yakınlık açısından toplam 7 kere en yakın değere sahip

Çizelge 4.15 : Sayısal çalışmaların deney verilerine yakın sonuç verme sıralaması.

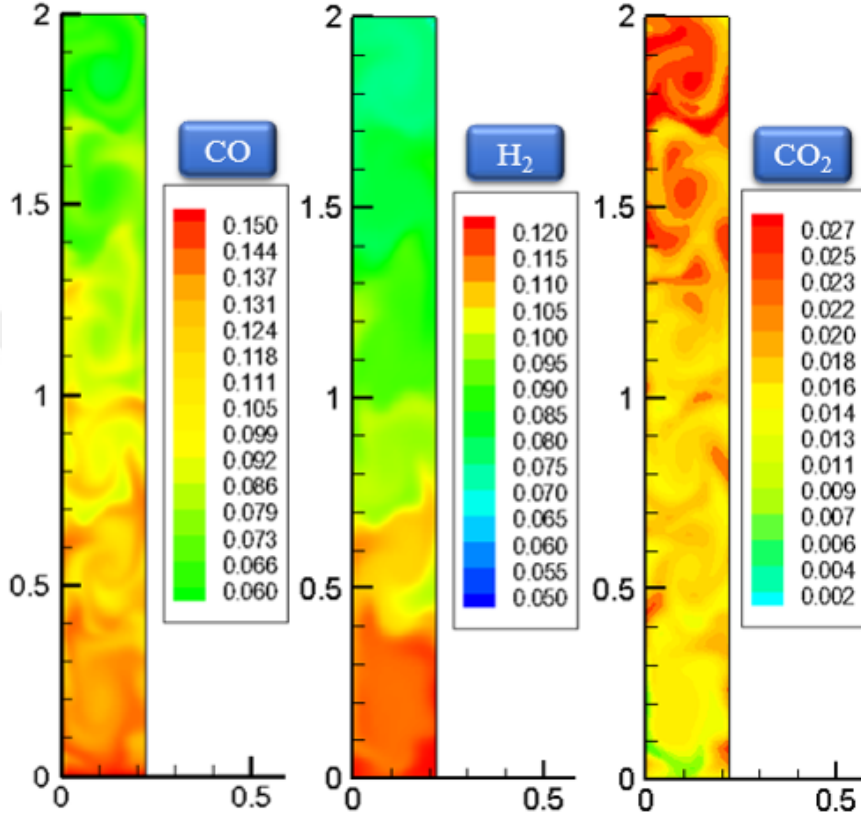
	En yakın 1. sonuç	En yakın 2. sonuç	En yakın 3. sonuç	En uzak sonuç
Deney 1 (% mol oranı CO_2)	Yu ve diğ. [49]	Wang ve diğ. [24]	Doktora	Armstrong ve diğ. [36]
Deney 1 (% mol oranı CO)	Yu ve diğ. [49]	Esmaili ve diğ. [47]	Doktora	Armstrong ve diğ. [111]
Deney 1 (% mol oranı H_2)	Esmaili ve diğ. [47]	Yu ve diğ. [49]	Doktora	Wang ve diğ. [24]
Deney 2 (% mol oranı CO_2)	Yu ve diğ. [49]	Doktora	Esmaili ve diğ. [47]	Armstrong ve diğ. [36]
Deney 2 (% mol oranı CO)	Armstrong ve diğ. [36]	Doktora	Yu ve diğ. [49]	Armstrong ve diğ. [111]
Deney 2 (% mol oranı H_2)	Doktora	Yu ve diğ. [49]	Esmaili ve diğ. [47]	Armstrong ve diğ. [111]
Deney 3 (% mol oranı CO_2)	Doktora	Yu ve diğ. [49]	Xie ve diğ. [46]	Wang ve diğ. [24]
Deney 3 (% mol oranı CO)	Doktora	Esmaili ve diğ. [47]	Xie ve diğ. [46]	Armstrong ve diğ. [111]
Deney 3 (% mol oranı H_2)	Xie ve diğ. [46]	Doktora	Esmaili ve diğ. [47]	Armstrong ve diğ. [111]
Deney 4 (% mol oranı CO_2)	Yu ve diğ. [49]	Doktora	Esmaili ve diğ. [47]	Armstrong ve diğ. [111]
Deney 4 (% mol oranı CO)	Doktora	Esmaili ve diğ. [47]	Xie ve diğ. [46]	Armstrong ve diğ. [111]
Deney 4 (% mol oranı H_2)	Doktora	Esmaili ve diğ. [47]	Xie ve diğ. [46]	Armstrong ve diğ. [111]
Deney 5 (% mol oranı CO_2)	Doktora	Yu ve diğ. [49]	Esmaili ve diğ. [47]	Armstrong ve diğ. [48]
Deney 5 (% mol oranı CO)	Wang ve diğ. [24]	Doktora	Xie ve diğ. [46]	Armstrong ve diğ. [48]
Deney 5 (% mol oranı H_2)	Xie ve diğ. [46]	Doktora	Esmaili ve diğ. [47]	Yu ve diğ. [49]
Deney 6 (% mol oranı CO_2)	Yu ve diğ. [49]	Doktora	Esmaili ve diğ. [47]	Esmaili ve diğ. [47]
Deney 6 (% mol oranı CO)	Doktora	Yu ve diğ. [49]	Esmaili ve diğ. [47]	Esmaili ve diğ. [47]
Deney 6 (% mol oranı H_2)	Yu ve diğ. [49]	Doktora	Esmaili ve diğ. [47]	Esmaili ve diğ. [47]

olduğu görülmektedir. Yu ve diğ. [49] tarafından yapılan sayısal çalışma ise toplam 5 kere deney verisine en yakın sonuç vererek doktora kapsamında geliştirilen modelin arkasından ikinci sırada yer almaktadır.

Doktora kapsamında geliştirilen model sonuçlarının deney verileri ve diğer sayısal çalışma sonuçları ile karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır. Şimdi doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilen yatak içindeki gaz bileşenlerin (CO_2 , CO ve H_2) mol oranı dağılımlarına yer verilecektir. Şekil 4.20-4.25 ile sırasıyla Deney 1-6 sınır şartları altında doktora çalışması kapsamında geliştirilen model kullanılarak elde edilen CO_2 , CO ve H_2 gazlarının yatak içindeki mol oranı dağılımları gösterilmektedir. Şekil 4.20-4.25 ile gösterilen gazların yatak içindeki mol oranı dağılımları incelendiğinde birbiri ile benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Tüm model sonuçları için yapılabilecek bir ortak açıklama bulunmaktadır.

Altı deney sonucunda CO ve H_2 gazlarının kabarcıklı akışkan yatak içindeki mol oranı dağılımları yatağın alt tarafında fazla iken yatağın üst taraflarına doğru kademeli olarak azaldığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeni yatağın alt tarafında kömürün daha fazla bulunması ve bu nedenle de kömürün gazlaşmasını sağlayan reaksiyonların daha etkin olmasıdır. Kömür oksijen ile reaksiyona girerek CO gazını oluşturmaktadır. Ayrıca kömürün içinde yer alan uçucu maddenin çıkışı yatağın alt tarafında meydana gelmektedir. Bu da yatağın alt tarafında daha fazla CO gazının oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca yatağın alt tarafından hava ile gönderilen su buharı da kömür ile reaksiyona girecek CO ve H_2 oluşturmaktadır. Bu nedenle de yatağın alt tarafında mol oranı cinsinden daha fazla H_2 oluşmaktadır. Yatağın üst taraflarında ise CO_2

gazının mol oranı değerinin yatağın alt taraflarına göre artış gösterdiği görülmektedir. Bunun en önemli nedeni ise CO gazının su buharı ile reaksiyona girerek CO_2 gazının oluşmasına neden olan ileri su-gaz dönüşümü (water gas shift reaction-WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) yatağın yukarısında daha etkin olmasından kaynaklanmaktadır.

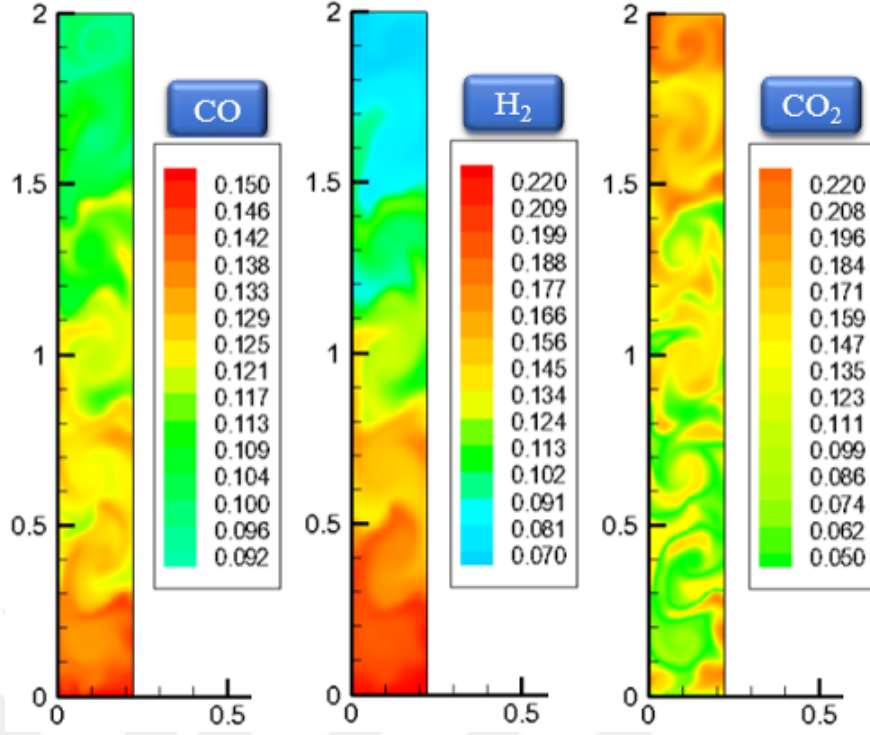


Şekil 4.20 : Model 1 için yatak içindeki CO , H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı dağılımları.

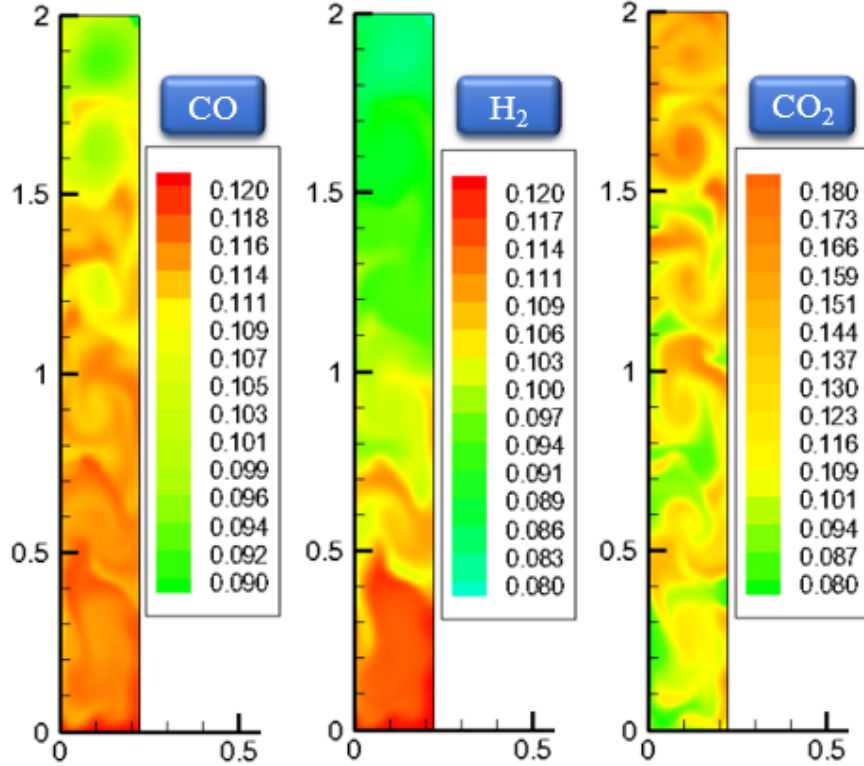
Doktora kapsamında geliştirilen modelin kabarcıklı akışkan yatak için yapılmış ve Chejne ve Hernandez [42] tarafından yapılan çalışmada yer alan 6 deney sonucu ile kapsamlı karşılaştırmasından sonra modelin tutarlı ve deney verisine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Fakat modelin sadece bir geometride ve fiziksel şartlarda karşılaştırılması yeterli görülmediğinden iki farklı geometriye ve fiziksel şartlara sahip literatürdeki kömür gazlaştırma deneyleri ile de model sonuçları karşılaştırılacaktır.

4.2 İkinci Karşılaştırma

İkinci karşılaştırma için Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan çalışma seçilmiştir. Bu çalışmanın seçilmesinin önemli nedenlerinden biri dolaşımli akışkan yatak konusunda yapılmış bir çalışma olmasından kaynaklanmaktadır. Doktora kapsamında

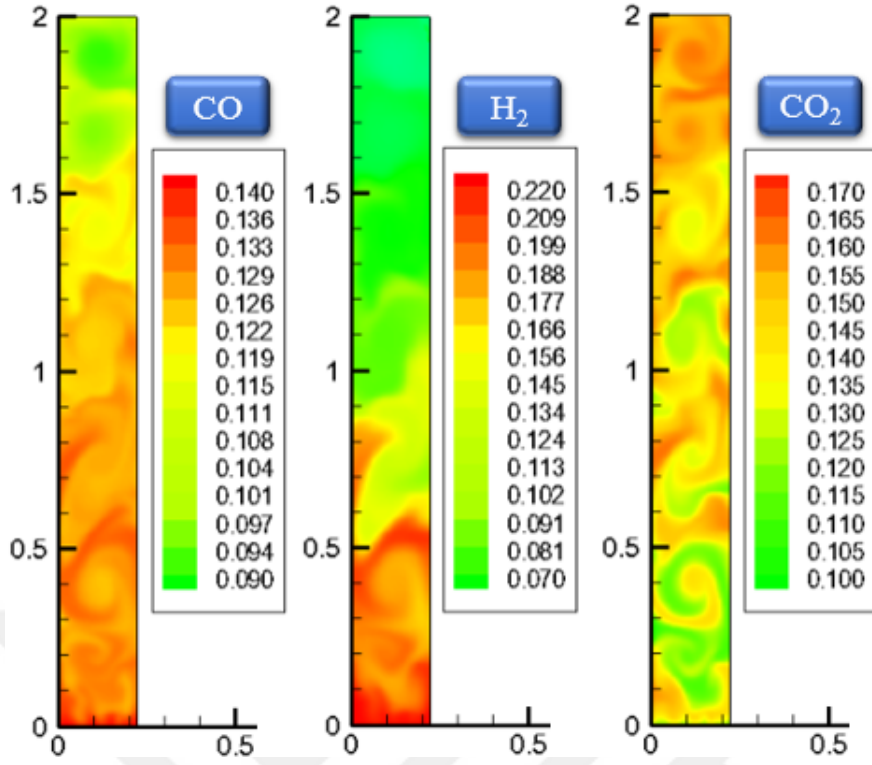


Şekil 4.21 : Model 2 için yatak içindeki CO , H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı dağılımları.

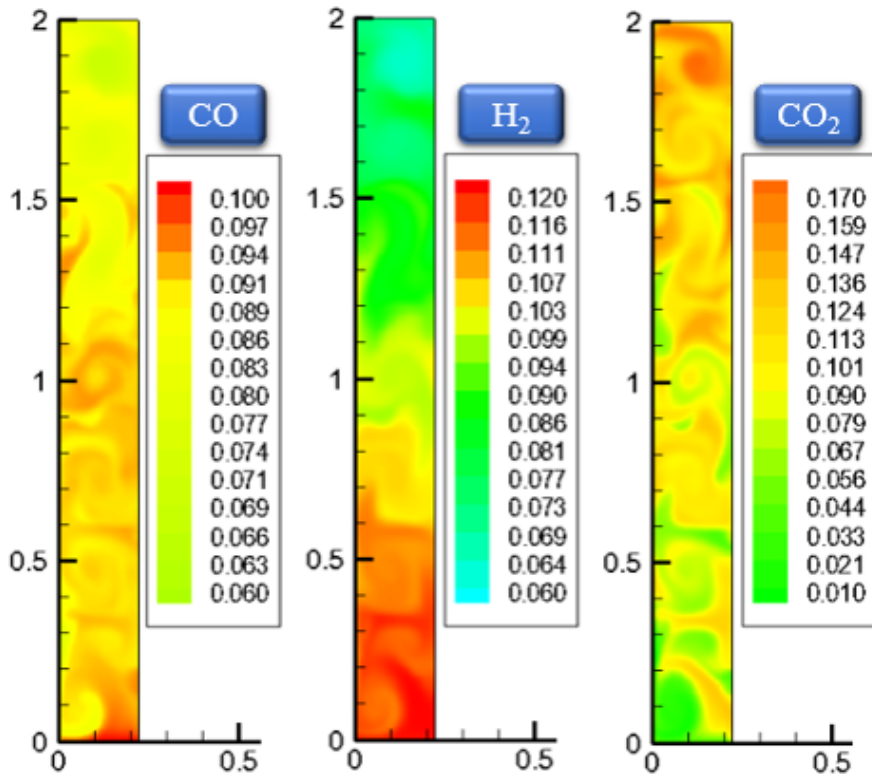


Şekil 4.22 : Model 3 için yatak içindeki CO , H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı dağılımları.

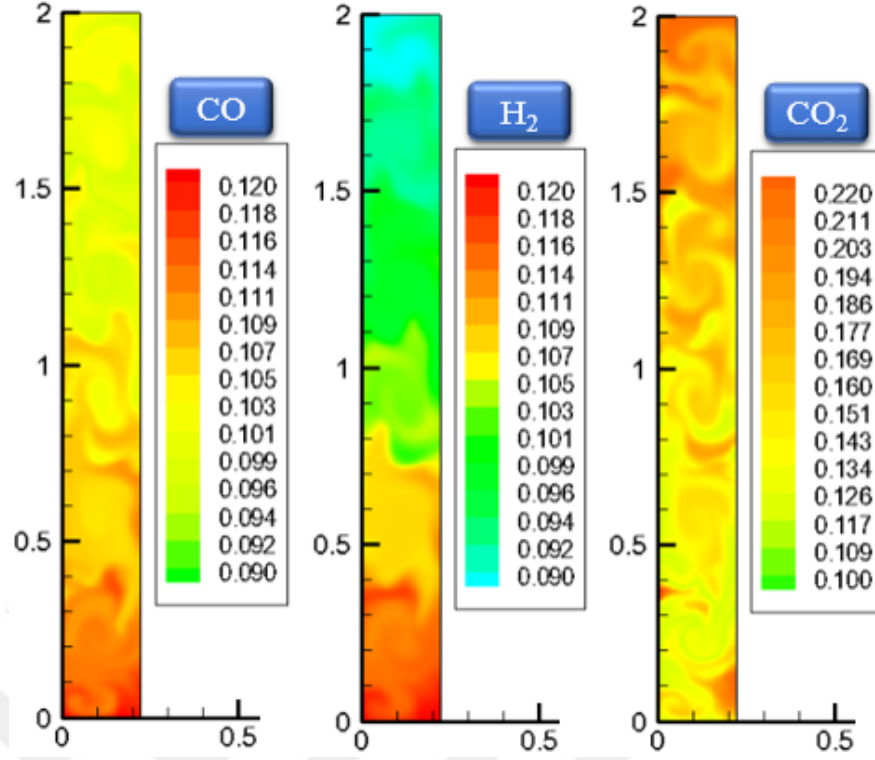
geliştirilen modelin dolaşımli akışkan yatak tipi gazlaştırıcılar ile de karşılaştırılması modelin kapsamlı bir şekilde doğrulanması açısından önemlidir.



Şekil 4.23 : Model 4 için yatak içindeki CO , H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı dağılımları.



Şekil 4.24 : Model 5 için yatak içindeki CO , H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı dağılımları.



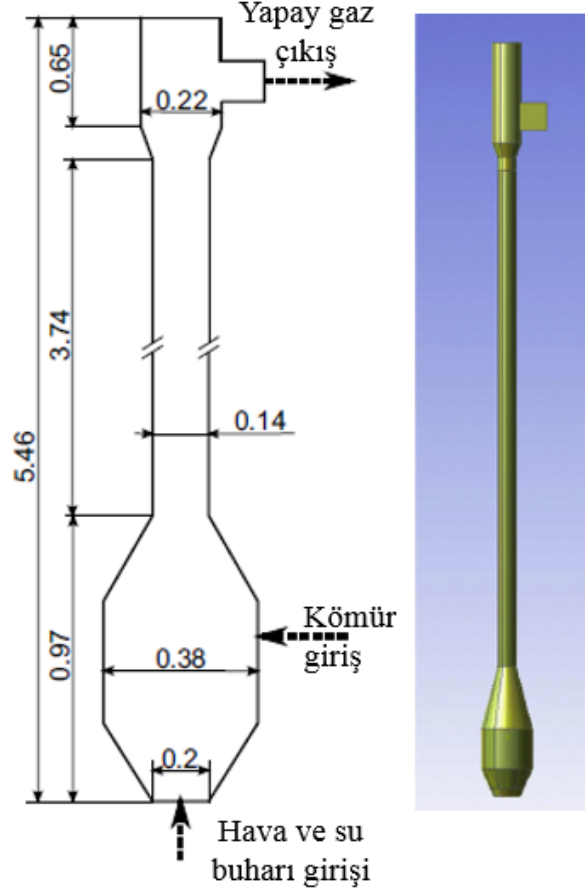
Şekil 4.25 : Model 6 için yatak içindeki CO , H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı dağılımları.

Klimanek ve diğ. [118] Eulerian-Lagrangian matematik modelini kullanarak dolaşımli akışkan yatağı modellemişler ve deneysel sonuçlar ile model sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Modellemede Şekil 4.26 ile gösterilen yatak geometrisi kullanılmıştır. Şekil 4.26’da yer alan ölçüler metre cinsinden yazılmıştır.

Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan çalışmada dolaşımli akışkan yatağın siklon ve geri dönüş kolu modellenmemiş sadece yatağın ana kolu modellenmiş ve deneysel veri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.26 ile gösterilen yatak geometrisinde yatak yüksekliği $5.46\ m$ ve yatağın alt tarafının çapı $0.38\ m$ iken yatağın üst tarafı $0.14\ m$ çapındadır. Yatağın alt tarafından hava ve su buharı, yatağın sağ alt yan tarafından ise kömür beslemesi yapılmaktadır. Şekil 4.26 ile gösterilen yatak geometrisinde iki farklı sınır şartı için çözümlenmeler yapılmıştır. Problemin sınır şartları Çizelge 4.16 ile verilmiştir.

Ayrıca deneysel çalışmada kullanılan kömürler (Kömür 1 ve 2) için ölçülmüş uçucu madde analizi Çizelge 4.17 ile gösterilmektedir.

Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan çalışmada kullanılan kömürlerde yer alan uçucu madde bileşenlerinin gösterildiği Çizelge 4.17’deki değerler dikkate alınarak



Şekil 4.26 : Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

Çizelge 4.16 : Deneysel çalışmanın sınır şartları.

	Sınır şartı 1	Sınır şartı 2
Kömür debisi [kg/h]	171	181
Kömür giriş sıcaklığı [K]	288	288
Hava debisi [kg/h]	193	233
Su buharı debisi [kg/h]	-	18.3
Hava ve su buharı giriş sıcaklığı [K]	520	510
Kullanılan kömür özellikleri	Kömür 1	Kömür 2
HHV [Mj/kg]	28.1	28.1
Karbon [%]	48.0	55.1
Uçucu madde [%]	34.1	27.7
Kül (ash) [%]	12.6	10.6
Nem [%]	5.3	6.6

modelde uçucu maddenin CH_4 , CO_2 , CO , H_2 , H_2O ve katran (tar) bileşenlerinden oluştuğu kabul edilmiştir.

Çizelge 4.18 ile doktora kapsamında geliştirilen model ile Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan model özelliklerinin karşılaştırılması gösterilmektedir.

Çizelge 4.17 : Kömürdeki uçucu maddeyi oluşturan gaz bileşenleri.

Ölçülen değerler		Modelde kullanılan değerler	
Uçucu maddeyi oluşturan gazlar	Mol oranı	Uçucu maddeyi oluşturan gazlar	Mol oranı
CH_4	0.176	CH_4	0.176
CO_2	0.036	CO_2	0.036
CO	0.077	CO	0.077
H_2	0.385	H_2	0.385
H_2O	0.172	H_2O	0.172
H_2S	0.012	Katran (tar)	0.154
NH_3	0.047		
C_2H_6	0.043		
C_6H_6	0.040		
$C_{10}H_8$	0.012		

Çizelge 4.18 : Doktora çalışması kapsamında geliştirilen model özelliklerinin karşılaştırılması.

Model özellikleri	Doktora	Klimanek ve diğ. [118]
Matematik model	Eulerian-Eulerian	Eulerian-Lagrangian
Boyut	Üç boyutlu	Üç boyutlu
Zaman adımı	5×10^{-5} [s]	0.02 [s]
Toplam çözümlene zamanı	90 [s]	90 [s]
Ağ sayısı	Bkz Çizelge 4.19	(a) 53.7×10^3 (b) 90.8×10^3
Uçucu maddenin çıkış modeli	CPD modeli	Sabit hız modeli
Türbülans modeli	k-epsilon (ayrık faz)	k-epsilon (karışım)
Heterojen reaksiyon sayısı	5	7
Homojen reaksiyon sayısı	5	5
Uçucu madde bileşenleri	CH_4, CO_2, CO H_2, H_2O , katran	CH_4, CO_2, CO H_2, H_2O , katran
Kullanılan paket program	ANSYS Fluent 15	ANSYS Fluent 14
Kömür tanecik çapı dağılımı	Rosin-Rammler	Rosin-Rammler
Radyasyon modeli	P-1	Kullanılmamış
Duvardaki ısı taşınım katsayısı	20 [W/m^2K]	Belirtilmemiş
Sürüklenme modeli (Drag model)	Gidaspow	Gidaspow

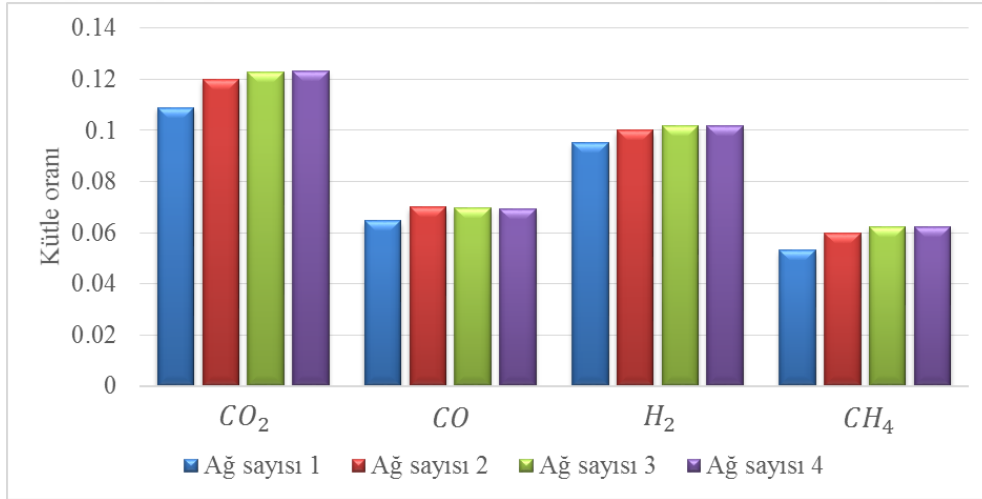
Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan çalışmada iki farklı ağ sayısı (Ağ 1: 53.7×10^3 ve Ağ 2: 90.8×10^3) için çözümlene yapılmış ve deney sonuçlarına en yakın çıkan ağ sayısı için olan çözüm sonuçları elde edilmiştir. Doktora çalışması kapsamında geliştirilen model için zaman adımı 5×10^{-5} s seçilmiştir. Buna karşılık problemin fiziği göz önüne alınarak en uygun ağ sayısını belirlemek için parametrik çalışmalar yapılmıştır. Dört farklı ağ sayısı için çözümlene yapılmış ve yatağın çıkış ağzında hesaplanan sentez gaz (syngas) bileşenlerinin ağ sayısına göre değişimleri incelenerek

en uygun ağ sayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu dört farklı ağ sayısı Çizelge 4.19 ile verilmektedir.

Çizelge 4.19 : Modelde kullanılan ağ sayıları.

	Ağ sayısı
Ağ sayısı 1	36366
Ağ sayısı 2	145464
Ağ sayısı 3	581592
Ağ sayısı 4	2325312

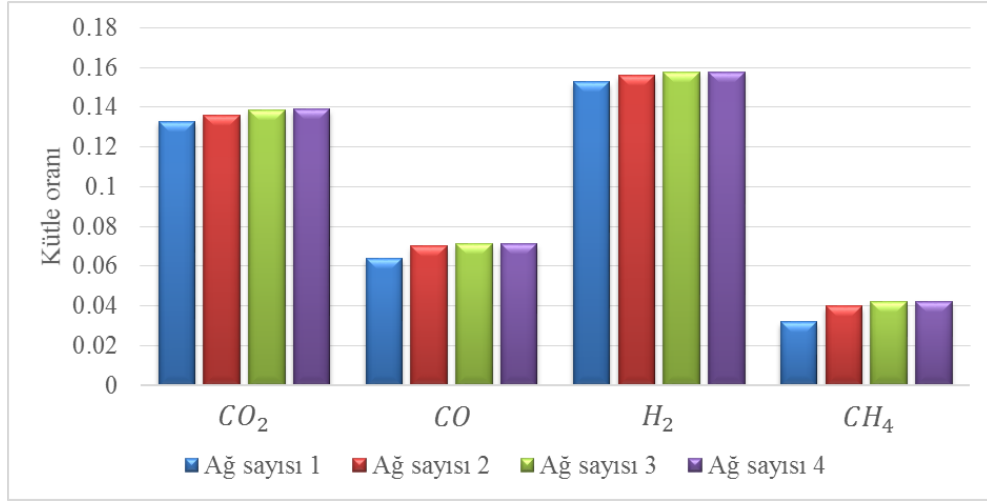
Şekil 4.27 ile Sınır Şartı 1 (Bakınız Çizelge 4.16) koşulunda modelde kullanılan ağ sayısının yatağın çıkış ağzında gaz bileşenleri (CO_2 , CO ve H_2) için hesaplanan ortalama kütle oranı değerlerine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 4.27 : Birinci sınır şartı koşullarında ağ sayısının model sonucuna etkisi.

Dört ağ sayısı kullanılarak yatağın çıkışında CO_2 , CO , H_2 ve CH_4 gazları için elde edilen kütle oranı değerlerinin gösterildiği Şekil 4.27 incelendiğinde Ağ 3 ve Ağ 4 durumları için elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Şekil 4.28 ile Sınır Şartı 2 (Bakınız Çizelge 4.16) koşulunda modelde kullanılan ağ sayısının, yatağın çıkış ağzında gaz bileşenleri (CO_2 , CO ve H_2) için hesaplanan ortalama kütle oranı değerlerine etkisi gösterilmektedir.

Şekil 4.28 incelendiğinde İkinci sınır şartı için de Ağ 3 ve Ağ 4 durumları için elde edilen sonuçların birbirine çok yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir. Böylece ağ sayısının model sonuçlarına etkisi araştırılmış ve deney geometrisi için en uygun ağ sayısı Ağ 3 durumu ile verilen sayı olduğu kabul edilmiştir. Çünkü Ağ 3 durumu ile elde edilen sonuçlar, Ağ 4 durumu ile elde edilen sonuçlara çok yakın çıkmıştır. Bilgisayar zamanı ve ileride yapılacak parametrik çalışmalar düşünülerek bu geometri



Şekil 4.28 : İkinci sınır şartı koşullarında ağ sayısının model sonucuna etkisi.

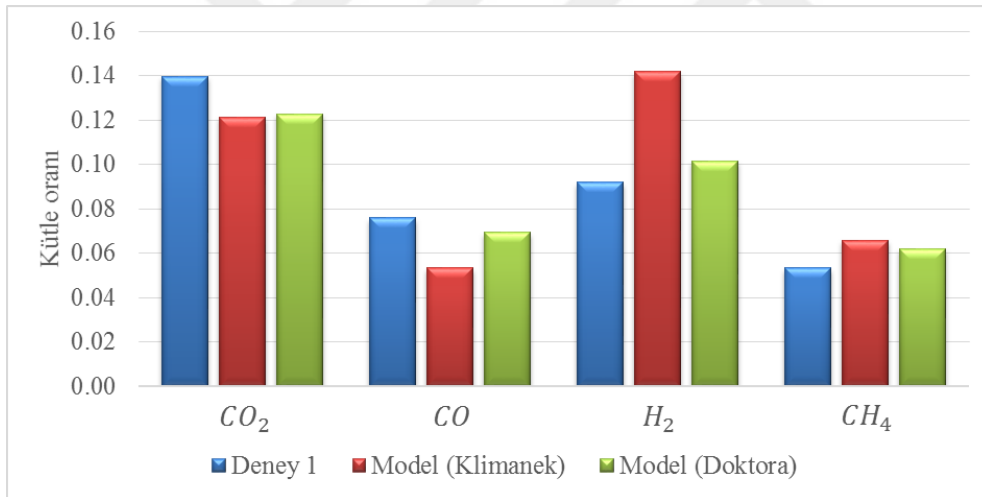
ve sınır şartlarında yatağın ağ sayısı, Ağ 3 durumunda belirtilen (Bakınız Çizelge 4.19) değer olarak alınmıştır.

Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan çalışmada iki sınır şartı (Bakınız Çizelge 4.16) için çözümlenmeler yapılmış ve sonuçlar deney verileri ile sütun grafik kullanılarak karşılaştırılmıştır. Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan çalışmada, model ve deney sonuçlarının sayısal sonuçları yer almamaktadır. Bu nedenden ötürü doğru bir karşılaştırma yapabilmek için grafik üzerinden hassasiyetle değer okuyan programlardan biri olan Webplotdigitizer [119] programı kullanılarak model ve deneysel sonuçların sayısal değerleri okunmuştur. Çizelge 4.20 ile doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilen sonuçlar, hem Klimanek ve diğ. [118] tarafından geliştirilen model hem de deney sonuçları ile karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 4.20'de yer alan YBH 1 (a) ile Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan model sonucunun Deney 1 ile arasındaki yüzde bağıl hata değeri gösterilmektedir. YBH 1 (b) ile ise doktora kapsamında geliştirilen model sonucunun Deney 1 verisi ile arasında hesaplanan yüzde bağıl hata değeri ifade edilmektedir. Benzer şekilde YBH 2 (a) ile Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan model sonucunun Deney 2 ile arasındaki yüzde bağıl hata değeri gösterilmektedir. YBH 2 (b) ile ise doktora kapsamında geliştirilen model sonucunun Deney 2 verisi ile arasında hesaplanan yüzde bağıl hata değeri gösterilmektedir. Şekil 4.29 ile model sonuçların Deney 1 sonuçları ile karşılaştırılması gösterilmektedir.

Çizelge 4.20 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.

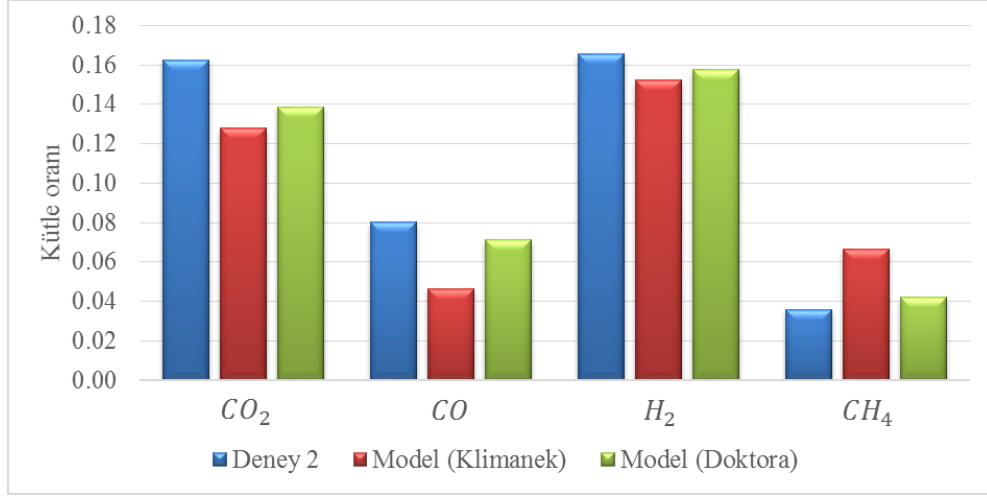
Yatağın çıkış ağzındaki kütle oranı				
	CO_2	CO	H_2	CH_4
Deney 1	0.1398	0.0761	0.0920	0.0534
Model (Klimanek ve diğ. [118])	0.1216	0.0534	0.1420	0.0659
Model (Doktora)	0.1230	0.0695	0.1017	0.0621
Modellerin Deney 1 ile karşılaştırılması				
YBH 1 (a)	13.01	29.85	54.32	23.40
YBH 1 (b)	12.00	8.72	10.49	16.31
Yatağın çıkış ağzındaki kütle oranı				
	CO_2	CO	H_2	CH_4
Deney 2	0.1627	0.0803	0.1658	0.0359
Model (Klimanek ve diğ. [118])	0.1278	0.0465	0.1521	0.0665
Model (Doktora)	0.1387	0.0713	0.1576	0.0421
Modellerin Deney 2 ile karşılaştırılması				
YBH 2 (a)	21.43	42.11	8.28	85.29
YBH 2 (b)	14.74	11.19	4.97	17.22
Açıklama				
YBH: Yüzde bağıl hata				



Şekil 4.29 : Model sonuçlarının Deney 1 verileri ile karşılaştırılması.

Deney 2 ile elde edilen sonuçların model sonuçları ile karşılaştırılması ise Şekil 4.30 ile verilmektedir.

Model sonuçlarının deney sonuçları ile karşılaştırılması incelendiğinde model sonuçlarının deney verileri ile uyduğu görülmektedir. Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan modelde yatağın çıkış ağzında elde edilen kütle oranı değerlerinin Deney 1 sonuçları ile karşılaştırılması yapıldığında tüm gaz bileşenleri (CO_2 , CO , H_2 ve CH_4) için hesaplanan yüzde bağıl hata değerlerinin ortalaması 30.15'tir. Deney 1 için Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan modelde elde edilen en yüksek



Şekil 4.30 : Model sonuçlarının Deney 2 verileri ile karşılaştırılması.

yüzde bağıl hata 54.32 ile H_2 gazı için hesaplanmışken en düşük yüzde bağıl hata değeri ise 13.01 ile CO_2 gazı için hesaplanmıştır. Buna karşılık doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilen sonuçlar, Deney 1 sonuçları ile karşılaştırıldığında tüm gaz bileşenleri için hesaplanan yüzde bağıl hata değerlerinin ortalaması 11.88'dir. En yüksek yüzde bağıl hata 16.31 ile CH_4 gazı için, en düşük yüzde bağıl hata ise 8.72 değeri ile CO gazı için elde edilmiştir.

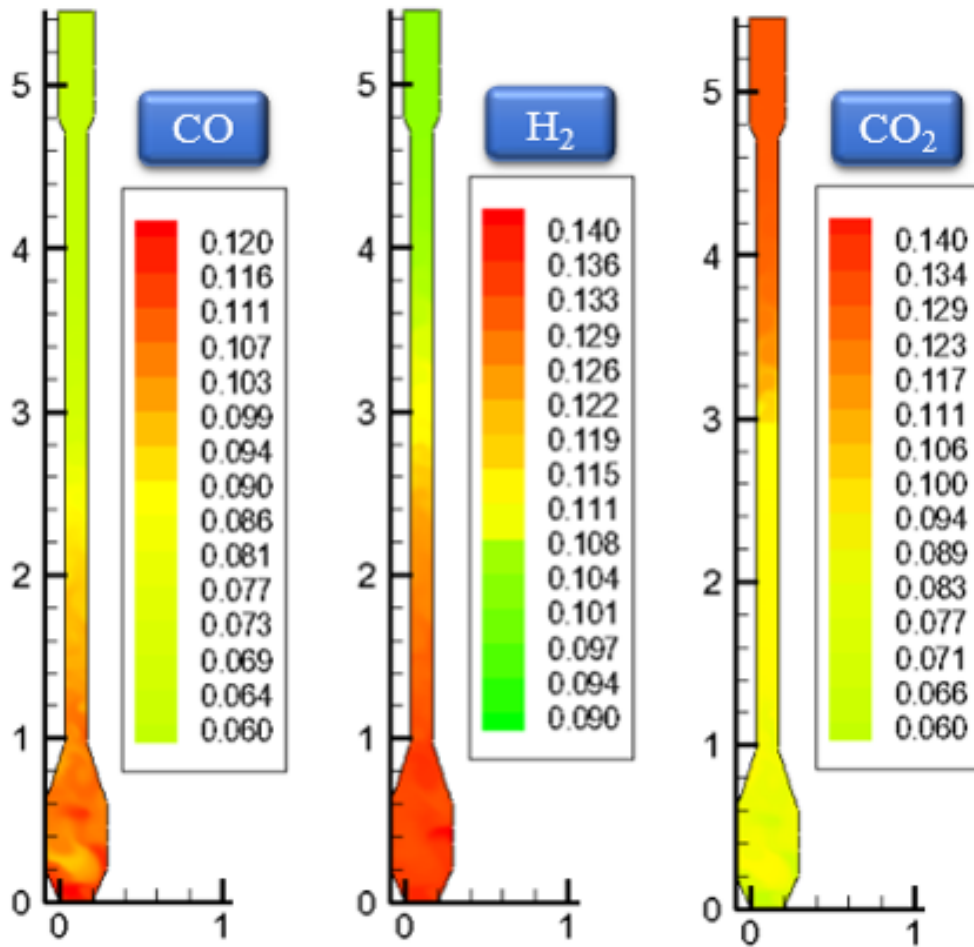
Buna karşılık, Deney 2 ile model sonuçları karşılaştırıldığında Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan modelde tüm gaz bileşenleri için hesaplan yüzde bağıl hata değerlerinin ortalaması 39.28 iken doktora kapsamında geliştirilen model için bu değer 12.03 olarak hesaplanmıştır. Deney 2 sınır şartı altında Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan model ile elde edilen en yüksek yüzde bağıl hata 85.29 ile CH_4 gazının kütle oranı değerinin hesaplanmasında ortaya çıkmıştır. En düşük yüzde bağıl hata 8.28 ile H_2 gazının kütle oranı değeri için elde edilmiştir. Doktora kapsamında geliştirilen model ile ise elde edilen en yüksek yüzde bağıl hata 17.22 ile CH_4 gazının kütle oranı değeri için hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra en düşük yüzde bağıl hata ise 4.97 değeri ile H_2 gazının kütle oranı değeri için hesaplanmıştır. Doktora kapsamında geliştirilen modelin Deney sonuçlarına daha yakın sonuçlar çıkmasının önemli nedenleri aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır:

1. Kömürden uçucu maddenin çıkışı için sabit hız modelinin yerine daha kapsamlı olan CPD modelin (Bakınız Bölüm 3.2.2, sayfa 37) kullanılmış olmasıdır.
2. Zaman adımı olarak 0.02 s değerinin yerine 5×10^{-5} s kullanılmış olmasıdır.

(a) Klimanek ve diğ. [118] tarafından yapılan çalışmada da seçilen zaman adımının uygun olmadığı ve zaman adımının, karmaşık reaksiyonların olmasından dolayı daha küçük seçilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

3. Yatağın ağ sayısının model fiziği açısından daha uygun seçilmiş olmasıdır.

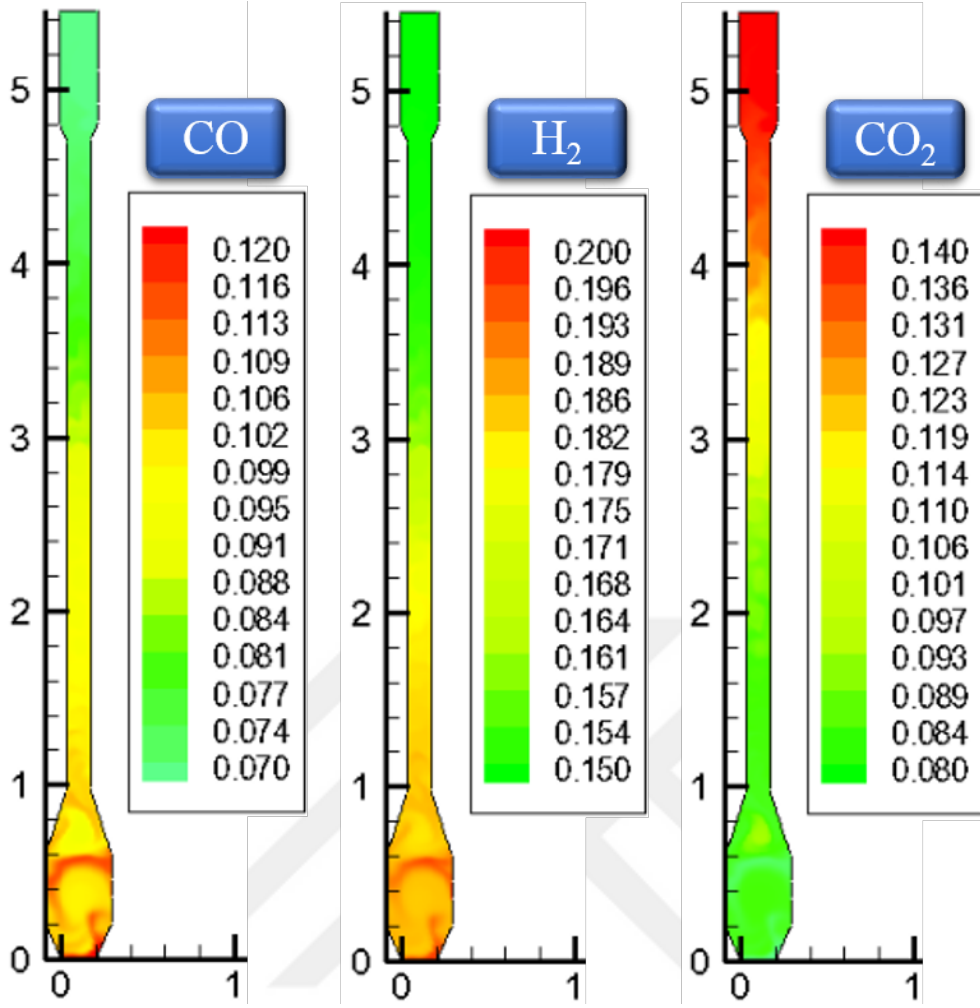
Şimdi doktora kapsamında geliştirilen model ile elde edilen yatak içindeki gazların kütle oranı dağılımlarına yer verilecektir. Öncelikle Şekil 4.31 ile Deney 1 sınır şartı altında elde edilmiş ve gazlaştırma için önemli olan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatak içindeki kütle oranı dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 4.31 : Deney 1 sınır şartında CO , H_2 ve CO_2 gazlarının model ile elde edilen kütle oranı dağılımları.

Aynı şekilde doktora kapsamında geliştirilen model kullanılarak Deney 2 sınır şartları için CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatak içindeki kütle oranı dağılımları Şekil 4.32 ile gösterilmektedir.

Şekil 4.31 incelendiğinde, CO gazı için yatağın alt tarafında kütle oranı değeri 0.12 olduğu görülürken yatağın üst taraflarına doğru gidildikçe bu değer 0.07 değerine



Şekil 4.32 : Deney 2 sınır şartında CO , H_2 ve CO_2 gazlarının model ile elde edilen kütle oranı dağılımları.

doğru kademeli bir şekilde düştüğü görülmektedir. Yatağın alt tarafında gazlaştırma ve uçucu maddenin kömürden ayrılması reaksiyonlarının etkisi ile oluşan CO gazı, yatağın üst taraflarına doğru yanma ve ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift-WGS) reaksiyonunun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) etkisi ile azalmaktadır. Buna karşılık yatağın alt tarafında H_2 gazı için görülen en yüksek kütle oranı değeri 0.14 iken bu değer yatağın üst taraflarına doğru 0.10 değerine kadar düşmektedir. Yatağın alt tarafında daha yoğun kömür bulunmaktadır. Kömürün içinde bulunan nemin dışarı çıkması ve bu nemin karbon ile reaksiyona girmesi ile hem CO hem de H_2 gazı oluşmasından dolayı yatağın alt tarafında daha fazla CO ve H_2 gazı görülmektedir. Yatağın üst taraflarına doğru ise H_2 gazının oksijen ile girdiği yanma reaksiyonu ve geri yönlü gerçekleşen su-gaz dönüşümü (water gas shift-WGS) reaksiyonunun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) etkisi ile kütle oranı değerinde sert olmayan bir düşüş görülmektedir. CO ve H_2 gazlarının aksine CO_2 gazının kütle oranı değeri yatağın

alt taraflarında üst taraflarına göre daha azdır. CO_2 gazının yatağın alt taraflarındaki kütle oranı değeri yaklaşık 0.07 iken yatağın üst taraflarında bu değer yaklaşık 0.14 değerine kadar artmaktadır. Yatağın üst taraflarına doğru ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift-WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) nedeni ile CO_2 gazının kütle oranı değeri artmaktadır. Ayrıca CO gazının oksijen ile yanması sonucu yatağın üst taraflarına doğru CO gazının kütle oranı değeri azalırken CO_2 gazının kütle oranı değeri artmaktadır.

Şekil 4.32 ile Deney 2 sınır şartı (Bakınız Çizelge 4.16, sayfa 110) altındaki sonuçlar gösterilmektedir. Deney 1 sınır şartına göre Deney 2’de yatağa daha fazla kömür beslemesi yapılmıştır. Deney 1 sınır şartında Hava/Kömür debisi oranı kg/kg yaklaşık 1.13 iken Deney 2 sınır şartında bu oran 1.29 değerine çıkmaktadır. Ayrıca Deney 1’de yatağa su buharı gönderiliyor iken Deney 2’de gazlaştırma işleminde su buharı da kullanılmıştır ve Su-Buharı/Kömür debisi oranı kg/kg yaklaşık 0.10 değerindedir. Deney 2 sınır şartında yapılan modelleme sonuçlarına bakıldığında CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan kütle oranı değeri 0.0713 değerindedir (Bakınız Çizelge 4.20, sayfa 114). Bu değer Deney 1 sınır şartında elde edilen değerden yaklaşık %2.6 daha fazladır. Yatağın çıkış ağzında Deney 2 sınır şartı için hesaplanan H_2 gazının kütle oranı değeri ise 0.1576’dır (Bakınız Çizelge 4.20, sayfa 114). Bu değer Deney 1 sınır şartı altında hesaplanan değerden yaklaşık %55 daha fazladır. Son olarak CO_2 gazının Deney 2 sınır şartında yatağın çıkışında hesaplanan kütle oranı değeri 0.1387’dir (Bakınız Çizelge 4.20, sayfa 114). Bu değer Deney 1 sınır şartı altında hesaplanan değerden yaklaşık %12.8 daha fazladır. Deney 2’de gazlaştırma için havanın yanında su buharının da kullanılmış olmasından dolayı Deney 1 sınır şartına göre H_2 gazının kütle oranı değerinde artış oluşmaktadır. Ayrıca Deney 2 sınır şartında Hava/Kömür debisi oranının kg/kg Deney 1’e göre daha fazla olmasından dolayı yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının kütle oranı değeri artmıştır. Bunun en önemli nedeni Hava/Kömür debisi oranının kg/kg artması yatak içindeki yanma reaksiyonlarını daha aktif hale getirmekte ve bu da CO_2 gazının kütle oranı değerinin artmasına neden olmakta şeklinde açıklanabilir. CO gazının kütle oranı değerinde ise Deney 2 sınır şartı altında diğer gazlara göre oldukça az bir artış olmaktadır. Bu ufak artışın nedeni ise yatak içinde artan CO_2 ve H_2 gazlarının etkisi ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift-WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10)

aktif olmakta ve bu da *CO* gazının kütle oranı değerinin Deney 1 sonucuna göre bir miktar artmasına neden olmakta şeklinde açıklanabilir.

Böylece doktora kapsamında geliştirilen model literatürde yer alan ikinci bir deneysel çalışma ile daha doğrulanmış ve model ile elde edilen sonuçlar deneysel veriler ile kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın sonucu olarak model sonuçlarının deney verileri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

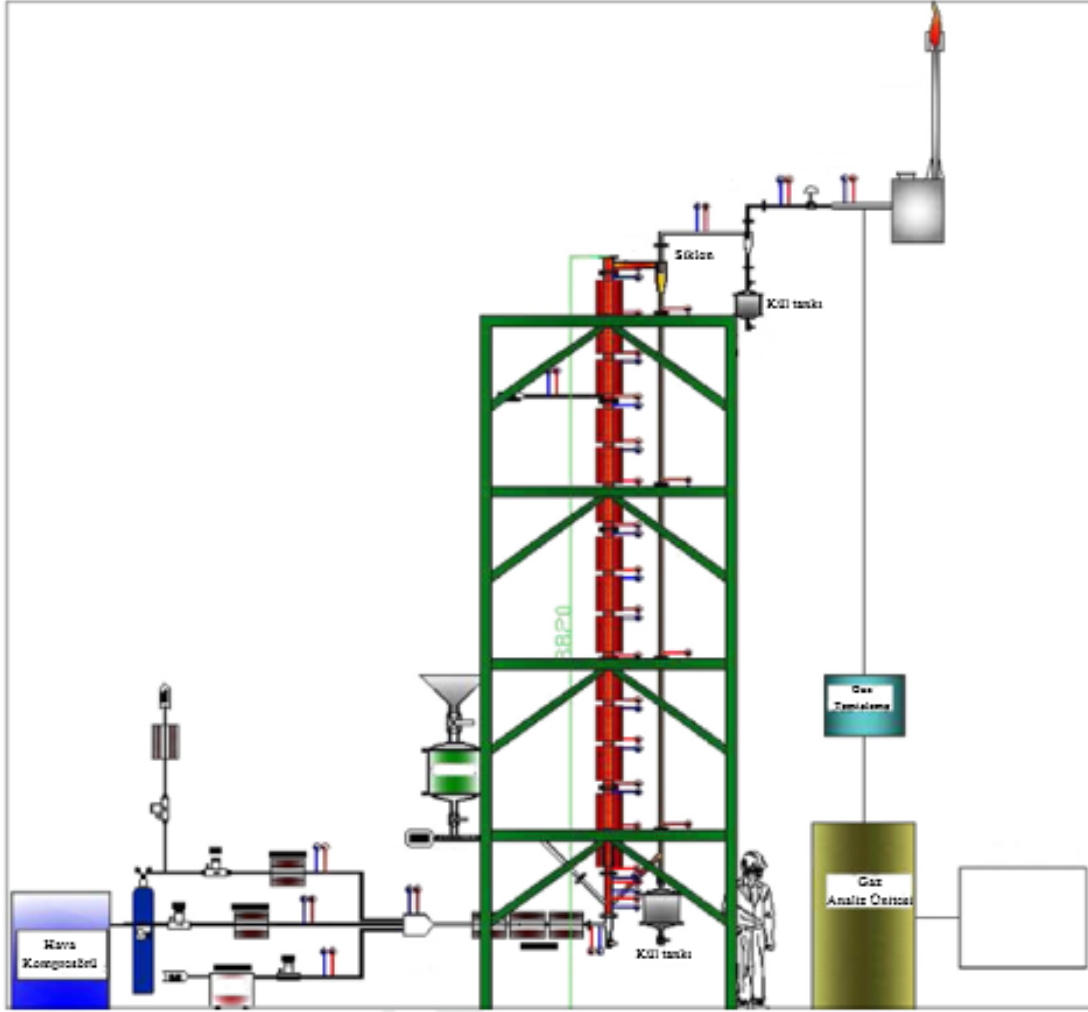
4.3 Üçüncü Karşılaştırma

Aydar ve diğ. [120] kabarcıklı akışkan yatakta kömürün gazlaştırılmasını deneysel çalışmışlardır. Çalışmalarında Türkiye Soma bölgesinden çıkarılan linyit kömürünü kullanmışlardır. Deneyde kullanılan kömürün özellikleri Çizelge 4.21 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.21 : Kömürün yaklaşık ve kapsamlı analiz sonuçları.

Yaklaşık analiz sonuçları (Proximate analysis)	
Nem [% Kütle oranı]	13.75
Kül (ash) [% Kütle oranı]	24.61
Uçucu madde [% Kütle oranı]	34.52
Sabit karbon [% Kütle oranı]	27.12
Kesin analiz sonuçları (Ultimate analysis)	
Karbon [% Kütle oranı]	48.4
Hidrojen [% Kütle oranı]	2.84
Oksijen [% Kütle oranı]	11.5
Nitrojen [% Kütle oranı]	0.94
Sülfür [% Kütle oranı]	1.16

Deneyde kullanılan akışkan yatakta kömürün beslendiği bölgenin çapı 73.6 mm iken bu bölgenin yüksekliği 1010 mm 'dir. Akışkan yatağın üst tarafının ise çapı 97.18 mm ve yüksekliği 1800 mm değerindedir. Akışkan yatağın toplam boyu 2810 mm 'dir. Akışkan yatak vidalı hava kompresörü ile $6 \text{ Nm}^3/\text{h}$ hava gönderilerek akışkanlaştırılmıştır. Yatağa gönderilen havanın sıcaklığı $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir ve yatağa alt taraftan beslenmektedir. Düzgün bir dağılım elde edilebilmesi için yatağın alt tarafında dağıtıcı bir plaka yer almaktadır. Bu plakanın üzerinde 1.2 mm çapında 1519 delik bulunmaktadır. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 4.33 ile gösterilmektedir.

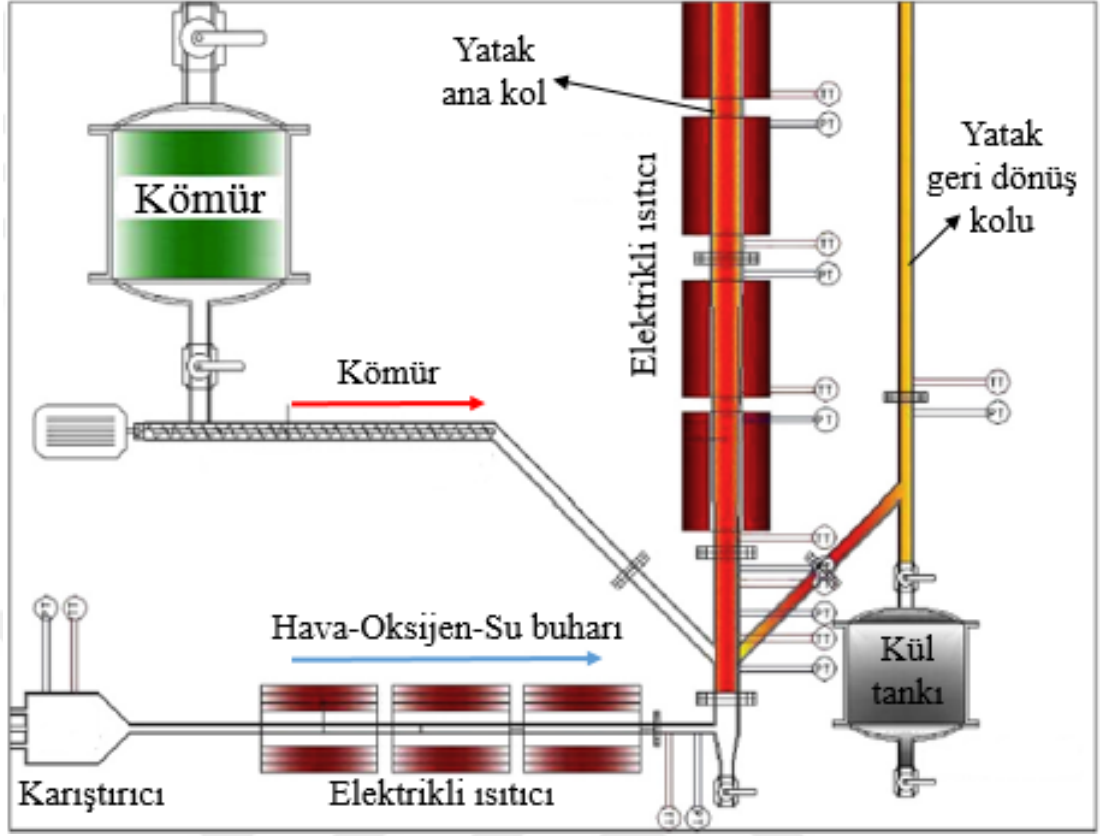


Şekil 4.33 : Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

Deneyde akışkan yatağa sol alt taraftan hava veya oksijen-su buharı karışımı gönderilmekte ve dağıtıcı plakadan geçen gaz bileşenleri yatağa sol taraftan beslenen kömür tanecikleri ile karşılaşmaktadır. Bu bölgenin (yatağın alt tarafı) daha kapsamlı ve yakından gösterimi Şekil 4.34 ile gösterilmektedir.

Yatağın ana kolu elektrikli ısıtıcılar ile ısıtılmaktadır. Deney düzeneğinde elektrikli ısıtıcılar dağıtıcı plakadan sonra yatağa yerleştirilmiştir. Böylece yatağa gönderilen gazlar (hava, oksijen, su buharı) ısıtılmaktadır. Deneyde yatak malzemesi olarak silisli kum (silica sand) kullanılmıştır. Kullanılan kumun ortalama çapı 250-500 mikrometre arasında iken yoğunluğu 1520 kg/m^3 değerindedir. Yatağa başlangıçta 380 mm yüksekliğine kadar yatak malzemesi (silisli kum) doldurulmaktadır. Yatağa kömür beslemesi dağıtıcı plakanın 130 mm üzerinden yapılmaktadır.

Yatak malzemesinin doldurulmasından sonra ısıtıcılar devreye alınarak yatağın sıcaklığı gazlaştırma için uygun sıcaklığa getirilmekte ve uygun sıcaklık sağlandıktan



Şekil 4.34 : Yatağın alt tarafının yakından görünümü.

sonra kömür girişi başlatılmaktadır. Gazlaştırma sonucu oluşan gaz, gaz analiz ünitesinden geçirilerek içindeki H_2 , O_2 , CO , CO_2 , CH_4 gibi gazlarının miktarı belirlenmektedir.

Deney temelde iki farklı durum içermektedir. Bu durumlardan birinci (Durum 1), hava kullanılarak yapılan gazlaştırma deneylerini kapsamaktadır. Oksijen ve su buharı kullanılarak yapılan gazlaştırma deneyleri ise Durum 2 olarak adlandırılmaktadır. Durum 1 kendi içinde 6, Durum 2 ise kendi içinde 4 farklı deneyi kapsamaktadır. Tüm deneylere genel bakıldığında Aydar ve diğ. [120] tarafından yapılan çalışmada toplam 10 deneysel çalışmanın sonuçlarına yer verilmiştir. Şimdi bu deneysel çalışmanın sınır şartları ve deney sonuçlarına yer verilecektir. Öncelikle Durum 1 başlığı altında toplanan 6 deneyin sınır şartları ve deney sonuçları Çizelge 4.22 ile verilmektedir.

Çizelge 4.22 ile verilen sonuçlar hava ile yapılan deney sonuçlarını içermektedir. Oksijen ve su buharı kullanılarak yapılan deney şartları ve sonuçları Durum 2 başlığı altında 4 farklı deneyi içermektedir. Bu deney şartları ve sonuçları Çizelge 4.23 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.22 : Deneysel çalışma koşulları ve sonuçları.

Durumlar	Durum 1.1	Durum 1.2	Durum 1.3	Durum 1.4	Durum 1.5	Durum 1.6
Gazlaştırma	Hava	Hava	Hava	Hava	Hava	Hava
Çalışma koşulları						
Hava debisi [Nm^3/h]	6	6	6	6	6	6
Kömür debisi [kg/h]	5.51	5.51	3.92	3.92	3.92	3.92
Yatak sıcaklığı [$^{\circ}C$]	800-814	800-812	800-810	794-800	787-800	792-800
ER	0.23	0.23	0.33	0.33	0.33	0.33
Deneysel sonuçları						
O_2 [% hacim oranı]	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3
N_2 [% hacim oranı]	59.1	54.3	59.9	59.6	58.8	56.3
CO_2 [% hacim oranı]	14.2	13.8	12.8	12.5	12.0	11.2
CH_4 [% hacim oranı]	8.4	6.9	3.5	2.7	2.7	2.0
CO [% hacim oranı]	8.8	10.1	10.9	12.0	13.3	15.2
H_2 [% hacim oranı]	9.0	14.4	12.4	12.8	12.9	15.0
H_2O [% hacim oranı]	21.7	13.8	9.8	9.3	8.9	5.8
H_2S [ppm]	575	575	575	575	575	575
Deneysel verim bilgileri						
Alt ısı değer [MJ/Nm^3]	5.08	5.28	3.96	3.85	4.03	4.24
Soğuk gaz verimi [%]	43.7	49.5	47.2	46.2	48.9	53.9
Karbon dönüşümü [%]	50.6	54.0	60.8	61.1	63.7	67.5
Kuru sentez gaz debisi [Nm^3/h]	8.0	8.7	7.9	8.0	8.1	8.4

Çizelge 4.23 : Deneysel çalışma koşulları ve sonuçları.

Durumlar	Durum 2.1	Durum 2.2	Durum 2.3	Durum 2.4
Gazlaştırma	Oksijen-Su buharı	Oksijen-Su buharı	Oksijen-Su buharı	Oksijen-Su buharı
Çalışma koşulları				
Oksijen debisi [m^3/h]	3	3	3	3
Su buharı debisi [m^3/h]	1.6	1.6	1.6	1.6
Kömür debisi [kg/h]	14.42	14.42	14.42	14.42
Yatak sıcaklığı [$^{\circ}C$]	800-900	800-950	800-988	800-900
ER	0.21	0.21	0.21	0.21
Deneysel sonuçları				
O_2 [% hacim oranı]	0.33	0.34	0.33	0.33
N_2 [% hacim oranı]	1.27	0.76	1.07	0.47
CO_2 [% hacim oranı]	41.6	39.5	39.5	40.1
CH_4 [% hacim oranı]	9.1	9.2	9.5	9.4
CO [% hacim oranı]	16.1	17.3	16.7	16.3
H_2 [% hacim oranı]	34.4	36	35.8	36.4
H_2O [% hacim oranı]	18.80	16.28	16.40	15.80
Deneysel verim bilgileri				
Alt ısı değer [MJ/Nm^3]	8.84	9.20	9.21	9.19
Soğuk gaz verimi [%]	59.0	62.5	62.7	62.5
Karbon dönüşümü [%]	80.0	80.0	80.0	80.0
Kuru sentez gaz debisi [Nm^3/h]	16.3	16.6	16.6	16.6

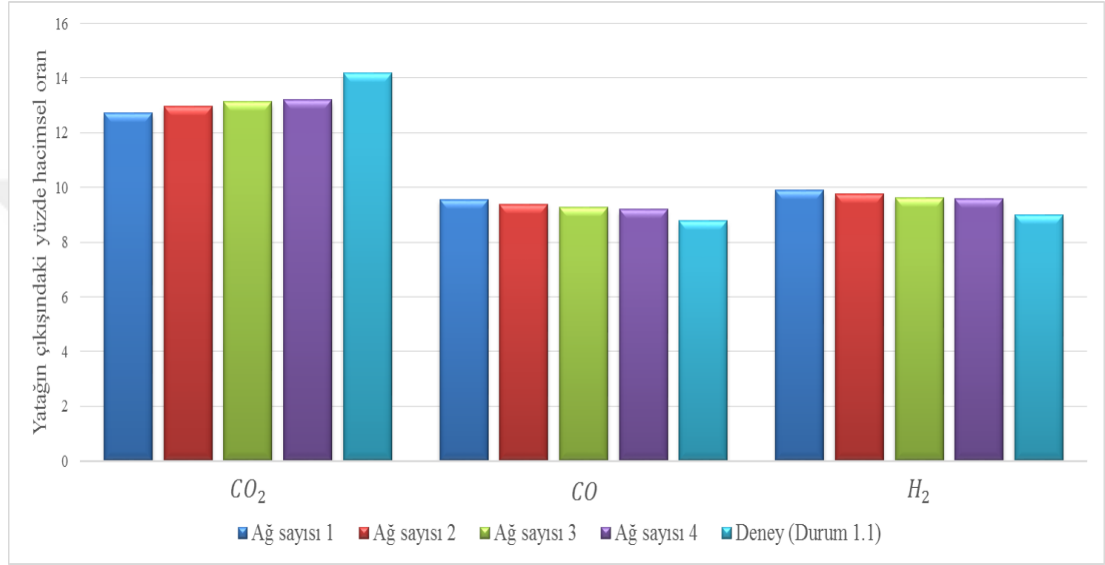
Doktora kapsamında geliştirilen model kullanılarak Aydar ve diğ. [120] tarafından yapılan deneysel çalışmalar modellenmiş ve sonuçlar deney verileri ile karşılaştırılmıştır. Modellemede zaman adımı 5×10^{-5} s olarak seçilmiştir. Modellemede uygun ağ sayısını seçmek için parametrik çalışma yapılmıştır. Bu nedenle dört farklı ağ sayısı kullanılmıştır. Çizelge 4.24 ile farklı ağ boyutları için yataktaki toplam ağ sayıları gösterilmektedir. Bu dört ağ boyutu ve sayısı için Durum 1.1 (Bakınız Çizelge 4.22) ve Durum 2.1 (Bakınız Çizelge 4.23) sınır şartları için hesaplamalar yapılmış ve model sonuçları deney verileri ile karşılaştırılmıştır. Böylece ağ boyutunun ve sayısının model sonuçlarına etkisi araştırılmıştır.

Durum 1.1 sınır şartı (Bakınız Çizelge 4.22) altında dört ağ sayısı (Bakınız Çizelge 4.24) için çözümlenmeler yapılmıştır. Şekil 4.35 ile gazlaştırmada önemli olan CO_2 ,

Çizelge 4.24 : Parametrik çalışmada kullanılan ağ sayıları.

Durumlar	Ağ Sayısı	Ağ Boyutu
Ağ sayısı 1	225026	1.2 mm × 1.2 mm
Ağ sayısı 2	324038	1 mm × 1 mm
Ağ sayısı 3	506309	0.8 mm × 0.8 mm
Ağ sayısı 4	900106	0.6 mm × 0.6 mm

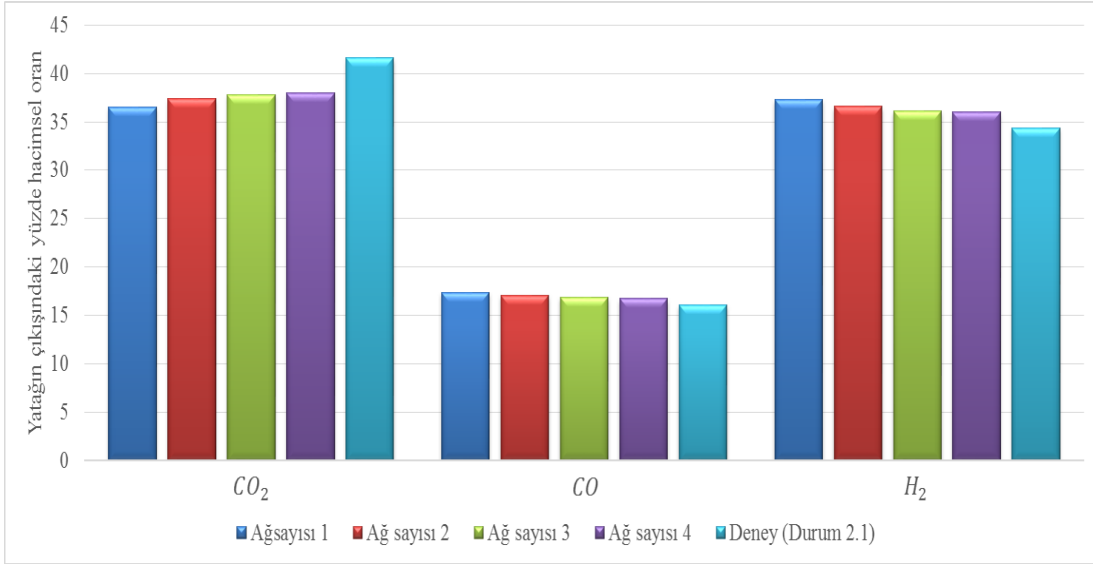
CO ve H_2 gazlarının yatağın çıkış ağzında hesaplanan yüzde hacim oranı değerleri deney verileri ile karşılaştırılmaktadır.



Şekil 4.35 : Ağ sayısının model sonucuna etkisi.

Aydar ve diğ. [120] iki farklı durum için deneysel çalışma yapmışlardır. Ağ sayısının etkisi sadece Durum 1 sınır (Bakınız Çizelge 4.22) şartı için incelenmemiş ayrıca Durum 2 (Bakınız Çizelge 4.23) sınır şartı altında da çözümlenmeler yapılarak ağ sayısının model sonucuna etkisi araştırılmıştır. Bu nedenle Durum 2 sınır şartları arasından Durum 2.1 seçilerek dört farklı ağ sayısı (Bakınız Çizelge 4.24) için gazlaştırmada önemli olan CO_2 , CO ve H_2 gazlarının yatak çıkış ağzındaki yüzde hacim oranı değerleri hesaplanmış ve deney verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma Şekil 4.36 ile gösterilmektedir.

Şekil 4.35 ve 4.36 incelendiğinde ağ sayıları arttıkça model sonuçlarının deney sonuçlarına yaklaştığı görülmektedir. Fakat bu yaklaşma eğilimi çok hızlı gerçekleşmemekte ve özellikle Ağ sayısı 3 (506309 adet ağ) ile Ağ sayısı 4 (900106 adet ağ) durumları ile yapılan model çözümlenme sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Ağ sayısı 4 ile Ağ sayısı 3 arasındaki model sonuçlarının



Şekil 4.36 : Ağ sayısının model sonucuna etkisi.

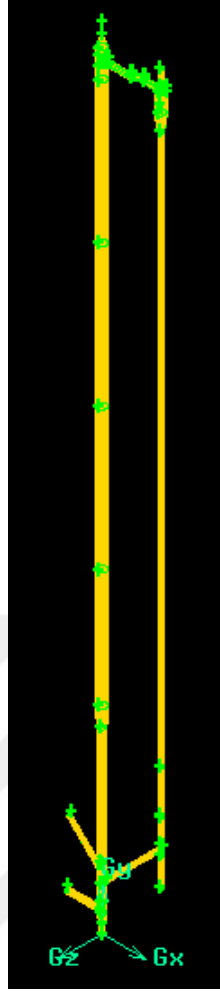
birbirine yakın olmasından dolayı bilgisayar zamanı da dikkate alınarak modelleme için yatağın ağ sayısı 506309 (Ağ sayısı 3, Bakınız Çizelge 4.24) olarak seçilmiştir. Modelde kullanılan yatağın geometrisi ve ağ yapısı Şekil 4.37 ile gösterilmektedir.

Ayrıca deney koşullarına daha yakın modelleme yapabilmek için deneyde yer alan hava dağıtıcı plaka (üzerinde 1.2 mm çapında 1519 delik bulunan plaka) geometriye dahil edilmiştir. Yatağın alt tarafında yer alan dağıtıcı plakanın geometrisi Şekil 4.38 ile gösterilmektedir.

Şekil 4.38 ile ayırıcı plakanın yeri ve yapısı ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Yatak boyunun büyük olmasından dolayı ayırıcı plakanın yeri kolay anlaşılabilir değildir. Bu nedenle ayırıcı plakanın yeri kademeli bir şekilde yaklaştırılarak gösterilmiştir.

Modelde aynı deneyde olduğu gibi yatak duvarlarına ısıtıcılar konulmuş ve yatak sıcaklığı bu ısıtıcılar ile deney şartlarındaki sıcaklık aralıklarında tutulmuştur. Model başlangıcında, aynı deneydeki gibi yatak silisli kum ile doldurulmakta ve yatağın sıcaklığı 400 °C değerinde ulaşıncaya ve model sonuçlarında kararlı sonuçlar elde edilene kadar çözümlenmiştir. Yatakta bu kararlı yapı elde edildikten sonra yatağa kömür girişi başlatılmıştır. Kömür azot gazı yardımı ile yatağa gönderilmektedir. Böylece kömür besleme kolunda reaksiyonların başlaması engellenmektedir.

Siklon çıkış ağzında gazlaştırma sonucu elde edilen gaz bileşenlerinin yüzde hacim oranı değerleri hesaplanmış ve deney sonuçları (Durum 1, Bakınız Çizelge 4.22, sayfa 122) ile karşılaştırılması Çizelge 4.25 ile verilmiştir. Çizelge 4.25 ile verilen

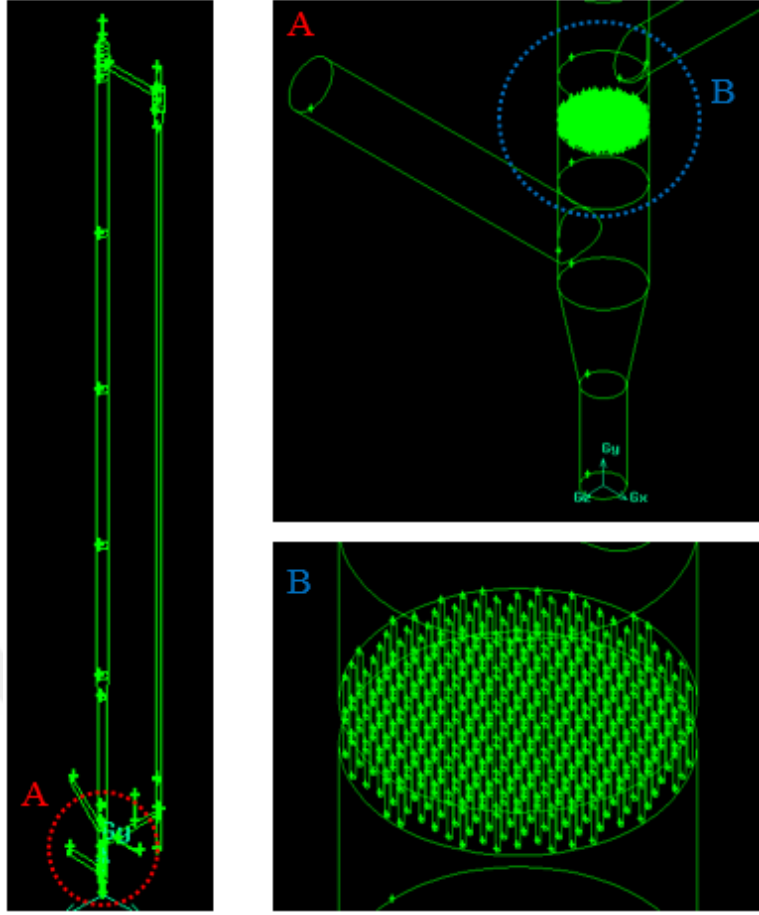


Şekil 4.37 : Yatak geometrisi ve ağ yapısı.

değerler kuru bazlı değerlerdir yani siklondan çıkan gazların içinde yer alan su buharı çıkartılarak yüzde hacim oranı değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.25 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.

Gaz bileşenleri (% hacim oranı)		O_2	N_2	CO_2	CH_4	CO	H_2
Durum 1.1	Deney	0.5	59.1	14.2	8.4	8.8	9
	Model	0.477	60.110	13.131	7.352	9.290	9.640
Durum 1.2	YBH	4.51	1.71	7.53	12.48	5.57	7.11
	Deney	0.5	54.3	13.8	6.9	10.1	14.4
Durum 1.3	Model	0.483	54.468	12.819	6.136	10.657	15.438
	YBH	3.47	0.31	7.11	11.07	5.51	7.21
Durum 1.4	Deney	0.5	59.9	12.8	3.5	10.9	12.4
	Model	0.483	59.713	11.894	3.114	11.503	13.294
Durum 1.5	YBH	3.49	0.31	7.08	11.03	5.53	7.21
	Deney	0.4	59.6	12.5	2.7	12	12.8
Durum 1.6	Model	0.381	59.105	11.641	2.372	12.752	13.748
	YBH	4.75	0.83	6.87	12.15	6.27	7.41
Durum 1.7	Deney	0.3	58.8	12	2.7	13.3	12.9
	Model	0.287	58.482	11.224	2.440	13.949	13.619
Durum 1.8	YBH	4.33	0.54	6.47	9.64	4.88	5.57
	Deney	0.3	56.3	11.2	2	15.2	15
Durum 1.9	Model	0.288	55.586	10.418	1.794	15.996	15.918
	YBH	4.14	1.27	6.98	10.32	5.24	6.12

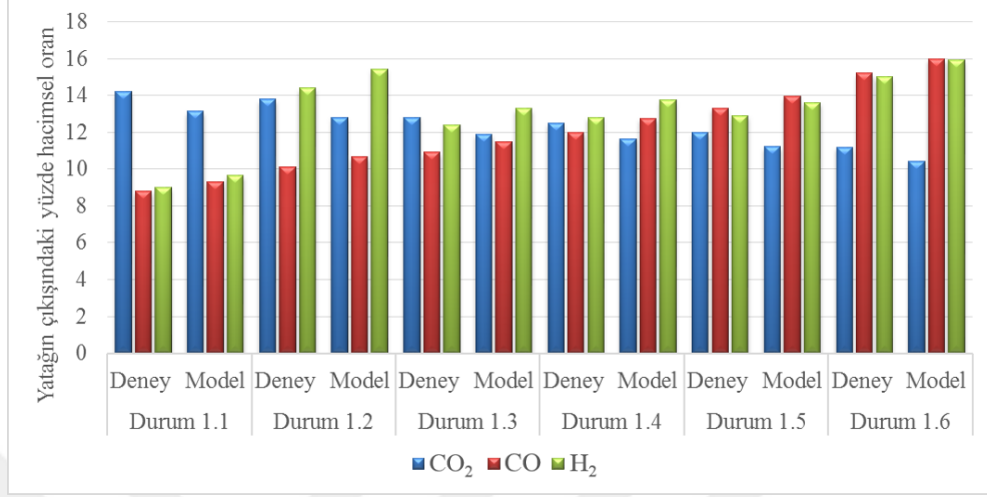


Şekil 4.38 : Yatağın alt bölgesinin yakından gösterimi.

Yapılan model ile deney sonuçlarının gösterildiği Çizelge 4.25'i daha iyi analiz etmek için model sonucu ile deney sonucu arasındaki yüzde bağıl hata (YBH) (Bakınız Denklem 4.7, sayfa 87) değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.25'te yer alan yüzde bağıl hata (YBH) değerleri incelendiğinde tüm durumlar içinde en yüksek YBH değeri 12.48 ile Durum 1.1'de CH_4 gazı için hesaplanmıştır. CH_4 gazı için hesaplanan YBH değerleri 9.64 ile 12.48 arasında değerler almaktadır. Buna karşılık diğer gazlar için hesaplanan YBH değeri 10 değerinin altındadır. En düşük YBH değeri 0.31 ile Durum 1.2'de N_2 gazı için hesaplanmıştır. Sırasıyla Durum 1.1'den Durum 1.6'ya kadar hesaplanan YBH değerlerinin ortalaması 6.48, 5.78, 5.78, 6.38, 5.24 ve 5.68'dir. CO_2 , CO ve H_2 gazları gazlaştırma için önemli gazlardır. Yatağın çıkış ağzında CO_2 gazı için tüm durumlar (Durum 1.1-1.6) için hesaplanan ortalama YBH 7.01 değerindedir. Buna karşılık CO gazı için ortalama YBH 5.50 iken H_2 gazı için ise 6.77 değerindedir. Çizelge 4.25 ile gösterilen ve tüm gazlar için hesaplanan tüm YBH değerlerinin ortalaması ise 5.89'dur.

Ayrıca gazlaştırmada önemli olan CO_2 , CO ve H_2 gazlarının yatağın çıkış ağzında model ile elde edilen yüzde hacim oranı değerlerinin Durum 1 sınır şartında yapılmış deney sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 4.39 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.39 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.

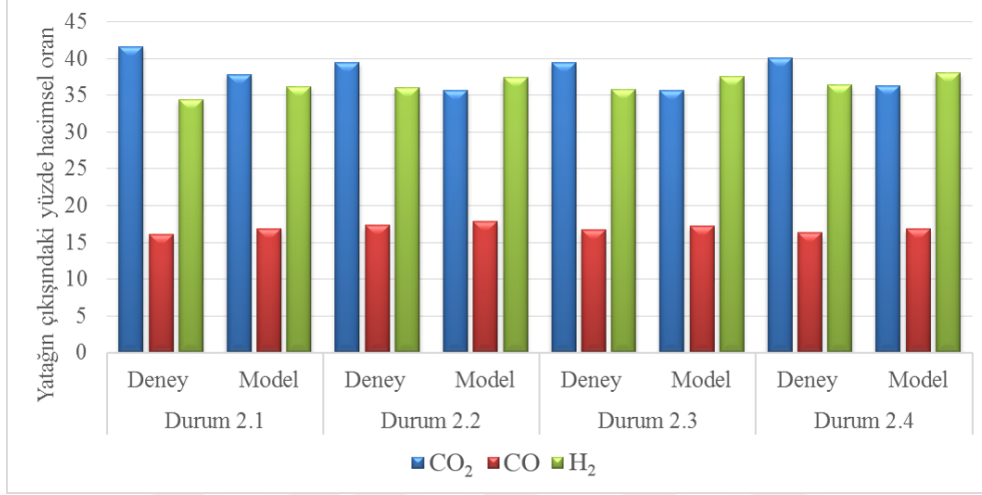
Çizelge 4.26 ile Durum 2 (Bakınız Çizelge 4.23, sayfa 122) başlığı altında toplanan ve oksijen-su buharı kullanılarak kömürün gazlaştırıldığı deneysel çalışma sonuçlarının model sonuçları ile karşılaştırılması gösterilmektedir.

Çizelge 4.26 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.

Gaz bileşenleri (% hacim oranı)		O_2	N_2	CO_2	CH_4	CO	H_2
Durum 2.1	Deney	0.33	1.27	41.6	9.1	16.1	34.4
	Model	0.30	1.09	37.81	7.75	16.87	36.18
	YBH	8.63	14.41	9.12	14.80	4.79	5.18
Durum 2.2	Deney	0.34	0.76	39.5	9.2	17.3	36
	Model	0.31	0.86	35.71	7.82	17.87	37.43
	YBH	7.86	13.58	9.60	15.04	3.30	3.97
Durum 2.3	Deney	0.33	1.07	39.5	9.5	16.7	35.8
	Model	0.31	1.12	35.67	8.16	17.21	37.53
	YBH	7.35	4.65	9.69	14.07	3.30	4.82
Durum 2.4	Deney	0.33	0.47	40.1	9.4	16.3	36.4
	Model	0.31	0.52	36.27	8.02	16.87	38.02
	YBH	7.48	9.83	9.54	14.73	3.30	4.45

Çizelge 4.26 ile gösterilen model sonuçları incelendiğinde deneysel veriler ile uyumlu olduğu görülmektedir. En yüksek YBH değeri 15.04 ile Durum 2.2 sınır şartı (Bakınız Çizelge 4.23, sayfa 122) altında yatağın çıkış ağzında CH_4 gazı için hesaplanmıştır. Ayrıca en düşük YBH değeri 3.30 ile Durum 2.4 sınır şartında (Bakınız Çizelge 4.23, sayfa 122) yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanmıştır. Gazlaştırma için önemli gazlar CO_2 , CO ve H_2 gazlarıdır. Yatağın çıkış ağzında CO_2 gazı için tüm durumlar (Durum2.1-2.4) için hesaplanan ortalama YBH 9.49 değerindedir. Buna karşılık CO gazı için ortalama YBH 3.67 iken H_2 gazı için ise 4.61 değerindedir. Bunun yanı sıra

Çizelge 4.26 ile gösterilen tüm gazlar için hesaplanan YBH değerlerinin ortalaması 8.48'dir. Gazlaştırmada önemli olan CO_2 , CO ve H_2 gazlarının Durum 2 sınır şartı altında model ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlar ile sütun grafik kullanılarak karşılaştırılması Şekil 4.40 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.40 : Model sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması.

Böylece doktora kapsamında geliştirilen model literatürde yer alan üç önemli deneysel çalışma ile kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Ayrıca doktora kapsamında geliştirilen model değişik yatak geometrilerinde ve çalışma şartlarında doğrulanmıştır.

5. SEÇİLEN TÜRK LİNYİTLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Doktora kapsamında geliştirilen sayısal model, değişik sınır şartlarında ve yatak geometrilerinde yapılmış deneysel ve sayısal çalışmalar ile kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır (Bakınız Bölüm 4, sayfa 61). Şimdi doktora kapsamında geliştirilen model kullanılarak parametrik çalışmalar yapılacaktır. Parametrik çalışmalarda Türk linyiti kullanılması asıl amaçlardan biridir. Bu nedenle öncelikle Türk linyitleri için kaynak araştırması yapılmış ve elde edilen bilgiler Çizelge 5.1 ile toparlanmıştır.

Doktora kapsamında geliştirilen modelde uçucu maddenin kömürden çıkışı için CPD (chemical percolation devolatilization) model (Bakınız 3.2.4) kullanılmıştır. Literatürde yer alan CPD model için geliştirilmiş korelasyonlar doktora kapsamında daha geniş veri kullanılarak daha kapsamlı hale getirilmiştir. CPD modelin kullanılabilmesi için bazı kömür özelliklerine ihtiyaç vardır. Çizelge 5.1 hazırlanırken CPD model için gerekli bu kömür özellikleri dikkate alınmıştır.

Çizelge 5.1 : Bazı Türk linyitlerinin özellikleri.

Veri	Kaynak	Türk linyitleri	% C (nvka*)	% H (nvka)	% O (nvka)	% Uçucu madde (nvka)
1	[121]	Tavşanlı	73.10	5.60	14.70	47.46
2	[121]	Malkara	71.80	5.70	14.60	53.88
3	[121]	Yeniköy	76.90	5.70	11.40	57.63
4	[122]	Muğla-Yatağan	65.31	5.10	22.65	52.56
5	[123]	Aşkale	70.86	4.28	17.90	52.02
6	[124]	Aydın-Yeniçelik	73.95	5.81	15.18	43.89
7	[125]	Tunçbilek	76.56	5.44	13.37	42.05
8	[126]	Beypazarı	69.56	4.50	19.71	47.50
9	[127]	Gediz	72.40	5.50	10.40	49.93
10	[128]	Soma-Merkez	72.63	5.24	19.63	38.84
11	[129]	Çanakkale-Çan	66.70	5.10	20.30	49.20
12	[130]	Balkaya	72.50	4.10	19.10	42.12
13	[131]	Elbistan	65.95	4.97	23.58	54.78
14	[131]	İlgin	68.19	5.11	23.38	40.32
15	[131]	Kangal	67.66	4.52	22.03	62.93
16	[131]	Karlıova	66.97	5.55	24.86	49.43
17	[131]	Saray	61.32	4.73	23.96	48.21
18	[131]	Seyitömer	71.97	4.70	20.24	48.65

*: Nem ve külden arındırılmış (nvka)

Çizelge 5.1 ile gösterilen kömür analizleri ASTM standardı [132,133] kullanılarak elde edilmiş çalışmalardan alınmıştır. Bu çalışmalarda, kömürün kesin analizi (ultimate analysis) yapılarak kömür içinde yer alan *C*, *H*, *O* ve diğer elementlerin kütlece yüzde değerleri elde edilmiştir ve bu değerler Çizelge 5.1 ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 ile CPD model için gerekli olan kömürdeki *C*, *H* ve *O* elementlerinin kütlece yüzde değerleri gösterilmektedir. Bu değerler kömürün nem ve külden arındırılmış (nvka) olduğu durum için hesaplanan değerlerdir. Kömürün nem ve külden arındırılmış olduğu durum için uluslararası yayınlarda daf (dry ash free) kısaltması kullanılmaktadır. Kömürün yaklaşık analizi (proximate analysis) yapılarak, kömür içindeki nemin, külün, uçucu maddenin ve sabit karbonun kütlece yüzde değerleri belirlenmektedir. CPD model için nem ve külden arındırılmış durumda kömürün içindeki uçucu maddenin kütlece yüzde değerine de ihtiyaç vardır. Türk linyitleri için Çizelge 5.1 ile kömürdeki uçucu maddenin kütlece yüzde değeri de verilmektedir.

Kömürden uçucu maddenin çıkışının modellendiği CPD model için Genetti ve diğ. [99] tarafından geliştirilen korelasyonlar doktora kapsamındaki çalışma ile daha fazla kömür verisi kullanılarak daha kapsamlı hale getirilmiştir. Genetti ve diğ. [99] tarafından geliştirilen korelasyonlarda 30 kömür verisi kullanılmış iken doktora kapsamında CPD model için kullanılan korelasyonlarda ise 45 kömür verisi kullanılmıştır (Bakınız Bölüm 3.2.3, sayfa 44). CPD model için geliştirilen korelasyonlarda kömür içindeki kütlece %*C*, %*H*, %*O* ve %Uçucu madde miktarlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu veriler korelasyonlara giridi oluşturmaktadır. Bu nedenle CPD model için geliştirilen korelasyonlarda kullanılan kömürlerdeki kütlece %*C*, %*H*, %*O* ve %Uçucu madde miktarlarının aralığı ve ortalaması Çizelge 5.2 ile gösterilmektedir. Böylece korelasyonun hangi özellikteki kömürleri kapsadığı anlaşılacaktır.

Çizelge 5.2 : CPD modelde kullanılan kömürlerin veri aralığı ve ortalaması.

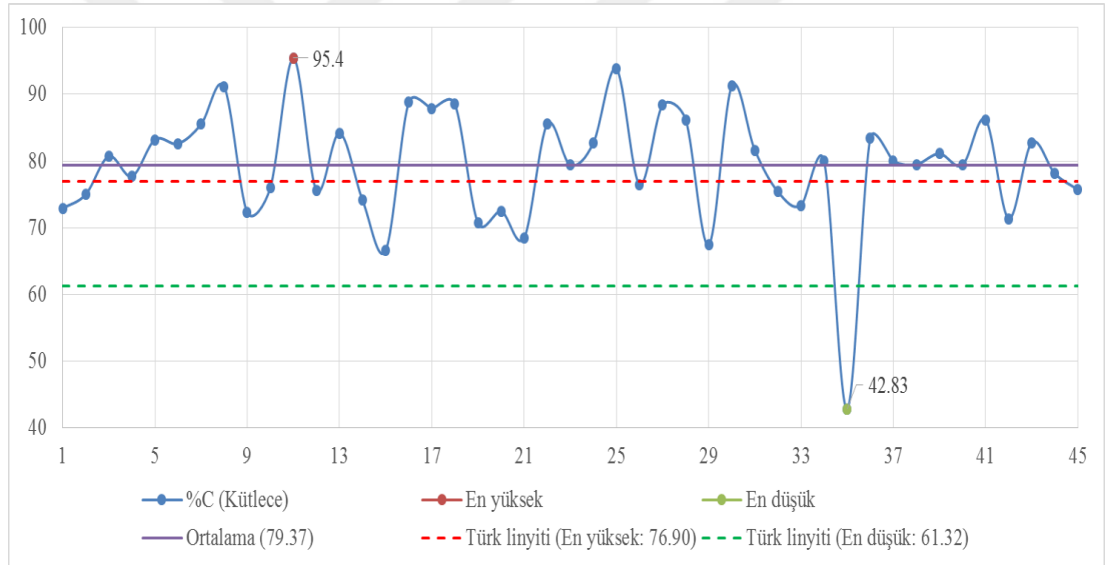
Kütlece	Verilerin aralığı	Verilerin ortalaması
% C (nvka*)	42.83-95.4	79.37
% H (nvka)	1.38-5.83	4.75
% O (nvka)	1.4-25.16	11.87
% Uçucu madde (nvka)	3.9-78.7	37.09

*: Nem ve külden arındırılmış (nvka)

Literatürden seçilen Türk linyitleri (Bakınız Çizelge 5.1) incelendiğinde, Çizelge 5.2 ile belirtilen kütlece %*C*, %*H*, %*O* ve %Uçucu madde değerlerinin Türk linyitleri için de uygun olduğu görülmektedir. Fakat daha kapsamlı bir analiz yapmak için CPD modelin korelasyonlarında kullanılan kömürlerin içindeki kütlece %*C*, %*H*, %*O*

ve %Uçucu madde miktarları seçilen Türk linyit özellikleri (Bakınız Çizelge 5.1) ile karşılaştırılacaktır.

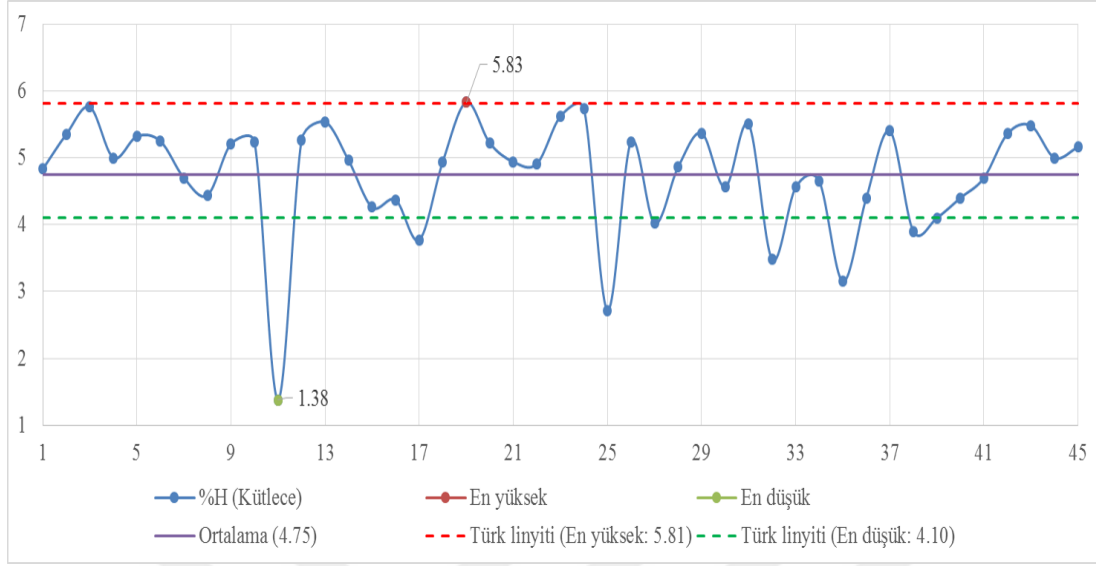
Bu nedenle öncelikle CPD modelde kullanılan 45 kömürün nem ve külden arındırılmış (nvka) kütlece %C değerlerinin tümü Şekil 5.1 ile gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 5.1’de seçilen Türk linyitlerindeki (Bakınız Çizelge 5.1) en yüksek ve en düşük kütlece %C miktarı da gösterilmektedir. Bunun yanında Şekil 5.1 ile CPD model için seçilen 45 kömür verisi içinden en yüksek ve en düşük kütlece %C değeri de belirtilmiştir. Şekil 5.1 incelendiğinde CPD model korelasyonları için seçilen 45 kömür verisinin kütlece %C değerlerinden 16 tanesinin Çizelge 5.1 ile verilen Türk linyitlerinin en yüksek ve en düşük kütlece %C değer aralığı içinde yer aldığı görülmektedir. Doktora kapsamında seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.1) kütlece %C değerlerinin CPD model için kullanılan 45 kömür verisi ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1 : CPD model korelasyonlarında kullanılan 45 kömürün kütlece %C değerinin Türk linyitleri ile karşılaştırılması.

Şekil 5.2 ile CPD model için kullanılan 45 kömür örneğinin nem ve külden arındırılmış kütlece %H değerleri gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 5.2 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama kütlece %H değerleri de gösterilmektedir. Buna ek olarak Şekil 5.2 üzerinde Çizelge 5.1 ile verilen Türk linyitlerin kütlece en yüksek ve en düşük %H değerleri de gösterilmektedir. Şekil 5.2 incelendiğinde CPD model korelasyonları için seçilen 45 kömür verisinin kütlece %H değerlerinden 37 tanesinin Çizelge 5.1 ile verilen Türk linyitlerinin en yüksek ve en düşük kütlece %H değer aralığı içinde olduğu görülmektedir. Böylece doktora kapsamında seçilen Türk kömürlerin (Bakınız Çizelge

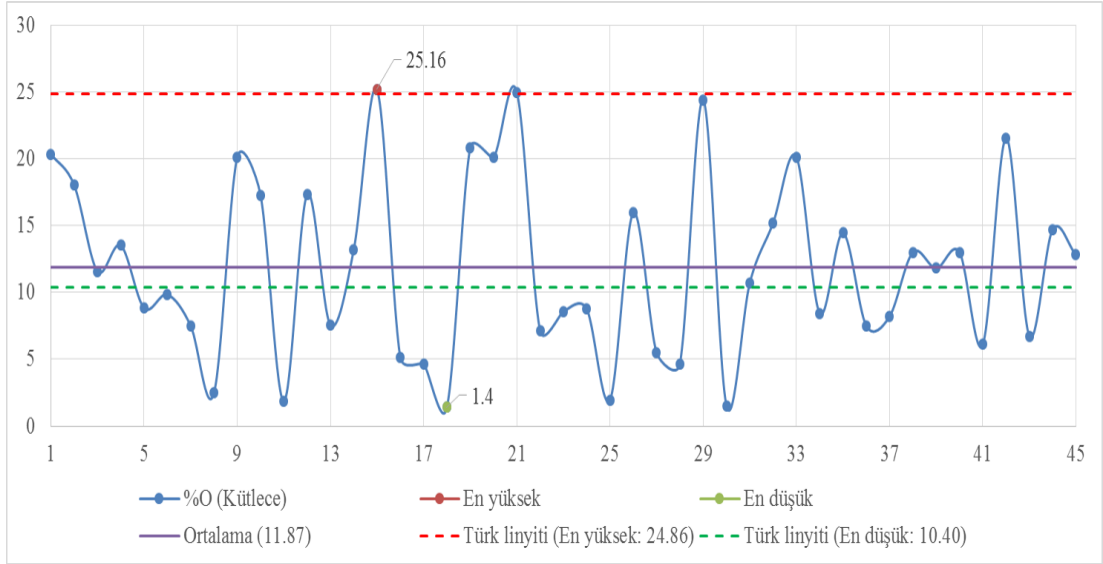
5.1) küttelece %H değerlerinin CPD modelin geliştirilmesinde kullanılan kömürlerin özelliklerine yakın olduğu gösterilmektedir.



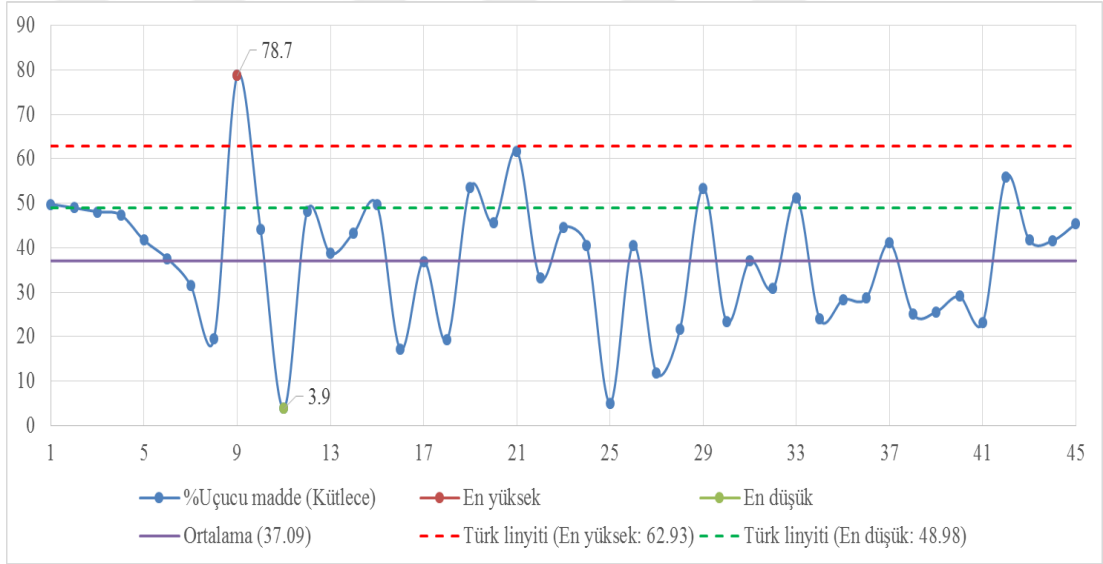
Şekil 5.2 : CPD model korelasyonlarında kullanılan 45 kömürün küttelece %H değerinin Türk linyitleri ile karşılaştırılması.

CPD modelde kullanılan 45 kömürün nem ve külden arındırılmış küttelece %O değerleri Şekil 5.3 ile gösterilmektedir. Şekil 5.3 incelendiğinde CPD model korelasyonları için seçilen 45 kömür verisinin küttelece %O değerlerinden 23 tanesinin Çizelge 5.1 ile verilen Türk linyitlerinin en yüksek ve en düşük küttelece %O değer aralığı içinde yer aldığı görülmektedir. Böylece doktora kapsamında seçilen Türk kömürlerin (Bakınız Çizelge 5.1) küttelece %O değerlerinin CPD modelin geliştirilmesinde kullanılan kömürlerin özelliklerine yakın olduğu gösterilmektedir.

Son olarak 45 kömürün CPD model için önemli olan nem ve külden arındırılmış küttelece %Uçucu madde değerleri Şekil 5.4 ile gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 5.4 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama küttelece %Uçucu madde değerleri de gösterilmektedir. Buna ek olarak Şekil 5.4 üzerinde Çizelge 5.1 ile verilen Türk linyitlerin küttelece en yüksek ve en düşük %Uçucu madde değerleri de gösterilmektedir. Şekil 5.4 incelendiğinde CPD model korelasyonları için seçilen 45 kömür verisinin küttelece %Uçucu madde değerlerinden 9 tanesinin Çizelge 5.1 ile verilen Türk linyitlerinin en yüksek ve en düşük küttelece %Uçucu madde değer aralığı içinde olduğu görülmektedir. Böylece doktora kapsamında seçilen Türk kömürlerin (Bakınız Çizelge 5.1) küttelece %Uçucu madde değerlerinin CPD modelin geliştirilmesinde kullanılan kömürlerin özelliklerine yakın olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 5.3 : CPD model korelasyonlarında kullanılan 45 kömürün kütlece %O değerinin Türk linyitleri ile karşılaştırılması.



Şekil 5.4 : CPD model korelasyonlarında kullanılan 45 kömürün kütlece %Uçucu madde değerinin Türk linyitleri ile karşılaştırılması.

CPD model korelasyonları için seçilen 45 kömür içindeki kütlece %C, %H, %O ve %Uçucu madde değerlerinin seçilen Türk linyitleri (Bakınız Çizelge 5.1) ile kapsamlı bir karşılaştırılması yapılmıştır. Bu kapsamlı karşılaştırmanın ardından seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.1) CPD model için geliştirilen korelasyonlar için uygun olduğu görülmektedir. Türk linyitlerinin temel özelliklerinin CPD modelde kullanılan kömürlerin temel özellikleri ile uygun düştüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.1 ile gösterilen 18 Türk linyitinin hepsi için parametrik çalışma yapılmayacaktır. Bunun yerine özellikleri birbirine yakın olan kömürler elenerek 5

tane Türk linyiti seçilecektir. Ayrıca seçilen Türk linyitleri için bölgesinde termik santral olan ve rezervi fazla olan kömürler seçilmiştir. Tüm bu kriterler göz önüne alındığında parametrik çalışma yapmak için Çizelge 5.3 ile kapsamlı analizleri verilen 5 Türk linyiti seçilmiştir.

Çizelge 5.3 : Seçilen Türk linyitlerinin analiz sonuçları.

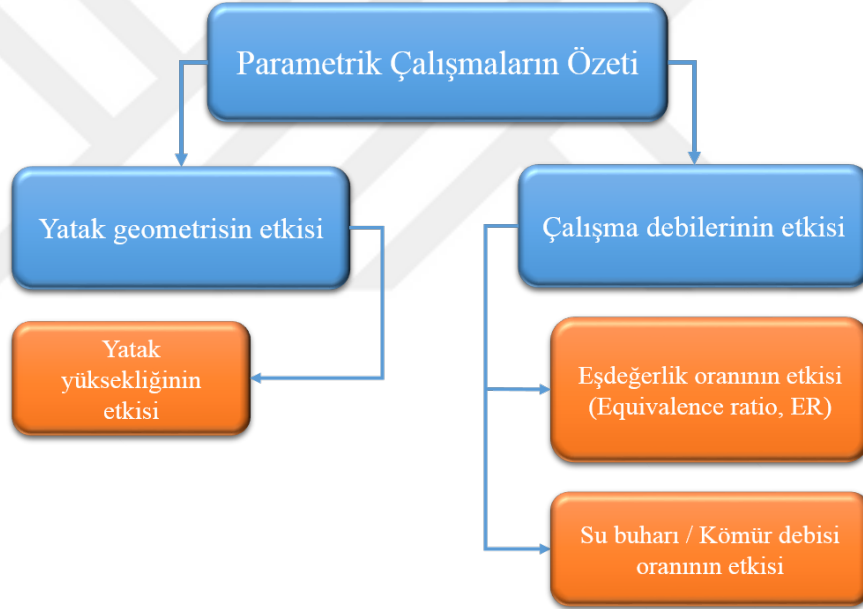
	Muğla-Yatağan	Tunçbilek	Soma-Merkez	Elbistan	Seyitömer
Numaralandırma	L1	L2	L3	L4	L5
Kaynak	[122]	[125]	[128]	[131]	[131]
Yaklaşık analiz sonuçları (Kütlece %)					
Nem	12.40	14.06	10.40	47.76	34.52
Uçucu madde	38.60	29.38	32.10	20.55	23.93
Sabit karbon	34.84	40.49	50.55	16.96	25.27
Kül	14.16	16.07	6.95	14.73	16.28
Kapsamlı analiz sonuçları (Kütlece %, nvka*)					
% C	65.31	76.56	72.63	65.95	71.97
% H	5.10	5.44	5.24	4.97	4.70
% O	22.65	13.37	19.63	23.58	20.24
% N	1.47	2.76	1.05	2.48	2.32
% S	5.47	1.87	1.45	3.02	0.77

*: Nem ve külden arındırılmış

Seçilen Türk linyitlerine L1, L2, L3, L4 ve L5 kısaltmaları verilmiştir. Böylece ileriki bölümlerde kolaylık sağlanması amaçlanmıştır. Böylece doktora tezinde parametrik çalışmalar için kullanılacak 5 adet Türk linyiti belirlenmiştir. Ayrıca seçilen 5 Türk linyitinin CPD model için geliştirilen korelasyonlar ile de uyumlu olduğu belirtilmelidir. Seçilen 5 Türk linyiti arasından kütlece %C değeri en düşük olan 65.31 ile L1 linyiti iken en yüksek olan 76.56 ile L2 linyitidir. Kütlece %H değeri en düşük olan 4.70 ile L5 linyiti iken en yüksek olan 5.44 ile L2 linyitidir. Seçilen 5 Türk linyiti arasından kütlece %O değeri en yüksek olan 23.58 ile L4 linyiti iken en düşüğü 13.37 ile L2 linyitidir. Son olarak kütlece yüzde uçucu madde miktarlarına bakıldığında en yüksek uçucu maddeye sahip linyit 38.60 ile L1 linyiti iken en düşük 20.55 ile L4 linyitidir.

6. KABARCIKLI AKIŞKAN YATAK SONUÇLARI

Doktora tezinde seçilen 5 Türk linyiti (Bakınız Bölüm 5) kullanılarak parametrik çalışmalar yapılmıştır. Parametrik çalışmalar için iki farklı akışkan yatak tipi seçilmiştir. Bu akışkan yataklardan birincisi kabarcıklı akışkan yatak iken ikincisi dolaşımli akışkan yataktır. Bu bölümde kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde yapılan parametrik çalışmalar ilgili bili verilecek ve elde edilen sonuçlar açıklanacaktır. Doktora kapsamında kabarcıklı akışkan yatakta yapılan parametrik çalışmalar Şekil 6.1 ile özetlenmektedir.



Şekil 6.1 : Kabarcıklı akışkan yatakta, seçilen Türk linyitleri için yapılan parametrik çalışmaların özeti.

Şekil 6.1 ile gösterilen parametrik çalışmalar iki bölüme ayrılmaktadır. Birinci bölüm geometrik açıdan parametrik çalışmayı içermektedir. İkinci bölümde ise yatağın çalışma debilerinin gazlaştırmaya etkileri araştırılmıştır. Birinci parametrik çalışma ayağında yatağın geometrik özelliklerinden, yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkileri kapsamlı bir şekilde araştırılmış ve seçilen Türk linyitleri (Bakınız Çizelge 5.3) için yatak yüksekliğinin kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırmaya etkileri ortaya konulmuştur. İkinci parametrik çalışma ayağında ise çalışma debilerinin seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3) kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkileri

araştırılmıştır. Bunun için gazlaştırmada önemli olan eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranının etkileri incelenmiştir. Şimdi sırası ile yatak geometrisinin ve çalışma debilerinin seçilen Türk linyitlerin (Bakınız Çizelge 5.3) gazlaştırılmasına etkileri, alt başlıklar ile kapsamlı bir şekilde anlatılacaktır.

6.1 Yatak Yüksekliğinin Türk Linyitlerinin Gazlaştırılmasına Etkisi

Bu bölümde seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatak kullanılarak gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin etkileri araştırılmıştır. Doktora kapsamında geliştirilen model kullanılarak yatağın üç boyutlu modellenmesi yapılmıştır. Yatak yüksekliğinin seçilen Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisi araştırılırken birinci karşılaştırmada (Bakınız Bölüm 4.1, sayfa 62) yer alan Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) adı ile adlandırılan deneysel çalışma şartları ve sınır koşulları dikkate alınmıştır. Böylece yatak yüksekliğinin etkisi diğer etkenler sabit tutularak incelenmiştir. Daha önceki bölümlerde belirtilmesine rağmen bu bölümde de çalışma şartları, sınır koşulları ve deney sonuçları hatırlatma amacı ile Çizelge 6.1 ile gösterilmektedir.

Çizelge 6.1 : Deney 1 çalışma koşulları ve sonuçları.

Deney 1 çalışma koşulları*	
Kömür debisi [kg/h]	8.0
Su buharı debisi [kg/h]	4.6
Eşdeğerlik oranı	0.3
Su buharı / Kömür debisi oranı [kg/kg]	0.575
Hava ve su buharı giriş sıcaklığı [$^{\circ}C$]	420
Yatak sıcaklığı [$^{\circ}C$]	855
Deney 1 sonuçları (Çıkıştaki)	
H_2 (Yüzde mol oranı)	8.53
CO_2 (Yüzde mol oranı)	19.31
CO (Yüzde mol oranı)	10.94
*: Bakınız Bölüm 4.1, sayfa 62	

Çizelge 6.1 incelendiğinde hava debisinin belirtilmediği görülmektedir. Bunun nedeni ise her bir seçilen Türk linyitinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kesin analizi (ultimate analysis) dikkate alınarak eşdeğerlik oranını 0.3 yapacak şekilde hava debilerinin ayrı ayrı hesaplanması gerekiyor olmasıdır. Her bir Türk linyiti için yatak

yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin sonuçları alt başlıklar halinde verilecektir. Bu alt başlıklarda yatağa gönderilmesi gereken hava debisi miktarı da açıklanmaktadır.

Yatak yüksekliğinin seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) gazlaştırılmasına etkisini görebilmek için Çizelge 6.2 ile gösterilen yatak yükseklikleri kullanılarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 6.2 : Yatak yüksekliği için parametrik çalışma bilgileri.

Durumlar	Yatak yüksekliği [m]	Yatak çapı [m]
D1	1.5	0.22
D2*	2	0.22
D3	2.5	0.22
D4	3	0.22
D5	4	0.22
D6	5	0.22
D7	6	0.22
D8	7	0.22
D9	8	0.22
D10	9	0.22
D11	10	0.22
D12	11	0.22
D13	12	0.22

*: Deney 1 geometrisi (Bakınız Bölüm 4.1, sayfa 62)

Çizelge 6.2 incelendiğinde toplam 13 durumun olduğu görülmektedir. Durum 2 (D2) birinci karşılaştırmada (Bakınız Bölüm 4.1, sayfa 62) yer alan deneysel çalışmanın yatak geometrisini temsil etmektedir. Özellikle deneysel çalışmaya yakın olması amacı ile deneydeki yatak yüksekliğinin 0.5 m üstü ve altı (D1 ve D3) parametrik çalışmaya eklenerek deneysel çalışmadaki yatak yüksekliğine yakın olan aralık daha etkin araştırılmak istenmiştir. Yatak yüksekliği en düşük 1.5 metre ve en yüksek 12 metre alınmıştır.

Bu parametrik çalışmada Çizelge 5.3 (Bakınız sayfa 134) ile gösterilen 5 Türk linyiti kullanılarak kabarcıklı akışkan yatak yüksekliğinin seçilen Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisi araştırılmıştır. Yatak yüksekliğinin etkisi araştırılır iken Çizelge 6.2 ile verilen her bir durum için üç boyutlu yatak geometrisi oluşturulmuş ve her biri için ayrı ayrı sayısal çalışmalar yapılmıştır. Burada vurgulanmak istenen yatak yüksekliği 12 metre alınarak tek bir yatak geometrisi üzerinde sayısal çalışma yapılması ile sonuca gidilmemiş olmasıdır. Yapılan parametrik çalışmalar ile her bir durum (D1-D13, Bakınız Çizelge 6.2) için gazlaştırmada önemli olan CO , H_2

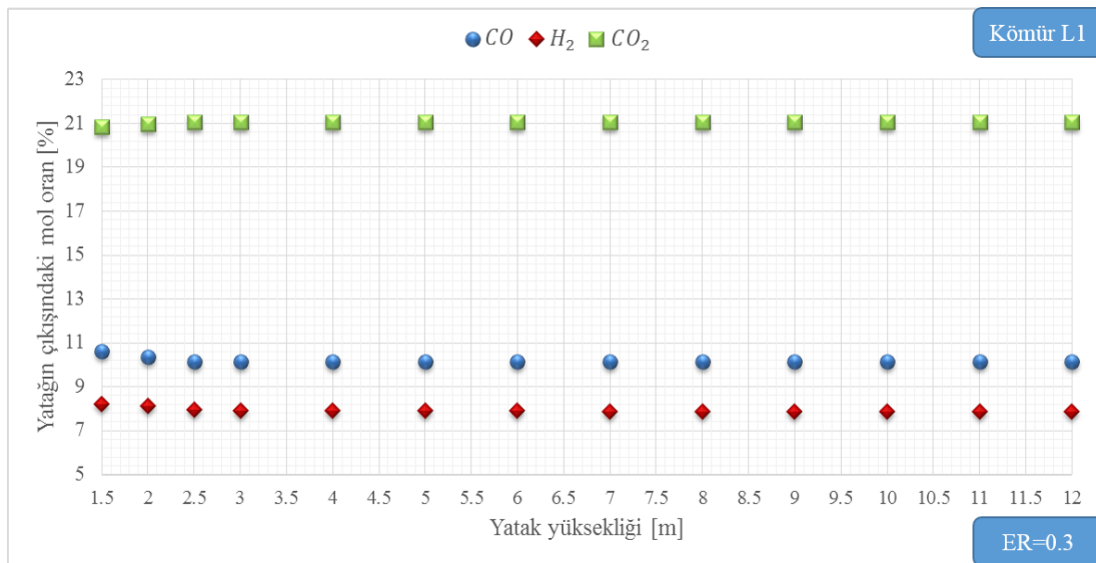
ve CO_2 gazlarının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi elde edilmiştir.

Şimdi sırası ile her bir Türk linyiti (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmaların sonuçları alt başlıklar halinde verilecektir.

6.1.1 L1 kömürü için elde edilen sonuçlar

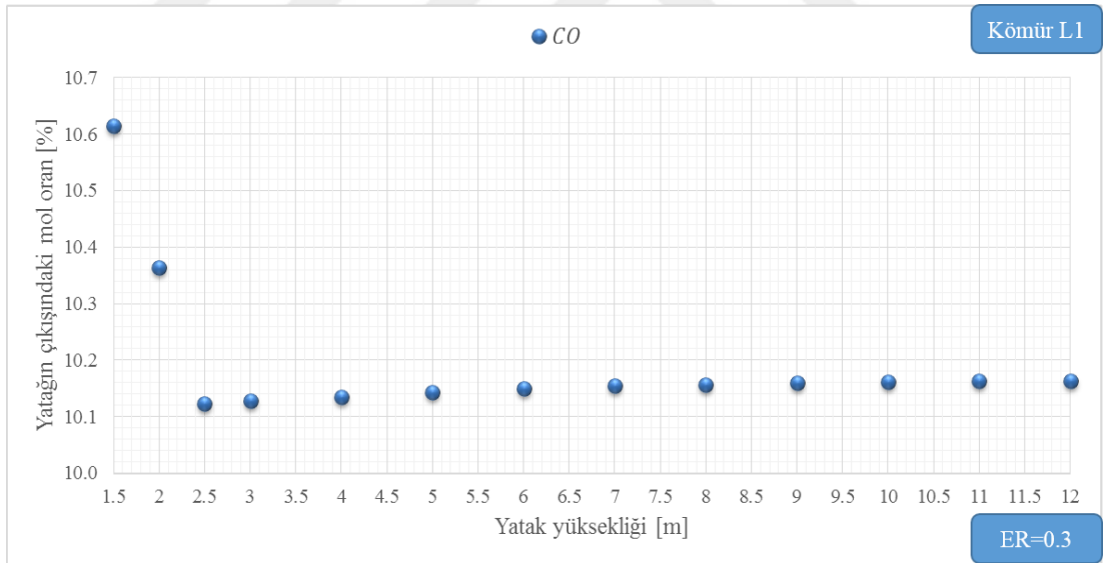
Öncelikle L1 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için elde edilen sonuçlara yer verilecektir. Değişik yatak yüksekliklerinde L1 kömürünün gazlaştırılması için üç boyutlu sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Farklı yatak yükseklikleri için yapılan sayısal çalışmaların sonucunda yatak çıkış ağzında gazlaştırma için önemli olan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri hesaplanmıştır. Seçilen Türk linyitlerinden L1 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için yapılan bu parametrik çalışmalarda ER değeri (equivalence ratio, ER) 0.3 değerinde sabit alınmıştır. L1 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları dikkate alınarak, yatağa 8 kg/h debisinde kömür beslemesi yapılırken ER değerinin 0.3 olması için yatağa gönderilmesi gereken hava debisi 17.74 kg/h olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.2 ile L1 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün gazlaştırılmasında oluşan önemli gazlardan CO , H_2 ve CO_2 gazları için yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.2 : Yatak yüksekliğinin L1 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.

Şekil 6.2 incelendiğinde kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 çalışma koşulları (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) altında yatak yüksekliğinin, yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisinin az olduğu görülmektedir. İlk incelemede CO gazının yüzde mol oranı değerinin 11'den küçük olduğu, H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin 9'dan küçük olduğu ve CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin 21 mertebesinde olduğu görülmektedir. Şekil 6.2 ile L1 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün yatak yüksekliği farklı olan kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcılarda gazlaştırılması ile elde edilen CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkış ağzındaki yüzde mol oranı değerleri birlikte gösterilerek parametrik çalışmanın sonuçları ile ilgili genel bir fikir elde edilmesi amaçlanmıştır. Şimdi ise her bir gaz (CO , H_2 ve CO_2) için yatağın çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi inceleyecektir. Bu nedenle öncelikle CO gazı için ayrıntılı bilgi verilecektir. Şekil 6.3 ile değişik yatak yükseklikleri için yapılan sayısal çalışmalar sonucunda yatak çıkış ağzında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir.



Şekil 6.3 : L1 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

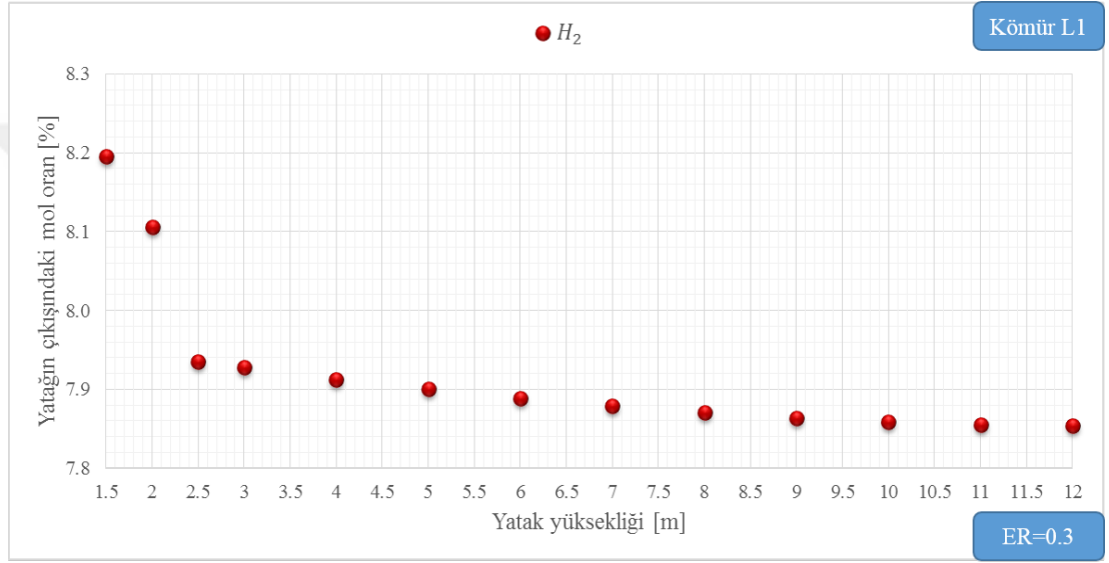
Şekil 6.3 incelendiğinde yatak yüksekliği 1.5 metre olduğu durumda (D1, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 10.61 ile en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Yatak yüksekliği 2.5 metre (D3, Bakınız Çizelge 6.2) olduğunda ise yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değeri 10.12 ile en düşük değere ulaşmaktadır. En yüksek değer, en düşük değerden %4.861

daha fazladır. Tüm durumlar için (D1-D13, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında CO gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 10.20'dir. Bu değer Deney 1'de (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yer alan yatak geometrisi (Durum 2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen 10.36 değerinden %1.567 daha azdır. Ayrıca Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değer Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen en yüksek değerden %2.364 daha az iken Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen en düşük değerden %2.382 daha fazladır. Yatak yüksekliği 1.5 metreden 2.5 metreye doğru artarken CO gazının yüzde mol oranı değerinin %4.635 azaldığı tespit edilmiştir. Buna karşılık yatak yüksekliği 2.5 metreden 12 metreye doğru arttıkça yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde %0.405 ile az bir artış görülmektedir.

Kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1'in (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartlarında yapılan bu parametrik çalışmada çoğu reaksiyonun yatağın alt bölgesinde oluşup bitmesinden dolayı yatak yüksekliğinin artırılması CO gazının yüzde mol oranı değerinde az değişimlere neden olmaktadır. Özellikle heterojen reaksiyonların yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar aktif olduğu daha üst bölgelerde kömür taneciklerinin çok az olmasından dolayı heterojen reaksiyon hızlarının sıfıra doğru gittiği tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonlar da yatağın alt bölgelerinde daha aktiftir. Fakat yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasındaki bölgede çok az miktarda O_2 ve H_2O_{buhar} gazları bulunmaktadır. Bu gazların etkisi ile yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında fazlaca bulunan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerinde az da olsa değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda ise O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının da neredeyse tamamen tükendiği tespit edilmiştir. Bu nedenle de yatak yüksekliğinin 2.5 metrelik kısmından sonra çoğu reaksiyon sona ermektedir. Sadece ileri ve geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonları (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9 ve R10) aktiftir. İleri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) daha aktif bir karakterde reaksiyon olmasına karşın ortamda H_2O_{buhar} gazının ihmal edilebilecek mertebede olmasından dolayı bu reaksiyon çok yavaşlamakta buna karşılık ortamda yer alan CO_2 ve H_2 gazlarının etkisi ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunun (Bakınız

Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) etkisi ile yatağın 2.5 metrelik kısmından sonra CO gazının yüzde mol oranı değerinde az da olsa bir artış gözlenmektedir.

Kömürün gazlaştırılmasında elde edilen diğer önemli bir gaz ise H_2 gazıdır. L1 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.4 ile yatağın çıkış ağzında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir. Böylece H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin daha anlaşılır olması hedeflenmektedir.



Şekil 6.4 : L1 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen H_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

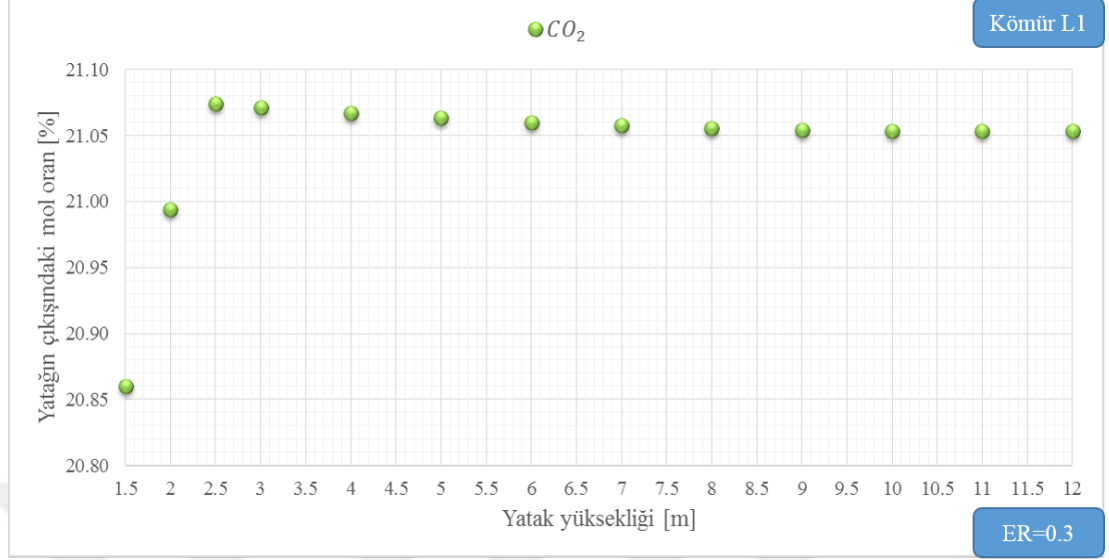
Şekil 6.4 incelendiğinde yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan en yüksek yüzde mol oranı değeri 8.20 ile yatak yüksekliğinin 1.5 metre olduğu durumda görülmektedir. Hesaplanan en düşük değer ise 7.85 ile yatak yüksekliğinin 12 metre olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. En yüksek değer, en düşük değerden %4.344 daha fazladır. Deney 1'deki (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yatak yüksekliğinin kullanıldığı Durum 2 (Bakınız Çizelge 6.2) koşulu altında yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri ise 8.11'dir. Yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu durumda (D2, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri, Durum 1 (Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen en yüksek değerden %1.085 daha azdır. Buna karşılık yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu durum (D2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değer, hesaplamalar arasında en düşük değer elde edildiği Durum 13 (D13, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değerden %3.212 daha fazladır. L1

(Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada toplam 13 durum (Bakınız Çizelge 6.2) için yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerin ortalaması 7.93'tür. Elde edilen bu ortalama değer Deney 1'deki (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yatak yüksekliğini temsil eden Durum 2 (Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değerden %2.213 daha azdır. Şekil 6.4 incelendiğinde kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartları altında yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde azalma olduğu görülmektedir. Fakat bu azalmanın düşük mertebede olduğunu vurgulamak gerekir.

Deney 1 sınır şartlarında (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yapılan bu sayısal çalışmada yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar aktif olan heterojen reaksiyonların yatağın üst bölgesinde kömür taneciklerinin olmamasından dolayı aktifliklerini yitirmiş olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonların da yatağın alt bölgesinde daha aktif olduğu ve yatak yüksekliğinin 1.5 metre ile 2.5 metre arasında olduğu bölgede ise az da olsa var olan O_2 ve H_2O_{buhar} gazları nedeni ile aktiflikleri devam ettirebildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında H_2 gazının O_2 gazı ile yanması ile su buharı oluşmakta ve yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde azalma görülmektedir. Buna karşılık yatağın 2.5 metresinden sonra ihmal edilebilecek mertebede O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının bulunmasına rağmen bol miktarda CO , H_2 ve CO_2 gazlarının olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda CO , H_2 ve CO_2 gazlarının bulunması ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) aktif hale gelmektedir. Bu reaksiyonun aktif olması ile yatağın üst kısımlarında H_2 gazının yüzde mol oranı değeri azalmaktadır. Ancak geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) yavaş bir reaksiyon olmasından dolayı Şekil 6.4 ile görüldüğü gibi H_2 gazının yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerindeki azalmanın düşük olduğu görülmektedir.

Kömürün gazlaştırılmasında elde edilen diğer bir önemli gaz ise CO_2 gazıdır. L1 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.5 ile yatağın çıkış ağzında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir.

Böylece CO_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin daha anlaşılır olması hedeflenmektedir.



Şekil 6.5 : L1 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

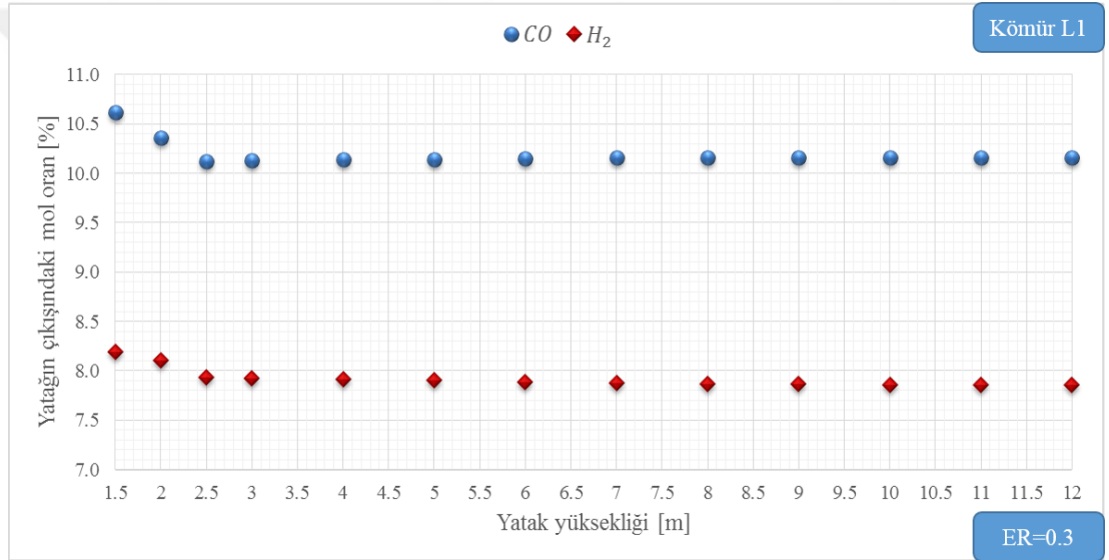
Şekil 6.5 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan en yüksek yüzde mol oranı değeri 21.07 ile Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) için elde edilmektedir. Buna karşılık tüm durumlar arasından yatağın çıkışında CO_2 gazı için en düşük yüzde mol oranı değeri 20.86 ile yatak yüksekliğinin 1.5 metre olduğu Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) geometrisinde hesaplanmaktadır. Hesaplanan en yüksek değer en düşük değerden %1.027 daha fazladır. Yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) Deney 1 (Bakınız Bölüm 4.1, sayfa 62) için kullanılan yatak geometrisi ile aynıdır ve Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) için yatağın çıkışında CO_2 gazının yüzde mol oranı değeri 20.99 olarak hesaplanmaktadır. Bu değer Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) ile hesaplanan en yüksek değerden %0.379 daha düşük iken Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) ile hesaplanan en düşük değerden ise %0.645 daha yüksektir. L1 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatak kullanılarak gazlaştırılmasında yatak yüksekliği etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmadaki tüm yatak yüksekliklerinde CO_2 gazı için yatak çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 21.04'tür. Bu ortalama değer Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) geometrisini temsil eden Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) için hesaplanan değerden %0.217 daha yüksektir.

Şekil 6.5 incelendiğinde yatak yüksekliği 1.5 metreden (D1, Bakınız Çizelge 6.2) 2.5 metreye (D3, Bakınız Çizelge 6.2) doğru artarken yatak çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin de arttığı görülmektedir. Durum 1'den (D1, Bakınız Çizelge 6.2) Durum 3'e (D3, Bakınız Çizelge 6.2) CO_2 gazının yüzde mol oranı değerindeki artış %1.027'dir. Buna karşılık yatak yüksekliğinin 2.5 metre olduğu Durum 3'ten (D3, Bakınız Çizelge 6.2) yatak yüksekliğinin 12 metre olduğu Durum 13'e (D13, Bakınız Çizelge 6.2) doğru gidildikçe yatak çıkış ağzında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde %0.099 kadarlık küçük bir düşüş görülmektedir.

Şekil 6.5 incelendiğinde L1 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartı altında gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin, yatak çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerine etkisinin az olduğu görülmektedir. Bu parametrik çalışmada çoğu reaksiyonun yatağın alt bölgesinde oluşup bitmesinden dolayı yatak yüksekliğinin artırılması CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde az değişimlere neden olduğu görülmektedir. Özellikle heterojen reaksiyonların yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar olan bölgede aktif olduğu daha üst bölgelerde kömür taneciklerinin çok az olmasından dolayı heterojen reaksiyon hızlarının sıfıra doğru gittiği tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonlar da yatağın alt bölgelerinde daha aktiftir. Fakat yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasındaki bölgede çok az miktarda O_2 ve H_2O_{buhar} gazları bulunmaktadır. Bu gazların etkisi ile yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında fazlaca bulunan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerinde az da olsa değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda ise O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının da neredeyse tamamen tükendiği tespit edilmiştir. Bu nedenle de yatak yüksekliğinin 2.5 metrelik kısmından sonra çoğu reaksiyon sona ermektedir. Sadece ileri ve geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonları (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9, R10) aktiftir. İleri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) daha aktif bir karakterde reaksiyon olmasına karşın, ortamda H_2O_{buhar} gazının ihmal edilebilecek mertebede olmasından dolayı bu reaksiyon çok yavaşlamakta buna karşılık ortamda yer alan CO_2 ve H_2 gazlarının etkisi ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) etkisi ile yatağın 2.5

metrelik kısmından sonra CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde az da olsa bir düşüş görülmektedir.

Şekil 6.2 üzerinde L1 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün değişik yatak yüksekliğine sahip kabarcıklı akışkan yataklarda gazlaştırılması ile yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Fakat Şekil 6.2 üzerinde CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin birbiri ile karşılaştırılması grafiğin ölçeğinden dolayı mümkün olmamasından dolayı Şekil 6.6 ile gazlaştırma için önemli iki gaz olan CO ve H_2 gazlarının yatağın çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi daha anlaşılır bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 6.6 : L1 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ve H_2 gazlarının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerlerinin karşılaştırılması.

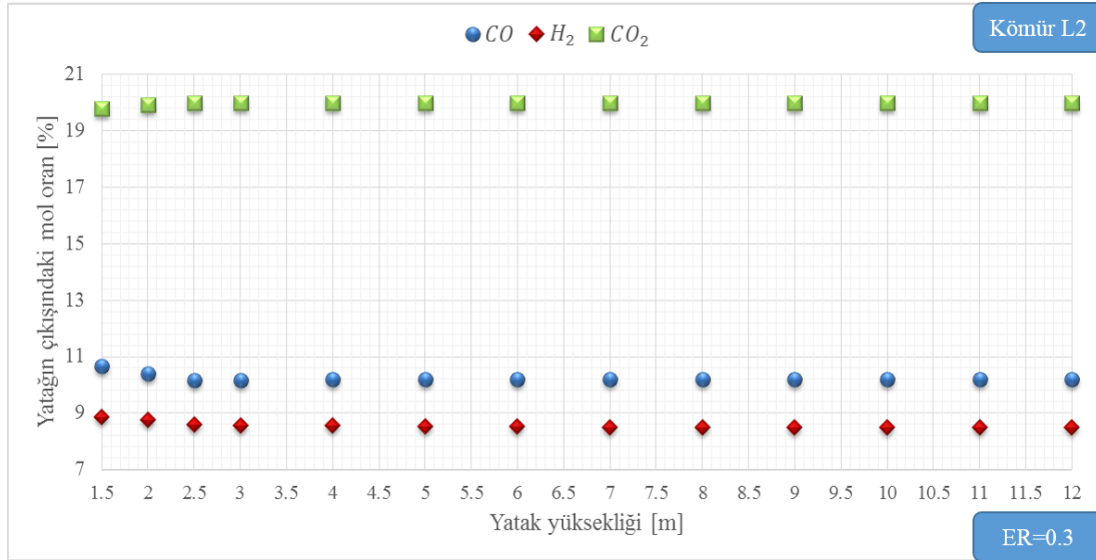
Şekil 6.6 incelendiğinde L1 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartlarında kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin birbiri ile karşılaştırıldığı görülmektedir. Tüm yatak yüksekliklerinde (D1-D13, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin H_2 gazı için hesaplanan değerlerden fazla olduğu görülmektedir. Seçilen Türk linyitlerinden L1 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için değişik yatak yüksekliklerine sahip kabarcıklı akışkan yataklarda gazlaştırılmasının parametrik çalışıldığı bu sayısal çalışmada yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplan yüzde mol oranı değerleri, CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı

değerlerine oranlandığında en yüksek oranın 0.784 ile Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) için ve en düşük oranın ise 0.772 ile Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) için elde edildiği görülmektedir. Tüm oranların ortalaması ise 0.777 olarak hesaplanmıştır.

6.1.2 L2 kömürü için elde edilen sonuçlar

Şimdi L2 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için elde edilen sonuçlara yer verilecektir. Değişik yatak yüksekliklerinde L2 kömürünün gazlaştırılması için üç boyutlu sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Farklı yatak yükseklikleri için yapılan sayısal çalışmaların sonucunda yatak çıkış ağzında gazlaştırma için önemli olan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri hesaplanmıştır. Seçilen Türk linyitlerinden L2 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için yapılan bu parametrik çalışmalarda ER değeri (equivalence ratio, ER) 0.3 değerinde sabit alınmıştır. L2 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları dikkate alınarak, yatağa 8 kg/h debisinde kömür beslemesi yapılırken ER değerinin 0.3 olması için yatağa gönderilmesi gereken hava debisi 21.70 kg/h olarak hesaplanmıştır.

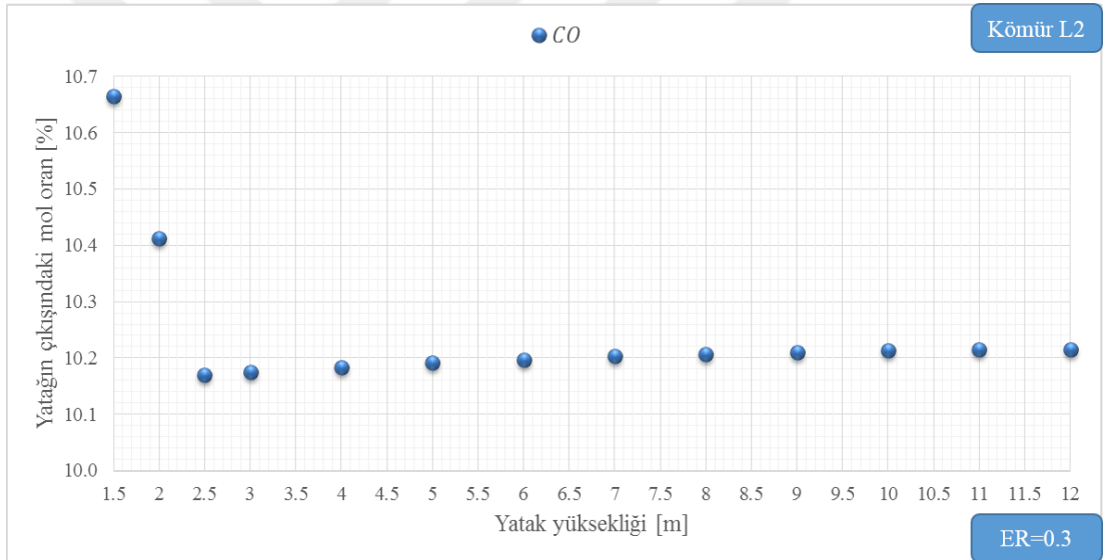
Şekil 6.7 ile L2 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün gazlaştırılmasında oluşan önemli gazlardan CO , H_2 ve CO_2 gazları için yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.7 : Yatak yüksekliğinin L2 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.

Şekil 6.7 incelendiğinde kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 çalışma koşulları (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) altında yatak yüksekliğinin, yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisinin az olduğu görülmektedir.

İlk incelemede CO gazının yüzde mol oranı değerinin 11'den küçük olduğu, H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin 9'dan küçük olduğu ve CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin 19 ile 21 arasında olduğu görülmektedir. Şekil 6.7 ile L2 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün yatak yüksekliği farklı olan kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcılarda gazlaştırılması ile elde edilen CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkış ağzındaki yüzde mol oranı değerleri birlikte gösterilerek parametrik çalışmanın sonuçları ile ilgili genel bir fikir elde edilmesi amaçlanmıştır. Şimdi ise her bir gaz (CO , H_2 ve CO_2) için yatağın çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi inceleyecektir. Bu nedenle öncelikle CO gazı için ayrıntılı bilgi verilecektir. Şekil 6.8 ile değişik yatak yükseklikleri için yapılan sayısal çalışmalar sonucunda yatak çıkış ağzında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir.



Şekil 6.8 : L2 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

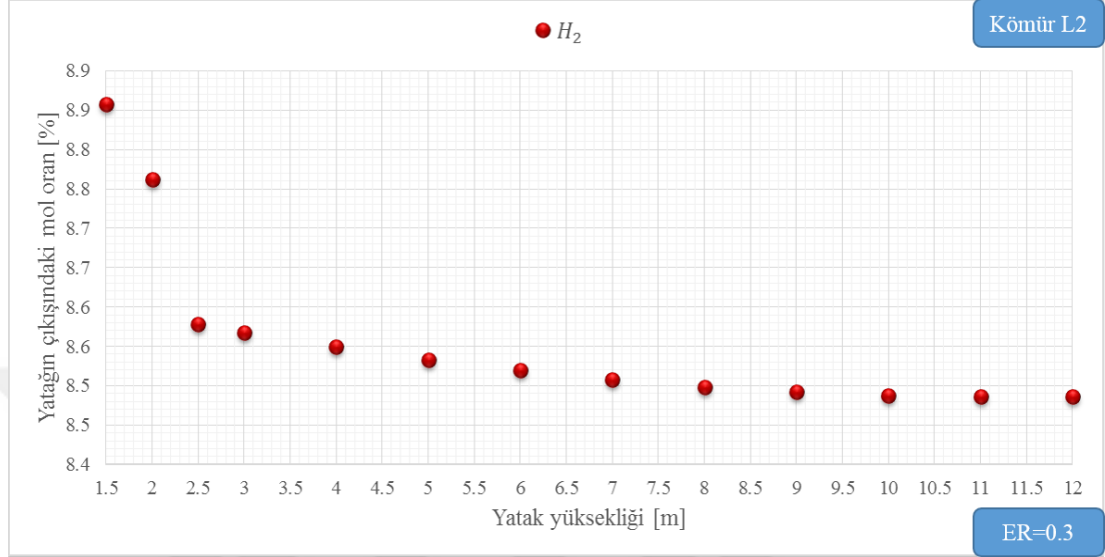
Şekil 6.8 incelendiğinde yatak yüksekliği 1.5 metre olduğu durumda (D1, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 10.67 ile en yüksek değere sahiptir. Yatak yüksekliği 2.5 metre (D3, Bakınız Çizelge 6.2) olduğunda ise yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değeri 10.17 ile en düşük değere ulaşmaktadır. En yüksek değer, en düşük değerden %4.862 daha fazladır. Tüm durumlar için (D1-D13, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında CO gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 10.25'tir. Bu değer Deney 1'de (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yer alan yatak geometrisi (Durum 2, Bakınız

Çizelge 6.2) ile elde edilen 10.41 değerinden %1.555 daha azdır. Ayrıca Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen sonuç Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) ile belirtilen en yüksek değerden %2.368 az iken Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) ile belirtilen en düşük değerden ise %2.379 daha fazladır. Yatak yüksekliği 1.5 metreden 2.5 metreye doğru artarken CO gazının yüzde mol oranı değerinin %4.637 azaldığı tespit edilmiştir. Buna karşılık yatak yüksekliği 2.5 metreden 12 metreye doğru arttıkça yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde %0.435 ile az bir artış görülmektedir.

Kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1'in (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartlarında yapılan bu parametrik çalışmada çoğu reaksiyonun yatağın alt bölgesinde oluşup bitmesinden dolayı yatak yüksekliğinin artırılması CO gazının yüzde mol oranı değerinde az değişimlere neden olmaktadır. Özellikle heterojen reaksiyonların yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar aktif olduğu daha üst bölgelerde kömür taneciklerinin çok az olmasından dolayı heterojen reaksiyon hızlarının sıfıra doğru gittiği tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonlar da yatağın alt bölgelerinde daha aktiftir. Fakat yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasındaki bölgede çok az miktarda O_2 ve H_2O_{buhar} gazları bulunmaktadır. Bu gazların etkisi ile yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında fazlaca bulunan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerinde az da olsa değişmelerin olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda ise O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının da neredeyse tamamen tükendiği tespit edilmiştir. Bu nedenle de yatak yüksekliğinin 2.5 metrelik kısmından sonra çoğu reaksiyon sona ermektedir. Sadece ileri ve geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonları (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9, R10) aktiftir. İleri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) daha aktif bir karakterde reaksiyon olmasına karşın ortamda H_2O_{buhar} gazının ihmal edilebilecek mertebede olmasından dolayı bu reaksiyon çok yavaşlamakta buna karşılık ortamda yer alan CO_2 ve H_2 gazlarının etkisi ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) etkisi ile yatağın 2.5 metrelik kısmından sonra CO gazının yüzde mol oranı değerinde az da olsa bir artış gözlenmektedir.

Kömürün gazlaştırılmasında elde edilen diğer önemli bir gaz ise H_2 gazıdır. L2 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yatak yüksekliğinin

gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.9 ile yatağın çıkış ağzında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir. Böylece H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin daha anlaşılır olması hedeflenmektedir.



Şekil 6.9 : L2 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen H_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

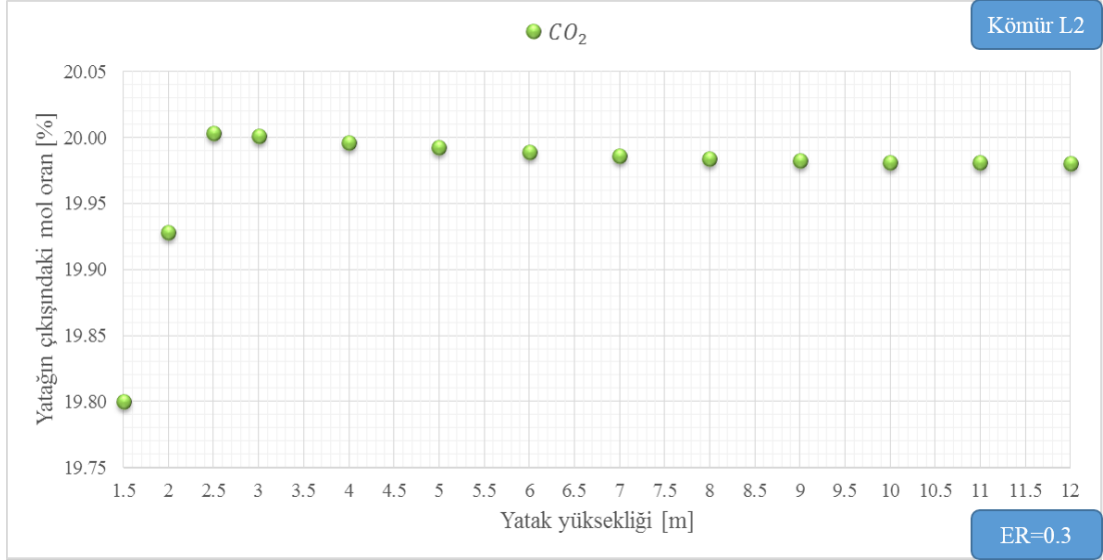
Şekil 6.9 incelendiğinde yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan en yüksek yüzde mol oranı değeri 8.86 ile yatak yüksekliğinin 1.5 metre olduğu durumda görülmektedir. Hesaplanan en düşük değer ise 8.49 ile yatak yüksekliğinin 12 metre olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. En yüksek değer, en düşük değerden %4.384 daha fazladır. Deney 1'deki (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yatak yüksekliğinin kullanıldığı Durum 2 (Bakınız Çizelge 6.2) koşulu altında yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri ise 8.76'dır. Yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu durumda (D2, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri, Durum 1 (Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen en yüksek değerden %1.079 daha azdır. Buna karşılık yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu durum (D2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değer, hesaplamalar arasında en düşük değer elde edildiği Durum 13 (D13, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değerden %3.257 daha fazladır. L2 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada toplam 13 durum (Bakınız Çizelge 6.2) için yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerin ortalaması 8.56'dır. Elde edilen bu ortalama değer Deney 1'deki (Bakınız Çizelge 4.1,

sayfa 63) yatak yüksekliğini temsil eden Durum 2 (Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değerden %2.269 daha azdır. Şekil 6.9 incelendiğinde kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartları altında yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde azalma olduğu görülmektedir. Fakat bu azalmanın düşük mertebede olduğunu vurgulamak gerekir.

Deney 1 sınır şartlarında (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yapılan bu sayısal çalışmada yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar aktif olan heterojen reaksiyonların yatağın üst bölgesinde kömür taneciklerinin olmamasından dolayı aktifliklerini yitirmiş olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonların da yatağın alt bölgesinde daha aktif olduğu ve yatak yüksekliğinin 1.5 metre ile 2.5 metre arasında olduğu bölgede ise az da olsa var olan O_2 ve H_2O_{buhar} gazları nedeni ile aktiflikleri devam ettirebildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında H_2 gazının O_2 gazı ile yanması ile su buharı oluşmakta ve yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde azalma görülmektedir. Buna karşılık yatağın 2.5 metresinden sonra ihmal edilebilecek mertebede O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının bulmasına rağmen bol miktarda CO , H_2 ve CO_2 gazlarının olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda CO , H_2 ve CO_2 gazlarının bulunması ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) aktif hale gelmektedir. Bu reaksiyonun aktif olması ile yatağın üst kısımlarında H_2 gazının yüzde mol oranı değeri azalmaktadır. Ancak geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) yavaş bir reaksiyon olmasından dolayı Şekil 6.9 ile görüldüğü gibi H_2 gazının yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerindeki azalmanın düşük olduğu görülmektedir.

Kömürün gazlaştırılmasında elde edilen diğer bir gaz ise CO_2 gazıdır. L2 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.10 ile yatağın çıkış ağzında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir. Böylece CO_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin daha anlaşılır olması hedeflenmektedir.

Şekil 6.10 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan en yüksek yüzde mol oranı değeri 20.00 ile Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) için elde edilmektedir.



Şekil 6.10 : L2 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

Buna karşılık tüm durumlar arasından yatağın çıkışında CO_2 gazı için en düşük yüzde mol oranı değeri 19.80 ile yatak yüksekliğinin 1.5 metre olduğu Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) geometrisinde hesaplanmaktadır. Hesaplanan en yüksek değer en düşük değerden %1.027 daha fazladır. Yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) Deney 1 (Bakınız Bölüm 4.1, sayfa 62) için kullanılan yatak geometrisi ile aynıdır ve Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) için yatağın çıkışında CO_2 gazının yüzde mol oranı değeri 19.93 olarak hesaplanmaktadır. Bu değer Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) ile hesaplanan en yüksek değerden %0.378 daha düşük iken Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) ile hesaplanan en düşük değerden ise %0.645 daha yüksektir. L2 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatak kullanılarak gazlaştırılmasında yatak yüksekliği etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada tüm yatak yüksekliklerinde CO_2 gazı için yatak çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 19.97'dir. Bu ortalama değer Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) geometrisini temsil eden Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) için hesaplanan değerden %0.210 daha yüksektir.

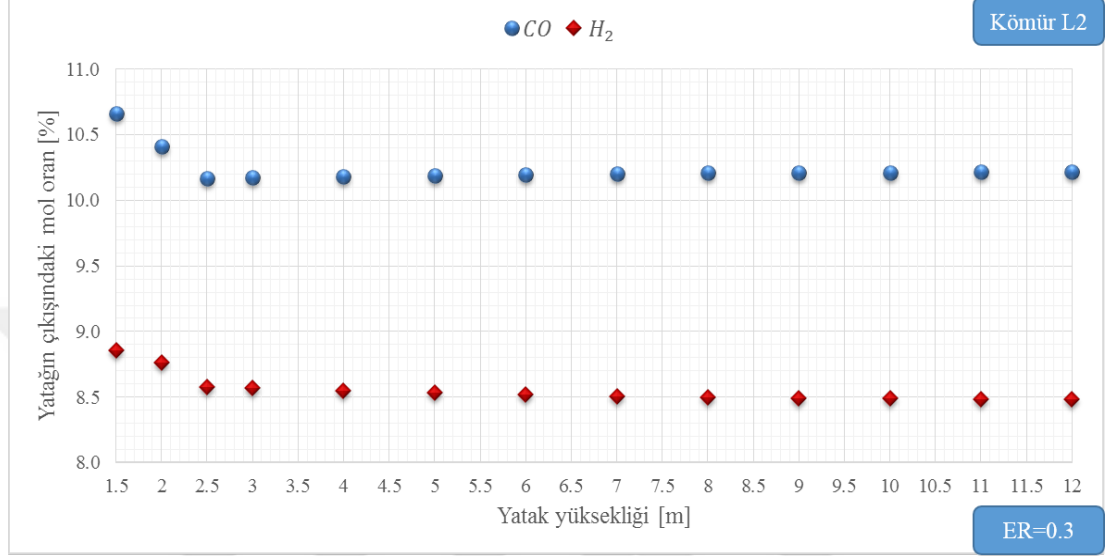
Şekil 6.10 incelendiğinde yatak yüksekliği 1.5 metreden (D1, Bakınız Çizelge 6.2) 2.5 metreye (D3, Bakınız Çizelge 6.2) doğru artarken yatak çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin de arttığı görülmektedir. Durum 1'den (D1, Bakınız Çizelge 6.2) Durum 3'e (D3, Bakınız Çizelge 6.2) CO_2 gazının yüzde mol oranı değerindeki artış %1.027'dir. Buna karşılık yatak yüksekliğinin 2.5 metre

dolduğu Durum 3'ten (D3, Bakınız Çizelge 6.2) yatak yüksekliğinin 12 metre olduğu Durum 13'e (D13, Bakınız Çizelge 6.2) doğru gidildikçe yatak çıkış ağzında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde %0.113 kadarlık küçük bir düşüş görülmektedir.

Şekil 6.10 incelendiğinde L2 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartı altında gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin, yatak çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerine etkisinin az olduğu görülmektedir. Bu parametrik çalışmada çoğu reaksiyonun yatağın alt bölgesinde oluşup bitmesinden dolayı yatak yüksekliğinin artırılması CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde az değişimlere neden olduğu görülmektedir. Özellikle heterojen reaksiyonların yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar olan bölgede aktif olduğu daha üst bölgelerde kömür taneciklerinin çok az olmasından dolayı heterojen reaksiyon hızlarının sıfıra doğru gittiği tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonlar da yatağın alt bölgelerinde daha aktiftir. Fakat yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasındaki bölgede çok az miktarda O_2 ve H_2O_{buhar} gazları bulunmaktadır. Bu gazların etkisi ile yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında fazlaca bulunan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerinde az da olsa değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda ise O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının da neredeyse tamamen tükendiği tespit edilmiştir. Bu nedenle de yatak yüksekliğinin 2.5 metrelik kısmından sonra çoğu reaksiyon sona ermektedir. Sadece ileri ve geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonları (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9, R10) aktiftir. İleri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) daha aktif bir karakterde reaksiyon olmasına karşın, ortamda H_2O_{buhar} gazının ihmal edilebilecek mertebede olmasından dolayı bu reaksiyon çok yavaşlamakta buna karşılık ortamda yer alan CO_2 ve H_2 gazlarının etkisi ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) etkisi ile yatağın 2.5 metrelik kısmından sonra CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde az da olsa bir düşüş görülmektedir.

Şekil 6.7 üzerinde L2 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün değişik yatak yüksekliğine sahip kabarcıklı akışkan yataklarda gazlaştırılması ile yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Fakat Şekil

6.7 üzerinde CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin birbiri ile karşılaştırılması grafiğin ölçeğinden dolayı mümkün olmamasından dolayı Şekil 6.11 ile gazlaştırma için önemli iki gaz olan CO ve H_2 gazlarının yatağın çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi daha anlaşılır bir şekilde gösterilmektedir.



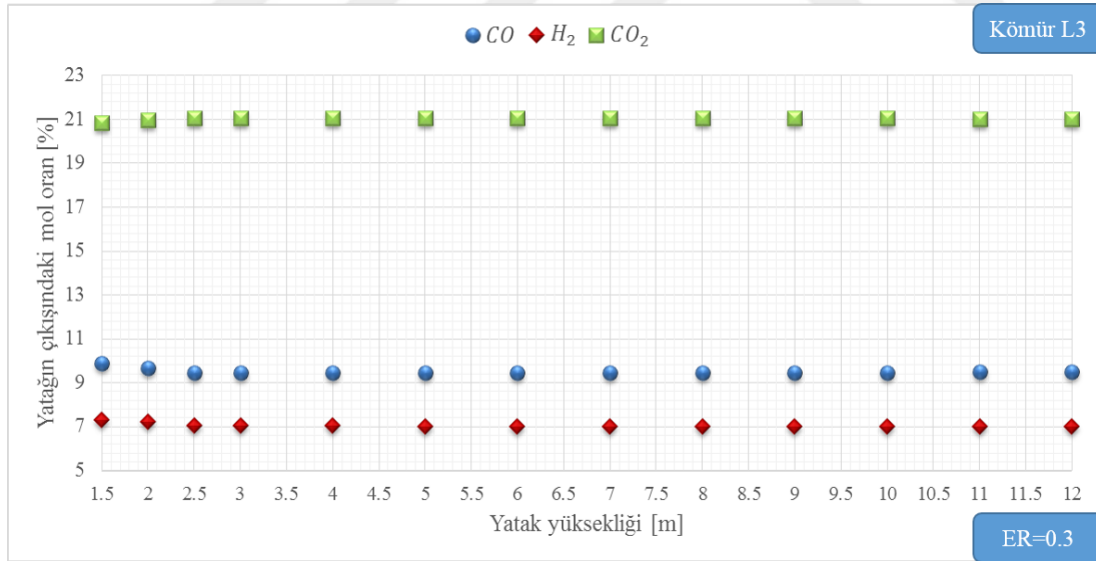
Şekil 6.11 : L2 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ve H_2 gazlarının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.11 incelendiğinde L2 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartlarında kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin birbiri ile karşılaştırıldığı görülmektedir. Tüm yatak yüksekliklerinde (D1-D13, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin H_2 gazı için hesaplanan değerlerden fazla olduğu görülmektedir. Seçilen Türk linyitlerinden L2 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için değişik yatak yüksekliklerine sahip kabarcıklı akışkan yataklarda gazlaştırılmasının parametrik çalışıldığı bu sayısal çalışmada yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplan yüzde mol oranı değerleri, CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine oranlandığında en yüksek oranın 0.843 ile Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) için ve en düşük oranın ise 0.831 ile Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) için elde edildiği görülmektedir. Tüm oranların ortalaması ise 0.835 olarak hesaplanmıştır.

6.1.3 L3 kömürü için elde edilen sonuçlar

Şimdi L3 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için elde edilen sonuçlara yer verilecektir. Değişik yatak yüksekliklerinde L3 kömürünün gazlaştırılması için üç boyutlu sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Farklı yatak yükseklikleri için yapılan sayısal çalışmaların sonucunda yatak çıkış ağzında gazlaştırma için önemli olan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri hesaplanmıştır. Seçilen Türk linyitlerinden L3 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için yapılan bu parametrik çalışmalarda ER değeri (equivalence ratio, ER) 0.3 değerinde sabit alınmıştır. L3 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları dikkate alınarak, yatağa 8 kg/h debisinde kömür beslemesi yapılırken ER değerinin 0.3 olması için yatağa gönderilmesi gereken hava debisi 19.76 kg/h olarak hesaplanmıştır.

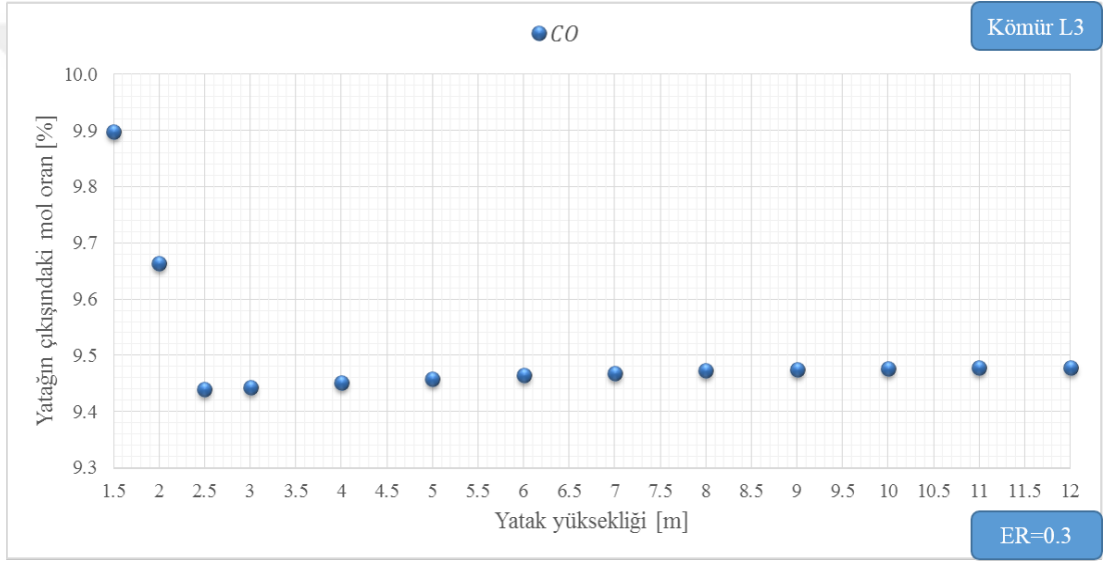
Şekil 6.12 ile L3 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün gazlaştırılmasında oluşan önemli gazlardan CO , H_2 ve CO_2 gazları için yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.12 : Yatak yüksekliğinin L3 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.

Şekil 6.12 incelendiğinde kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 çalışma koşulları (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) altında yatak yüksekliğinin, yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisinin az olduğu görülmektedir. İlk incelemede CO gazının yüzde mol oranı değerinin 9 ile 11 arasında olduğu, H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin 7 mertebesinde olduğu ve CO_2 gazının

yüzde mol oranı değerinin 21 mertebesinde olduğu görülmektedir. Şekil 6.12 ile L3 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün yatak yüksekliği farklı olan gazlaştırıcılarda gazlaştırılması ile elde edilen CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkış ağzındaki yüzde mol oranı değerleri birlikte gösterilerek parametrik çalışmanın sonuçları ile ilgili genel bir fikir elde edilmesi amaçlanmıştır. Şimdi ise her bir gaz (CO , H_2 ve CO_2) için yatağın çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi inceleyecektir. Bu nedenle öncelikle CO gazı için ayrıntılı bilgi verilecektir. Şekil 6.13 ile değişik yatak yükseklikleri için yapılan sayısal çalışmalar sonucunda yatak çıkış ağzında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir.



Şekil 6.13 : L3 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

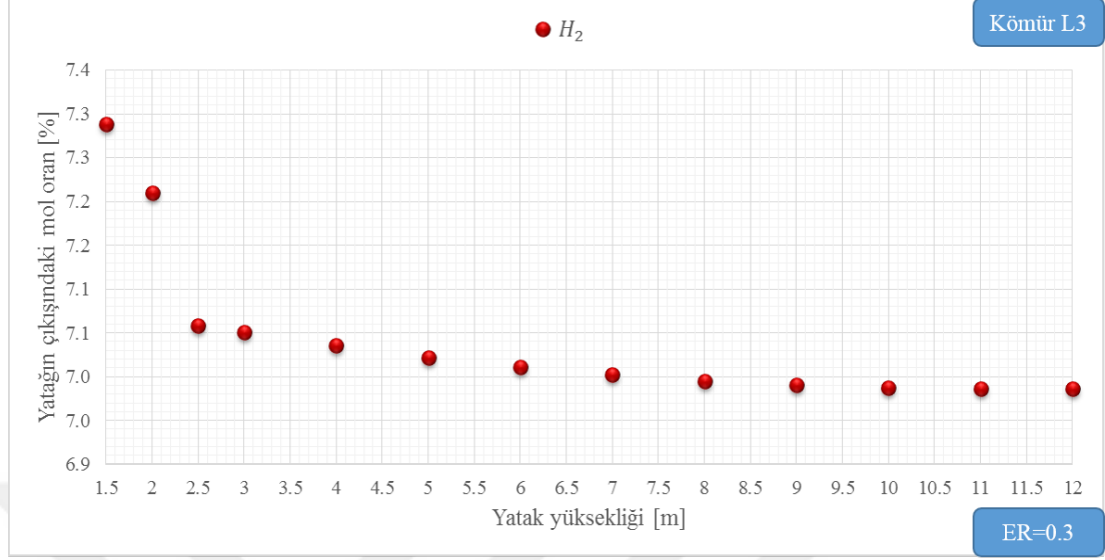
Şekil 6.13 incelendiğinde yatak yüksekliği 1.5 metre olduğu durumda (D1, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 9.90 ile en yüksek değere sahiptir. Yatak yüksekliği 2.5 metre (D3, Bakınız Çizelge 6.2) olduğunda ise yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değeri 9.44 ile en düşük değere ulaşmaktadır. En yüksek değer, en düşük değerden %4.863 daha fazladır. Tüm durumlar için (D1-D13, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında CO gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 9.51'dir. Bu değer Deney 1'de (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yer alan yatak geometrisi (Durum 2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen 9.66 değerinden %1.561 daha azdır. Ayrıca Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değer Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen

en yüksek değerden %2.368 daha az iken Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen en düşük değerden %2.379 daha fazladır. Yatak yüksekliği 1.5 metreden 2.5 metreye doğru artarken CO gazının yüzde mol oranı değerinin %4.637 azaldığı tespit edilmiştir. Buna karşılık yatak yüksekliği 2.5 metreden 12 metreye doğru arttıkça yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde %0.415 ile az bir artış görülmektedir.

Kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1'in (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartlarında yapılan bu parametrik çalışmada çoğu reaksiyonun yatağın alt bölgesinde oluşup bitmesinden dolayı yatak yüksekliğinin artırılması CO gazının yüzde mol oranı değerinde az değişimlere neden olmaktadır. Özellikle heterojen reaksiyonların yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar aktif olduğu daha üst bölgelerde kömür taneciklerinin çok az olmasından dolayı heterojen reaksiyon hızlarının sıfıra doğru gittiği tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonlar da yatağın alt bölgelerinde daha aktiftir. Fakat yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasındaki bölgede çok az miktarda O_2 ve H_2O_{buhar} gazları bulunmaktadır. Bu gazların etkisi ile yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında fazlaca bulunan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerinde az da olsa değişmelerin olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda ise O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının da neredeyse tamamen tükendiği tespit edilmiştir. Bu nedenle de yatak yüksekliğinin 2.5 metrelik kısmından sonra çoğu reaksiyon sona ermektedir. Sadece ileri ve geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonları (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9, R10) aktiftir. İleri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) daha aktif bir karakterde reaksiyon olmasına karşın ortamda H_2O_{buhar} gazının ihmal edilebilecek mertebede olmasından dolayı bu reaksiyon çok yavaşlamakta buna karşılık ortamda yer alan CO_2 ve H_2 gazlarının etkisi ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) etkisi ile yatağın 2.5 metrelik kısmından sonra CO gazının yüzde mol oranı değerinde az da olsa bir artış gözlenmektedir.

Kömürün gazlaştırılmasında elde edilen diğer önemli bir gaz ise H_2 gazıdır. L3 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.14 ile yatağın çıkış ağzında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir.

Böylece H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin daha anlaşılır olması hedeflenmektedir.



Şekil 6.14 : L3 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen H_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

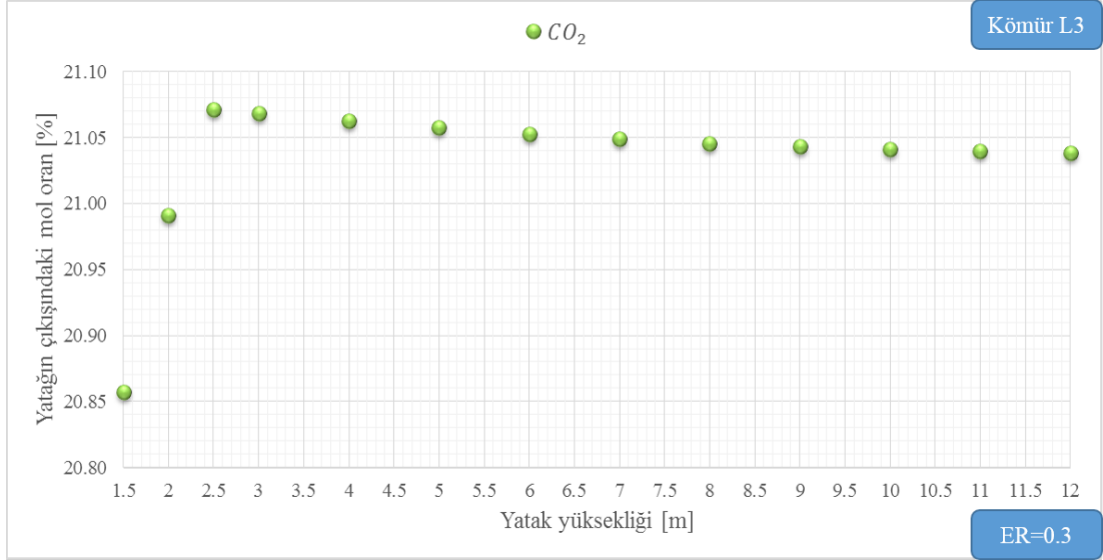
Şekil 6.14 incelendiğinde yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan en yüksek yüzde mol oranı değeri 7.29 ile yatak yüksekliğinin 1.5 metre olduğu durumda görülmektedir. Hesaplanan en düşük değer ise 6.99 ile yatak yüksekliğinin 12 metre olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. En yüksek değer, en düşük değerden %4.33 daha fazladır. Deney 1'deki (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yatak yüksekliğinin kullanıldığı Durum 2 (Bakınız Çizelge 6.2) koşulu altında yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri ise 7.21'dir. Yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu durumda (D2, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri, Durum 1 (Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen en yüksek değerden %1.108 daha azdır. Buna karşılık yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu durum (D2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değer, hesaplamalar arasında en düşük değer elde edildiği Durum 13 (D13, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değerden %3.206 daha fazladır. L3 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada toplam 13 durum (Bakınız Çizelge 6.2) için yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 7.05'tir. Elde edilen bu ortalama değer Deney 1'deki (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yatak yüksekliğini temsil eden Durum 2 (Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değerden %2.247 daha azdır. Şekil 6.14 incelendiğinde kabarcıklı akışkan yatakta

Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartları altında yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde azalma olduğu görülmektedir. Fakat bu azalmanın düşük mertebede olduğunu vurgulamak gerekir.

Deney 1 sınır şartlarında (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yapılan bu sayısal çalışmada yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar aktif olan heterojen reaksiyonların yatağın üst bölgesinde kömür taneciklerinin olmamasından dolayı aktifliklerini yitirmiş olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonların da yatağın alt bölgesinde daha aktif olduğu ve yatağın 1.5 metre ile 2.5 metre arasındaki bölgesinde ise az da olsa var olan O_2 ve H_2O_{buhar} gazları nedeni ile aktiflikleri devam ettirebildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında H_2 gazının O_2 gazı ile yanması ile su buharı oluşmakta ve yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde azalma görülmektedir. Buna karşılık yatağın 2.5 metresinden sonra ihmal edilebilecek mertebede O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının bulunmasına rağmen bol miktarda CO , H_2 ve CO_2 gazlarının olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda CO , H_2 ve CO_2 gazlarının bulunması ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) aktif hale gelmektedir. Bu reaksiyonun aktif olması ile yatağın üst kısımlarında H_2 gazının yüzde mol oranı değeri azalmaktadır. Ancak geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) yavaş bir reaksiyon olmasından dolayı Şekil 6.14 ile görüldüğü gibi H_2 gazının yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerindeki azalmanın düşük olduğu görülmektedir.

Kömürün gazlaştırılmasında elde edilen diğer bir gaz ise CO_2 gazıdır. L3 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.15 ile yatağın çıkış ağzında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir. Böylece CO_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin daha anlaşılır olması hedeflenmektedir.

Şekil 6.15 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan en yüksek yüzde mol oranı değeri 21.07 ile Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) için elde edilmektedir. Buna karşılık tüm durumlar arasından yatağın çıkışında CO_2 gazı için en düşük yüzde mol oranı değeri 20.86 ile yatak yüksekliğinin 1.5 metre olduğu Durum 1 (D1, Bakınız



Şekil 6.15 : L3 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

Çizelge 6.2) geometrisinde hesaplanmaktadır. Hesaplanan en yüksek değer en düşük değerden %1.029 daha fazladır. Yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) Deney 1 (Bakınız Bölüm 4.1, sayfa 62) için kullanılan yatak geometrisi ile aynıdır ve Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) için yatağın çıkışında CO_2 gazının yüzde mol oranı değeri 20.99 olarak hesaplanmaktadır. Bu değer Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) ile hesaplanan en yüksek değerden %0.380 daha düşük iken Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) ile hesaplanan en düşük değerden ise %0.645 daha yüksektir. L3 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatak kullanılarak gazlaştırılmasında yatak yüksekliği etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada tüm yatak yüksekliklerinde CO_2 gazı için yatak çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 21.03'tür. Bu ortalama değer Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) geometrisini temsil eden Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) için hesaplanan değerden %0.194 daha yüksektir.

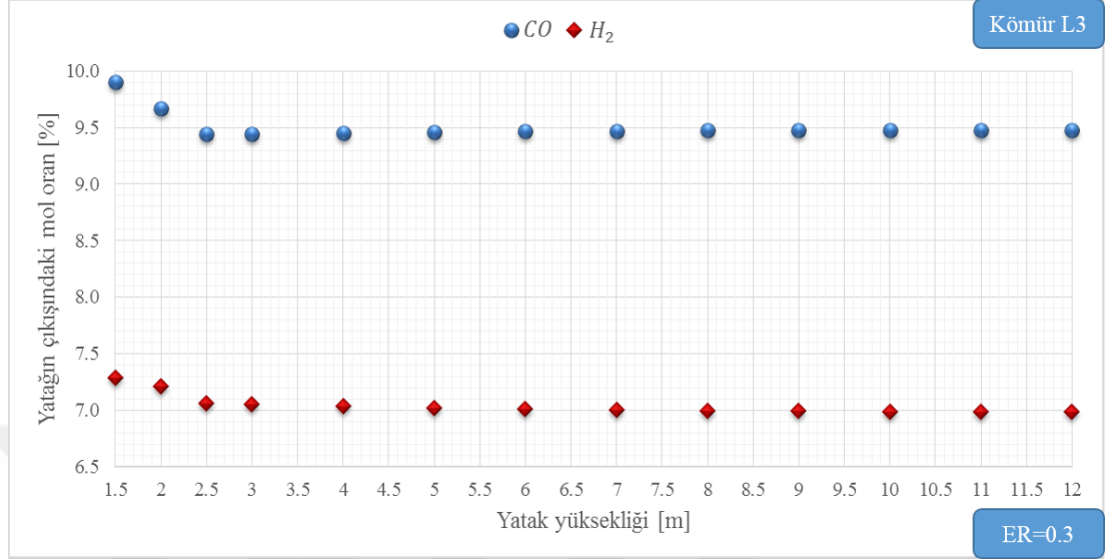
Şekil 6.15 incelendiğinde yatak yüksekliği 1.5 metreden (D1, Bakınız Çizelge 6.2) 2.5 metreye (D3, Bakınız Çizelge 6.2) doğru artarken yatak çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin de arttığı görülmektedir. Durum 1'den (D1, Bakınız Çizelge 6.2) Durum 3'e (D3, Bakınız Çizelge 6.2) CO_2 gazının yüzde mol oranı değerindeki artış %1.029'dur. Buna karşılık yatak yüksekliğinin 2.5 metre olduğu Durum 3'ten (D3, Bakınız Çizelge 6.2) yatak yüksekliğinin 12 metre olduğu Durum 13'e (D13, Bakınız Çizelge 6.2) doğru gidildikçe yatak çıkış ağzında CO_2

gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde %0.156 kadarlık küçük bir düşüş görülmektedir.

Şekil 6.15 incelendiğinde L3 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartı altında gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin, yatak çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerine etkisinin az olduğu görülmektedir. Bu parametrik çalışmada çoğu reaksiyonun yatağın alt bölgesinde oluşup bitmesinden dolayı yatak yüksekliğinin artırılması CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde az değişimlere neden olduğu görülmektedir. Özellikle heterojen reaksiyonların yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar olan bölgede aktif olduğu daha üst bölgelerde kömür taneciklerinin çok az olmasından dolayı heterojen reaksiyon hızlarının sıfıra doğru gittiği tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonlar da yatağın alt bölgelerinde daha aktiftir. Fakat yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasındaki bölgede çok az miktarda O_2 ve H_2O_{buhar} gazları bulunmaktadır. Bu gazların etkisi ile yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında fazlaca bulunan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerinde az da olsa değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda ise O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının da neredeyse tamamen tükendiği tespit edilmiştir. Bu nedenle de yatak yüksekliğinin 2.5 metrelik kısmından sonra çoğu reaksiyon sona ermektedir. Sadece ileri ve geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonları (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9, R10) aktiftir. İleri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) daha aktif bir karakterde reaksiyon olmasına karşın ortamda H_2O_{buhar} gazının ihmal edilebilecek mertebede olmasından dolayı bu reaksiyon çok yavaşlamakta buna karşılık ortamda yer alan CO_2 ve H_2 gazlarının etkisi ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) etkisi ile yatağın 2.5 metrelik kısmından sonra CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde az da olsa bir düşüş görülmektedir.

Şekil 6.12 üzerinde L3 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün değişik yatak yüksekliğine sahip kabarcıklı akışkan yataklarda gazlaştırılması ile yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Fakat Şekil 6.12 üzerinde CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin birbiri ile karşılaştırılması grafiğin ölçeğinden dolayı mümkün

olmamasından dolayı Şekil 6.16 ile gazlaştırma için önemli iki gaz olan CO ve H_2 gazlarının yatağın çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi daha anlaşılır bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 6.16 : L3 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ve H_2 gazlarının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerlerinin karşılaştırılması.

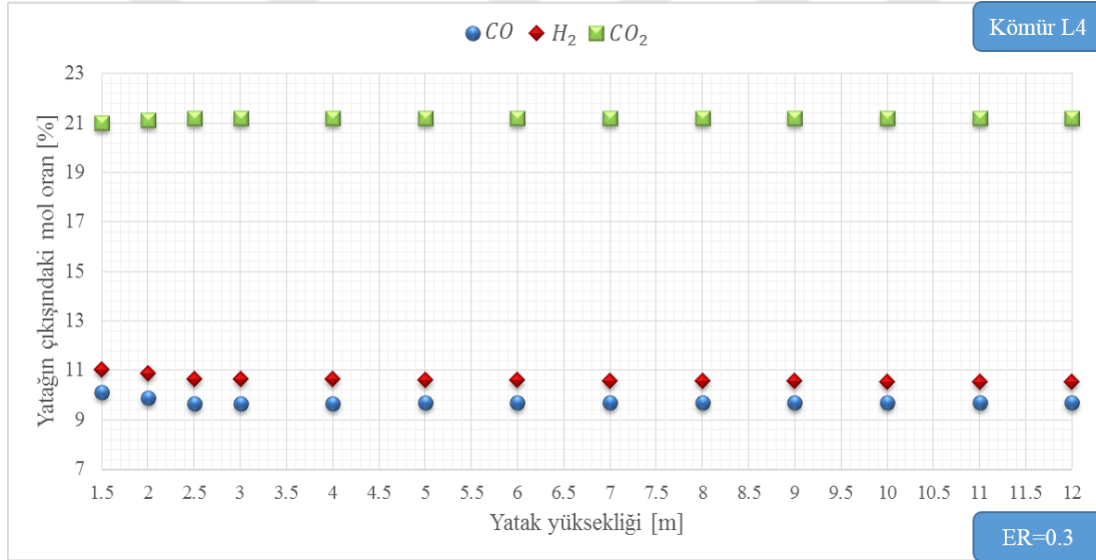
Şekil 6.16 incelendiğinde L3 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartlarında kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin birbiri ile karşılaştırıldığı görülmektedir. Tüm yatak yüksekliklerinde (D1-D13, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin H_2 gazı için hesaplanan değerlerden fazla olduğu görülmektedir. Seçilen Türk linyitlerinden L3 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için değişik yatak yüksekliklerine sahip kabarcıklı akışkan yataklarda gazlaştırılmasının parametrik çalışıldığı bu sayısal çalışmada yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplan yüzde mol oranı değerleri, CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine oranlandığında en yüksek oranın 0.748 ile Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) için ve en düşük oranın ise 0.736 ile Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) için elde edildiği görülmektedir. Tüm oranların ortalaması ise 0.741 olarak hesaplanmıştır.

6.1.4 L4 kömürü için elde edilen sonuçlar

Şimdi L4 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için elde edilen sonuçlara yer verilecektir. Değişik yatak yüksekliklerinde L4 kömürünün gazlaştırılması için üç

boyutlu sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Farklı yatak yükseklikleri için yapılan sayısal çalışmaların sonucunda yatak çıkış ağzında gazlaştırma için önemli olan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri hesaplanmıştır. Seçilen Türk linyitlerinden L4 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için yapılan bu parametrik çalışmalarda ER değeri (equivalence ratio, ER) 0.3 değerinde sabit alınmıştır. L4 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları dikkate alınarak, yatağa 8 kg/h debisinde kömür beslemesi yapılırken ER değerinin 0.3 olması için yatağa gönderilmesi gereken hava debisi 17.46 kg/h olarak hesaplanmıştır.

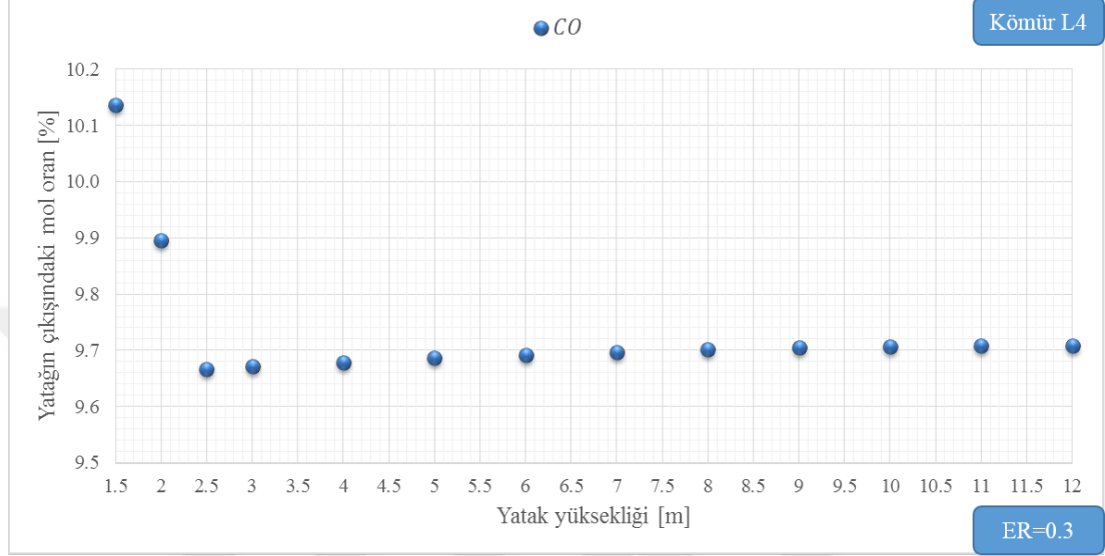
Şekil 6.17 ile L4 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün gazlaştırılmasında oluşan önemli gazlardan CO , H_2 ve CO_2 gazları için yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.17 : Yatak yüksekliğinin L4 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.

Şekil 6.17 incelendiğinde kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 çalışma koşulları (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) altında yatak yüksekliğinin, yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisinin az olduğu görülmektedir. İlk incelemede CO gazının yüzde mol oranı değerinin 11 ile 9 arasında olduğu, H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin 11 mertebesinde olduğu ve CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin 21 mertebesinde olduğu görülmektedir. Şekil 6.17 ile L4 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün yatak yüksekliği farklı olan gazlaştırıcılarda gazlaştırılması ile elde edilen CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkış ağzındaki yüzde mol oranı değerleri birlikte gösterilerek parametrik çalışmanın sonuçları ile ilgili genel bir fikir elde edilmesi amaçlanmıştır. Şimdi ise her bir gaz (CO , H_2

ve CO_2) için yatağın çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi inceleyecektir. Bu nedenle öncelikle CO gazı için ayrıntılı bilgi verilecektir. Şekil 6.18 ile değişik yatak yükseklikleri için yapılan sayısal çalışmalar sonucunda yatak çıkış ağzında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir.



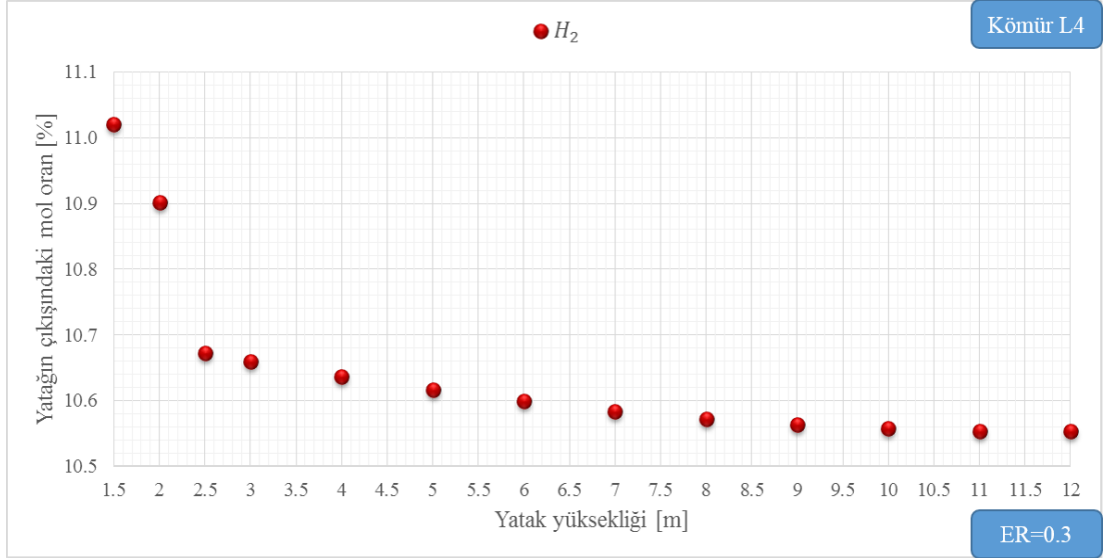
Şekil 6.18 : L4 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

Şekil 6.18 incelendiğinde yatak yüksekliği 1.5 metre olduğu durumda (D1, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 10.14 ile en yüksek değere sahiptir. Yatak yüksekliği 2.5 metre (D3, Bakınız Çizelge 6.2) olduğunda ise yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değeri 9.67 ile en düşük değere ulaşmaktadır. En yüksek değer, en düşük değerden %4.861 daha fazladır. Tüm durumlar için (D1-D13, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında CO gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 9.74'tür. Bu değer Deney 1'de (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yer alan yatak geometrisi (Durum 2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen 9.90 değerinden %1.556 daha azdır. Ayrıca Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen sonuç Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) ile belirtilen en yüksek değerden %2.367 az iken Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) ile belirtilen en düşük değerden ise %2.379 daha fazladır. Yatak yüksekliği 1.5 metreden 2.5 metreye doğru artarken CO gazının yüzde mol oranı değerinin %4.636 azaldığı tespit edilmiştir. Buna karşılık yatak yüksekliği 2.5 metreden 12 metreye doğru arttıkça yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde %0.431 ile az bir artış görülmektedir.

Kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1'in (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartlarında yapılan bu parametrik çalışmada çoğu reaksiyonun yatağın alt bölgesinde oluşup bitmesinden dolayı yatak yüksekliğinin artırılması CO gazının yüzde mol oranı değerinde az değişimlere neden olmaktadır. Özellikle heterojen reaksiyonların yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar aktif olduğu daha üst bölgelerde kömür taneciklerinin çok az olmasından dolayı heterojen reaksiyon hızlarının sıfıra doğru gittiği tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonlar da yatağın alt bölgelerinde daha aktiftir. Fakat yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasındaki bölgede çok az miktarda O_2 ve H_2O_{buhar} gazları bulunmaktadır. Bu gazların etkisi ile yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında fazlaca bulunan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerinde az da olsa değişmelerin olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda ise O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının da neredeyse tamamen tükendiği tespit edilmiştir. Bu nedenle de yatak yüksekliğinin 2.5 metrelik kısmından sonra çoğu reaksiyon sona ermektedir. Sadece ileri ve geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonları (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9, R10) aktiftir. İleri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) daha aktif bir karakterde reaksiyon olmasına karşın ortamda H_2O_{buhar} gazının ihmal edilebilecek mertebede olmasından dolayı bu reaksiyon çok yavaşlamakta buna karşılık ortamda yer alan CO_2 ve H_2 gazlarının etkisi ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) etkisi ile yatağın 2.5 metrelik kısmından sonra CO gazının yüzde mol oranı değerinde az da olsa bir artış gözlenmektedir.

Kömürün gazlaştırılmasında elde edilen diğer önemli bir gaz ise H_2 gazıdır. L4 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.19 ile yatağın çıkış ağzında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir. Böylece H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin daha anlaşılır olması hedeflenmektedir.

Şekil 6.19 incelendiğinde yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan en yüksek yüzde mol oranı değeri 11.02 ile yatak yüksekliğinin 1.5 metre olduğu durumda görülmektedir. Hesaplanan en düşük değer ise 10.55 ile yatak yüksekliğinin 12 metre olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. En yüksek değer, en düşük değerden %4.426 daha



Şekil 6.19 : L4 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen H_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

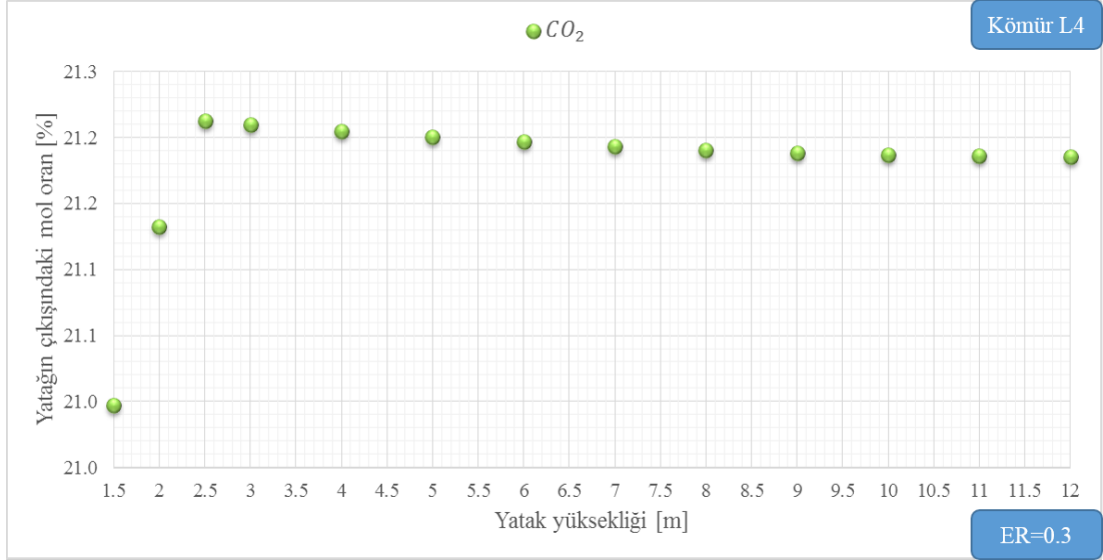
fazladır. Deney 1’deki (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yatak yüksekliğinin kullanıldığı Durum 2 (Bakınız Çizelge 6.2) koşulu altında yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri ise 10.90’dır. Yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu durumda (D2, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri, Durum 1 (Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen en yüksek değerden %1.079 daha azdır. Buna karşılık yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu durum (D2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değer, hesaplamalar arasında en düşük değer elde edildiği Durum 13 (D13, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değerden %3.300 daha fazladır. L4 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada toplam 13 durum (Bakınız Çizelge 6.2) için yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerin ortalaması 10.65’tir. Elde edilen bu ortalama değer Deney 1’deki (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yatak yüksekliğini temsil eden Durum 2 (Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değerden %2.279 daha azdır. Şekil 6.19 incelendiğinde kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartları altında yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde azalma olduğu görülmektedir. Fakat bu azalmanın düşük mertebede olduğunu vurgulamak gerekir.

Deney 1 sınır şartlarında (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yapılan bu sayısal çalışmada yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar aktif olan heterojen reaksiyonların yatağın üst bölgesinde kömür taneciklerinin olmamasından dolayı aktifliklerini yitirmiş olduğu

tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonların da yatağın alt bölgesinde daha aktif olduğu ve yatağın 1.5 metre ile 2.5 metre arasındaki bölgede ise az da olsa var olan O_2 ve H_2O_{buhar} gazları nedeni ile aktiflikleri devam ettirebildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında H_2 gazının O_2 gazı ile yanması ile su buharı oluşmakta ve yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde azalma görülmektedir. Buna karşılık yatağın 2.5 metresinden sonra ihmal edilebilecek mertebede O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının bulunmasına rağmen bol miktarda CO , H_2 ve CO_2 gazlarının olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda CO , H_2 ve CO_2 gazlarının bulunması ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) aktif hale gelmektedir. Bu reaksiyonun aktif olması ile yatağın üst kısımlarında H_2 gazının yüzde mol oranı değeri azalmaktadır. Ancak geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) yavaş bir reaksiyon olmasından dolayı Şekil 6.19 ile görüldüğü gibi H_2 gazının yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerindeki azalmanın düşük olduğu görülmektedir.

Kömürün gazlaştırılmasında elde edilen diğer bir gaz ise CO_2 gazıdır. L4 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.20 ile yatağın çıkış ağzında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir. Böylece CO_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin daha anlaşılır olması hedeflenmektedir.

Şekil 6.20 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan en yüksek yüzde mol oranı değeri 21.21 ile Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) için elde edilmektedir. Buna karşılık tüm durumlar arasından yatağın çıkışında CO_2 gazı için en düşük yüzde mol oranı değeri 21.00 ile yatak yüksekliğinin 1.5 metre olduğu Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) geometrisinde hesaplanmaktadır. Hesaplanan en yüksek değer en düşük değerden %1.027 daha fazladır. Yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) Deney 1 (Bakınız Bölüm 4.1, sayfa 62) için kullanılan yatak geometrisi ile aynıdır ve Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) için yatağın çıkışında CO_2 gazının yüzde mol oranı değeri 21.13 olarak hesaplanmaktadır. Bu değer Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) ile hesaplanan en yüksek değerden %0.379 daha düşük iken



Şekil 6.20 : L4 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) ile hesaplanan en düşük değerden ise %0.645 daha yüksektir. L4 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatak kullanılarak gazlaştırılmasında yatak yüksekliği etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada tüm yatak yüksekliklerinde CO_2 gazı için yatak çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 21.18'dir. Bu ortalama değer Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) geometrisini temsil eden Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) için hesaplanan değerden %0.205 daha yüksektir.

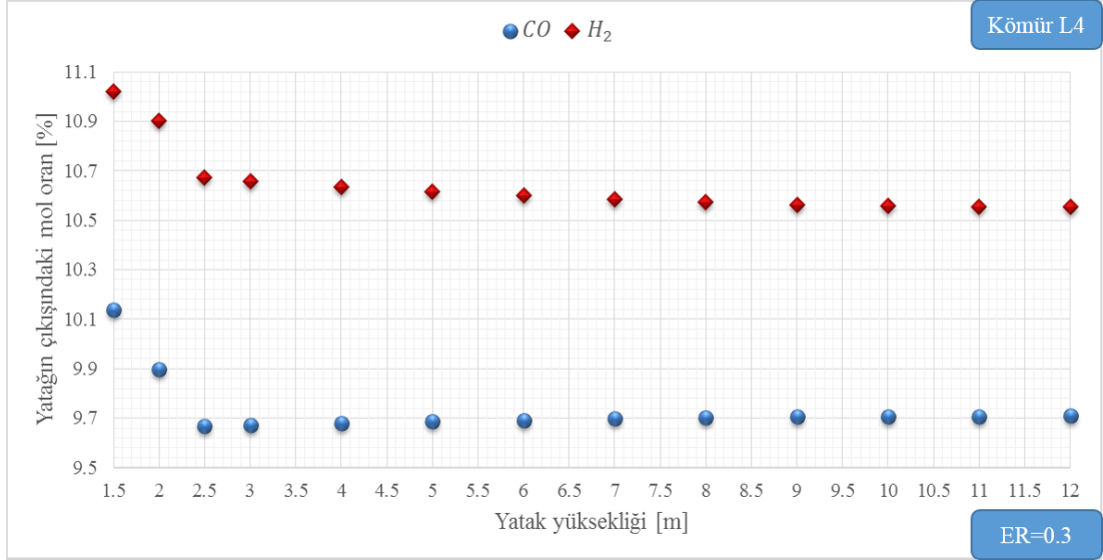
Şekil 6.20 incelendiğinde yatak yüksekliği 1.5 metreden (D1, Bakınız Çizelge 6.2) 2.5 metreye (D3, Bakınız Çizelge 6.2) doğru artarken yatak çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin de arttığı görülmektedir. Durum 1'den (D1, Bakınız Çizelge 6.2) Durum 3'e (D3, Bakınız Çizelge 6.2) CO_2 gazının yüzde mol oranı değerindeki artış %1.027'dir. Buna karşılık yatak yüksekliğinin 2.5 metre olduğu Durum 3'ten (D3, Bakınız Çizelge 6.2) yatak yüksekliğinin 12 metre olduğu Durum 13'e (D13, Bakınız Çizelge 6.2) doğru gidildikçe yatak çıkış ağzında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde %0.128 kadarlık küçük bir düşüş görülmektedir.

Şekil 6.20 incelendiğinde L4 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartı altında gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin, yatak çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerine etkisinin az olduğu görülmektedir. Bu parametrik çalışmada çoğu reaksiyonun

yatağın alt bölgesinde oluşup bitmesinden dolayı yatak yüksekliğinin arttırılması CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde az değişimlere neden olduğu görülmektedir. Özellikle heterojen reaksiyonların yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar aktif olduğu daha üst bölgelerde kömür taneciklerinin çok az olmasından dolayı heterojen reaksiyon hızlarının sıfıra doğru gittiği tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonlar da yatağın alt bölgelerinde daha aktiftir. Fakat yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasındaki bölgede çok az miktarda O_2 ve H_2O_{buhar} gazları bulunmaktadır. Bu gazların etkisi ile yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında fazlaca bulunan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerinde az da olsa değişmelerin olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda ise O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının da neredeyse tamamen tükendiği tespit edilmiştir. Bu nedenle de yatak yüksekliğinin 2.5 metrelik kısmından sonra çoğu reaksiyon sona ermektedir. Sadece ileri ve geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonları (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9, R10) aktiftir. İleri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) daha aktif bir karakterde reaksiyon olmasına karşın, ortamda H_2O_{buhar} gazının ihmal edilebilecek mertebede olmasından dolayı bu reaksiyon çok yavaşlamakta buna karşılık ortamda yer alan CO_2 ve H_2 gazlarının etkisi ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) etkisi ile yatağın 2.5 metrelik kısmından sonra CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde az da olsa bir düşüş görülmektedir.

Şekil 6.17 üzerinde L4 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün değişik yatak yüksekliğine sahip kabarcıklı akışkan yataklarda gazlaştırılması ile yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Fakat Şekil 6.17 üzerinde CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin birbiri ile karşılaştırılması grafiğin ölçeğinden dolayı mümkün olmamasından dolayı Şekil 6.21 ile gazlaştırma için önemli iki gaz olan CO ve H_2 gazlarının yatağın çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi daha anlaşılır bir şekilde gösterilmektedir.

Şekil 6.21 incelendiğinde L4 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartlarında kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin



Şekil 6.21 : L4 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ve H_2 gazlarının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerlerinin karşılaştırılması.

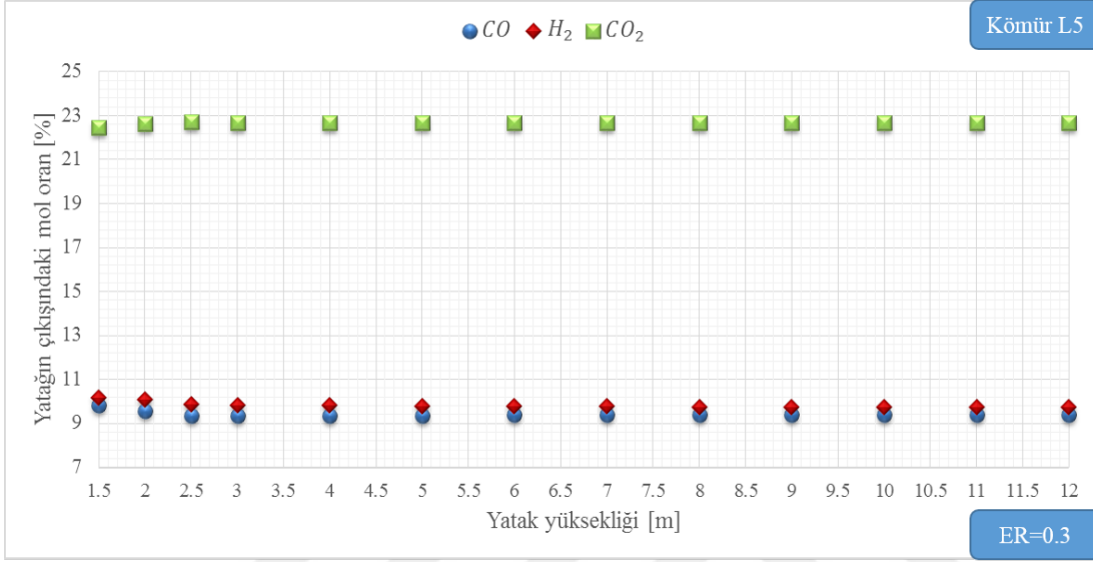
yatak yüksekliğine göre değişiminin birbiri ile karşılaştırıldığı görülmektedir. Tüm yatak yüksekliklerinde (D1-D13, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin CO gazı için hesaplanan değerlerden fazla olduğu görülmektedir. Seçilen Türk linyitlerinden L4 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için değişik yatak yüksekliklerine sahip kabarcıklı akışkan yataklarda gazlaştırılmasının parametrik çalışıldığı bu sayısal çalışmada yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplan yüzde mol oranı değerleri, CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine oranlandığında en yüksek oranın 1.104 ile Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) için ve en düşük oranın ise 1.087 ile Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) için elde edildiği görülmektedir. Tüm oranların ortalaması ise 1.093 olarak hesaplanmıştır.

6.1.5 L5 kömürü için elde edilen sonuçlar

Şimdi L5 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için elde edilen sonuçlara yer verilecektir. Değişik yatak yüksekliklerinde L5 kömürünün gazlaştırılması için üç boyutlu sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Farklı yatak yükseklikleri için yapılan sayısal çalışmaların sonucunda yatak çıkış ağzında gazlaştırma için önemli olan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri hesaplanmıştır. Seçilen Türk linyitlerinden L5 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için yapılan bu parametrik çalışmada ER değeri (equivalence ratio, ER) 0.3 değerinde sabit alınmıştır. L5 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları dikkate alınarak, yatağa 8 kg/h debisinde kömür

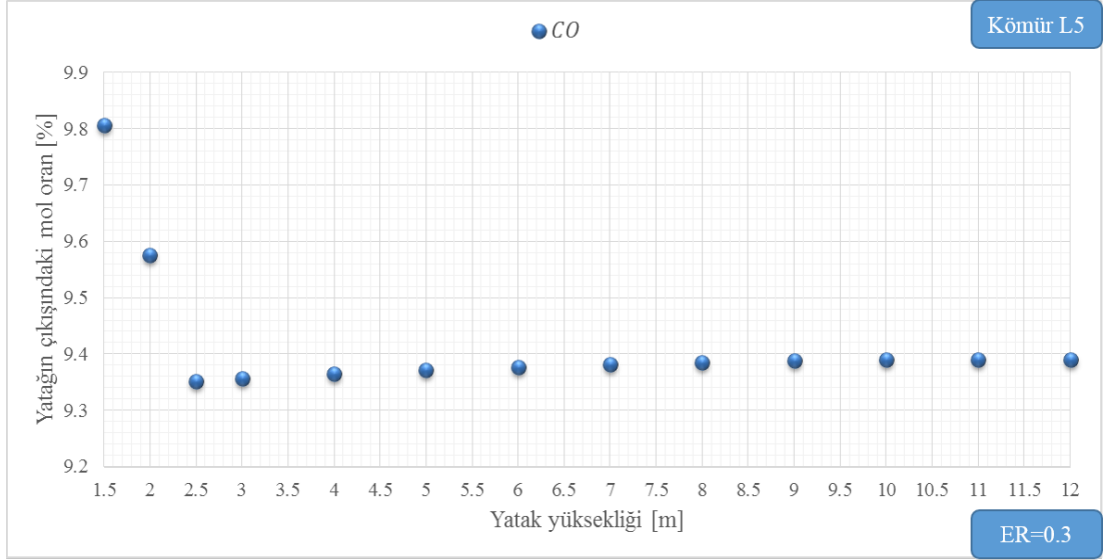
beslemesi yapılırken ER değerinin 0.3 olması için yatağa gönderilmesi gereken hava debisi 19.00 kg/h olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.22 ile L5 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün gazlaştırılmasında oluşan önemli gazlardan CO , H_2 ve CO_2 gazları için yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.22 : Yatak yüksekliğinin L5 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.

Şekil 6.22 incelendiğinde kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 çalışma koşulları (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) altında yatak yüksekliğinin, yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisinin az olduğu görülmektedir. İlk incelemede CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin 9 ile 11 arasında olduğu ve CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin 23 mertebesinde olduğu görülmektedir. Şekil 6.22 ile L5 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün yatak yüksekliği farklı olan gazlaştırıcılarda gazlaştırılması ile elde edilen CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkış ağzındaki yüzde mol oranı değerleri birlikte gösterilerek parametrik çalışmanın sonuçları ile ilgili genel bir fikir elde edilmesi amaçlanmıştır. Şimdi ise her bir gaz (CO , H_2 ve CO_2) için yatağın çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi inceleyecektir. Bu nedenle öncelikle CO gazı için ayrıntılı bilgi verilecektir. Şekil 6.23 ile değişik yatak yükseklikleri için yapılan sayısal çalışmalar sonucunda yatak çıkış ağzında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir.



Şekil 6.23 : L5 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen *CO* gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

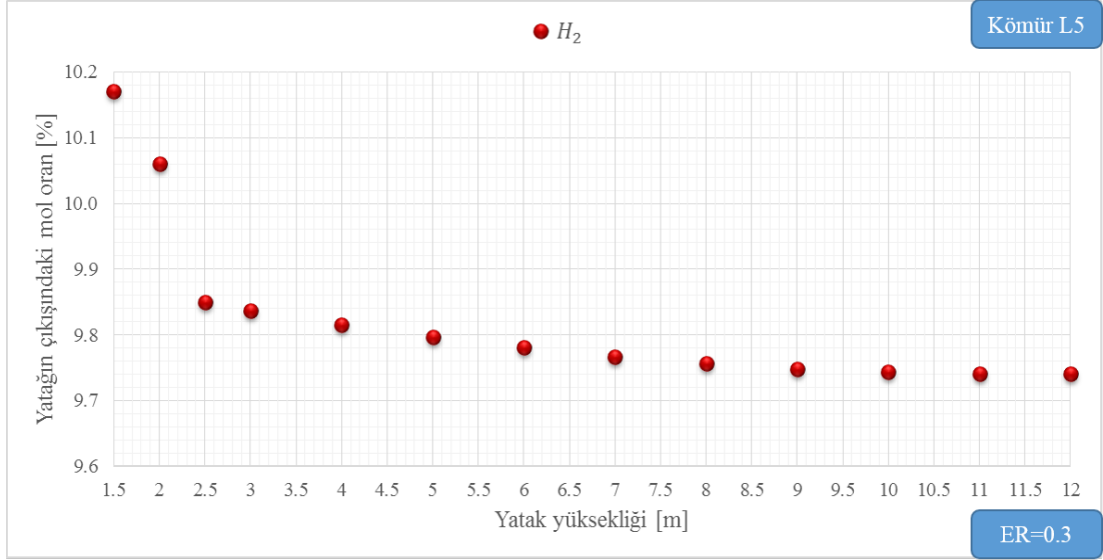
Şekil 6.23 incelendiğinde yatak yüksekliği 1.5 metre olduğu durumda (D1, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında *CO* gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerı 9.81 ile en yüksek değere sahiptir. Yatak yüksekliği 2.5 metre (D3, Bakınız Çizelge 6.2) olduğunda ise yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerı 9.35 ile en düşük değere ulaşmaktadır. En yüksek değer, en düşük değerden %4.862 daha fazladır. Tüm durumlar için (D1-D13, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında *CO* gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 9.42'dir. Bu değer Deney 1'de (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yer alan yatak geometrisi (Durum 2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen 9.57 değerinden %1.564 daha azdır. Ayrıca Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değer Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen en yüksek değerden %2.367 daha az iken Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen en düşük değerden %2.380 daha fazladır. Yatak yüksekliği 1.5 metreden 2.5 metreye doğru artarken *CO* gazının yüzde mol oranı değerinin %4.637 azaldığı tespit edilmiştir. Buna karşılık yatak yüksekliği 2.5 metreden 12 metreye doğru arttıkkça yatağın çıkışında *CO* gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde %0.411 ile az bir artış görölmektedir.

Kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1'in (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartlarında yapılan bu parametrik çalışmada çoğu reaksiyonun yatağın alt bölgesinde oluşup bitmesinden dolayı yatak yüksekliğinin arttırılması *CO* gazının yüzde mol oranı değerinde az değişimlere neden olmaktadır. Özellikle heterojen reaksiyonların yatağın

1.5 metrelik kısmına kadar aktif olduğu daha üst bölgelerde kömür taneciklerinin çok az olmasından dolayı heterojen reaksiyon hızlarının sıfıra doğru gittiği tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonlar da yatağın alt bölgelerinde daha aktiftir. Fakat yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasındaki bölgede çok az miktarda O_2 ve H_2O_{buhar} gazları bulunmaktadır. Bu gazların etkisi ile yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında fazlaca bulunan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerinde az da olsa değişmelerin olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda ise O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının da neredeyse tamamen tükendiği tespit edilmiştir. Bu nedenle de yatak yüksekliğinin 2.5 metrelik kısmından sonra çoğu reaksiyon sona ermektedir. Sadece ileri ve geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonları (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9, R10) aktiftir. İleri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) daha aktif bir karakterde reaksiyon olmasına karşın ortamda H_2O_{buhar} gazının ihmal edilebilecek mertebede olmasından dolayı bu reaksiyon çok yavaşlamakta buna karşılık ortamda yer alan CO_2 ve H_2 gazlarının etkisi ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) etkisi ile yatağın 2.5 metrelik kısmından sonra CO gazının yüzde mol oranı değerinde az da olsa bir artış gözlenmektedir.

Kömürün gazlaştırılmasında elde edilen diğer önemli bir gaz ise H_2 gazıdır. L5 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.24 ile yatağın çıkış ağzında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir. Böylece H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin daha anlaşılır olması hedeflenmektedir.

Şekil 6.24 incelendiğinde yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan en yüksek yüzde mol oranı değeri 10.17 ile yatak yüksekliğinin 1.5 metre olduğu durumda görülmektedir. Hesaplanan en düşük değer ise 9.74 ile yatak yüksekliğinin 12 metre olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. En yüksek değer, en düşük değerden %4.420 daha fazladır. Deney 1'deki (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yatak yüksekliğinin kullanıldığı Durum 2 (Bakınız Çizelge 6.2) koşulu altında yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri ise 10.06'dır. Yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu durumda (D2, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı



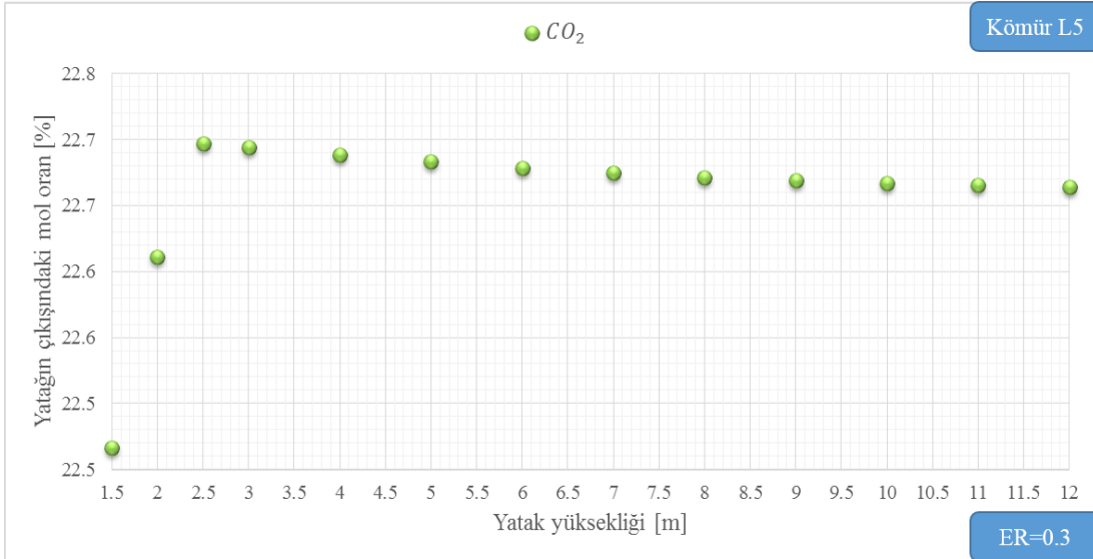
Şekil 6.24 : L5 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen H_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

değeri, Durum 1 (Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen en yüksek değerden %1.079 daha azdır. Buna karşılık yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu durum (D2, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değer, hesaplamalar arasında en düşük değer elde edildiği Durum 13 (D13, Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değerden %3.294 daha fazladır. L5 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada toplam 13 durum (Bakınız Çizelge 6.2) için yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerin ortalaması 9.83'tür. Elde edilen bu ortalama değer Deney 1'deki (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yatak yüksekliğini temsil eden Durum 2 (Bakınız Çizelge 6.2) ile elde edilen değerden %2.283 daha azdır. Şekil 6.24 incelendiğinde kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartları altında yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde azalma olduğu görülmektedir. Fakat bu azalmanın düşük mertebede olduğunu vurgulamak gerekir.

Deney 1 sınır şartlarında (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yapılan bu sayısal çalışmada yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar aktif olan heterojen reaksiyonların yatağın üst bölgesinde kömür taneciklerinin olmamasından dolayı aktifliklerini yitirmiş olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonların da yatağın alt bölgesinde daha aktif olduğu ve yatağın 1.5 metre ile 2.5 metre arasındaki bölgesinde ise az da olsa var olan O_2 ve H_2O_{buhar} gazları nedeni ile aktiflikleri devam ettirebildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında H_2 gazının O_2 gazı ile yanması

ile su buharı oluşmakta ve yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde azalma görülmektedir. Buna karşılık yatağın 2.5 metresinden sonra ihmal edilebilecek mertebede O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının bulmasına rağmen bol miktarda CO , H_2 ve CO_2 gazlarının olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda CO , H_2 ve CO_2 gazlarının bulunması ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) aktif hale gelmektedir. Bu reaksiyonun aktif olması ile yatağın üst kısımlarında H_2 gazının yüzde mol oranı değeri azalmaktadır. Ancak geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) yavaş bir reaksiyon olmasından dolayı Şekil 6.24 ile görüldüğü gibi H_2 gazının yatak çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerindeki azalmanın düşük olduğu görülmektedir.

Kömürün gazlaştırılmasında elde edilen diğer bir gaz ise CO_2 gazıdır. L5 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.25 ile yatağın çıkış ağzında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmektedir. Böylece CO_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin daha anlaşılır olması hedeflenmektedir.



Şekil 6.25 : L5 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranının yatak yüksekliğine göre değişimi.

Şekil 6.25 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan en yüksek yüzde mol oranı değeri 22.70 ile Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) için elde edilmektedir.

Buna karşılık tüm durumlar arasından yatağın çıkışında CO_2 gazı için en düşük yüzde mol oranı değeri 22.47 ile yatak yüksekliğinin 1.5 metre olduğu Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) geometrisinde hesaplanmaktadır. Hesaplanan en yüksek değer en düşük değerden %1.028 daha fazladır. Yatak yüksekliğinin 2 metre olduğu Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) Deney 1 (Bakınız Bölüm 4.1, sayfa 62) için kullanılan yatak geometrisi ile aynıdır ve Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) için yatağın çıkışında CO_2 gazının yüzde mol oranı değeri 22.61 olarak hesaplanmaktadır. Bu değer Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) ile hesaplanan en yüksek değerden %0.379 daha düşük iken Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) ile hesaplanan en düşük değerden ise %0.645 daha yüksektir. L5 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatak kullanılarak gazlaştırılmasında yatak yüksekliği etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada tüm yatak yüksekliklerinde CO_2 gazı için yatak çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 22.66'dır. Bu ortalama değer Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) geometrisini temsil eden Durum 2 (D2, Bakınız Çizelge 6.2) için hesaplanan değerden %0.199 daha yüksektir.

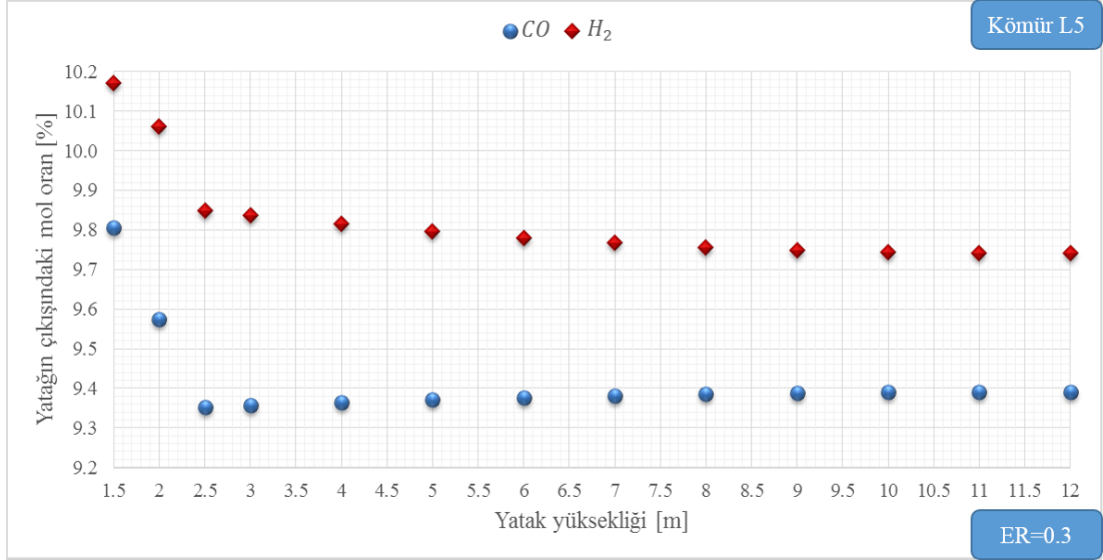
Şekil 6.25 incelendiğinde yatak yüksekliği 1.5 metreden (D1, Bakınız Çizelge 6.2) 2.5 metreye (D3, Bakınız Çizelge 6.2) doğru artarken yatak çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin de arttığı görülmektedir. Durum 1'den (D1, Bakınız Çizelge 6.2) Durum 3'e (D3, Bakınız Çizelge 6.2) CO_2 gazının yüzde mol oranı değerindeki artış %1.028'dir. Buna karşılık yatak yüksekliğinin 2.5 metre olduğu Durum 3'ten (D3, Bakınız Çizelge 6.2) yatak yüksekliğinin 12 metre olduğu Durum 13'e (D13, Bakınız Çizelge 6.2) doğru gidildikçe yatak çıkış ağzında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinde %0.145 kadarlık küçük bir düşüş görülmektedir.

Şekil 6.25 incelendiğinde L5 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartı altında gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin, yatak çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerine etkisinin az olduğu görülmektedir. Bu parametrik çalışmada çoğu reaksiyonun yatağın alt bölgesinde oluşup bitmesinden dolayı yatak yüksekliğinin artırılması CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde az değişimlere neden olduğu görülmektedir. Özellikle heterojen reaksiyonların yatağın 1.5 metrelik kısmına kadar aktif olduğu daha üst bölgelerde kömür taneciklerinin çok az olmasından dolayı heterojen reaksiyon

hızlarının sıfıra doğru gittiği tespit edilmiştir. Ayrıca homojen reaksiyonlar da yatağın alt bölgelerinde daha aktiftir. Fakat yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasındaki bölgede çok az miktarda O_2 ve H_2O_{buhar} gazları bulunmaktadır. Bu gazların etkisi ile yatağın 1.5 metresi ile 2.5 metresi arasında fazlaca bulunan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerinde az da olsa değişmelerin olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın yatak yüksekliğinin 2.5 metreden daha fazla olduğu durumlarda ise O_2 ve H_2O_{buhar} gazlarının da neredeyse tamamen tükendiği tespit edilmiştir. Bu nedenle de yatak yüksekliğinin 2.5 metrelik kısmından sonra çoğu reaksiyon sona ermektedir. Sadece ileri ve geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonları (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9, R10) aktiftir. İleri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) daha aktif bir karakterde reaksiyon olmasına karşın, ortamda H_2O_{buhar} gazının ihmal edilebilecek mertebede olmasından dolayı bu reaksiyon çok yavaşlamakta buna karşılık ortamda yer alan CO_2 ve H_2 gazlarının etkisi ile geri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R10) etkisi ile yatağın 2.5 metrelik kısmından sonra CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde az da olsa bir düşüş görülmektedir.

Şekil 6.22 üzerinde L5 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürünün değişik yatak yüksekliğine sahip kabarcıklı akışkan yataklarda gazlaştırılması ile yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Fakat Şekil 6.22 üzerinde CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin birbiri ile karşılaştırılması grafiğinin ölçeğinden dolayı mümkün olmamasından dolayı Şekil 6.26 ile gazlaştırma için önemli iki gaz olan CO ve H_2 gazlarının yatağın çıkış ağzında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi daha anlaşılır bir şekilde gösterilmektedir.

Şekil 6.26 incelendiğinde L5 (Bakınız Çizelge 5.3) kömürü için Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) sınır şartlarında kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişiminin birbiri ile karşılaştırıldığı görülmektedir. Tüm yatak yüksekliklerinde (D1-D13, Bakınız Çizelge 6.2) yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin CO gazı için hesaplanan değerlerden fazla olduğu görülmektedir. Seçilen Türk linyitlerinden L5 (Bakınız Çizelge



Şekil 6.26 : L5 kömürünün gazlaştırılması ile elde edilen CO ve H_2 gazlarının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerlerinin karşılaştırılması.

5.3) kömürü için değişik yatak yüksekliklerine sahip kabarcıklı akışkan yataklarda gazlaştırılmasının parametrik çalışıldığı bu sayısal çalışmada yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplan yüzde mol oranı değerleri, CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine oranlandığında en yüksek oranın 1.053 ile Durum 3 (D3, Bakınız Çizelge 6.2) için ve en düşük oranın ise 1.037 ile Durum 1 (D1, Bakınız Çizelge 6.2) için elde edildiği görülmektedir. Tüm oranların ortalaması ise 1.043 olarak hesaplanmıştır.

6.2 Çalışma Debilerinin Türk Linyitlerinin Gazlaştırılmasına Etkisi

Bu bölümde seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) gazlaştırılmasında çalışma debilerinin etkisi araştırılmıştır. Yatak geometrisi olarak birinci karşılaştırma (Bakınız Bölüm 4.1, sayfa 62) ile belirtilen deneydeki yatak geometrisi (yatak çapı: 0.22 m ve yatak yüksekliği: 2 m) aynen kullanılmıştır. Yatağın üç boyutlu zamana bağlı HAD analizi yapılarak çalışma debilerinin seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasına etkileri ortaya konulmuştur.

Çalışma debileri başlığı altında toplanan parametrik çalışmalarda iki alt başlık bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranının gazlaştırmaya etkilerinin incelendiği alt başlıklardır. Gazlaştırma için önemli olan bu iki oranın seçilen 5 farklı Türk linyitinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) gazlaştırılmasına etkileri kapsamlı bir şekilde

araştırılmıştır. Aşağıdaki alt başlıklarda sırasıyla eşdeğerlik ve Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranları ile ilgili parametrik çalışmaların detaylı anlatımı ve sonuçları yer almaktadır.

Gazlaştırma çalışmaları için literatür araştırması yapıldığında eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranı için değişik çalışma aralıkları olduğu görülmektedir. Literatür araştırmasında karşılaşılan bu çalışma aralıkları Çizelge 6.3 ile özetlenmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda eşdeğerlik oranları (equivalence ratio, ER) incelendiğinde bu oranın en düşük 0.1, en yüksek 0.66 olduğu görülmektedir. Ayrıca Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranlarına bakıldığından en düşük 0 iken en yüksek 4 olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.3 : Gazlaştırma çalışmalarında kullanılan çalışma debi oranları ile ilgili özet bilgi.

Kaynak	Hava/Yakıt debisi [kg/kg]	Oksijen/Yakıt debisi [kg/kg]	Su buharı/Yakıt debisi [kg/kg]	ER
[63]	2.65-4.22	-	0-0.82	-
[120]	1.41-1.98	-	-	0.23-0.33
[120]	-	0.28	0.065	0.21
[118]	1.13-1.29	-	0-0.1	-
[49]	2.13-3.55	-	0.575-0.61	-
[10]	-	-	-	0.13-0.66
[134]	-	-	-	0.3-0.38
[12]	-	-	0.75-2	-
[59]	-	-	0-1.5	-
[7]	-	-	0-4	0.19-0.27
[58]	-	-	1.3-2.7	0.21-0.25
[135]	-	-	0.32-0.52	0.29-0.39
[136]	-	-	0.3-1.2	0.1-0.5
[137]	-	-	-	0.21-0.38
[138]	-	-	-	0.15-0.45
[3]	-	0.801-1.1	0.24-0.5	-
[139]	2.53-2.69	-	0.38	0.33-0.34
[140]	-	0.3-0.55	0.3-0.8	-

Seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatak geometrisi kullanılarak yapılan ve çalışma debileri ile ilgili olan bu parametrik çalışmalarda eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) aralığı 0.1-0.6 şeklinde seçilmiştir. Buna karşılık Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg aralığı olarak ise 0.1-2.0 seçilmiştir.

Eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) ile ilgili parametrik çalışmalar yapılırken Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranı 0.575 değerinde sabit alınmıştır. Diğer deyişle

Su-Buharı/Kömür debisi oranı, karşılaştırma yapılan Deney 1’de (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) yer alan değer ile aynı alınmıştır. Buna karşılık Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranı ile ilgili yapılan parametrik çalışmalarda ise eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) 0.3 değerinde sabit alınmıştır. Bu değer de aynı Su-Buharı/Kömür debisi oranında olduğu gibi, Deney 1’de yer alan değer ile aynıdır.

6.2.1 Eşdeğerlik oranının Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisi

Eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasına etkisini araştırmak amacı ile her bir Türk linyitinin kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dikkate alınarak ER değerleri hesaplanmış ve parametrik çalışma için durumlar elde edilmiştir. Eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) ile ilgili olan tüm parametrik çalışmalarda ER aralığı 0.1-0.6 şeklinde seçilmiştir. Eşdeğerlik oranının incelendiği parametrik çalışmalarda kömür debisi 8 kg/h ve su buharı debisi 4.6 kg/h olarak alınmıştır. Bu debiler Deney 1 (Bakınız Bölüm 4.1, Çizelge 4.1) koşulundaki debiler ile birebir aynıdır. Eşdeğerlik oranı hesaplanırken kömürün içindeki karbon, oksijen, hidrojen gibi bileşenlerin kütle oranının önemi vardır. Kömürün kesin analizine göre tam yanma için gerekli hava miktarı (stokiyometrik hava miktarı) hesaplanmakta ve bu değer eşdeğerlik oranı ile çarpılarak gazlaştırma için yatağa gönderilen hava miktarı elde edilmektedir. Seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları farklılık göstermesinden dolayı her bir kömür için tam yanma için gerekli hava miktarı farklılık göstermektedir. Bu farklılıktan dolayı da aynı eşdeğerlik oranını elde edebilmek için her bir kömür tipi için yatağa farklı debilerde hava gönderilmektedir. Bu nedenle her bir kömür için eşdeğerlik oranı ile ilgili parametrik çalışma durumları ayrı ayrı çizelgelerde gösterilecektir.

6.2.1.1 L1 kömürü için elde edilen sonuçlar

Seçilen Türk linyitlerinden (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) L1 kömürü için ER değerleri ile ilgili olan parametrik çalışma durumları Çizelge 6.4 ile gösterilmektedir. Çizelge 6.4 incelediğinde eşdeğerlik oranının etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada 17 durumun seçildiği görülmektedir. Eşdeğerlik oranı en düşük 0.10 ve en

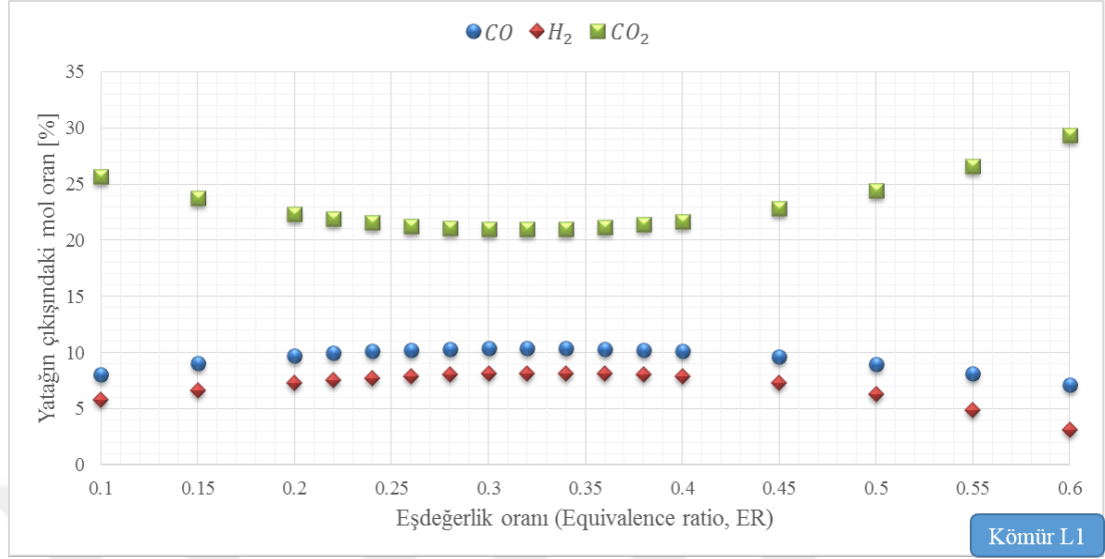
Çizelge 6.4 : L1 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	ER* [-]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]
D1	0.10	8	5.91	4.6	0.74	0.575
D2	0.15	8	8.87	4.6	1.11	0.575
D3	0.20	8	11.83	4.6	1.48	0.575
D4	0.22	8	13.01	4.6	1.63	0.575
D5	0.24	8	14.19	4.6	1.77	0.575
D6	0.26	8	15.37	4.6	1.92	0.575
D7	0.28	8	16.56	4.6	2.07	0.575
D8	0.30	8	17.74	4.6	2.22	0.575
D9	0.32	8	18.92	4.6	2.37	0.575
D10	0.34	8	20.11	4.6	2.51	0.575
D11	0.36	8	21.29	4.6	2.66	0.575
D12	0.38	8	22.47	4.6	2.81	0.575
D13	0.40	8	23.65	4.6	2.96	0.575
D14	0.45	8	26.61	4.6	3.33	0.575
D15	0.50	8	29.57	4.6	3.70	0.575
D16	0.55	8	32.52	4.6	4.07	0.575
D17	0.60	8	35.48	4.6	4.43	0.575
*	Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)					

yüksek 0.60 alınmıştır. Gazlaştırma için farklı ER değerleri için literatürde çalışmalar yapılmıştır (Bakınız Çizelge 6.3). Bu çalışmalar dikkate alınarak ER çalışma aralığı seçilmiştir. Ayrıca gazlaştırma için literatürdeki çalışmalarda ER değeri için sıklıkla karşılaşılan çalışma aralığının 0.20 ile 0.40 arasında olmasından dolayı bu aralıkta ER değeri 0.02 arttırılarak inceleme yapılmıştır. Buna ek olarak Çizelge 6.4 ile yatağa gönderilen hava debisinin kömür debisine oranına da yer verilmiştir. Çünkü literatürdeki bazı çalışmalarda ER değeri yerine Hava/Kömür debisi oranı *kg/kg* kullanılmıştır. Örnek olarak Esmaili ve diğ. [47] tarafından yapılan sayısal çalışmada (Bakınız Bölüm 4.1.3, sayfa 69) Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) koşulları için hava debisinin kömür debisine oranı 1.70 ile 3.20 arasında incelenmiştir. Doktora kapsamında yapılan parametrik çalışmalarda ise Hava/Kömür debisi oranı *kg/kg* daha geniş bir aralıkta incelenmiştir.

Çizelge 6.4 incelendiğinde Durum 8 (D8) ile adlandırılan parametrik çalışmanın, birinci karşılaştırmada (Bakınız Bölüm 4.1, sayfa 62) yer alan Deney 1'in (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) ER değeri ile aynı değere sahip olduğu görülmektedir. Bu parametrik çalışmada yer alan 17 durum için L1 Türk linyiti (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kullanılarak çözümlenmeler yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Böylece L1 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında ER değerinin etkisi araştırılmış ve gazlaştırma sonucu oluşan CO , H_2 ve CO_2 gazları için yatağın çıkışında elde edilen mol oranı değerlerinin ER değeri ile değişimi ortaya konulmuştur.

Şekil 6.27 ile ER değerlerine göre yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

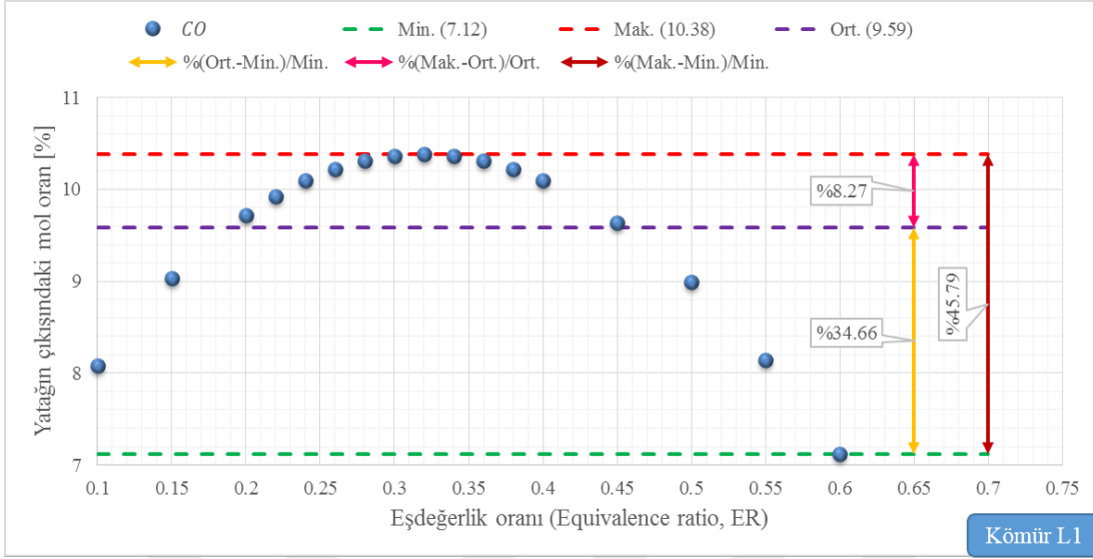


Şekil 6.27 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranının etkisi.

Şekil 6.27 incelendiğinde ER değeri 0.10'dan 0.32'ye doğru artar iken yatağın çıkış ağzında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı buna karşılık CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. ER değerinin 0.32'den daha büyük olduğu durumda ise yatağın çıkış ağzında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinde azalma, CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde ise artma olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının 0.32 mertebesinde düşük olduğu durumlarda yatak içindeki gazlaştırma reaksiyonları yanma reaksiyonlarına göre daha aktif olmaktadır. Çünkü ER değerinin düşük olması yataktaki oksijen miktarının da düşük olması anlamına gelmektedir. Eşdeğerlik oranının belli bir değerden fazla olması ise gazlaştırma reaksiyonlarının yerine yanma reaksiyonlarının daha aktif olmasına neden olmaktadır. Eşdeğerlik oranının artması yataktaki oksijen miktarını da arttırdığından yanma reaksiyonlarını hızlandırmaktadır.

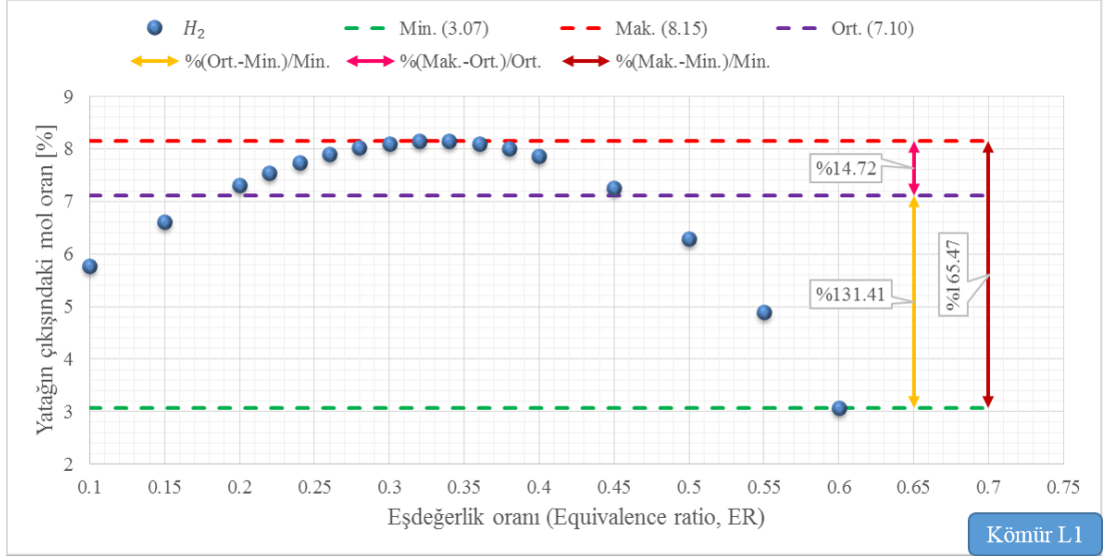
Şekil 6.27 ile ER değerinin L1 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılması sonucu oluşan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi toplu halde gösterilmiştir. Şimdi sırası ile ER değerinin yatağın çıkışında hesaplanan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı şekillerde gösterilecek ve yorumlanacaktır. Şekil 6.28 ile L1 kömürünün kabarcıklı akışkan

yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



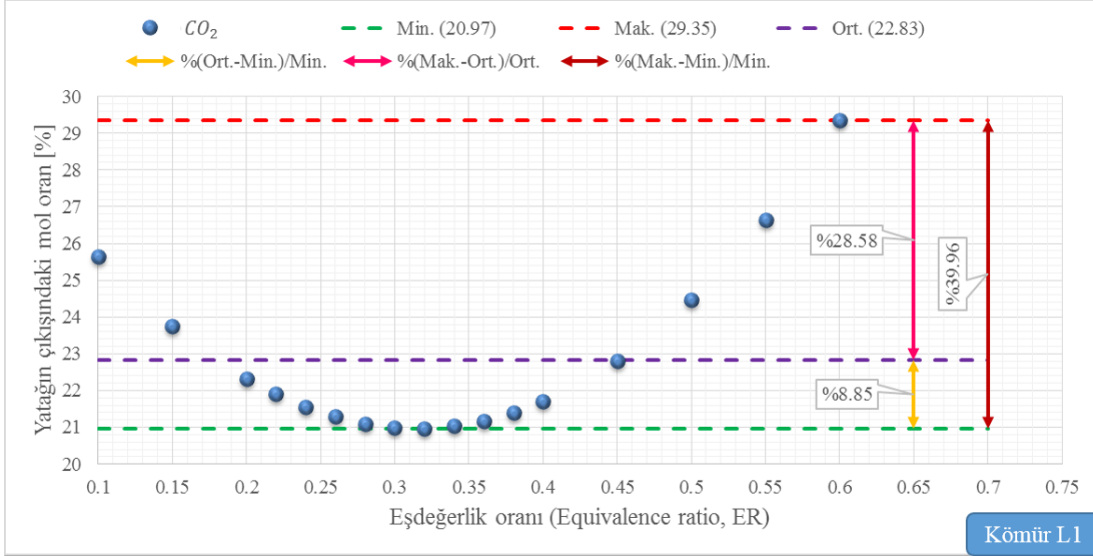
Şekil 6.28 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 6.28 incelendiğinde yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan en düşük yüzde mol oranı değeri 7.12 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda görülmektedir. Buna karşılık ER değerinin 0.32 olduğu durumda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 10.38 ile en yüksek değere sahiptir. Toplam 17 farklı ER değeri için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 9.59 değerindedir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değeri 34.66 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 8.27 değerine sahiptir. Ayrıca en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 45.79 değerindedir. L1 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında ER değerinin etkisi incelenmiş ve ER değerinin 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı ve ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile CO gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 6.29 ile L1 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.29 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 6.29 incelendiğinde L1 kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yapılan çözümlelerde ER değerinin 0.60 olduğu durumda H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin 3.07 ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık en yüksek değer 8.15 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. Sayısal analiz ile H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 7.10 değerindedir. Yapılan hesaplamalarda ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değerinin 131.41 olduğu görülmektedir. Buna karşılık ortalama değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark 14.72 olarak hesaplanmıştır. Son olarak en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl farkın ise 165.47 olduğu görülmektedir. L1 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında ER değerinin etkisi incelenmiş ve ER değerinin 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı ve ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Gazlaştırma için diğer bir önemli gaz ise CO_2 gazıdır. L1 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ER değeri ile değişimi Şekil 6.30 ile gösterilmektedir.



Şekil 6.30 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 6.30 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için sayısal analiz ile elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en düşük olan değer 20.97 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda oluşmaktadır. En yüksek değer ise 29.35 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda meydana gelmektedir. L1 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 22.83 değerindedir. Sayısal analiz sonucu elde edilen en düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 8.85'dir. Ayrıca ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri ise 28.58'dir. Son olarak L1 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında sayısal analiz sonuçları ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en yüksek olanı ile en düşük olanı arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 39.96'dır. L1 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılması ile oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Eşdeğerlik oranının 0.10 ile 0.32 olduğu aralıkta CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri gazlaştırma reaksiyonlarının etkisi ile artarken CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı buna karşılık eşdeğerlik oranının 0.32'den fazla olduğu durumlarda ise yataktaki oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlanmakta olduğu ve bu nedenle de CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı buna karşın CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir.

6.2.1.2 L2 kömürü için elde edilen sonuçlar

Eşdeğerlik oranının seçilen Türk linyitlerinden ikincisi olan L2 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin incelendiği bu parametrik çalışmada toplam 17 durum göz önüne alınmıştır. Parametrik çalışmalar için seçilen bu 17 durumun bilgisi Çizelge 6.5 ile verilmektedir.

Çizelge 6.5 : L2 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.

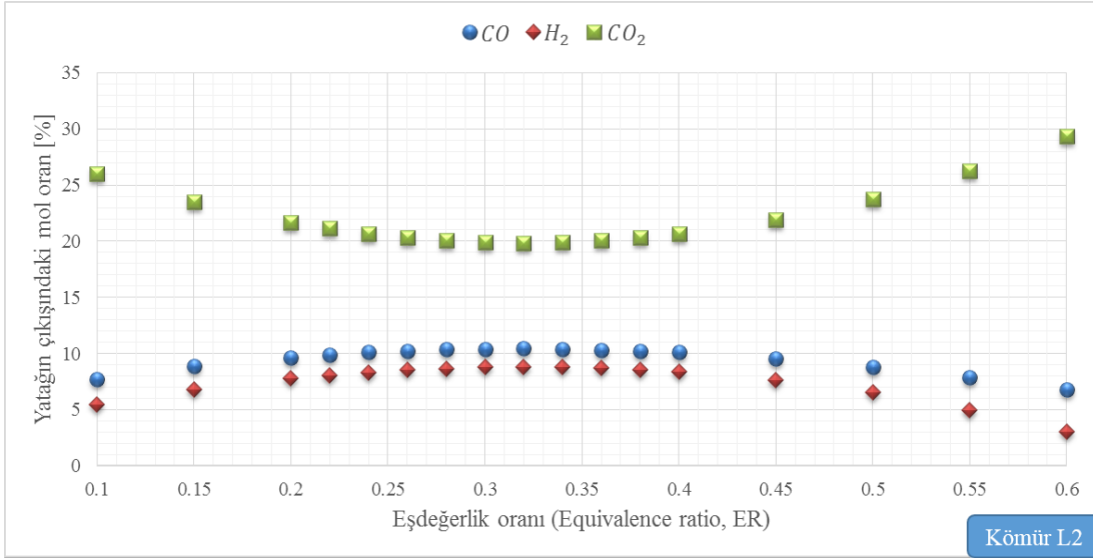
Durumlar	ER* [-]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]
D1	0.10	8	7.23	4.6	0.90	0.575
D2	0.15	8	10.85	4.6	1.36	0.575
D3	0.20	8	14.46	4.6	1.81	0.575
D4	0.22	8	15.91	4.6	1.99	0.575
D5	0.24	8	17.36	4.6	2.17	0.575
D6	0.26	8	18.80	4.6	2.35	0.575
D7	0.28	8	20.25	4.6	2.53	0.575
D8	0.30	8	21.70	4.6	2.71	0.575
D9	0.32	8	23.14	4.6	2.89	0.575
D10	0.34	8	24.59	4.6	3.07	0.575
D11	0.36	8	26.03	4.6	3.25	0.575
D12	0.38	8	27.48	4.6	3.44	0.575
D13	0.40	8	28.93	4.6	3.62	0.575
D14	0.45	8	32.54	4.6	4.07	0.575
D15	0.50	8	36.16	4.6	4.52	0.575
D16	0.55	8	39.77	4.6	4.97	0.575
D17	0.60	8	43.39	4.6	5.42	0.575

*: Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

Parametrik çalışma kapsamında eşdeğerlik oranı aralığı 0.1-0.6 olarak seçilmiştir. Eşdeğerlik oranı ve kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı çarpılarak yatağa gönderilen hava debisi hesaplanmaktadır. L2 kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı ise L2 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) değerleri (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kullanılarak hesaplanmaktadır.

L1 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranı (ER) etkisinin araştırılmasından sonra seçilen diğer bir Türk linyiti olan L2 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için de benzer sayısal çalışmalar yapılmıştır. Şekil 6.31 ile ER değerine göre yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

Şekil 6.31 incelendiğinde ER değeri 0.10 ile 0.32 arasında iken yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı buna karşılık CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. ER değerinin 0.32'den daha büyük olduğu durumlarda ise yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinde azalma, CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde ise

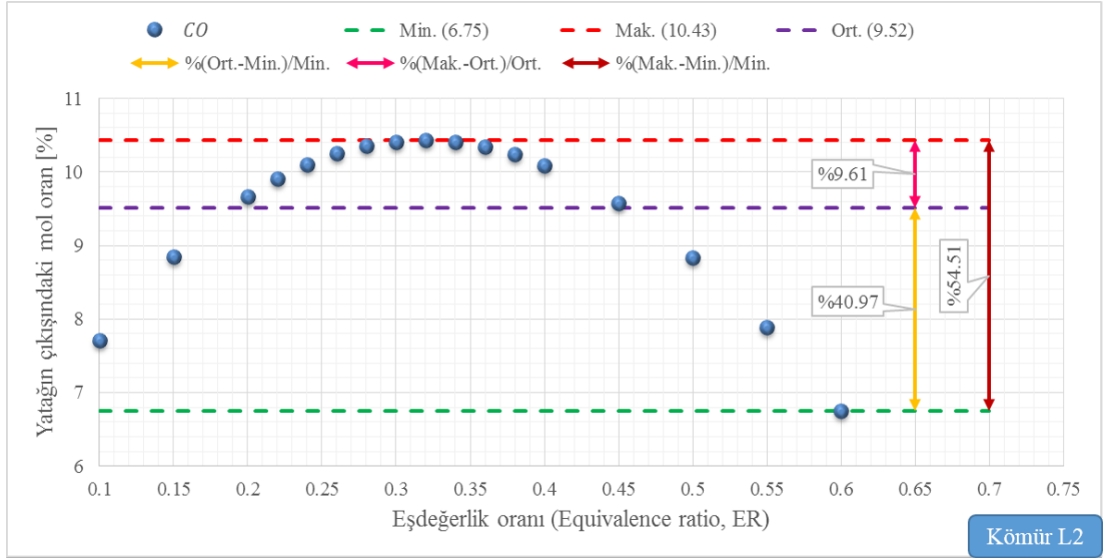


Şekil 6.31 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranının etkisi.

artma olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının 0.32 mertebesinde düşük olduğu durumlarda yatak içindeki gazlaştırma reaksiyonları yanma reaksiyonlarına göre daha aktif olmaktadır. Çünkü ER değerinin düşük olması yataktaki oksijen miktarının da düşük olması anlamına gelmektedir. Eşdeğerlik oranının belli bir değerden fazla olması ise gazlaştırma reaksiyonlarının yerine yanma reaksiyonlarının daha aktif olmasına neden olmaktadır. Eşdeğerlik oranının artması yataktaki oksijen miktarının da artması anlamına geldiğinden yanma reaksiyonlarını hızlandırmaktadır.

Şekil 6.31 ile ER değerinin L2 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılması sonucu oluşan CO, H₂ ve CO₂ gazlarının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi toplu halde gösterilmiştir. Şimdi sırası ile ER değerinin yatağın çıkışında hesaplanan CO, H₂ ve CO₂ gazlarının yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı şekillerde gösterilecek ve yorumlanacaktır. Şekil 6.32 ile L2 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.

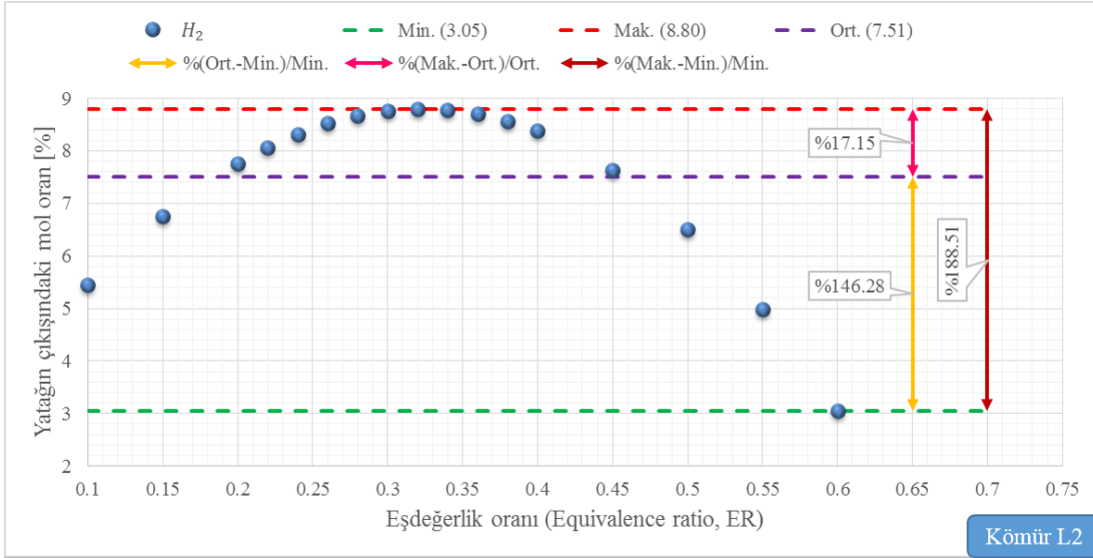
Şekil 6.32 incelendiğinde yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan en düşük yüzde mol oranı değeri 6.75 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda görülmektedir. Buna karşılık ER değerinin 0.32 olduğu durumda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 10.43 ile en yüksek değere sahiptir. Toplam 17 farklı ER değeri için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 9.52 değerindedir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark



Şekil 6.32 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

değeri 40.97 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 9.61 değerine sahiptir. Ayrıca en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 54.51 değerindedir. L2 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında ER değerinin etkisi incelenmiş ve ER değerinin 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı ve ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile CO gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Gazlaştırma için diğer önemli bir gaz ise H_2 gazıdır. Şekil 6.33 ile L2 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.

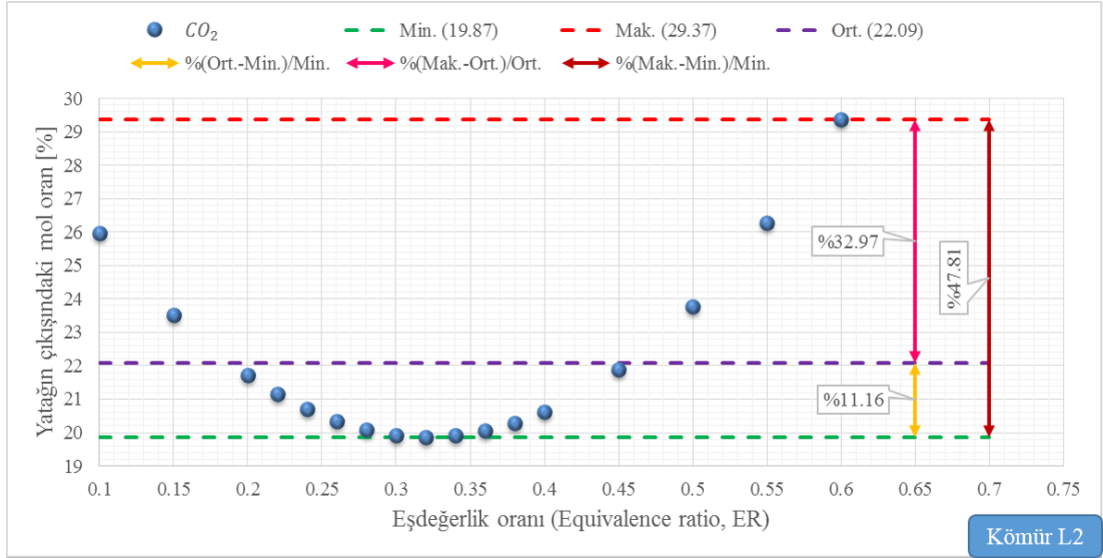
Şekil 6.33 incelendiğinde L2 kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yapılan çözümlerinde ER değerinin 0.60 olduğu durumda H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin 3.05 ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık en yüksek değer 8.80 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. Sayısal analiz ile H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 7.51 değerindedir. Yapılan hesaplamalarda ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değerinin 146.28 olduğu görülmektedir. Buna karşılık ortalama değer ile en



Şekil 6.33 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark 17.15 olarak hesaplanmıştır. Son olarak en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl farkın ise 188.51 olduğu görülmektedir. L2 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında ER değerinin etkisi incelenmiş ve ER değerinin 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı ve ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Gazlaştırma için diğer bir önemli gaz ise CO_2 gazıdır. L2 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ER değeri ile değişimi Şekil 6.34 ile gösterilmektedir.

Şekil 6.34 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için sayısal analiz ile elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en düşük olan değer 19.87 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda oluşmaktadır. En yüksek değer ise 29.37 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda meydana gelmektedir. L2 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 22.09 değerindedir. Sayısal analiz sonucu elde edilen en düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 11.16'dir. Ayrıca ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri ise 32.97'dir. Son olarak L2 kömürünün kabarcıklı akışkan



Şekil 6.34 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında sayısal analiz sonuçları ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en yüksek olanı ile en düşük olanı arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 47.81'dir. L2 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılması ile oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Eşdeğerlik oranının 0.10 ile 0.32 olduğu aralıkta CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri gazlaştırma reaksiyonlarının etkisi ile artarken CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı buna karşılık eşdeğerlik oranının 0.32'den fazla olduğu durumlarda ise yataktaki oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlanmakta olduğu ve bu nedenle de CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı buna karşın CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir.

6.2.1.3 L3 kömürü için elde edilen sonuçlar

Eşdeğerlik oranının seçilen Türk linyitlerinden üçüncüsü olan L3 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin incelendiği bu parametrik çalışmada toplam 17 durum göz önüne alınmıştır. Parametrik çalışmalar için seçilen bu 17 durumun bilgisi Çizelge 6.6 ile verilmektedir.

Parametrik çalışma kapsamında eşdeğerlik oranı aralığı 0.1-0.6 olarak seçilmiştir. Eşdeğerlik oranı ve kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı çarpılarak yatağa gönderilen hava debisi hesaplanmaktadır. L3 kömürünün tam yanması için

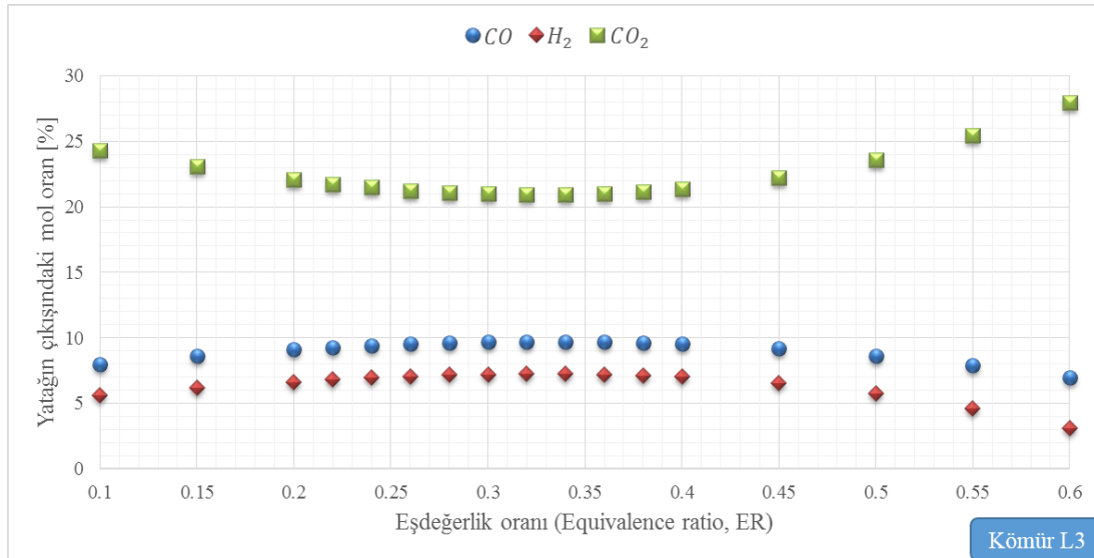
Çizelge 6.6 : L3 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	ER* [-]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]
D1	0.10	8	6.59	4.6	0.82	0.575
D2	0.15	8	9.88	4.6	1.24	0.575
D3	0.20	8	13.18	4.6	1.65	0.575
D4	0.22	8	14.49	4.6	1.81	0.575
D5	0.24	8	15.81	4.6	1.98	0.575
D6	0.26	8	17.13	4.6	2.14	0.575
D7	0.28	8	18.45	4.6	2.31	0.575
D8	0.30	8	19.76	4.6	2.47	0.575
D9	0.32	8	21.08	4.6	2.64	0.575
D10	0.34	8	22.40	4.6	2.80	0.575
D11	0.36	8	23.72	4.6	2.96	0.575
D12	0.38	8	25.03	4.6	3.13	0.575
D13	0.40	8	26.35	4.6	3.29	0.575
D14	0.45	8	29.64	4.6	3.71	0.575
D15	0.50	8	32.94	4.6	4.12	0.575
D16	0.55	8	36.23	4.6	4.53	0.575
D17	0.60	8	39.53	4.6	4.94	0.575

*: Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

gerekli hava miktarı ise L3 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) değerleri (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kullanılarak hesaplanmaktadır.

L2 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranı (ER) etkisinin araştırılmasından sonra seçilen diğer bir Türk linyiti olan L3 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için de benzer sayısal çalışmalar yapılmıştır. Şekil 6.35 ile ER değerine göre yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

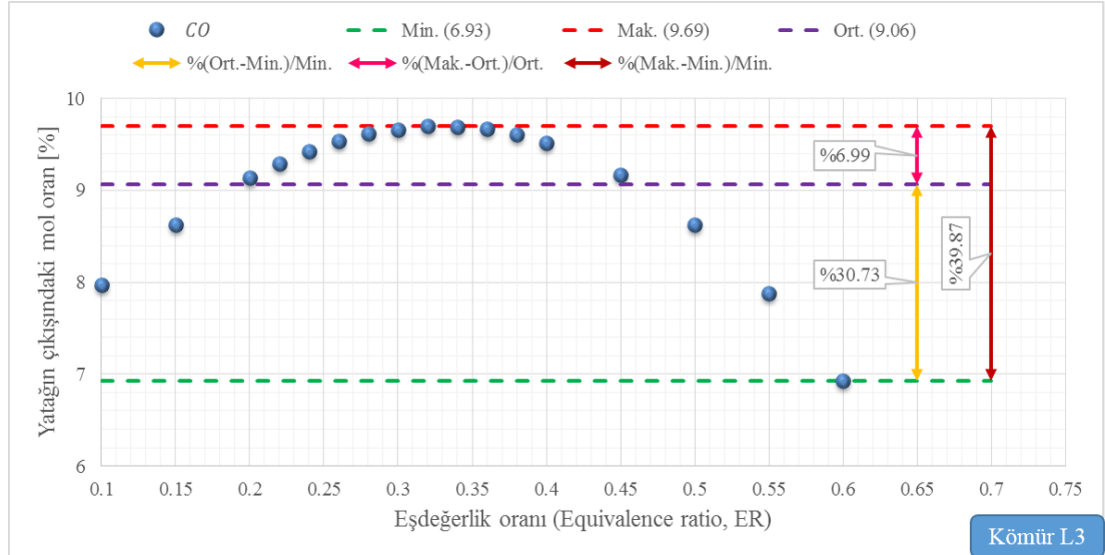


Şekil 6.35 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranının etkisi.

Şekil 6.35 incelendiğinde ER değeri 0.10 ile 0.32 arasında iken yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı buna karşılık CO_2

gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. ER değerinin 0.32'den daha büyük olduğu durumlarda ise yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinde azalma, CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde ise artma olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının 0.32 mertebesinde düşük olduğu durumlarda yatak içindeki gazlaştırma reaksiyonları yanma reaksiyonlarına göre daha aktif olmaktadır. Çünkü ER değerinin düşük olması yataktaki oksijen miktarının da düşük olması anlamına gelmektedir. Eşdeğerlik oranının belli bir değerden fazla olması ise gazlaştırma reaksiyonlarının yerine yanma reaksiyonlarının daha aktif olmasına neden olmaktadır. Eşdeğerlik oranının artması yataktaki oksijen miktarının da artması anlamına geldiğinden yanma reaksiyonlarını hızlandırmaktadır.

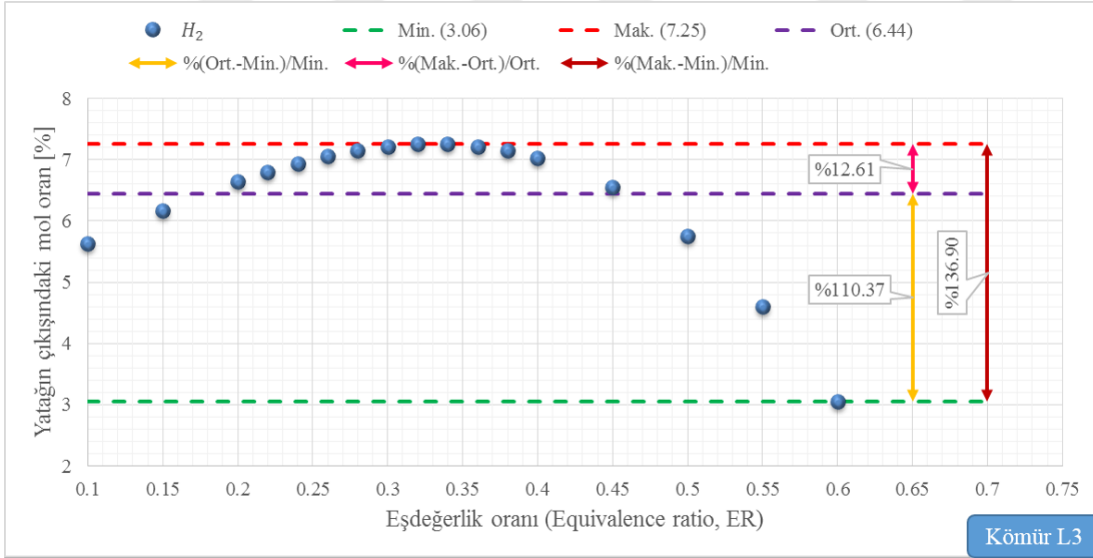
Şekil 6.35 ile ER değerinin L3 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılması sonucu oluşan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi toplu halde gösterilmiştir. Şimdi sırası ile ER değerinin yatağın çıkışında hesaplanan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı şekillerde gösterilecek ve yorumlanacaktır. Şekil 6.36 ile L3 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.36 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 6.36 incelendiğinde yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan en düşük yüzde mol oranı değeri 6.93 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda görülmektedir.

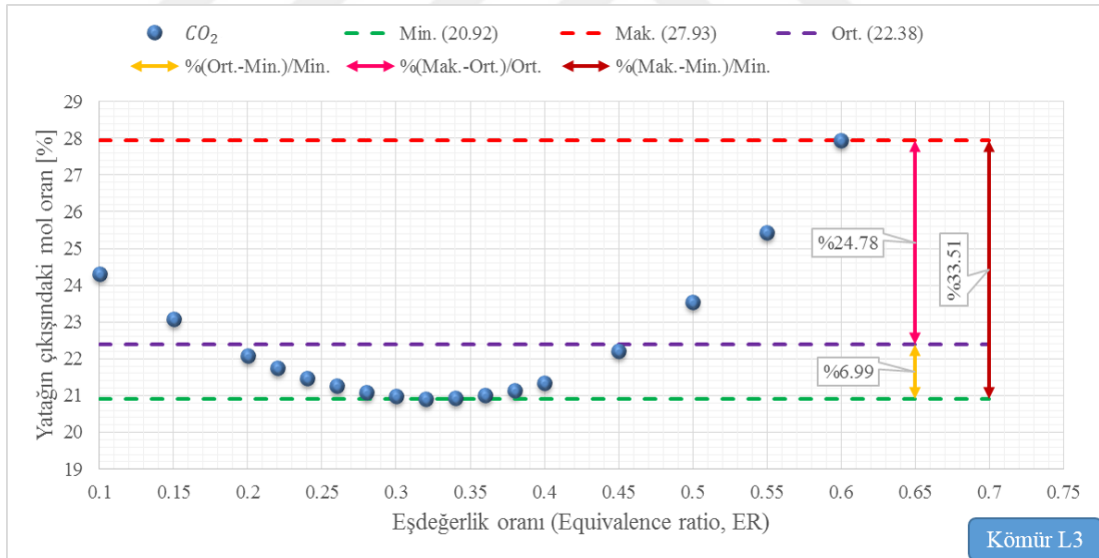
Buna karşılık ER değerinin 0.32 olduğu durumda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 9.69 ile en yüksek değere sahiptir. Toplam 17 farklı ER değeri için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 9.06 değerindedir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değeri 30.73 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 6.99 değerine sahiptir. Ayrıca en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 39.87 değerindedir. L3 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında ER değerinin etkisi incelenmiş ve ER değerinin 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı ve ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile CO gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Gazlaştırma için diğer önemli bir gaz ise H_2 gazıdır. Şekil 6.37 ile L3 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.37 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 6.37 incelendiğinde L3 kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yapılan çözümlenelerde ER değerinin 0.60 olduğu durumda H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin 3.06 ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık en yüksek değer 7.25 ile ise ER değerinin 0.32

olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. Sayısal analiz ile H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 6.44 değerindedir. Yapılan hesaplamalarda ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değerinin 110.37 olduğu görülmektedir. Buna karşılık ortalama değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark 12.61 olarak hesaplanmıştır. Son olarak en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl farkın ise 136.90 olduğu görülmektedir. L3 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında ER değerinin etkisi incelenmiş ve ER değerinin 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı ve ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Gazlaştırma için diğer bir önemli gaz ise CO_2 gazıdır. L3 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ER değeri ile değişimi Şekil 6.38 ile gösterilmektedir.



Şekil 6.38 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 6.38 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için sayısal analiz ile elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en düşük olan değer 20.92 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda oluşmaktadır. En yüksek değer ise 27.93 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda meydana gelmektedir. L3 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen

yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 22.38 değerindedir. Sayısal analiz sonucu elde edilen en düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 6.99'dur. Ayrıca ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri ise 24.78'dir. Son olarak L3 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında sayısal analiz sonuçları ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en yüksek olanı ile en düşük olanı arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 33.51'dir. L3 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılması ile oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Eşdeğerlik oranının 0.10 ile 0.32 olduğu aralıkta CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri gazlaştırma reaksiyonlarının etkisi ile artarken CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı buna karşılık eşdeğerlik oranının 0.32'den fazla olduğu durumlarda ise yataktaki oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlanmakta olduğu ve bu nedenle de CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı buna karşın CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir.

6.2.1.4 L4 kömürü için elde edilen sonuçlar

Eşdeğerlik oranının seçilen Türk linyitlerinden dördüncüsü olan L4 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin incelendiği bu parametrik çalışmada toplam 17 durum göz önüne alınmıştır. Parametrik çalışmalar için seçilen bu 17 durumun bilgisi Çizelge 6.7 ile verilmektedir.

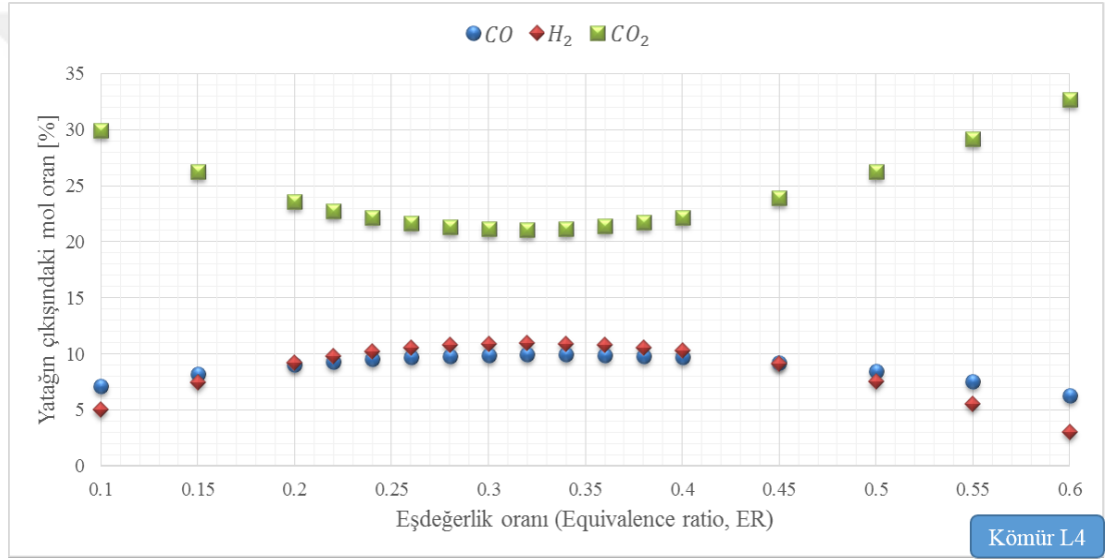
Çizelge 6.7 : L4 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	ER* [-]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]
D1	0.10	8	5.82	4.6	0.73	0.575
D2	0.15	8	8.73	4.6	1.09	0.575
D3	0.20	8	11.64	4.6	1.46	0.575
D4	0.22	8	12.80	4.6	1.60	0.575
D5	0.24	8	13.97	4.6	1.75	0.575
D6	0.26	8	15.13	4.6	1.89	0.575
D7	0.28	8	16.30	4.6	2.04	0.575
D8	0.30	8	17.46	4.6	2.18	0.575
D9	0.32	8	18.62	4.6	2.33	0.575
D10	0.34	8	19.79	4.6	2.47	0.575
D11	0.36	8	20.95	4.6	2.62	0.575
D12	0.38	8	22.12	4.6	2.76	0.575
D13	0.40	8	23.28	4.6	2.91	0.575
D14	0.45	8	26.19	4.6	3.27	0.575
D15	0.50	8	29.10	4.6	3.64	0.575
D16	0.55	8	32.01	4.6	4.00	0.575
D17	0.60	8	34.92	4.6	4.37	0.575

*: Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

Parametrik çalışma kapsamında eşdeğerlik oranı aralığı 0.1-0.6 olarak seçilmiştir. Eşdeğerlik oranı ve kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı çarpılarak yatağa gönderilen hava debisi hesaplanmaktadır. L4 kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı ise L4 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) değerleri (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kullanılarak hesaplanmaktadır.

L3 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranı (ER) etkisinin araştırılmasından sonra seçilen diğer bir Türk linyiti olan L4 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için de benzer sayısal çalışmalar yapılmıştır. Şekil 6.39 ile ER değerine göre yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

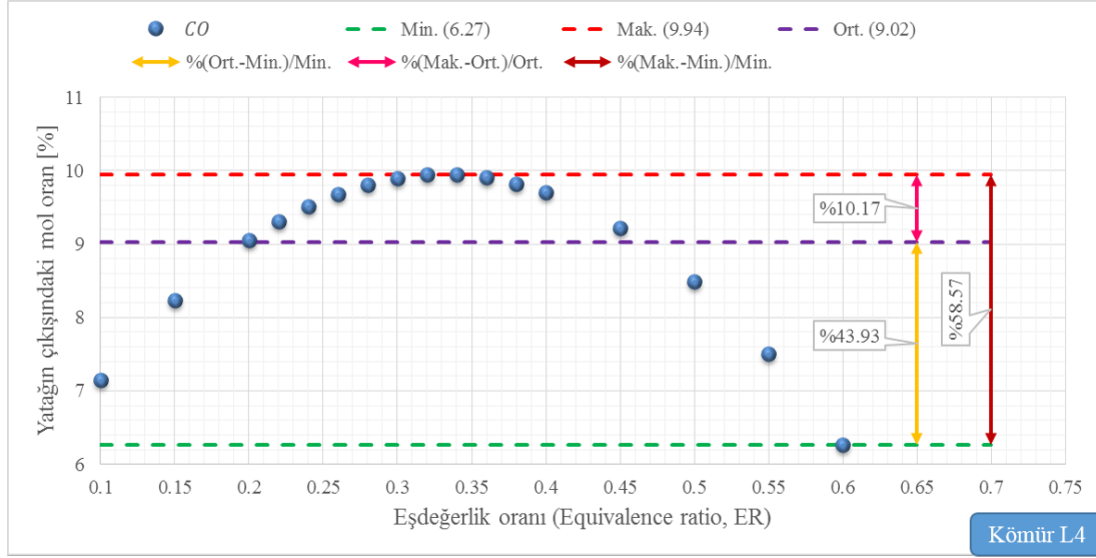


Şekil 6.39 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranının etkisi.

Şekil 6.39 incelendiğinde ER değeri 0.10 ile 0.32 arasında iken yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı buna karşılık CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. ER değerinin 0.32'den daha büyük olduğu durumlarda ise yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinde azalma, CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde ise artma olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının 0.32 mertebesinde düşük olduğu durumlarda yatak içindeki gazlaştırma reaksiyonları yanma reaksiyonlarına göre daha aktif olmaktadır. Çünkü ER değerinin düşük olması yataktaki oksijen miktarının da düşük olması anlamına gelmektedir. Eşdeğerlik oranının belli bir değerden fazla olması ise gazlaştırma reaksiyonlarının yerine yanma reaksiyonlarının daha aktif

olmasına neden olmaktadır. Eşdeğerlik oranının artması yataktaki oksijen miktarının da artması anlamına geldiğinden yanma reaksiyonlarını hızlandırmaktadır.

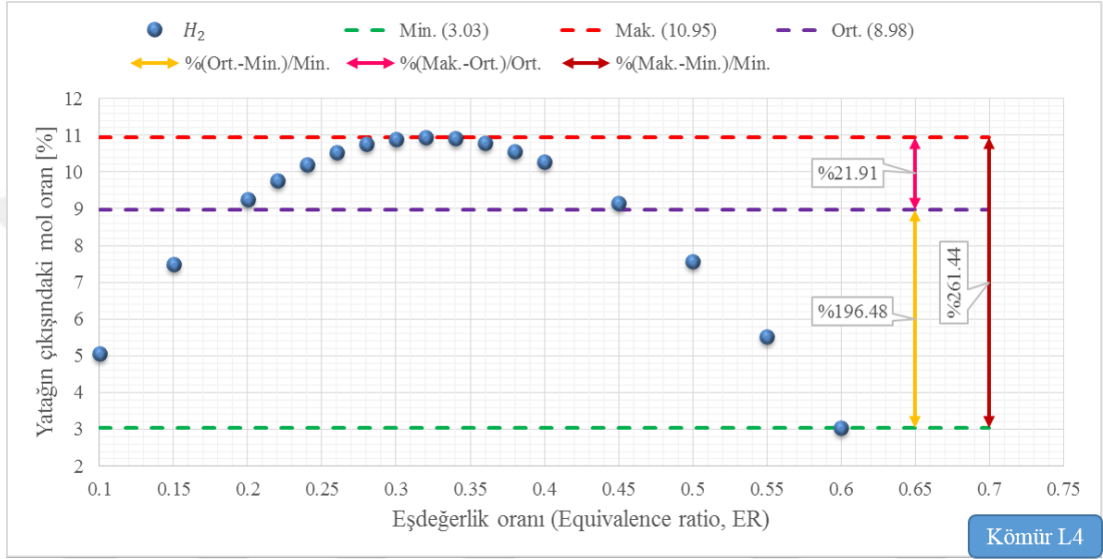
Şekil 6.39 ile ER değerinin L4 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılması sonucu oluşan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi toplu halde gösterilmiştir. Şimdi sırası ile ER değerinin yatağın çıkışında hesaplanan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı şekillerde gösterilecek ve yorumlanacaktır. Şekil 6.40 ile L4 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.40 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 6.40 incelendiğinde yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan en düşük yüzde mol oranı değeri 6.27 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda görülmektedir. Buna karşılık ER değerinin 0.32 olduğu durumda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 9.94 ile en yüksek değere sahiptir. Toplam 17 farklı ER değeri için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 9.02 değerindedir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değeri 43.93 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 10.17 değerine sahiptir. Ayrıca en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 58.57 değerindedir. L4 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında ER değerinin etkisi incelenmiş ve ER değerinin 0.10 ile 0.32

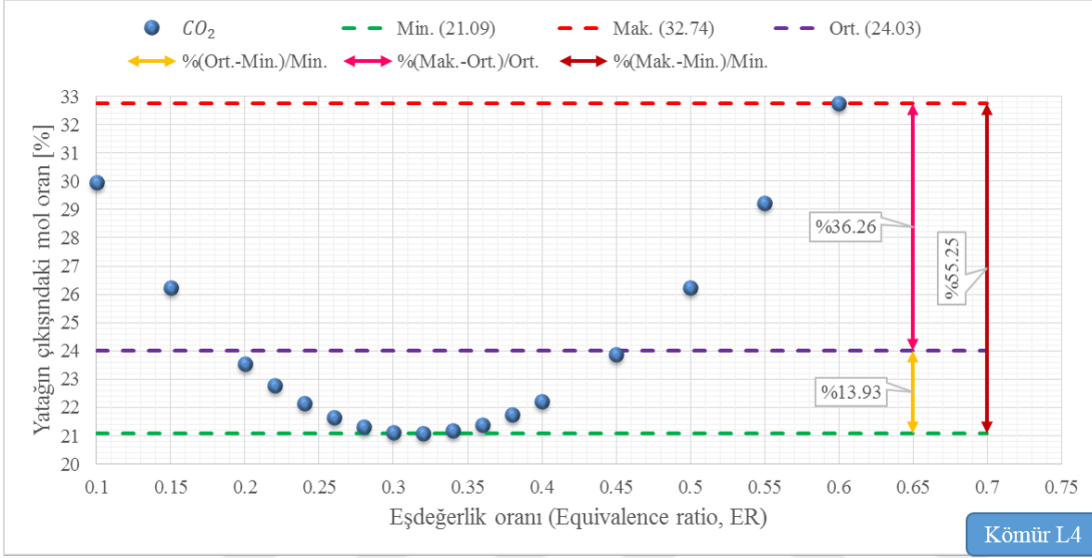
arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı ve ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının etkisi ile CO gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Gazlaştırma için diğer önemli bir gaz ise H_2 gazıdır. Şekil 6.41 ile L4 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.41 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 6.41 incelendiğinde L4 kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yapılan çözümlenmelerde ER değerinin 0.60 olduğu durumda H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin 3.03 ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık en yüksek değer 10.95 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. Sayısal analiz ile H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 8.98 değerindedir. Yapılan hesaplamalarda ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değerinin 196.48 olduğu görülmektedir. Buna karşılık ortalama değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark 21.91 olarak hesaplanmıştır. Son olarak en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl farkın ise 261.44 olduğu görülmektedir. L4 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında ER değerinin etkisi incelenmiş ve ER değerinin 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol

oranı değerinin arttığı ve ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Gazlaştırma için diğer bir önemli gaz ise CO_2 gazıdır. L4 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ER değeri ile değişimi Şekil 6.42 ile gösterilmektedir.



Şekil 6.42 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 6.42 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için sayısal analiz ile elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en düşük olan değer 21.09 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda oluşmaktadır. En yüksek değer ise 32.74 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda meydana gelmektedir. L4 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 24.03 değerindedir. Sayısal analiz sonucu elde edilen en düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 13.93'tür. Ayrıca ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri ise 36.26'dır. Son olarak L4 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında sayısal analiz sonuçları ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en yüksek olanı ile en düşük olanı arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 55.25'dir. L4 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılması ile oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranına bağlı olarak değişimi incelenmiştir.

Eşdeğerlik oranının 0.10 ile 0.32 olduğu aralıkta CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri gazlaştırma reaksiyonlarının etkisi ile artarken CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı buna karşılık eşdeğerlik oranının 0.32'den fazla olduğu durumlarda ise yataktaki oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlanmakta olduğu ve bu nedenle de CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı buna karşın CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir.

6.2.1.5 L5 kömürü için elde edilen sonuçlar

Eşdeğerlik oranının seçilen Türk linyitlerinden beşincisi olan L5 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin incelendiği bu parametrik çalışmada toplam 17 durum göz önüne alınmıştır. Parametrik çalışmalar için seçilen bu 17 durumun bilgisi Çizelge 6.8 ile verilmektedir.

Çizelge 6.8 : L5 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.

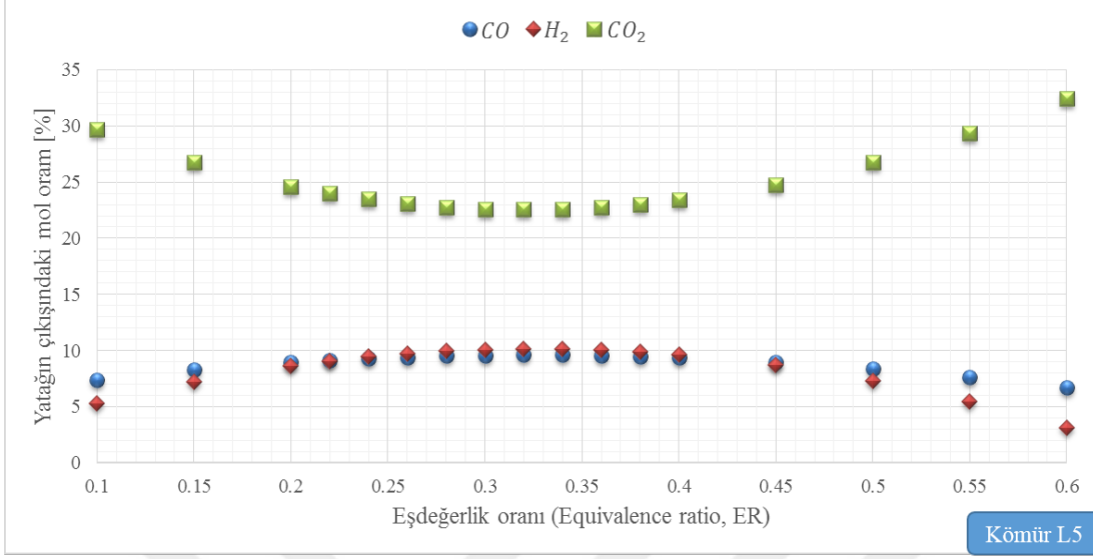
Durumlar	ER* [-]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]
D1	0.10	8	6.33	4.6	0.79	0.575
D2	0.15	8	9.50	4.6	1.19	0.575
D3	0.20	8	12.67	4.6	1.58	0.575
D4	0.22	8	13.94	4.6	1.74	0.575
D5	0.24	8	15.20	4.6	1.90	0.575
D6	0.26	8	16.47	4.6	2.06	0.575
D7	0.28	8	17.74	4.6	2.22	0.575
D8	0.30	8	19.00	4.6	2.38	0.575
D9	0.32	8	20.27	4.6	2.53	0.575
D10	0.34	8	21.54	4.6	2.69	0.575
D11	0.36	8	22.80	4.6	2.85	0.575
D12	0.38	8	24.07	4.6	3.01	0.575
D13	0.40	8	25.34	4.6	3.17	0.575
D14	0.45	8	28.51	4.6	3.56	0.575
D15	0.50	8	31.67	4.6	3.96	0.575
D16	0.55	8	34.84	4.6	4.36	0.575
D17	0.60	8	38.01	4.6	4.75	0.575

*: Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

Parametrik çalışma kapsamında eşdeğerlik oranı aralığı 0.1-0.6 olarak seçilmiştir. Eşdeğerlik oranı ve kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı çarpılarak yatağa gönderilen hava debisi hesaplanmaktadır. L5 kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı ise L5 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) değerleri (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kullanılarak hesaplanmaktadır.

L4 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranı (ER) etkisinin araştırılmasından sonra seçilen diğer bir Türk linyiti olan L5 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için de benzer sayısal çalışmalar yapılmıştır. Şekil 6.43 ile ER

değerine göre yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

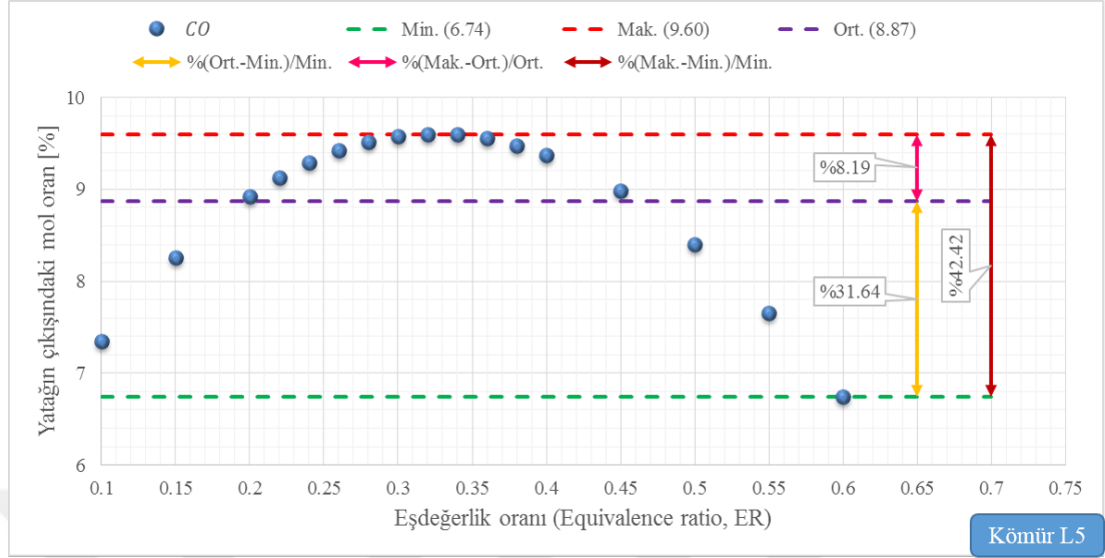


Şekil 6.43 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranının etkisi.

Şekil 6.43 incelendiğinde ER değeri 0.10 ile 0.32 arasında iken yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı buna karşılık CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. ER değerinin 0.32'den daha büyük olduğu durumlarda ise yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinde azalma, CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde ise artma olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının 0.32 mertebesinde düşük olduğu durumlarda yatak içindeki gazlaştırma reaksiyonları yanma reaksiyonlarına göre daha aktif olmaktadır. Çünkü ER değerinin düşük olması yataktaki oksijen miktarının da düşük olması anlamına gelmektedir. Eşdeğerlik oranının belli bir değerden fazla olması ise gazlaştırma reaksiyonlarının yerine yanma reaksiyonlarının daha aktif olmasına neden olmaktadır. Eşdeğerlik oranının artması yataktaki oksijen miktarının da artması anlamına geldiğinden yanma reaksiyonlarını hızlandırmaktadır.

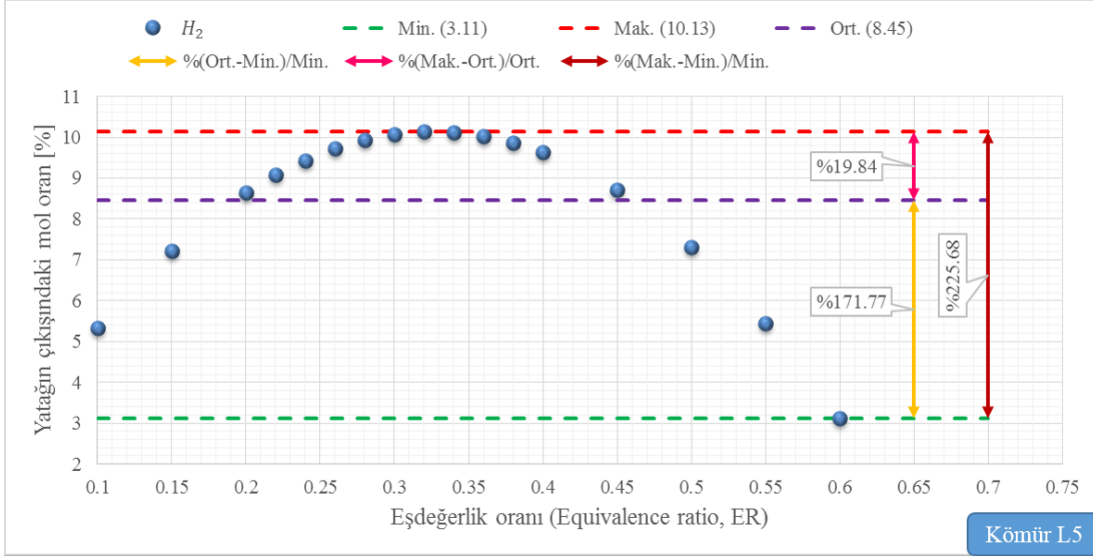
Şekil 6.43 ile ER değerinin L5 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılması sonucu oluşan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi toplu halde gösterilmiştir. Şimdi sırası ile ER değerinin yatağın çıkışında hesaplanan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı şekillerde gösterilecek ve yorumlanacaktır. Şekil 6.44 ile L5 kömürünün kabarcıklı akışkan

yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



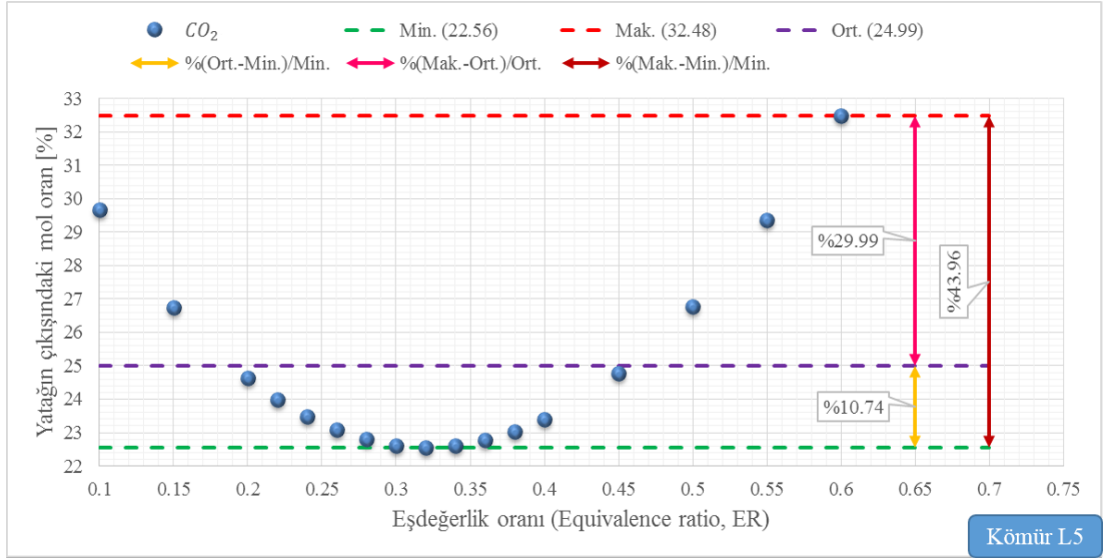
Şekil 6.44 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 6.44 incelendiğinde yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan en düşük yüzde mol oranı değeri 6.74 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda görülmektedir. Buna karşılık ER değerinin 0.32 olduğu durumda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 9.60 ile en yüksek değere sahiptir. Toplam 17 farklı ER değeri için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 8.87 değerindedir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değeri 31.64 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 8.19 değerine sahiptir. Ayrıca en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 42.42 değerindedir. L5 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında ER değerinin etkisi incelenmiş ve ER değerinin 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı ve ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile CO gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Gazlaştırma için diğer önemli bir gaz ise H_2 gazıdır. Şekil 6.45 ile L5 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.45 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 6.45 incelendiğinde L5 kömürü için kabarcıklı akışkan yatakta yapılan çözümlerlerde ER değerinin 0.60 olduğu durumda H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin 3.11 ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık en yüksek değer 10.13 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. Sayısal analiz ile H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 8.45 değerindedir. Yapılan hesaplamalarda ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değerinin 171.77 olduğu görülmektedir. Buna karşılık ortalama değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl farkın ise 225.68 olduğu görülmektedir. L5 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında ER değerinin etkisi incelenmiş ve ER değerinin 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı ve ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Gazlaştırma için diğer bir önemli gaz ise CO_2 gazıdır. L5 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ER değeri ile değişimi Şekil 6.46 ile gösterilmektedir.



Şekil 6.46 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 6.46 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için sayısal analiz ile elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en düşük olan değer 22.56 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda oluşmaktadır. En yüksek değer ise 32.48 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda meydana gelmektedir. L5 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 24.99 değerindedir. Sayısal analiz sonucu elde edilen en düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 10.74'tür. Ayrıca ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri ise 29.99'dur. Son olarak L5 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında sayısal analiz sonuçları ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en yüksek olanı ile en düşük olanı arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 43.96'dır. L5 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılması ile oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Eşdeğerlik oranının 0.10 ile 0.32 olduğu aralıkta CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri gazlaştırma reaksiyonlarının etkisi ile artarken CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı buna karşılık eşdeğerlik oranının 0.32'den fazla olduğu durumlarda ise yataktaki oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlanmakta olduğu ve bu nedenle de CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı buna karşın CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Seçilen Türk linyitleri (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için doktora kapsamında geliştirilen model kullanılarak kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasının sayısal analizleri yapılmıştır. Yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranına (equivalence ratio, ER) göre değişimi incelenmiş ve seçilen 5 Türk linyiti için elde edilen sonuçlar Şekil 6.27-6.46 ile gösterilmiş ve yorumlanmıştır.

6.2.2 Su buharı debisinin kömür debisine oranının Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisi

Seçilen beş Türk linyiti (Bakınız Çizelge 5.3, 134) için kabarcıklı akışkan yatakta yapılan diğer bir parametrik çalışma ise yatağa gönderilen su buharı debisinin kömür debisine oranının gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı çalışmadır. Eşdeğerlik oranının etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmada olduğu gibi bu parametrik çalışma yapılırken de yatağa gönderilen kömür debisi 8 kg/h olarak alınmıştır. Bu debi Bölüm 4 içinde anlatılan birinci karşılaştırmadaki (Bakınız Bölüm 4.1, 62) Deney 1'in çalışma debisi (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) ile aynıdır. Bu parametrik çalışmada eşdeğerlik oranı olarak Deney 1'de olduğu gibi 0.3 alınmış ve su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkileri araştırılmıştır.

Su-Buharı/Kömür debisi oranının seçilen Türk linyitlerine (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) etkisini araştırmak için her bir kömür tipi için 21 durum kullanılarak parametrik çalışmalar yapılmıştır. Parametrik çalışmaların referans noktası olarak birinci karşılaştırmada yer alan Deney 1'in (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 63) çalışma debileri seçilmiştir. Parametrik çalışmalarda referans noktası Durum 6 (D6) olarak adlandırılmakta ve grafikler üzerinde belirtilmektedir.

Su-Buharı/Kömür debisi oranı ile ilgili yapılan bu parametrik çalışmalarda incelenen 21 durum içinde en düşük Su-Buharı/Kömür debisi oranı 0.1, en yüksek 2.0 alınmıştır. Parametrik çalışmada Su-Buharı/Kömür debisi oranı çalışma aralığı seçilirken literatürdeki gazlaştırma çalışmalarındaki çalışma aralıkları incelenmiş ve birçok çalışmayı kapsayacak çalışma aralığı belirlenmiştir. Literatürde yer alan bazı önemli çalışmalardaki Su-Buharı/Kömür debisi oranları ile ilgili elde edilen bilgiler burada özetlenecektir: Ju ve diğ. [63] yaptıkları deneysel çalışmada Su-Buharı/Kömür

debisi oranı için 0-0.8 aralığını seçmişlerdir. Esmaili ve diğ. [47] kabarcıklı akışkan yatak kullanılarak yapılan sayısal çalışmalarında Su-Buharı/Kömür debisi oranı için 0.2-1.8 aralığını seçmişlerdir. Loha ve diğ. [12] tarafından yapılan çalışmada kömür ve bazı biyoyakıtların gazlaştırılmasını çalışmışlar ve çalışmalarında Su-Buharı/Yakıt debisi oranı için 0.75-2.0 aralığını seçmişlerdir. Son olarak Lee ve diğ. [141] tarafından yapılan gazlaştırma çalışmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranı 0.6-1.3 aralığında alınmıştır. Tüm bu literatürde yapılan çalışmalar dikkate alınarak doktora kapsamında yapılan bu parametrik çalışmada Su-Buharı/Kömür debisi oranı için 0.1-2.0 aralığının seçilmesi uygun görülmüştür.

Şimdi sırası ile seçilen beş adet Türk linyitinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranının etkileri alt başlıklar halinde verilecektir.

6.2.2.1 L1 kömürü için elde edilen sonuçlar

Seçilen Türk linyitlerinden birincisi olan L1 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü kullanılarak Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisini araştırmak amacı ile Çizelge 6.9 ile gösterilen 21 durum göz önüne alınarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 6.9 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L1 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	ER ¹ [-]
D1	0.10	8	17.74	0.8	2.2175	0.3
D2	0.20	8	17.74	1.6	2.2175	0.3
D3	0.30	8	17.74	2.4	2.2175	0.3
D4	0.40	8	17.74	3.2	2.2175	0.3
D5	0.50	8	17.74	4.0	2.2175	0.3
D6 ²	0.575	8	17.74	4.6	2.2175	0.3
D7	0.60	8	17.74	4.8	2.2175	0.3
D8	0.70	8	17.74	5.6	2.2175	0.3
D9	0.80	8	17.74	6.4	2.2175	0.3
D10	0.90	8	17.74	7.2	2.2175	0.3
D11	1.00	8	17.74	8.0	2.2175	0.3
D12	1.10	8	17.74	8.8	2.2175	0.3
D13	1.20	8	17.74	9.6	2.2175	0.3
D14	1.30	8	17.74	10.4	2.2175	0.3
D15	1.40	8	17.74	11.2	2.2175	0.3
D16	1.50	8	17.74	12.0	2.2175	0.3
D17	1.60	8	17.74	12.8	2.2175	0.3
D18	1.70	8	17.74	13.6	2.2175	0.3
D19	1.80	8	17.74	14.4	2.2175	0.3
D20	1.90	8	17.74	15.2	2.2175	0.3
D21	2.00	8	17.74	16.0	2.2175	0.3

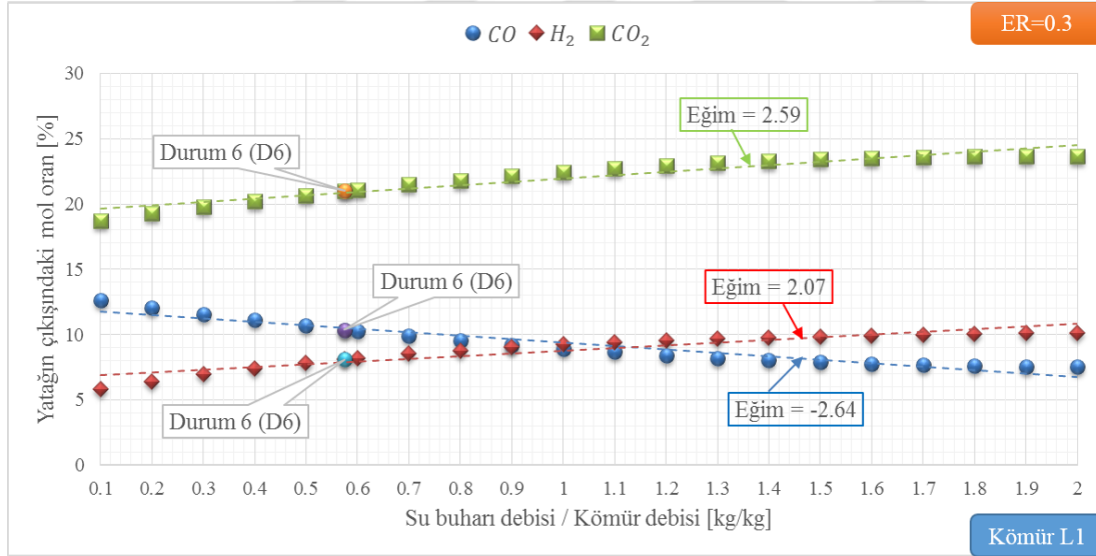
¹ : Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

² : Deneysel çalışma debileri (Bakınız Çizelge 6.1, sayfa 136)

Çizelge 6.9 incelendiğinde yatağa gönderilen hava debisinin 17.74 kg/h olduğu görülmektedir. Bu debi değeri, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) 0.3 olması için L1 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinden L1 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmalarda ER değeri 0.3 olarak sabit alınmıştır. Bu değer Deney 1 (Bakınız Çizelge 6.1, sayfa 136) ile belirtilen ER değeri ile aynıdır.

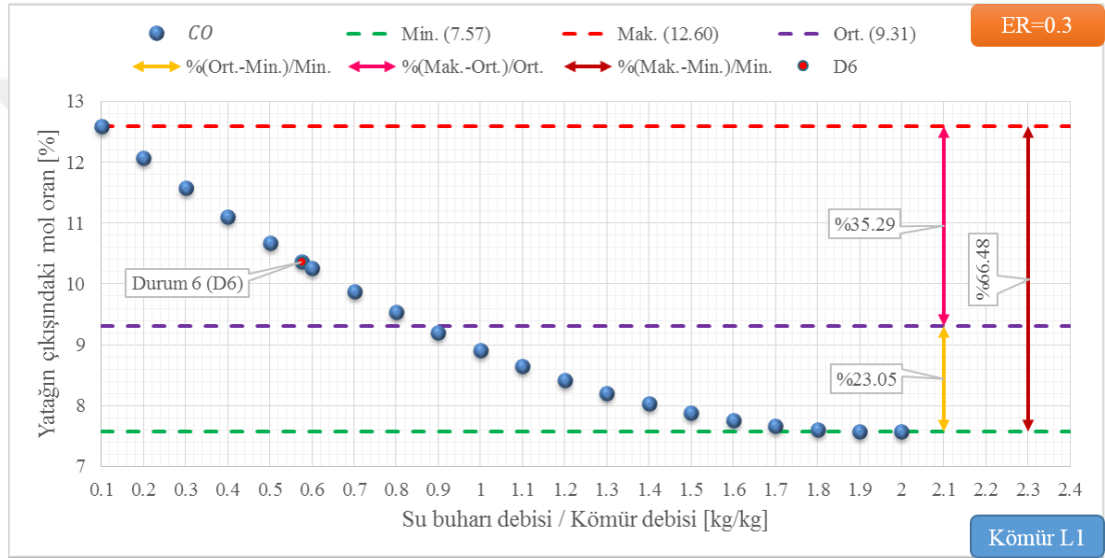
Şekil 6.47 ile su buharı debisinin kömür debisine oranına göre, yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi Türk linyitlerinden L1 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü için gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 6.47 üzerinde Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 4.1) şartlarını gösteren Durum 6 (Bakınız Çizelge 6.9) için elde edilen yüzde mol oranı değerleri de işaretlenmiştir.



Şekil 6.47 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.

Şekil 6.47 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin azaldığı, H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.47 üzerinde CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen sayısal sonuçların eğim çizgileri ve eğim değerleri de gösterilmektedir.

Su-Buharı/Kömür debisi oranının artması, ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) hızlandırmaktadır. Bu nedenle de Su-Buharı/Kömür debisi oranındaki artış yatak içindeki CO gazının mol oranı değerinde azalmaya, H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı değerlerinde ise artışa neden olmaktadır. Şimdi sırası ile CO , H_2 ve CO_2 gazları için Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı gösterilecektir. Öncelikle Şekil 6.48 ile L1 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerine etkisi gösterilmektedir.

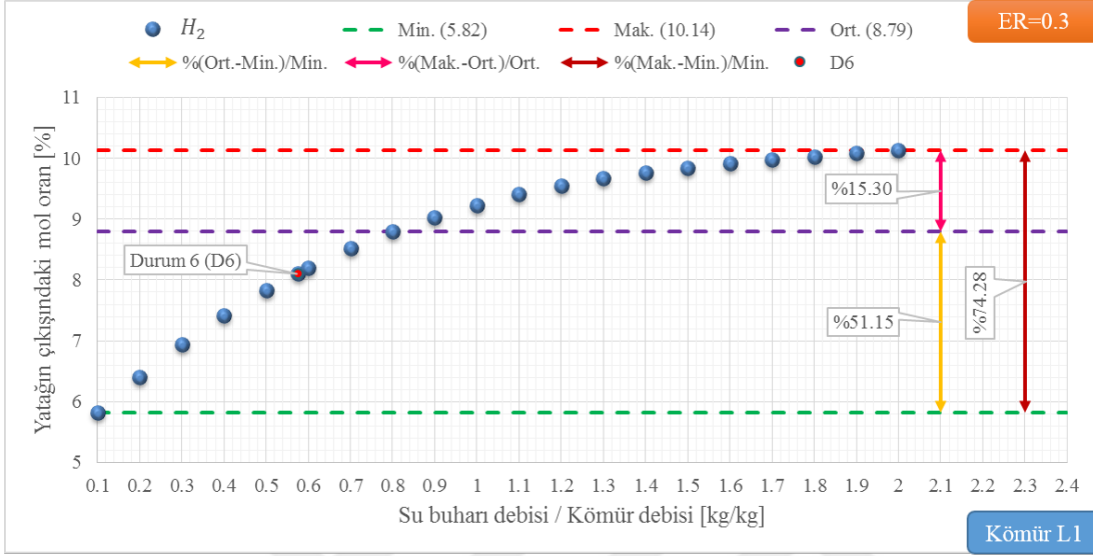


Şekil 6.48 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 6.48 incelendiğinde su buharı debisinin kömür derisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 6.48 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama değerler işaretlenmiştir. Ayrıca en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de Şekil 6.48 üzerinde belirtilmiştir.

L1 kömürü için yapılan bu parametrik çalışmada CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan en düşük ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri sırasıyla 7.57 ve 12.60'tır. Hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 9.31'dir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark 23.05 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 35.29 değerindedir. Bunlara ek olarak

en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 66.48 değerine sahiptir. Kömürün gazlaştırılmasında ortaya çıkan diğer bir önemli gaz H_2 gazıdır. Şekil 6.49 ile yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.

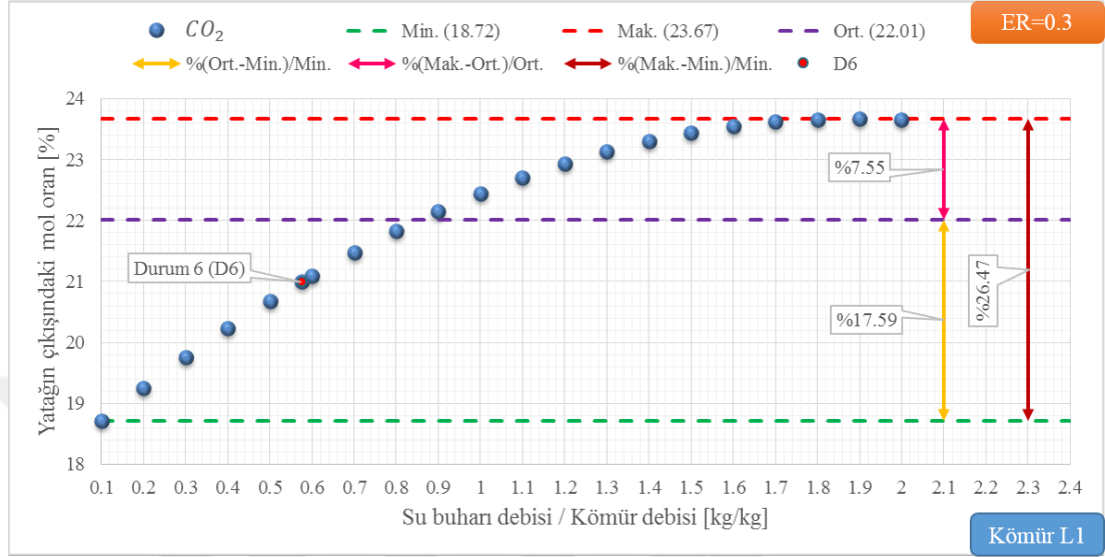


Şekil 6.49 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 6.49 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça yatağın çıkış ağzında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı görülmektedir. Şekil 6.49 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde yapılan bu parametrik çalışmada H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 5.82 ve 10.14 değerindedir. Buna karşılık parametrik çalışmada elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 8.79'dur.

Ayrıca Şekil 6.49 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 51.15 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 15.30'dur. Bunun yanı sıra en düşük değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 74.28 değerindedir. Gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için elde edilen sonuçların gösterilmesinden sonra şimdi de gazlaştırma için diğer bir önemli gaz olan CO_2 gazı için elde edilen

sonuçlar gösterilecektir. L1 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranı etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.50 ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.50 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 6.50 incelendiğinde Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 6.50 üzerinde elde edilen en düşük, ortalama ve en yüksek değerler gösterilmektedir.

L1 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırıldığı ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 18.72 ve 23.67 değerindedir. Ayrıca sayısal çalışma sonucu elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 22.01 değerine sahiptir.

Bunun yanı sıra Şekil 6.50 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 17.59 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 7.55 değerindedir. Buna karşılık en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 26.47 değerine sahiptir.

6.2.2.2 L2 kömürü için elde edilen sonuçlar

Seçilen Türk linyitlerinden ikincisi olan L2 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü kullanılarak Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisini araştırmak amacı ile Çizelge 6.10 ile gösterilen 21 durum göz önüne alınarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 6.10 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L2 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	ER ¹ [-]
D1	0.10	8	21.7	0.8	2.7125	0.3
D2	0.20	8	21.7	1.6	2.7125	0.3
D3	0.30	8	21.7	2.4	2.7125	0.3
D4	0.40	8	21.7	3.2	2.7125	0.3
D5	0.50	8	21.7	4.0	2.7125	0.3
D6 ²	0.575	8	21.7	4.6	2.7125	0.3
D7	0.60	8	21.7	4.8	2.7125	0.3
D8	0.70	8	21.7	5.6	2.7125	0.3
D9	0.80	8	21.7	6.4	2.7125	0.3
D10	0.90	8	21.7	7.2	2.7125	0.3
D11	1.00	8	21.7	8.0	2.7125	0.3
D12	1.10	8	21.7	8.8	2.7125	0.3
D13	1.20	8	21.7	9.6	2.7125	0.3
D14	1.30	8	21.7	10.4	2.7125	0.3
D15	1.40	8	21.7	11.2	2.7125	0.3
D16	1.50	8	21.7	12.0	2.7125	0.3
D17	1.60	8	21.7	12.8	2.7125	0.3
D18	1.70	8	21.7	13.6	2.7125	0.3
D19	1.80	8	21.7	14.4	2.7125	0.3
D20	1.90	8	21.7	15.2	2.7125	0.3
D21	2.00	8	21.7	16.0	2.7125	0.3

¹ : Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

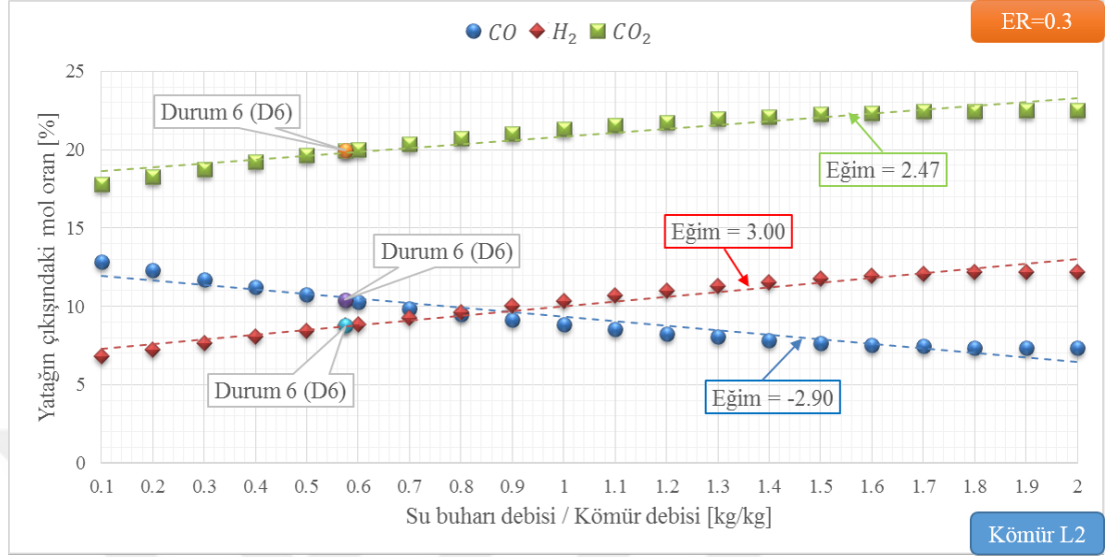
² : Deney 1 çalışma debileri (Bakınız Çizelge 6.1, sayfa 136)

Çizelge 6.10 incelendiğinde yatağa gönderilen hava debisinin 21.7 kg/h olduğu görülmektedir. Bu debi değeri, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) 0.3 olması için L2 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinden L2 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmalarda ER değeri 0.3 olarak sabit alınmıştır. Bu değer Deney 1 (Bakınız Çizelge 6.1, sayfa 136) ile belirtilen ER değeri ile aynıdır.

Şekil 6.51 ile su buharı debisinin kömür debisine oranına göre, yatağın çıkış ağzında CO, H₂ ve CO₂ gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi Türk linyitlerinden L2 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü için gösterilmektedir.

Ayrıca Şekil 6.51 üzerinde Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 4.1) şartlarını gösteren Durum 6 (Bakınız Çizelge 6.10) için elde edilen yüzde mol oranı değerleri de işaretlenmiştir.

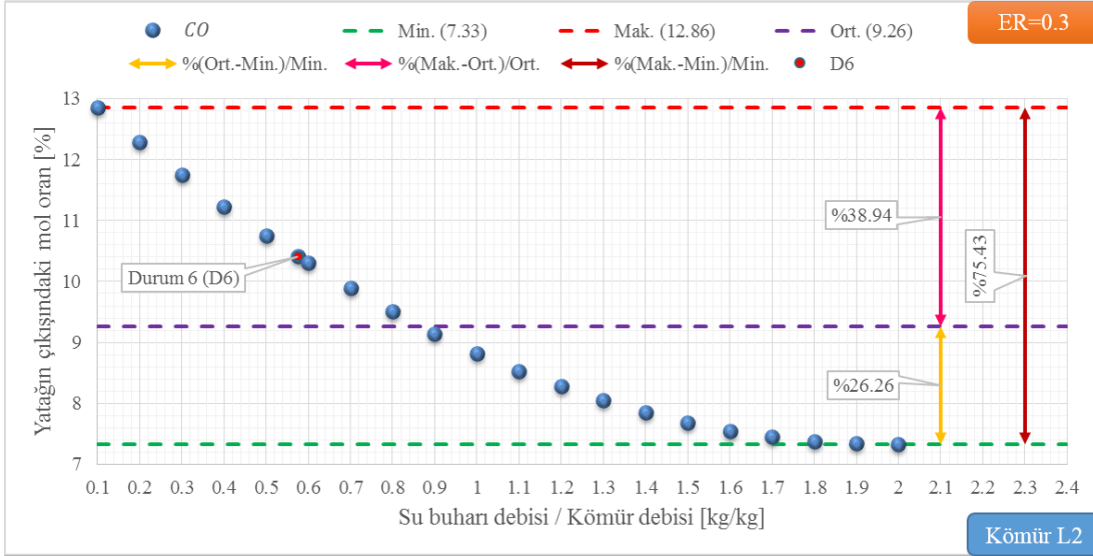


Şekil 6.51 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.

Şekil 6.51 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin azaldığı, H₂ ve CO₂ gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.51 üzerinde CO, H₂ ve CO₂ gazları için elde edilen sayısal sonuçların eğim çizgileri ve eğim değerleri de gösterilmektedir.

Su-Buharı/Kömür debisi oranının artması, ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) hızlandırmaktadır. Bu nedenle de Su-Buharı/Kömür debisi oranındaki artış yatak içindeki CO gazının mol oranı değerinde azalmaya, H₂ ve CO₂ gazlarının mol oranı değerlerinde ise artışa neden olmaktadır. Şimdi sırası ile CO, H₂ ve CO₂ gazları için Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı gösterilecektir. Öncelikle Şekil 6.52 ile L2 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerine etkisi gösterilmektedir.

Şekil 6.52 incelendiğinde su buharı debisinin kömür derisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 6.52 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama değerler işaretlenmiştir. Ayrıca

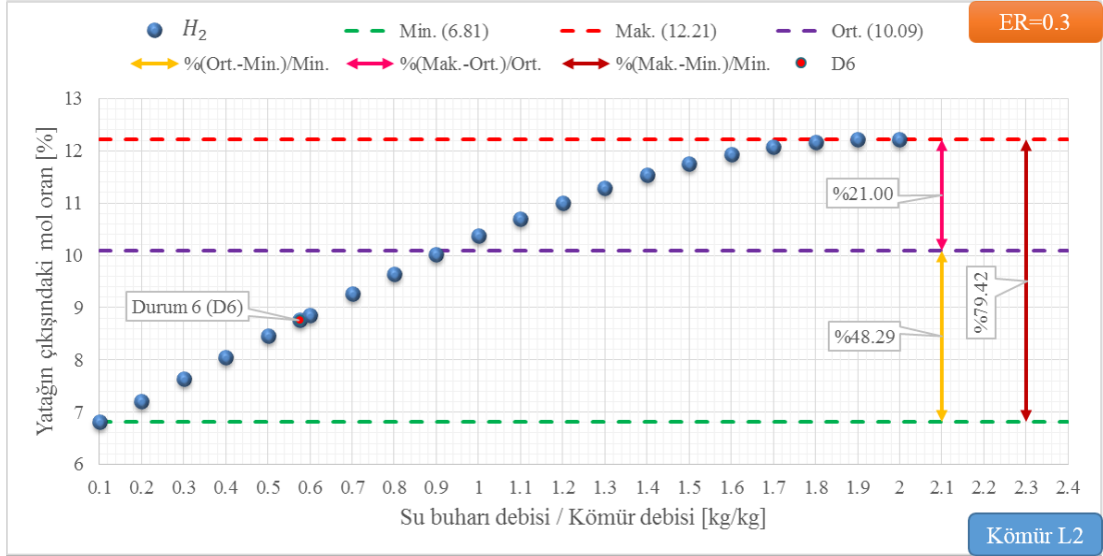


Şekil 6.52 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de Şekil 6.52 üzerinde belirtilmiştir.

L2 kömürü için yapılan bu parametrik çalışmada CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan en düşük ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri sırasıyla 7.33 ve 12.86'dır. Hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 9.26'dır. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark 26.26 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 38.94 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 75.43 değerine sahiptir. Kömürün gazlaştırılmasında ortaya çıkan diğer bir önemli gaz H₂ gazıdır. Şekil 6.53 ile yatağın çıkışında H₂ gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 6.53 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça yatağın çıkış ağzında hesaplanan H₂ gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı görülmektedir. Şekil 6.53 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde yapılan bu parametrik çalışmada H₂ gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 6.81 ve 12.21 değerindedir. Buna karşılık parametrik çalışmada elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 10.09'dur.

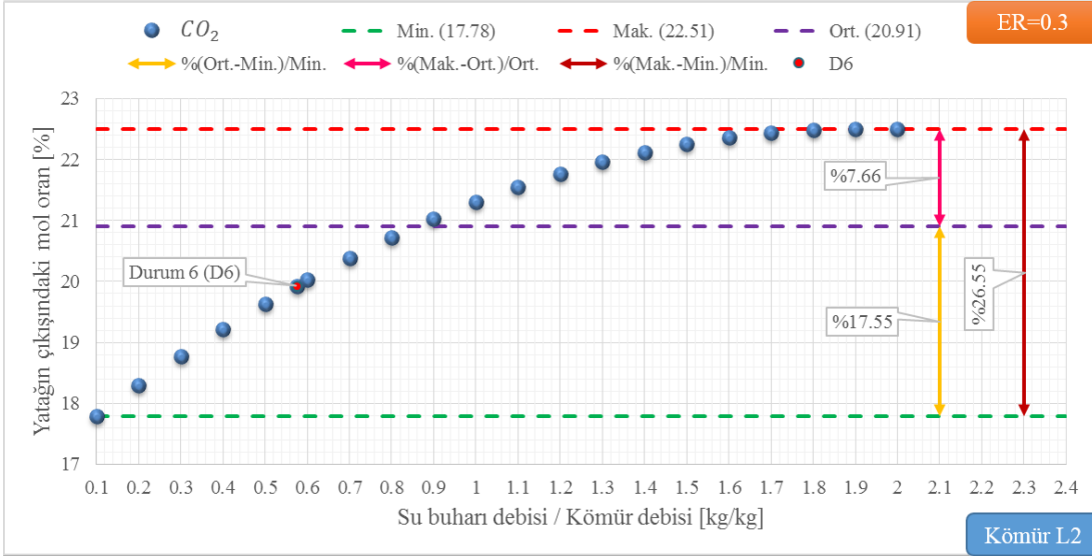


Şekil 6.53 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Ayrıca Şekil 6.53 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 48.29 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 21.00'dır. Bunun yanı sıra en düşük değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 79.42 değerindedir. Gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için elde edilen sonuçların gösterilmesinden sonra şimdi de gazlaştırma için diğer bir önemli gaz olan CO_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilecektir. L2 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranı etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.54 ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 6.54 incelendiğinde Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 6.54 üzerinde elde edilen en düşük, ortalama ve en yüksek değerler gösterilmektedir.

L2 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırıldığı ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 17.78 ve 22.51 değerindedir. Ayrıca sayısal



Şekil 6.54 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

çalışma sonucu elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 20.91 değerine sahiptir.

Bunun yanı sıra Şekil 6.54 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 17.55 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 7.66 değerindedir. Buna karşılık en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 26.55 değerine sahiptir.

6.2.2.3 L3 kömürü için elde edilen sonuçlar

Seçilen Türk linyitlerinden üçüncüsü olan L3 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü kullanılarak Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisini araştırmak amacı ile Çizelge 6.11 ile gösterilen 21 durum göz önüne alınarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 6.11 incelendiğinde yatağa gönderilen hava debisinin 19.76 kg/h olduğu görülmektedir. Bu debi değeri, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) 0.3 olması için L3 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinden L3 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasına

Çizelge 6.11 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L3 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	ER ¹ [-]
D1	0.10	8	19.76	0.8	2.47	0.3
D2	0.20	8	19.76	1.6	2.47	0.3
D3	0.30	8	19.76	2.4	2.47	0.3
D4	0.40	8	19.76	3.2	2.47	0.3
D5	0.50	8	19.76	4.0	2.47	0.3
D6 ²	0.575	8	19.76	4.6	2.47	0.3
D7	0.60	8	19.76	4.8	2.47	0.3
D8	0.70	8	19.76	5.6	2.47	0.3
D9	0.80	8	19.76	6.4	2.47	0.3
D10	0.90	8	19.76	7.2	2.47	0.3
D11	1.00	8	19.76	8.0	2.47	0.3
D12	1.10	8	19.76	8.8	2.47	0.3
D13	1.20	8	19.76	9.6	2.47	0.3
D14	1.30	8	19.76	10.4	2.47	0.3
D15	1.40	8	19.76	11.2	2.47	0.3
D16	1.50	8	19.76	12.0	2.47	0.3
D17	1.60	8	19.76	12.8	2.47	0.3
D18	1.70	8	19.76	13.6	2.47	0.3
D19	1.80	8	19.76	14.4	2.47	0.3
D20	1.90	8	19.76	15.2	2.47	0.3
D21	2.00	8	19.76	16.0	2.47	0.3

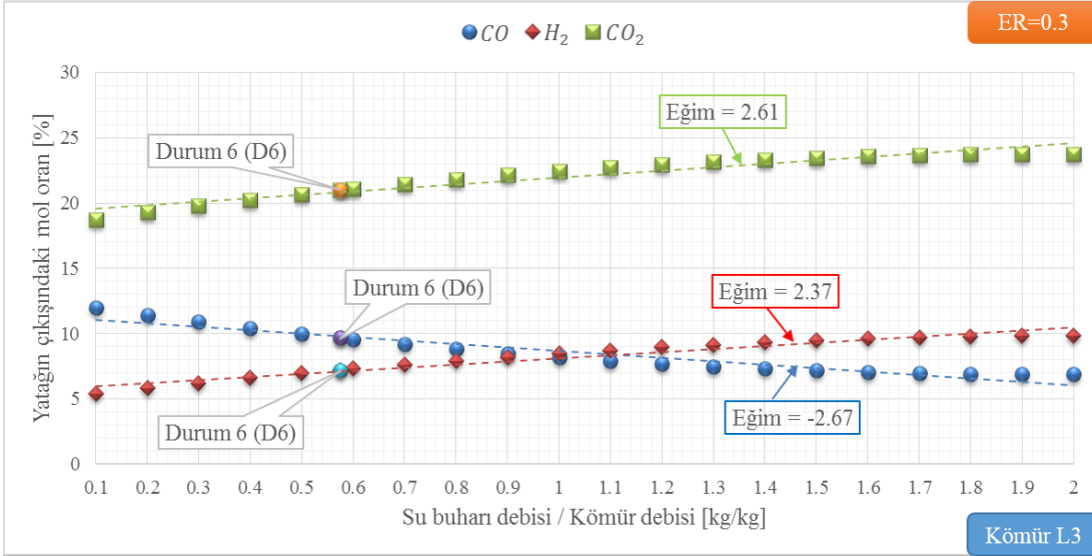
¹ : Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

² : Deney 1 çalışma debileri (Bakınız Çizelge 6.1, sayfa 136)

etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmalarda ER değeri 0.3 olarak sabit alınmıştır. Bu değer Deney 1 (Bakınız Çizelge 6.1, sayfa 136) ile belirtilen ER değeri ile aynıdır. Şekil 6.55 ile su buharı debisinin kömür debisine oranına göre, yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi Türk linyitlerinden L3 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü için gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 6.55 üzerinde Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 4.1) şartlarını gösteren Durum 6 (Bakınız Çizelge 6.11) için elde edilen yüzde mol oranı değerleri de işaretlenmiştir.

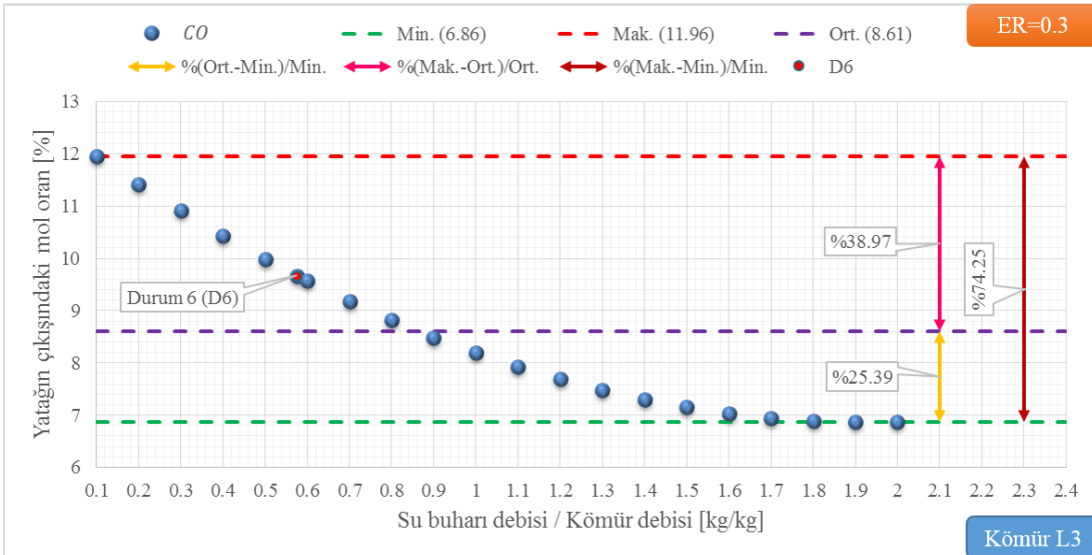
Şekil 6.55 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin azaldığı, H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.55 üzerinde CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen sayısal sonuçların eğim çizgileri ve eğim değerleri de gösterilmektedir.

Su-Buharı/Kömür debisi oranının artması, ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) hızlandırmaktadır. Bu nedenle de Su-Buharı/Kömür debisi oranındaki artış yatak içindeki CO gazının mol oranı değerinde azalmaya, H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı değerlerinde ise artışa



Şekil 6.55 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.

neden olmaktadır. Şimdi sırası ile CO , H_2 ve CO_2 gazları için Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı gösterilecektir. Öncelikle Şekil 6.56 ile L3 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerine etkisi gösterilmektedir.

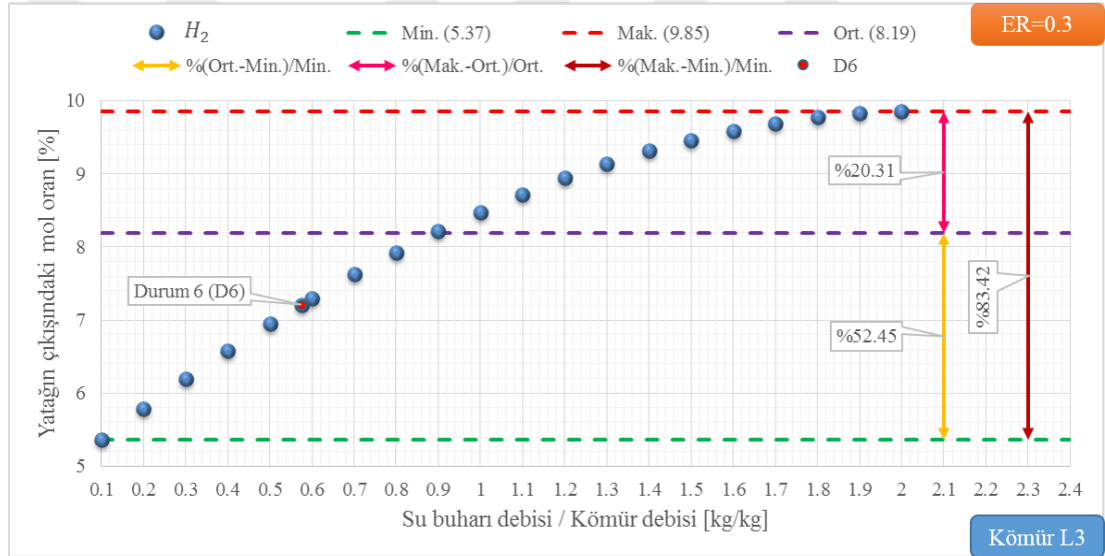


Şekil 6.56 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 6.56 incelendiğinde su buharı debisinin kömür derisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 6.56 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama değerler işaretlenmiştir. Ayrıca

en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de Şekil 6.56 üzerinde belirtilmiştir.

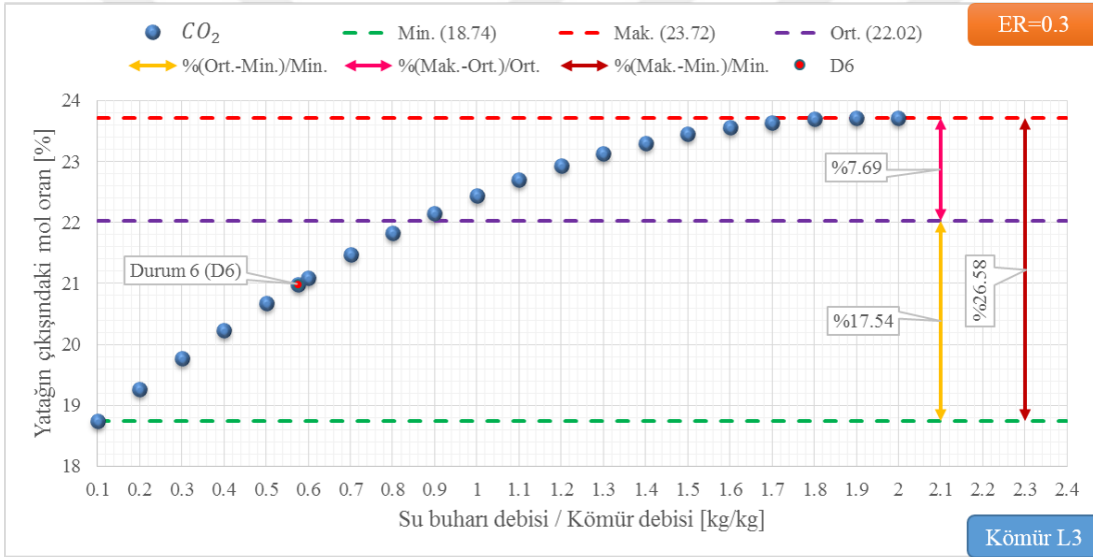
L3 kömürü için yapılan bu parametrik çalışmada CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan en düşük ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri sırasıyla 6.86 ve 11.96'dır. Hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 8.61'dir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark 25.39 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 38.97 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 74.25 değerine sahiptir. Kömürün gazlaştırılmasında ortaya çıkan diğer bir önemli gaz H_2 gazıdır. Şekil 6.57 ile yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.57 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 6.57 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça yatağın çıkış ağzında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı görülmektedir. Şekil 6.57 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde yapılan bu parametrik çalışmada H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 5.37 ve 9.85 değerindedir. Buna karşılık parametrik çalışmada elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 8.19'dur.

Ayrıca Şekil 6.57 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 52.45 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 20.31'dir. Bunun yanı sıra en düşük değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 83.42 değerindedir. Gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için elde edilen sonuçların gösterilmesinden sonra şimdi de gazlaştırma için diğer bir önemli gaz olan CO_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilecektir. L3 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranı etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.58 ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.58 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 6.58 incelendiğinde Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 6.58 üzerinde elde edilen en düşük, ortalama ve en yüksek değerler gösterilmektedir.

L3 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırıldığı ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 18.74 ve 23.72 değerindedir. Ayrıca sayısal çalışma sonucu elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 22.02 değerine sahiptir.

Bunun yanı sıra Şekil 6.58 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 17.54 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 7.69 değerindedir. Buna karşılık en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 26.58 değerine sahiptir.

6.2.2.4 L4 kömürü için elde edilen sonuçlar

Seçilen Türk linyitlerinden dördüncüsü olan L4 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü kullanılarak Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisini araştırmak amacı ile Çizelge 6.12 ile gösterilen 21 durum göz önüne alınarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 6.12 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L4 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	ER ¹ [-]
D1	0.10	8	17.46	0.8	2.1825	0.3
D2	0.20	8	17.46	1.6	2.1825	0.3
D3	0.30	8	17.46	2.4	2.1825	0.3
D4	0.40	8	17.46	3.2	2.1825	0.3
D5	0.50	8	17.46	4.0	2.1825	0.3
D6 ²	0.575	8	17.46	4.6	2.1825	0.3
D7	0.60	8	17.46	4.8	2.1825	0.3
D8	0.70	8	17.46	5.6	2.1825	0.3
D9	0.80	8	17.46	6.4	2.1825	0.3
D10	0.90	8	17.46	7.2	2.1825	0.3
D11	1.00	8	17.46	8.0	2.1825	0.3
D12	1.10	8	17.46	8.8	2.1825	0.3
D13	1.20	8	17.46	9.6	2.1825	0.3
D14	1.30	8	17.46	10.4	2.1825	0.3
D15	1.40	8	17.46	11.2	2.1825	0.3
D16	1.50	8	17.46	12.0	2.1825	0.3
D17	1.60	8	17.46	12.8	2.1825	0.3
D18	1.70	8	17.46	13.6	2.1825	0.3
D19	1.80	8	17.46	14.4	2.1825	0.3
D20	1.90	8	17.46	15.2	2.1825	0.3
D21	2.00	8	17.46	16.0	2.1825	0.3

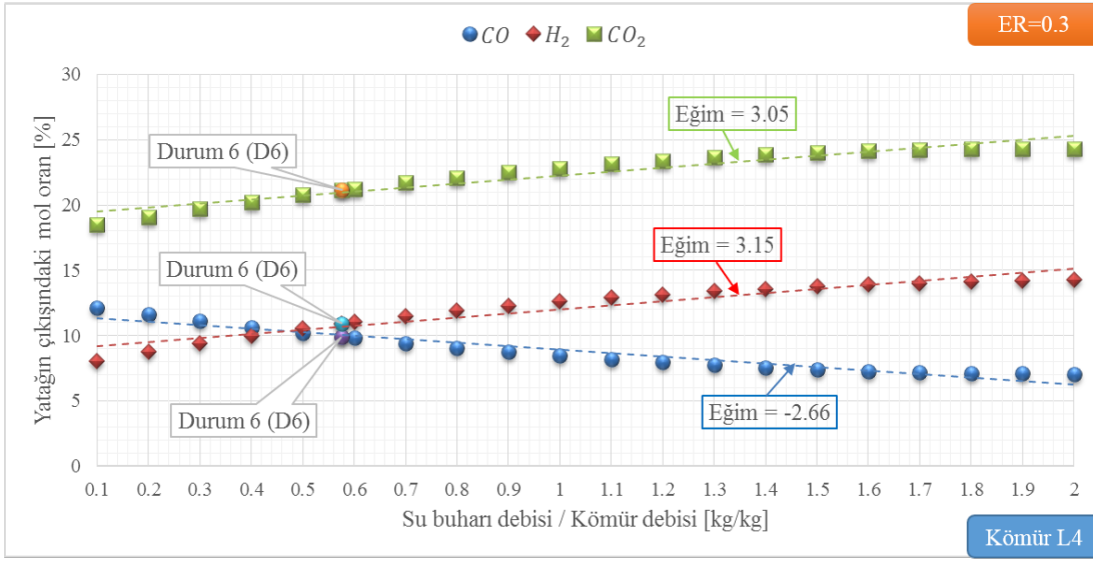
¹ : Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

² : Deneysel çalışma debileri (Bakınız Çizelge 6.1, sayfa 136)

Çizelge 6.12 incelendiğinde yatağa gönderilen hava debisinin 17.46 kg/h olduğu görülmektedir. Bu debi değeri, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) 0.3 olması için L4 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinden L4 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasına

etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmalarda ER değeri 0.3 olarak sabit alınmıştır. Bu değer Deney 1 (Bakınız Çizelge 6.1, sayfa 136) ile belirtilen ER değeri ile aynıdır. Şekil 6.59 ile su buharı debisinin kömür debisine oranına göre, yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi Türk linyitlerinden L4 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü için gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 6.59 üzerinde Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 4.1) şartlarını gösteren Durum 6 (Bakınız Çizelge 6.12) için elde edilen yüzde mol oranı değerleri de işaretlenmiştir.

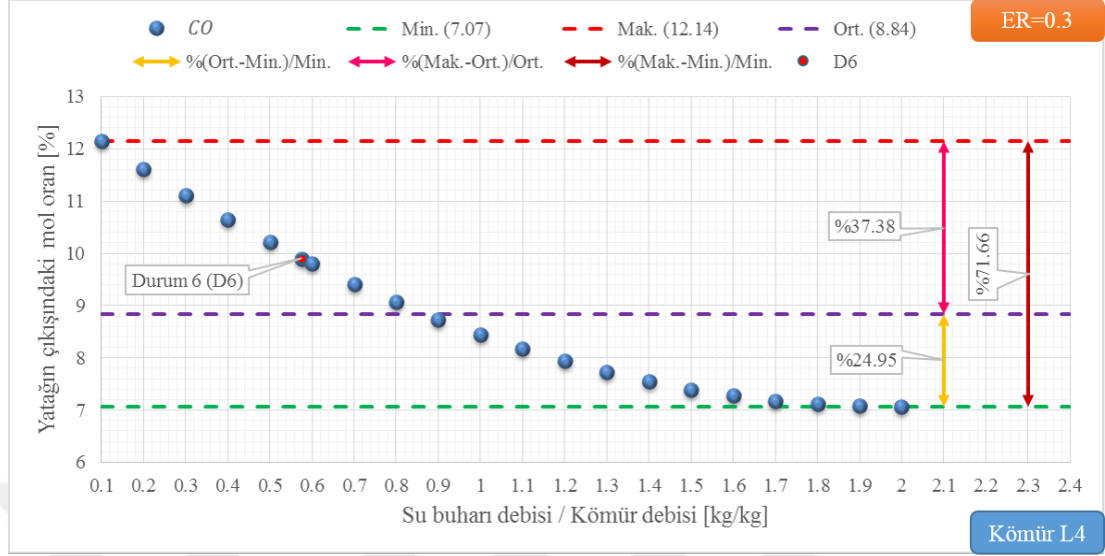


Şekil 6.59 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.

Şekil 6.59 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin azaldığı, H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.59 üzerinde CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen sayısal sonuçların eğim çizgileri ve eğim değerleri de gösterilmektedir.

Su-Buharı/Kömür debisi oranının artması, ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) hızlandırmaktadır. Bu nedenle de Su-Buharı/Kömür debisi oranındaki artış yatak içindeki CO gazının mol oranı değerinde azalmaya, H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı değerlerinde ise artışa neden olmaktadır. Şimdi sırası ile CO , H_2 ve CO_2 gazları için Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı gösterilecektir. Öncelikle Şekil 6.60 ile L4 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta

gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerine etkisi gösterilmektedir.

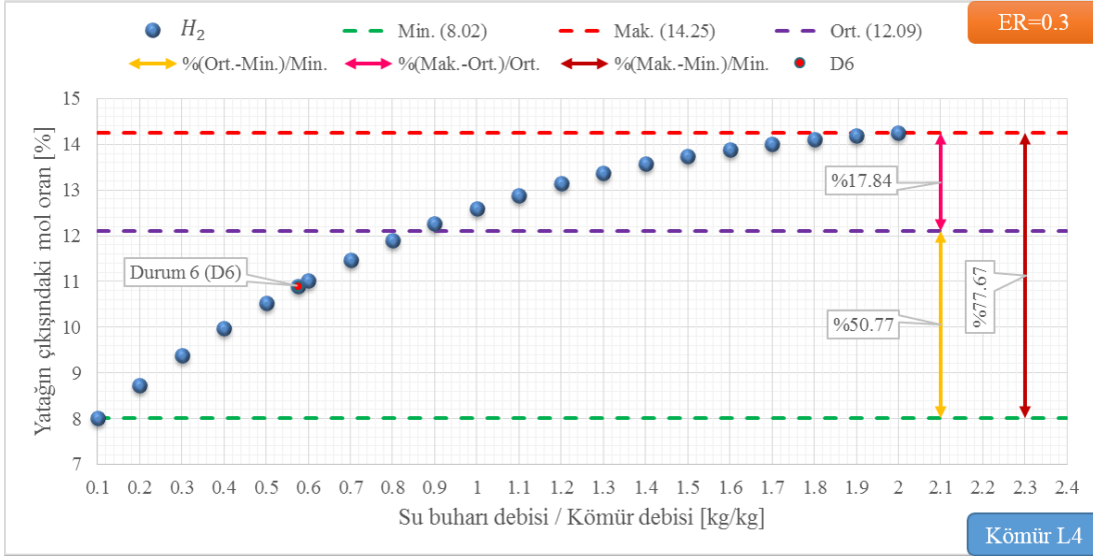


Şekil 6.60 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 6.60 incelendiğinde su buharı debisinin kömür derisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 6.60 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama değerler işaretlenmiştir. Ayrıca en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de Şekil 6.60 üzerinde belirtilmiştir.

L4 kömürü için yapılan bu parametrik çalışmada CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan en düşük ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri sırasıyla 7.07 ve 12.14'tür. Hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 8.84'tür. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark 24.95 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 37.38 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 71.66 değerine sahiptir. Kömürün gazlaştırılmasında ortaya çıkan diğer bir önemli gaz H_2 gazıdır. Şekil 6.61 ile yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 6.61 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça yatağın çıkış ağzında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı görülmektedir. Şekil 6.61 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri

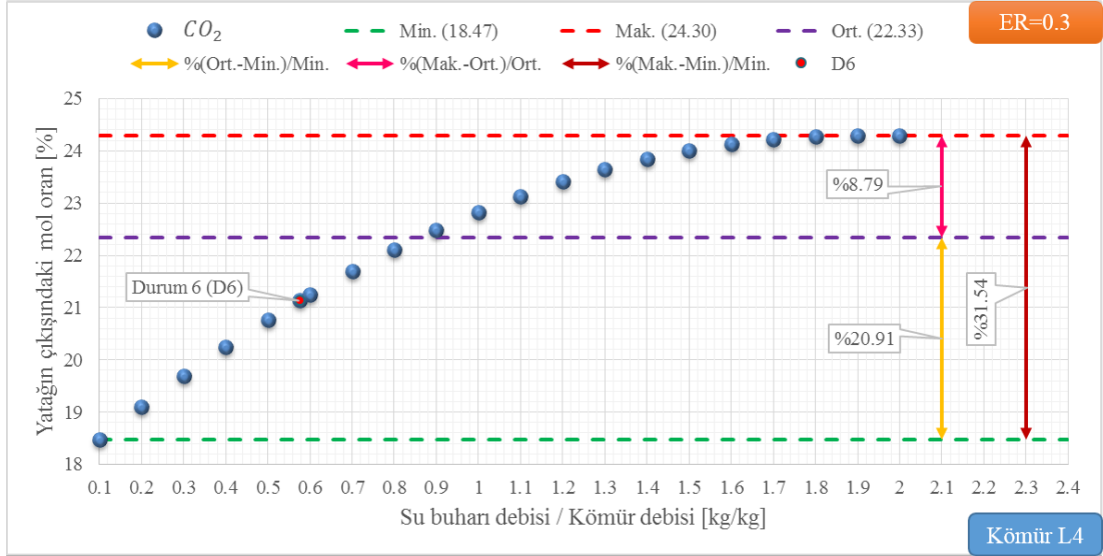


Şekil 6.61 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

gösterilmiştir. Kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde yapılan bu parametrik çalışmada H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 8.02 ve 14.25 değerindedir. Buna karşılık parametrik çalışmada elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 12.09'dur.

Ayrıca Şekil 6.61 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 50.77 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 17.84'tür. Bunun yanı sıra en düşük değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 77.67 değerindedir. Gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için elde edilen sonuçların gösterilmesinden sonra şimdi de gazlaştırma için diğer bir önemli gaz olan CO_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilecektir. L4 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranı etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.62 ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 6.62 incelendiğinde Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 6.62 üzerinde elde edilen en düşük, ortalama ve en yüksek değerler gösterilmektedir.



Şekil 6.62 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

L4 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırıldığı ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 18.47 ve 24.30 değerindedir. Ayrıca sayısal çalışma sonucu elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 22.33 değerine sahiptir.

Bunun yanı sıra Şekil 6.62 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 20.91 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 8.79 değerindedir. Buna karşılık en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 31.54 değerine sahiptir.

6.2.2.5 L5 kömürü için elde edilen sonuçlar

Seçilen Türk linyitlerinden beşincisi olan L5 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü kullanılarak Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisini araştırmak amacı ile Çizelge 6.13 ile gösterilen 21 durum göz önüne alınarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 6.13 incelendiğinde yatağa gönderilen hava debisinin 19.0 kg/h olduğu görülmektedir. Bu debi değeri, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) 0.3 olması

Çizelge 6.13 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L5 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	ER ¹ [-]
D1	0.10	8	19	0.8	2.375	0.3
D2	0.20	8	19	1.6	2.375	0.3
D3	0.30	8	19	2.4	2.375	0.3
D4	0.40	8	19	3.2	2.375	0.3
D5	0.50	8	19	4.0	2.375	0.3
D6 ²	0.575	8	19	4.6	2.375	0.3
D7	0.60	8	19	4.8	2.375	0.3
D8	0.70	8	19	5.6	2.375	0.3
D9	0.80	8	19	6.4	2.375	0.3
D10	0.90	8	19	7.2	2.375	0.3
D11	1.00	8	19	8.0	2.375	0.3
D12	1.10	8	19	8.8	2.375	0.3
D13	1.20	8	19	9.6	2.375	0.3
D14	1.30	8	19	10.4	2.375	0.3
D15	1.40	8	19	11.2	2.375	0.3
D16	1.50	8	19	12.0	2.375	0.3
D17	1.60	8	19	12.8	2.375	0.3
D18	1.70	8	19	13.6	2.375	0.3
D19	1.80	8	19	14.4	2.375	0.3
D20	1.90	8	19	15.2	2.375	0.3
D21	2.00	8	19	16.0	2.375	0.3

¹ : Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

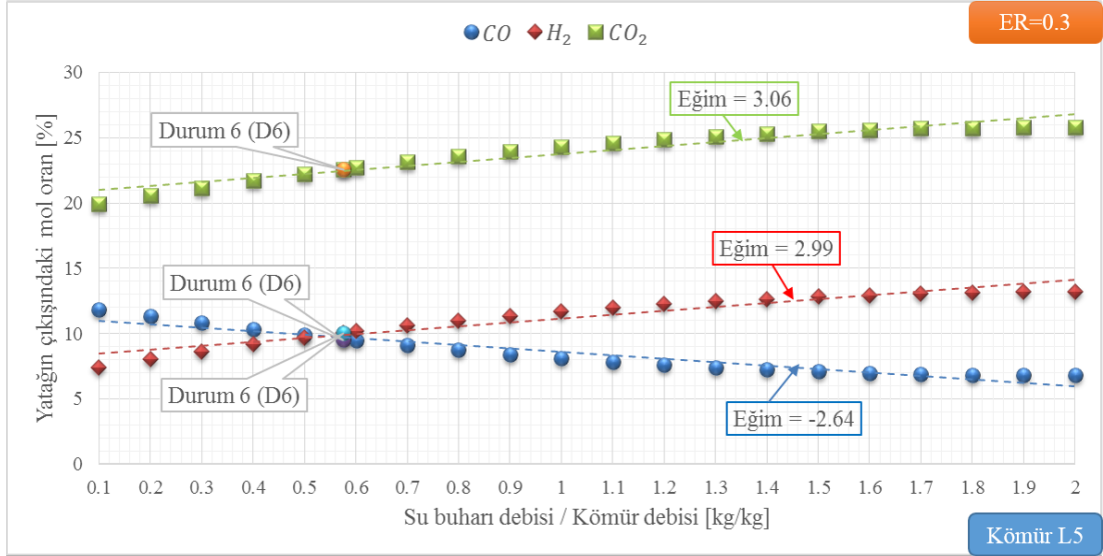
² : Deney 1 çalışma debileri (Bakınız Çizelge 6.1, sayfa 136)

için L5 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinden L5 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmalarda ER değeri 0.3 olarak sabit alınmıştır. Bu değer Deney 1 (Bakınız Çizelge 6.1, sayfa 136) ile belirtilen ER değeri ile aynıdır.

Şekil 6.63 ile su buharı debisinin kömür debisine oranına göre, yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi Türk linyitlerinden L5 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü için gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 6.63 üzerinde Deney 1 (Bakınız Çizelge 4.1, sayfa 4.1) şartlarını gösteren Durum 6 (Bakınız Çizelge 6.13) için elde edilen yüzde mol oranı değerleri de işaretlenmiştir.

Şekil 6.63 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin azaldığı, H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.63 üzerinde CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen sayısal sonuçların eğim çizgileri ve eğim değerleri de gösterilmektedir.

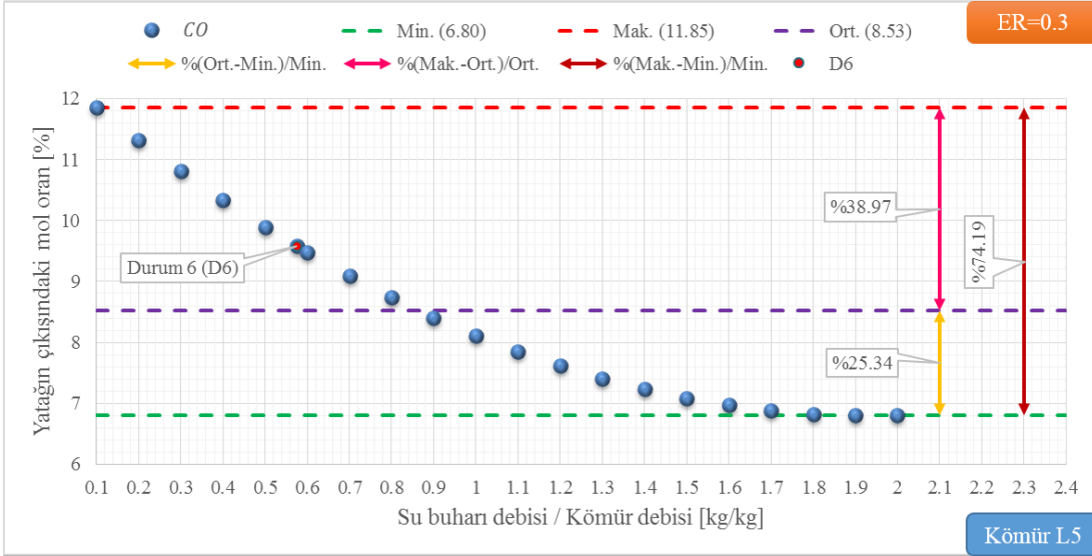


Şekil 6.63 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.

Su-Buharı/Kömür debisi oranının artması, ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) hızlandırmaktadır. Bu nedenle de Su-Buharı/Kömür debisi oranındaki artış yatak içindeki CO gazının mol oranı değerinde azalmaya, H₂ ve CO₂ gazlarının mol oranı değerlerinde ise artışa neden olmaktadır. Şimdi sırası ile CO, H₂ ve CO₂ gazları için Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı gösterilecektir. Öncelikle Şekil 6.64 ile L5 kömürünün kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerine etkisi gösterilmektedir.

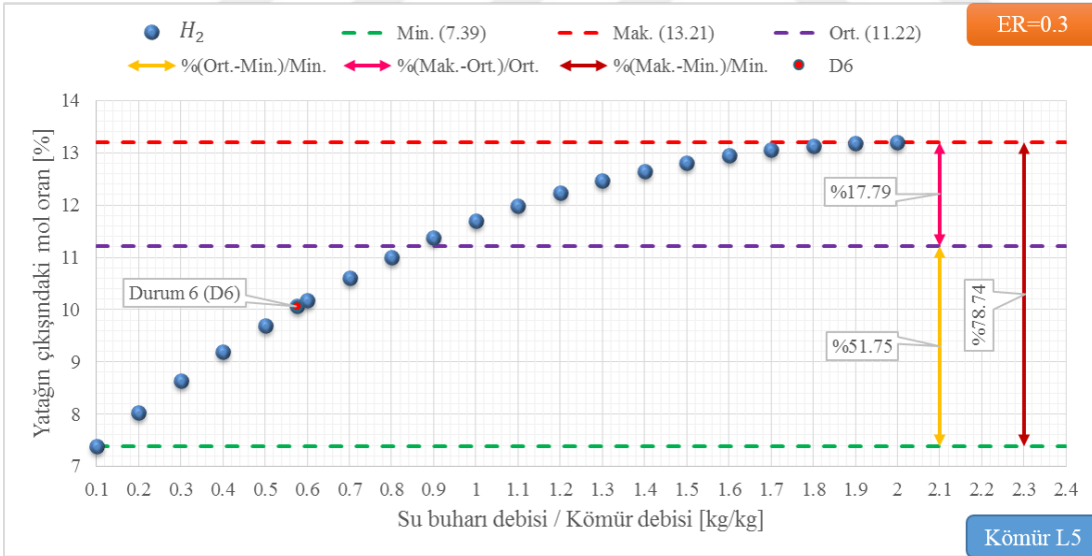
Şekil 6.64 incelendiğinde su buharı debisinin kömür derisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 6.64 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama değerler işaretlenmiştir. Ayrıca en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de Şekil 6.64 üzerinde belirtilmiştir.

L5 kömürü için yapılan bu parametrik çalışmada CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan en düşük ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri sırasıyla 6.80 ve 11.85'tir. Hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 8.53'tür. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark 25.34 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 38.97 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 74.19



Şekil 6.64 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

değerine sahiptir. Kömürün gazlaştırılmasında ortaya çıkan diğer bir önemli gaz H_2 gazıdır. Şekil 6.65 ile yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.

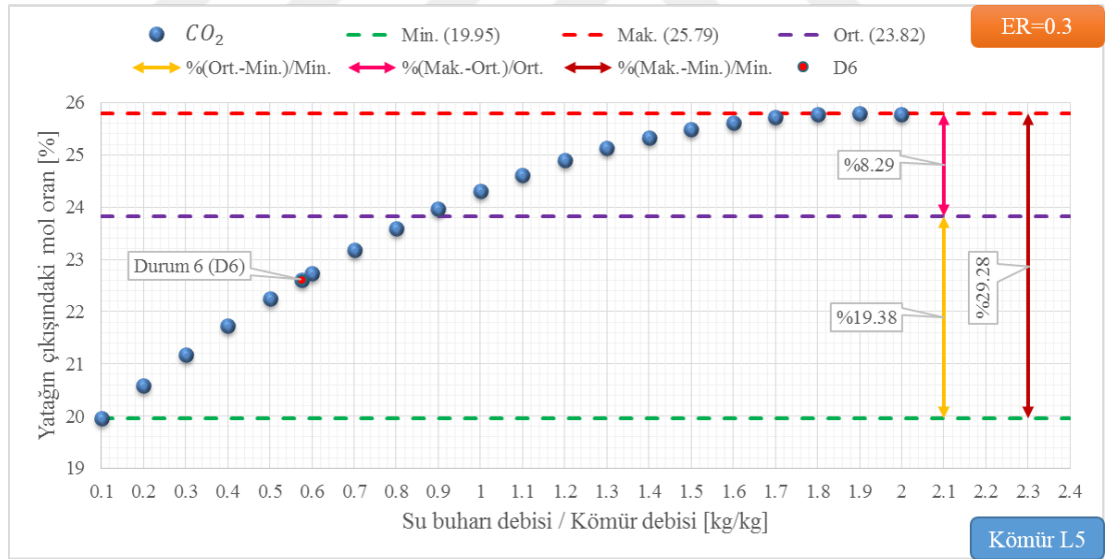


Şekil 6.65 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 6.65 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça yatağın çıkış ağzında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı görülmektedir. Şekil 6.65 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde yapılan bu parametrik

çalışmada H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 7.39 ve 13.21 değerindedir. Buna karşılık parametrik çalışmada elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 11.22'dir.

Ayrıca Şekil 6.65 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 51.75 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 17.79'dur. Bunun yanı sıra en düşük değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 78.74 değerindedir. Gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için elde edilen sonuçların gösterilmesinden sonra şimdi de gazlaştırma için diğer bir önemli gaz olan CO_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilecektir. L5 kömürünün kabarcıklı akışkan yataкта gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranı etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 6.66 ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.66 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 6.66 incelendiğinde Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 6.66 üzerinde elde edilen en düşük, ortalama ve en yüksek değer gösterilmektedir.

L5 kömürünün kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde gazlaştırıldığı ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 19.95 ve 25.79 değerindedir. Ayrıca sayısal çalışma sonucu elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 23.82 değerine sahiptir.

Bunun yanı sıra Şekil 6.66 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 19.38 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 8.29 değerindedir. Buna karşılık en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 29.28 değerine sahiptir.

Su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisi parametrik çalışılmış ve yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için yüzde mol oranı değerleri elde edilmiştir. Şekil 6.47-6.66 ile tüm sonuçlar verilmiş ve sayısal değerlendirmeler yapılmıştır. Şimdi ise bu parametrik çalışma sonuçlarının kimyasal nedenleri tartışılacaktır.

Şekil 6.47-6.66 ile verilen sonuçlar incelendiğinde genel karakter olarak Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin azaldığı buna karşılık ise H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeni, yatağa gönderilen su buharı debisinin fazlalaşması ile ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift-WGS) reaksiyonunun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) dengesi ürünler tarafına kaymakta ve bu da yataktaki CO gazının azalmasına buna karşılık H_2 ve CO_2 gazlarının artmasına neden olmakta şeklinde açıklanabilir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Su-Buharı/Kömür debisindeki artışın benzer sonuçlar doğurduğunu gösteren birçok çalışma yer almaktadır [12, 47, 58, 141–143].

7. DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAK SONUÇLARI

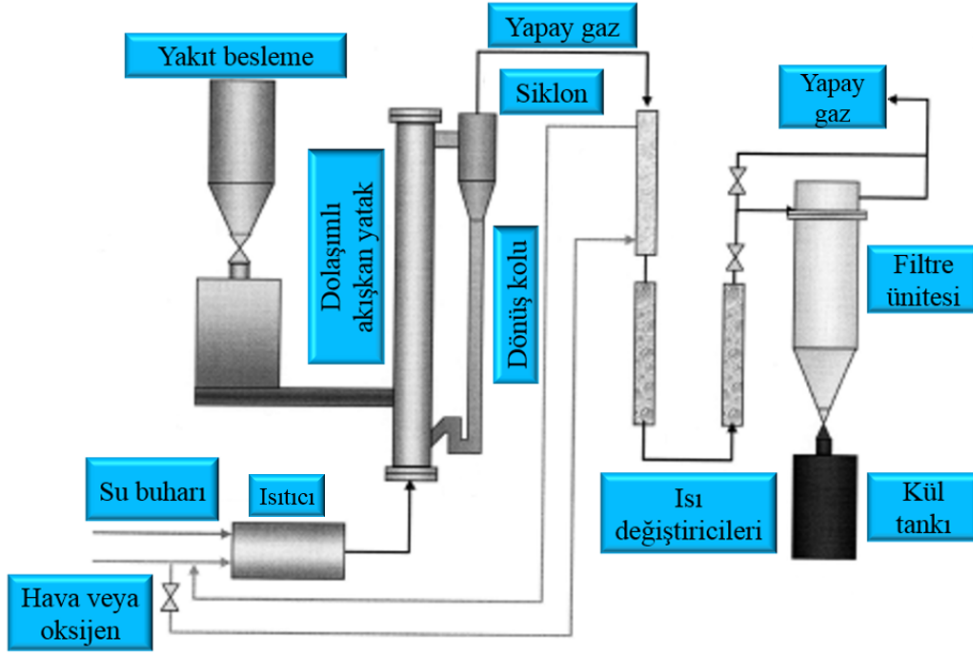
Doktora tezi kapsamında seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşimli akışkan yatak kullanılarak gazlaştırılması da modellenmiştir. Daha önceki bölümde (Bölüm 6, sayfa 135) kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde parametrik çalışmaların sonuçlarına yer verilmiştir. Şimdi bu bölümde ise gazlaştırma için diğer bir önemli akışkan yatak tipi olan dolaşimli akışkan yatakta, seçilen Türk linyitleri (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kullanılarak yapılan kapsamlı parametrik çalışmaların sonuçlarına yer verilecektir.

Öncelikle dolaşimli akışkan yatak için literatürde kapsamlı bir araştırma yapılmış ve yatağın tüm ölçülerinin ayrıntılı bir şekilde verildiği bir çalışma araştırılmıştır. Literatür araştırmasının ardından seçilen Türk linyitlerinin dolaşimli akışkan yatakta gazlaştırılması parametrik çalışmaları için, Xuantian Li [144] tarafından yapılan doktora tezinde yer alan dolaşimli akışkan yatak geometrisi seçilmiştir. Şimdi seçilen dolaşimli akışkan yatak geometrisi ile kapsamlı bilgi verilecektir.

7.1 Dolaşimli Akışkan Yatak Geometrisi

Li [144] tarafından yapılan doktora çalışmada yer alan dolaşimli akışkan yatağın şematik gösterimi Şekil 7.1 ile verilmektedir.

Şekil 7.1 incelendiğinde dolaşimli akışkan yatakta yakıtın gazlaştırılmasından sonra açığa çıkan sentez gazın (syngas) önce ısı değiştiricisine gönderildiği görülmektedir. Isı değiştiricisine gönderilen sentez gaz yatağa alt taraftan beslenen hava veya oksijen gazlarının sıcaklığını arttırmak için kullanılmaktadır. Hava veya oksijen sıcaklığının gazlaştırma için yeterli miktarlara çıkamadığı durumlar için yatağa giriş bölgesinden önce ayrıca bir tane de elektrikli ısıtıcı ünite konulmuştur. Böylece yatağa gönderilen havanın veya oksijenin sıcaklığı istenildiği gibi ayarlanabilmektedir. Yapay gaz, filtreden geçirilip temizlenmesinden ve külden arındırılmasından sonra nihai kullanım amacına iletilmektedir. Dolaşimli akışkan yatağın alt tarafını ve dönüş kolunun alt

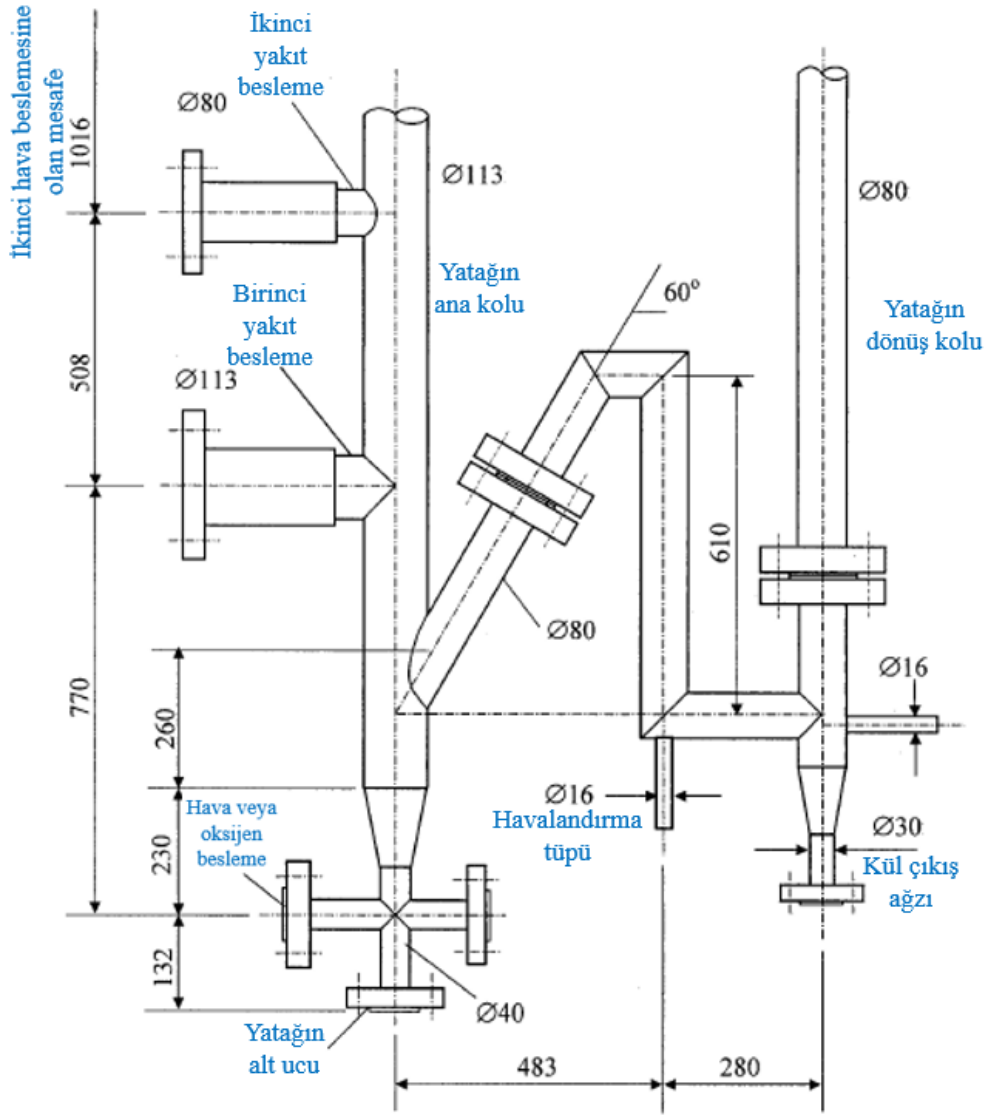


Şekil 7.1 : Dolaşimli akışkan yatağın şematik gösterimi [144].

bölgesini gösteren ayrıntılı teknik resim Şekil 7.2 ile gösterilmektedir. Şekil 7.2 ile gösterilen teknik resimdeki tüm ölçüler *mm* cinsindedir.

Dolaşimli akışkan yatağın alt tarafının gösterildiği teknik resim ile ilgili bazı önemli açıklamalar aşağıda sıralanmaktadır:

- Yatağın ana kolunun yüksekliği *6760 mm* değerindedir.
- Yatağın ana kolunun çapı *113 mm* değerindedir.
- Yatağın dönüş kolunun çapı *80 mm* değerindedir.
- Yatağa hava veya oksijen sol alt taraftan beslenmekte ve besleme noktası yatağın en alt ucundan *132 mm* yüksektedir.
- Hava veya oksijen besleme noktasının hemen üstünde alt çapı *40 mm* ve üst çapı *80 mm* olan *230 mm* yükseklikte konik parça yer almaktadır. Bu parça ile yatak çapı genişletilmektedir.
- Hava veya oksijen besleme noktasından *770 mm* yükseklikte birinci yakıt besleme ağzı bulunmaktadır. Li [144] tarafından yapılan deneysel çalışmada birinci yakıt besleme ağzı biyoyakıt için kullanılmaktadır.
- Hava veya oksijen besleme noktasından *1278 mm* yüksekte ikinci yakıt besleme ağzı bulunmaktadır. Li [144] tarafından yapılan deneysel çalışmada ikinci yakıt

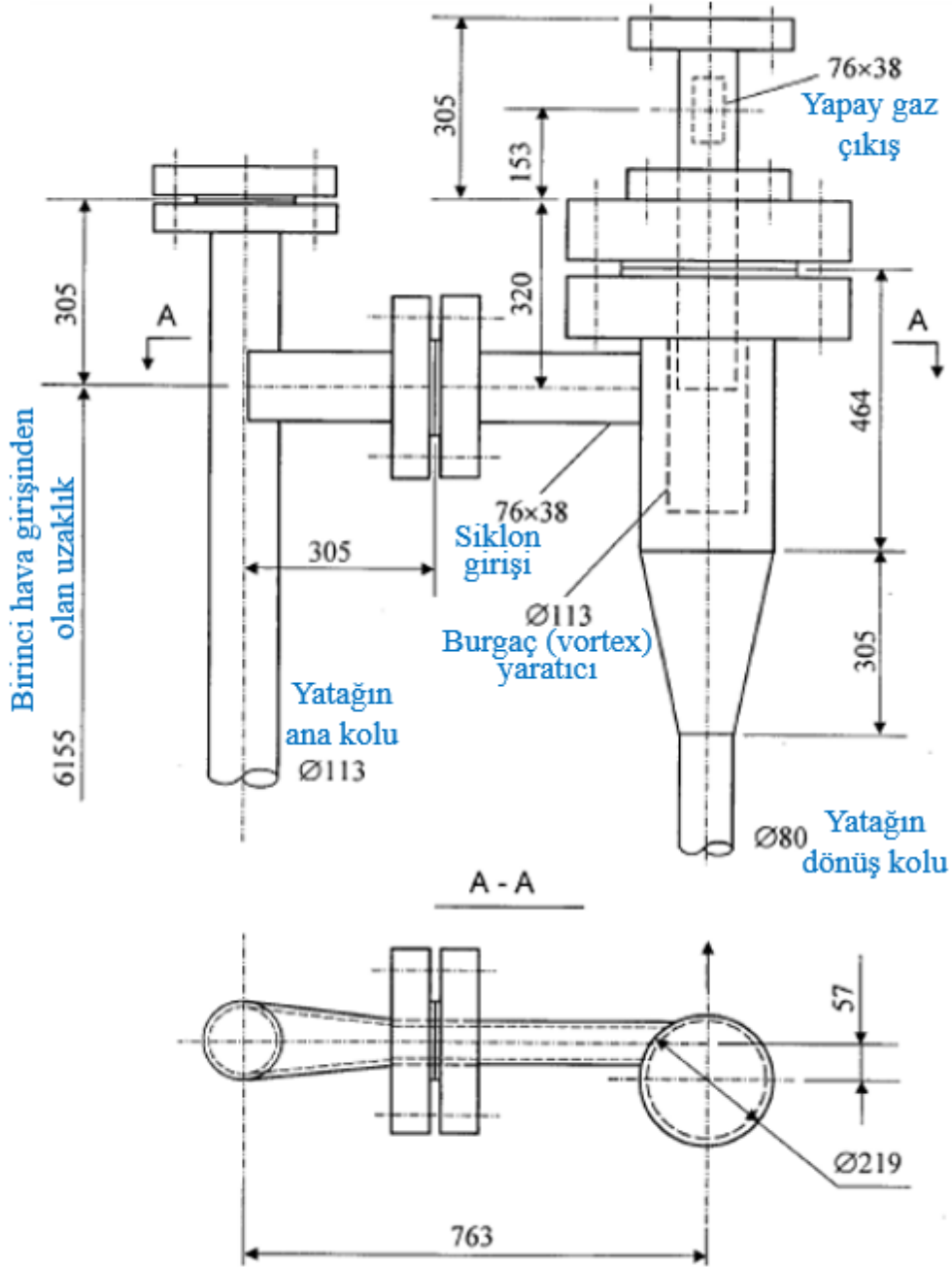


Şekil 7.2 : Dolaşımlı akışkan yatağın alt tarafının ayrıntılı teknik resmi [144].

besleme ağzı kömür beslemesi için kullanılmaktadır. Birinci ve ikinci yakıt besleme arasındaki mesafe 508 mm'dir.

- Dolaşımlı akışkan yatağın ana kolu üzerinde ikinci yakıt besleme noktasından 1016 mm yüksekte ise ikincil hava veya oksijen besleme noktası yer almaktadır.
- Dolaşımlı akışkan yataklarda dönüş kolunun yatağın ana kola bağlanma şekli önemlidir. Aksi takdirde yatak içinde düzgün dolaşım sağlanamamaktadır. Dönüş kolunun ana kola bağlantısı, çapı 80 mm olan bir parça ile yapılmaktadır. Ayrıca ana koldan geri dönüş koluna yakıt taneciklerinin kaçmasını önlemek için Şekil 7.2 ile gösterilen 60 derecelik eğime ve 610 mm yüksekliğe sahip bağlantı kolu kullanılmıştır.

Dolaşimli akışkan yatağın üst tarafını ve dönüş kolunu gösteren ayrıntılı teknik resim Şekil 7.3 ile gösterilmektedir. Şekil 7.3 ile gösterilen teknik resimdeki tüm ölçüler *mm* cinsindedir.



Şekil 7.3 : Dolaşimli akışkan yatağın üst bölgesinin ayrıntılı teknik resmi [144].

Dolaşimli akışkan yatağın üst tarafının gösterildiği ve Şekil 7.3 ile gösterilen teknik resim ile ilgili bazı önemli açıklamalar aşağıda sıralanmaktadır:

- Yatağın ana kolu ile siklon arasındaki mesafe 763 *mm* değerindedir.
- Siklonun ilk parçasının çapı 219 *mm* ve yüksekliği 464 *mm* olan bir silindirdir.

- Ayrıca siklonun ikinci parçası konik şeklindedir. Konik parçanın yüksekliği 305 *mm*'dir. Siklon konik parça ile yatağın dönüş koluna bağlanmaktadır. Bu parça ile siklon dönüş koluna doğru daraltılarak yatak içinde düzgün bir dolaşım sağlanması hedeflenmektedir.
- Siklonun içinde burgaç (vortex) oluşturacak bir parça bulunmaktadır. Bu parça 113 *mm* çapında silindirik bir parçadır ve siklonun merkezine yerleştirilmiştir. Bu parça sayesinde yakıt tanecikleri öncelikle bu parçaya teğet olarak çarpıp aşağıya burgaçlar çizerek ilerlemekte ve böylece yakıt taneciklerinin dışarıya kaçıışı azaltılmaktadır.
- Şekil 7.3 ile gösterilen A-A kesiti ise yatağın ana kolundan gelen bağlantı kolunun siklon ile nasıl birleştiğini göstermektedir. Bağlantı kolunun eksenini siklon ekseninden 57 *mm* farka sahiptir. Böylece yakıt taneciklerinin siklona girdiklerinde burgaç hareketi yapması hedeflenmektedir.

Parametrik çalışma için seçilen dolaşimli akışkan yatak geometrisi ile ilgili kapsamlı bilgiler verilmiştir. Şimdi ise Li [144] tarafından yapılan doktora tezinde yer alan dolaşimli akışkan yatak sınır şartları ve çalışma debileri ile ilgili bilgi verilecektir:

- Deneysel çalışmaya, yatağa 30-35 *kg* arasında yatak malzemesi (kum) konularak başlanmaktadır.
- İçinde yatak malzemesi varken yatak soğuk olarak 10-20 dakika hızlı akışkanlaştırma rejiminde çalıştırılmakta ve yatakta dolaşımın sağlandığına emin olunmaktadır.
- Daha sonra yatağa sıcak hava ve/veya oksijen gönderilerek yatağın sıcaklığı ortalama 400-450 °C aralığına getirilene kadar ısıtılmaktadır. Bu sıcaklığa ulaşıldıktan sonra yatağa kömür beslemesi başlamaktadır.
- Yatak sıcaklığı 800 °C değerine ulaştıktan sonra yatağa yapılan kömür beslemesi durdurulmakta ve yerine talaş beslemesi yapılmaktadır.

Li [144] tarafında yapılan doktora tezinde yer alan deneysel çalışmada, yatağın çalışmaya başlatıldığı (start-up) ve gazlaştırma ortam şartları Çizelge 7.1 ile özetlenmektedir.

Çizelge 7.1 : Deneyin başlangıç ve gazlaştırma şartları [144].

Değişkenler	Değer
Başlangıç şartları	
Çıkış basıncı [bar]	1.19
Birincil hava 1 (B1) [Nm^3/h]	30.20
Birincil hava 2 (B1) [Nm^3/h]	19.13
İkincil hava [Nm^3/h]	1.27
U dönüş kolundaki yatay hava (Y) [Nm^3/h]	2.22
U dönüş kolundaki dikey hava (D) [Nm^3/h]	4.90
Kömür debisi [kg/h]	10.65
Talaş debisi [kg/h]	0.00
Gazlaştırma şartları	
Çıkış basıncı [bar]	1.19
Birincil hava 1 (B1) [Nm^3/h]	24.16
Birincil hava 2 (B1) [Nm^3/h]	15.10
İkincil hava [Nm^3/h]	1.52
U dönüş kolundaki yatay hava (Y) [Nm^3/h]	1.77
U dönüş kolundaki dikey hava (D) [Nm^3/h]	4.90
Kömür debisi [kg/h]	0.00
Talaş debisi [kg/h]	33.73
Diğer özellikler	
Talaşın yığın (bulk) yoğunluğu [kg/m^3]	460
Kömürün yığın (bulk) yoğunluğu [kg/m^3]	815
Talaş çapı [mm]	0.43
Kömür çapı [mm]	0.56

Seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında yatak geometrisi olarak Li [144] tarafından yapılan doktora tezinde ayrıntılı bir şekilde teknik çizimleri verilen ve Şekil 7.2-7.3 ile gösterilen dolaşımli akışkan yatak geometrisi seçilmiştir. Seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasının incelenmesi için literatürde yer alan gerçek ve ölçüleri tam verilmiş bir dolaşımli akışkan yatak geometrisi seçildikten sonra şimdi ise yatak geometrisine uygun çalışma debilerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bunun için öncelikle kömür besleme debisi belirlenecektir. Li [144] tarafından yapılan deneysel çalışmada başlangıçta yatağa 10.65 kg/h debisinde kömür gönderilmekte daha sonra ise yatağın dengeli hale gelmesinden sonra yatağa 33.73 kg/h debisinde talaş beslemesi yapılmaktadır. Li [144] tarafından yapılan doktora çalışmasında talaşın gazlaştırılmasının deneysel çalışması yapılmıştır. Çizelge 7.1 incelendiğinde kömür yoğunluğunun talaş yoğunluğunun yaklaşık 1.8 katı olmasından dolayı

doktora çalışması kapsamında yapılacak parametrik çalışmada talaş debisinden hareket edilmesinin yanlış olacağı kararına varılmıştır. Bu nedenle de literatürde yer alan Li ve diğ. [6] yapılan çalışmadan yardım alınmıştır. Bu çalışmada kömürün gazlaştırılması için iki siklonlu dolaşimli akışkan yatak kullanılmıştır. Kullanılan yatağın yüksekliği 6.3 m ve iç çapı 100 mm değerindedir. Bu çalışmada kullanılan dolaşimli akışkan yatağın yüksekliği ve iç çapı doktora kapsamında modellenmesi yapılacak dolaşimli akışkan yatağa çok yakın değerlerdedir (Bakınız sayfa 230). Bu nedenle de Li ve diğ. [6] tarafından yapılan çalışmada yer alan çalışma debileri dikkate alınarak doktora tezi kapsamında yapılacak bu parametrik çalışmadaki çalışma debisi aralıkları belirlenmiştir. Öncelikle Li ve diğ. [6] tarafından yapılan çalışmanın sınır şartları (kömür ve hava debileri) özet olarak Çizelge 7.2 ile gösterilecektir.

Çizelge 7.2 : Deneyde kullanılan kömür ve hava debileri [6].

Deneyler	1	2	3	4	5	6	7	8
Basınç [KPa]	160	155	155	165	145	145	155	101
Kömür debisi [kg/h]	26.4	19.2	25.0	30.9	19.4	24.8	29.8	24.7
Hava debisi [kg/h]	68	70	71	69	74	74	70	54
Hava/Kömür debisi [kg/kg]	2.58	3.65	2.84	2.23	3.81	2.98	2.35	2.19
ER [-]	0.37	0.52	0.41	0.32	0.54	0.42	0.33	0.31
Yatağın çıkışında ölçülen mol oranı [%]								
CO	10.2	9.1	12.0	13.4	10.1	13.2	13.6	9.7
CO_2	15.7	15.0	13.1	13.3	14.2	12.3	13.0	15.5
H_2	8.0	5.6	8.5	10.4	5.6	8.4	9.9	8.8

Li ve diğ. [6] tarafından yapılan deneysel çalışmada yer alan ve Çizelge 7.2 ile gösterilen deneysel sonuçlar, Çizelge 7.3 ile yaklaşık (proximate) ve kesin (ultimate) analiz sonuçları gösterilen kömür kullanılarak elde edilmiştir.

Böylece Li ve diğ. [6] tarafından yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan çalışma debileri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Şimdi ise dolaşimli akışkan yatak kullanılarak yapılacak parametrik çalışma bilgilerine geçmeden önce parametrik çalışma için seçilen dolaşimli akışkan yatağın sayısal çözümlenmelerde kullanılacak ağ (mesh) yapısının belirlenmesi ile ilgili bilgiler verilecektir. Sayısal çözümlenmelerde uygun ağ yapısının seçilmesi çok önemli bir husustur. Problem sınır şartlarına ve fiziğine uygun ağ sayısının ve yapısının seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca seçilen ağ yapısı ile yapılan modelleme sonuçlarının deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılması ve bilgisayar zamanı da dikkate alınarak uygun bir ağ sayısının seçilmesi gerekmektedir. Model sonuçlarını karşılaştırmak için Li ve diğ. [6] tarafından yapılan çalışmada yer alan toplam 8 deneysel çalışma sonuçları içinde Deney 8 (Bakınız Çizelge 7.2)

Çizelge 7.3 : Deneyde kullanılan kömürün yaklaşık (proximate) ve kesin (ultimate) analiz sonuçları [6].

Yaklaşık analiz sonuçları [%]	
Uçucu madde	43.4
Sabit karbon	30.2
Kül (ash)	16.0
Nem	10.4
Kapsamlı analiz sonuçları [%]	
C	57.2
H	3.3
O	16.2
N	0.7
S	0.2
Kül (ash)	13.4
Nem	9.0
HHV [MJ/kg]	21.1

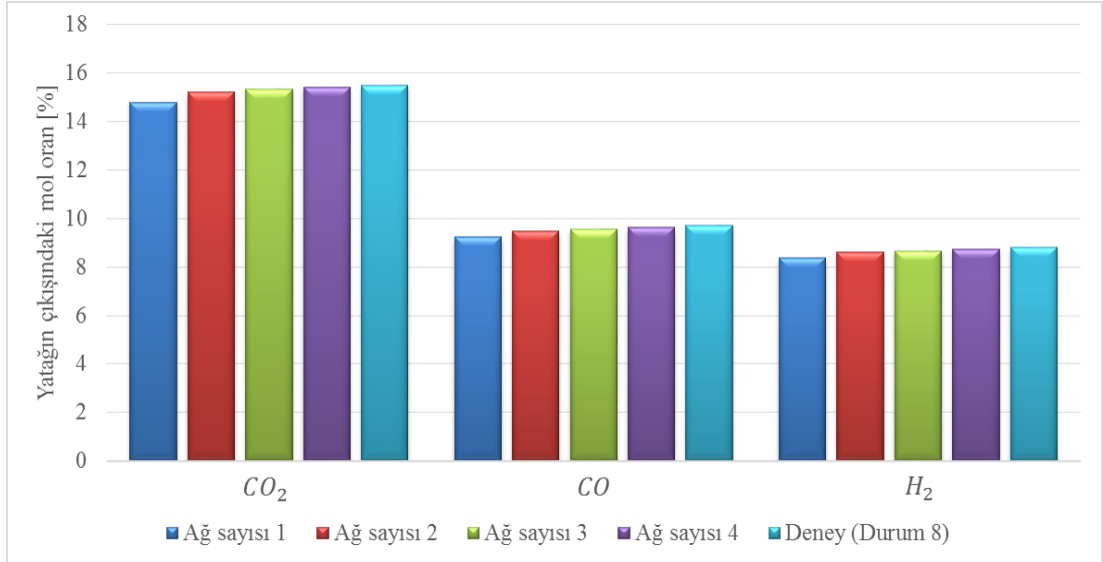
ile elde edilen sonuçlar seçilmiştir. Bunun en önemli nedeni Deney 8'in atmosfer basıncına çok yakın bir basınç altında yapılmış olmasıdır. Çünkü doktora kapsamında yapılan parametrik çalışmalarda yatak basıncının değişimi inceleme dışında tutulmuş ve yatak basıncının atmosfer basıncına eşit olduğu kabulü yapılmıştır. Bu nedenle de dolaşımli akışkan yatağın ağ yapısını belirlemek için Çizelge 7.2 ile gösterilen deneysel sonuçlardan Deney 8'in sonuçları kullanılmıştır.

Parametrik çalışmalarda kullanılacak dolaşımli akışkan yatağın ağ sayısının seçimi için 4 farklı ağ sayısı belirlenmiş ve her bir ağ sayısı durumu için modelleme sonuçları elde edilmiştir. Çizelge 7.4 ile seçilen ağ sayıları ile ilgili bilgi verilmektedir.

Çizelge 7.4 : Dolaşımli akışkan yatak için seçilen ağ sayıları.

Durumlar	Ağ sayısı	Ağ boyutu
Ağ sayısı 1	663325	4x4x4 mm
Ağ sayısı 2	990153	3.5x3.5x3.5 mm
Ağ sayısı 3	1572326	3x3x3 mm
Ağ sayısı 4	2716979	2.5x2.5x2.5 mm

Çizelge 7.4 ile gösterilen 4 ağ sayısı için Çizelge 7.2'de yer alan Deney 8 koşulları kullanılarak modelleme yapılmıştır. Yapılan modellemelerde ise Çizelge 7.3 ile özellikleri gösterilen kömür kullanılmıştır. Dört farklı ağ yapısı kullanılarak yapılan modellemelerde yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması Şekil 7.4 ile verilmektedir.

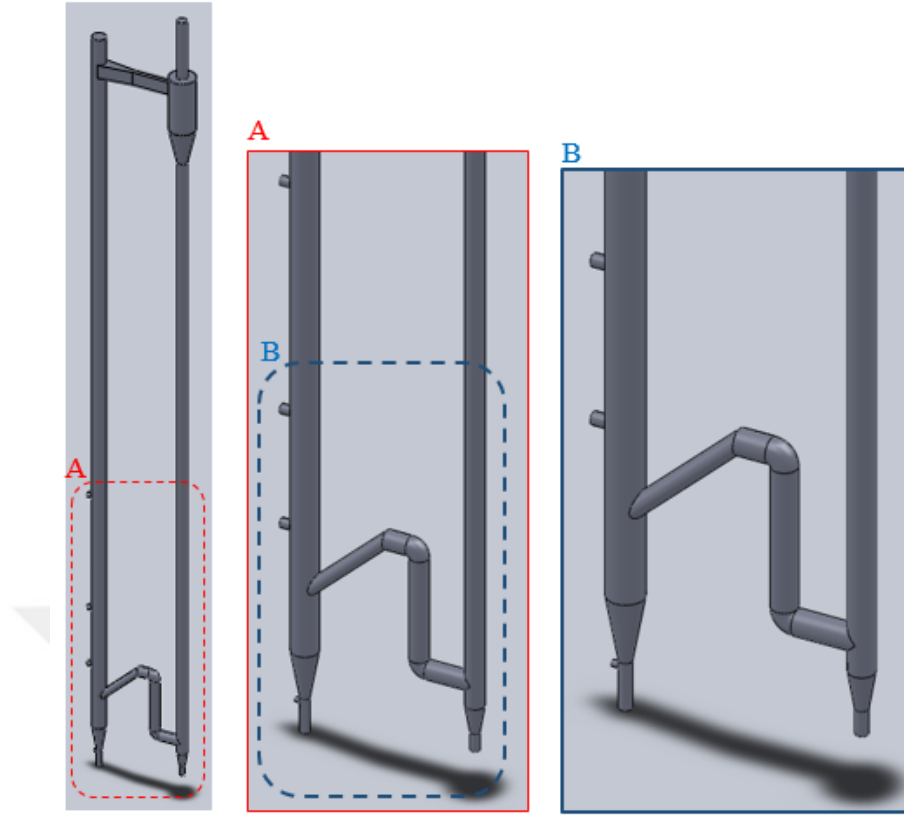


Şekil 7.4 : Dolaşımli akışkan yatağın ağ sayısının model sonuçlarına etkisi.

Şekil 7.4 incelendiğinde deney sonuçlarına en yakın model sonuçlarının Ağ sayısı 4 durumu ile elde edildiği görülmektedir. İkinci en yakın sonuç ise Ağ sayısı 3 durumu ile elde edilmiştir. Ağ sayısı 3 durumu ile elde edilen model sonuçlarının Ağ sayısı 4 durumu ile edilen model sonuçlarına çok yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca Ağ sayısı 3 durumundaki ağ sayısının, Ağ sayısı 4 durumundaki ağ sayısının yaklaşık %58'i kadardır. Sonuçların birbirine yakın olması ve aynı zamanda ağ sayısı farkının çok olmasından dolayı, bilgisayar zamanı da düşünülerek parametrik çalışmalar için ağ boyutu ve sayısı Çizelge 7.4 ile gösterilen Ağ sayısı 3 durumu olarak seçilmiştir. Ayrıca sayısal çözümlerinde kabarcıklı akışkan yatak parametrik çalışmalarda olduğu gibi zaman adımı $5 \cdot 10^{-5}$ s olarak alınmıştır.

Önceki bölümlerde ayrıntılı teknik resmi verilen dolaşımli akışkan yatak geometrisi kullanılarak, seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) gazlaştırılması ıncelecektir. Parametrik çalışmalar ile ilgili bilgi vermeye geçmeden önce modelde kullanılacak dolaşımli akışkan yatağın SolidWorks paket programı kullanılarak oluşturulan üç boyutlu modeli ve ANSYS paket programı kullanılarak yatağın HAD için gerekli şartları sağlayacak şekilde ağlara bölünmüş yapısı gösterilecektir. Şekil 7.5 ile yatağın üç boyutlu çizimi gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 7.5 ile yatağın dönüş kısmının daha yakından gösterimlerine de yer verilmektedir.

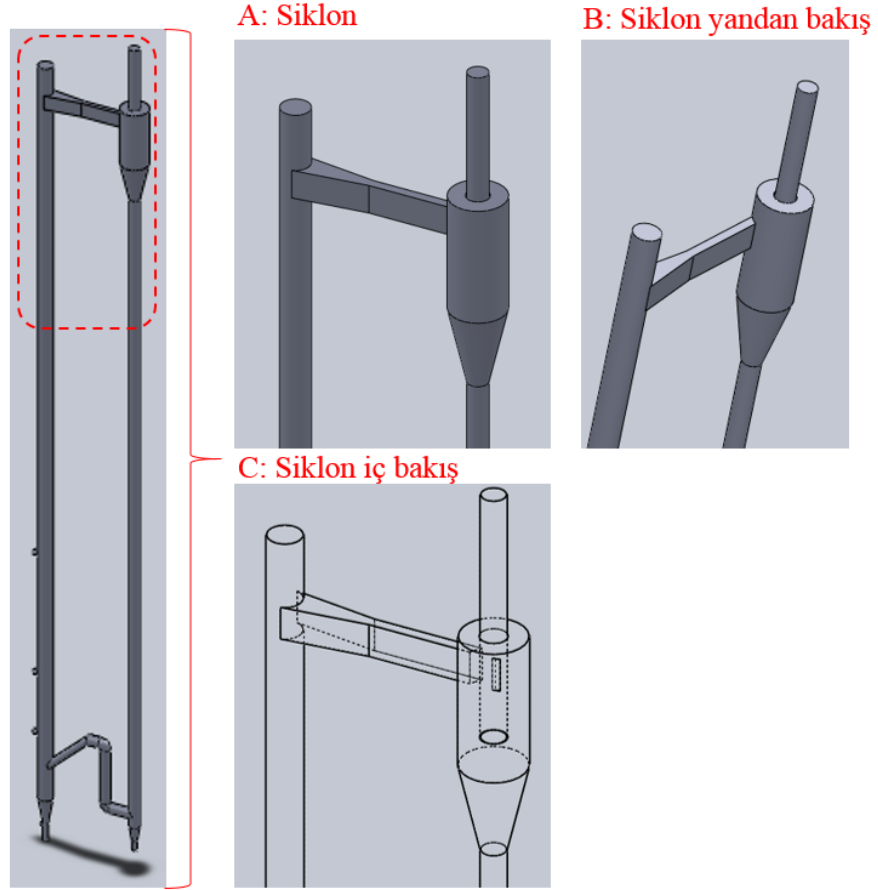
Siklon bölgesinin yer aldığı yatağın üst bölgesi ise Şekil 7.6 ile daha ayrıntılı gösterilmektedir.



Şekil 7.5 : Yatağın alt tarafının üç boyutlu model geometrisi.

Ayrıca Şekil 7.6 ile siklon bölgesinin yakından görüntülerine de yer verilmiştir. Ana kolun siklona bağlantısının daha iyi anlaşılması için siklona yandan bakış da Şekil 7.6'da yer almaktadır. Buna ek olarak Şekil 7.6'da siklonun iç bölgesinin kesikli çizgiler ile daha anlaşılır hale getirildiği çizim de gösterilmektedir. Yapılan ağ sayısı analizinin ardından (Bakınız Çizelge 7.4) ANSYS Fluent HAD programı kullanılarak dolaşımli akışkan yatak geometrisi uygun şekilde ağlara bölünmüştür. Dolaşımli akışkan yatağın ağ yapısı Şekil 7.7 ile gösterilmektedir.

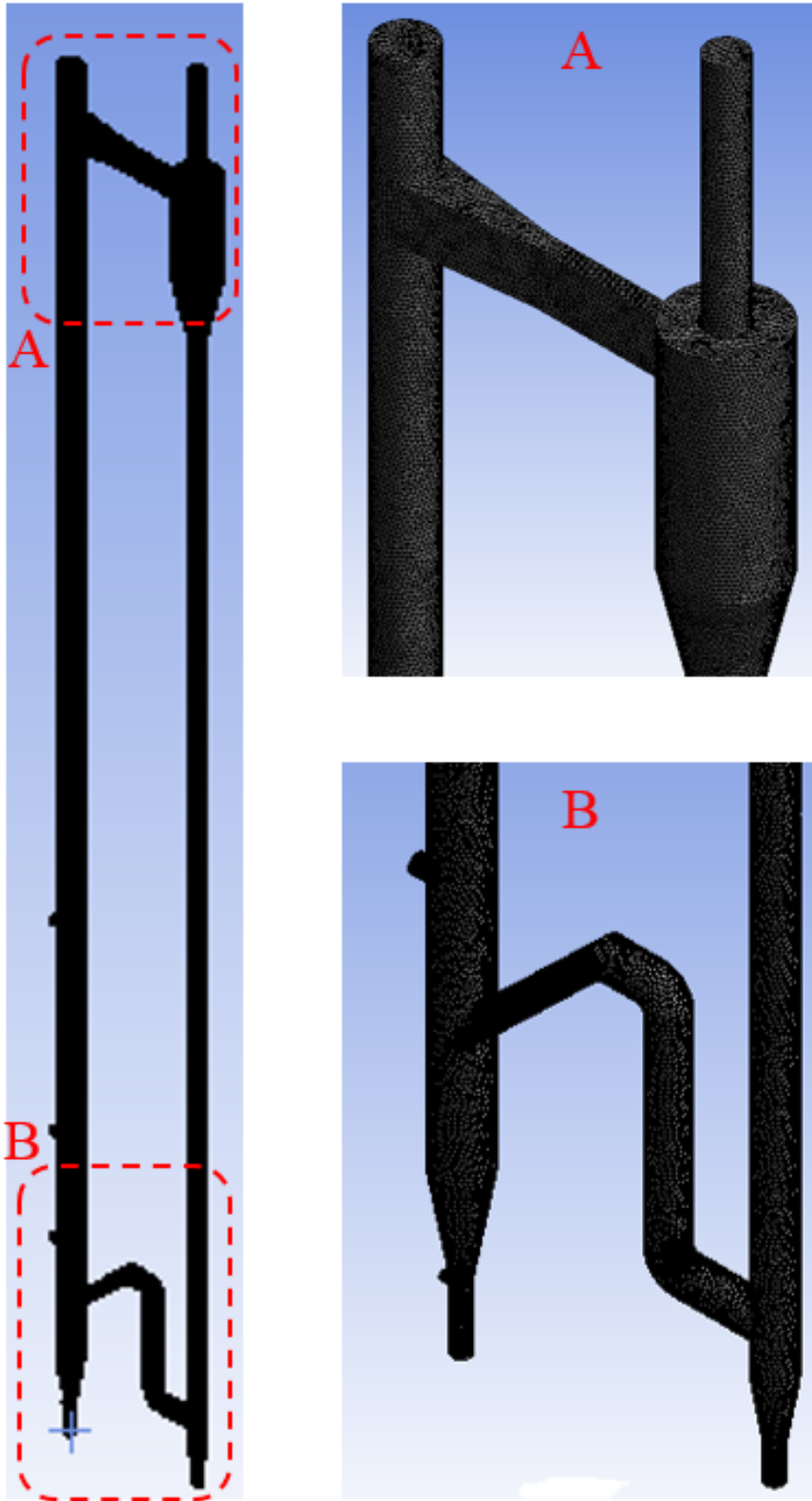
Doktora tezi kapsamında seçilen 5 Türk linyitinin (Bakınız Bölüm 5) gazlaştırılması incelenirken iki farklı akışkan yatak göz önüne alınmıştır. Bunlar kabarcıklı ve dolaşımli akışkan yatak geometrilerine sahip akışkan yataklardır. Bu iki akışkan yatak kullanılarak kapsamlı parametrik çalışmalar yapılmıştır. Kabarcıklı akışkan yatak ile ilgili yapılan parametrik çalışmalar ile elde edilen sonuçlar Bölüm 6 ile ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Bu bölümde ise öncelikle seçilen dolaşımli akışkan yatak geometrisi ve bu akışkan yatağın ağ sayısı ve yapısının seçimi ile ilgili bilgiler verilmiştir. Şimdi ise dolaşımli akışkan yatak geometrisinde, seçilen 5 Türk linyitinin (Bakınız Bölüm 5) gazlaştırılması ile ilgili yapılacak parametrik çalışmalar



Şekil 7.6 : Yatağın üst tarafının üç boyutlu model geometrisi.

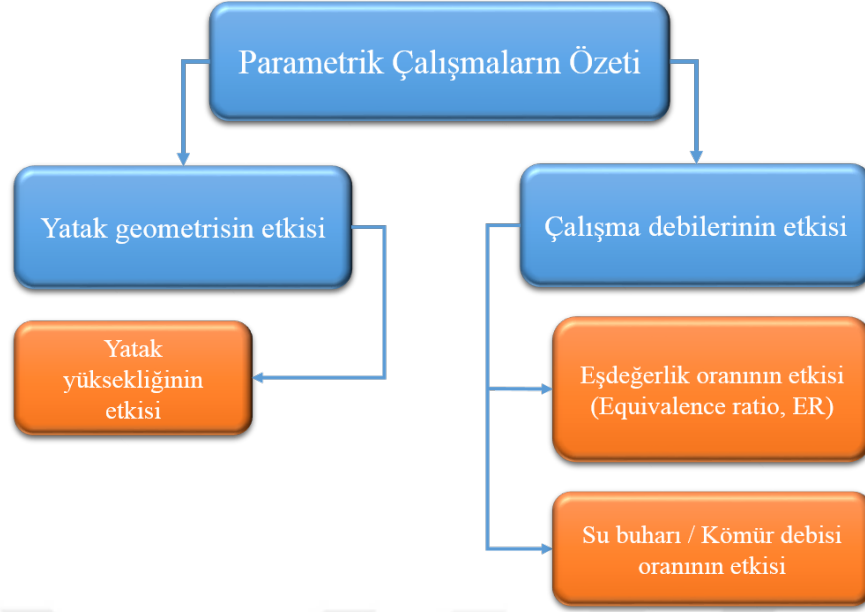
hakkında bilgi verilecek ve elde edilen sonuçlar açıklanacaktır. Doktora kapsamında dolaşimli akışkan yatakta yapılan parametrik çalışmalar Şekil 7.8 ile özetlenmiştir. Bu parametrik çalışmaların sınıflandırılması kabarcıklı akışkan yatak kullanılarak yapılan parametrik çalışmalar ile aynıdır.

Şekil 7.8 ile gösterilen parametrik çalışmalar iki bölüme ayrılmaktadır. Birinci bölüm geometrik açıdan parametrik çalışmayı içermektedir. İkinci bölümde ise yatağın çalışma debilerinin gazlaştırmaya etkileri araştırılmıştır. Birinci parametrik çalışma ayağında yatağın geometrik özelliklerinden, yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkileri kapsamlı bir şekilde araştırılmış ve seçilen Türk linyitleri (Bakınız Çizelge 5.3) için yatak yüksekliğinin dolaşimli akışkan yataklarda gazlaştırmaya etkileri ortaya konulmuştur. İkinci parametrik çalışma ayağında ise çalışma debilerinin seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3) dolaşimli akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkileri araştırılmıştır. Bunun için gazlaştırmada önemli olan eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranının etkileri incelenmiştir. Şimdi sırası ile yatak geometrisinin ve çalışma debilerinin seçilen Türk linyitlerin



Şekil 7.7 : Dolaşimli akışkan yatağın hücelere bölünmüş hali.

(Bakınız Çizelge 5.3) gazlaştırılmasına etkileri alt başlıklar ile kapsamlı bir şekilde anlatılacaktır.



Şekil 7.8 : Dolaşımli akışkan yatakta, seçilen Türk linyitleri için yapılan parametrik çalışmaların özeti.

7.2 Yatak Yüksekliğinin Türk Linyitlerinin Gazlaştırılmasına Etkisi

Bu bölümde Li [144] tarafından yapılan çalışmada yer alan dolaşımli akışkan yatağın (Bakınız Bölüm 7.1, sayfa 229) yüksekliği değiştirilerek, bu değişimin seçilen 5 Türk linyitinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) gazlaştırılmasına etkileri araştırılmıştır. Parametrik çalışmada kullanılan yatak yükseklikleri ve diğer geometrik ölçü bilgileri Çizelge 7.5 ile gösterilmektedir.

Çizelge 7.5 : Dolaşımli akışkan yatakta, yatak yüksekliği değiştirilerek yapılan parametrik çalışmaların bilgisi.

	Yatak yüksekliği [mm]	Yatak ana kol çapı [mm]	Siklon çapı (üst) [mm]	Yatak dönüş kolu çapı [mm]
Durum 0*	6760	113.00	219	80
Durum 1	2000	113.00	219	80
Durum 2	3000	113.00	219	80
Durum 3	4000	113.00	219	80
Durum 4	5000	113.00	219	80
Durum 5	6000	113.00	219	80
Durum 6	7000	113.00	219	80
Durum 7	8000	113.00	219	80
Durum 8	9000	113.00	219	80
Durum 9	10000	113.00	219	80
Durum 10	11000	113.00	219	80
Durum 11	12000	113.00	219	80
Durum 12	13000	113.00	219	80
Durum 13	14000	113.00	219	80
Durum 14	15000	113.00	219	80
Durum 15	16000	113.00	219	80

*:Dolaşımli akışkan yatak için temel alınan geometri (Bakınız Bölüm 7.1, sayfa 229)

Çizelge 7.5 incelendiğinde yatak yüksekliğinde değişiklikler yapılarak toplam 16 parametrik çalışma belirlendiği görülmektedir. Li [144] tarafından yapılan çalışmada yer alan yatak yüksekliği (Bakınız Bölüm 7.1, sayfa 229) temel hal olarak kabul edilmiş ve yatak yüksekliği 2 metreden başlanarak 16 metreye kadar birer metre arttırılarak toplam 16 durum (temel hal de dahil) için yatak geometrileri üç boyutlu çizilmiş ve 5 Türk linyiti (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için sayısal çalışmalar yapılmıştır. Yatak yüksekliğinin seçilen Türk linyitlerinin dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkilerinin araştırıldığı bu parametrik çalışma için Çizelge 7.6 ile gösterilen sınır şartları kabul edilmiştir.

Çizelge 7.6 : Yatak yüksekliğinin etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmalar için sınır şartları.

Sınır şartları	Değer
Kömür debisi [kg/h]	25
Su buharı debisi [kg/h]	25
Eşdeğerlik oranı [-]	0.3
Su-Buharı/Kömür debisi [kg/kg]	1
Yatak basıncı [KPa]	101.325
Kömür ortalama tanecik çapı [mm]	0.56

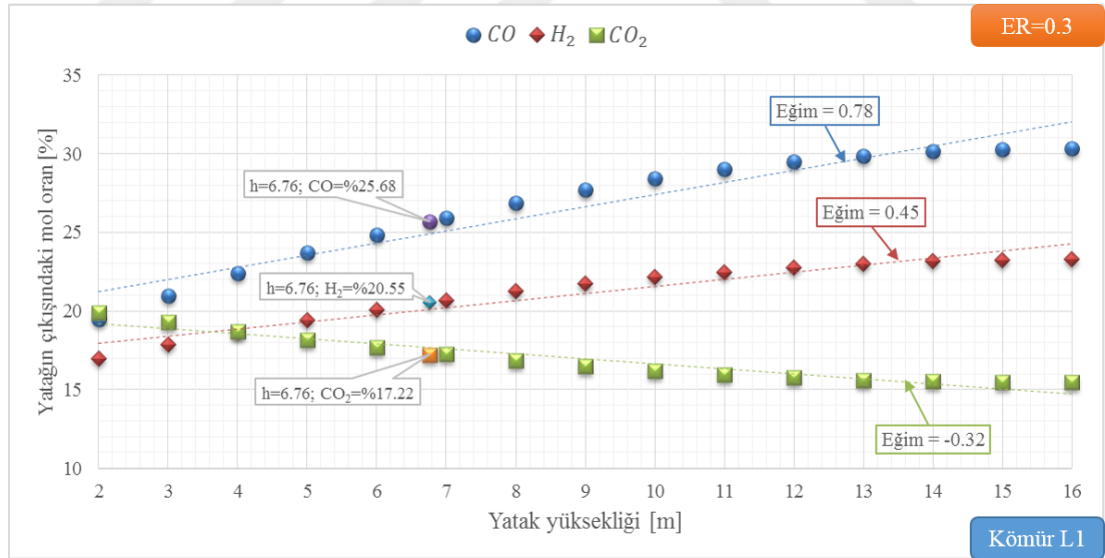
Çizelge 7.6 ile gösterilen sınır şartları Li ve diğ. [6] tarafından yapılan çalışmada yer alan sınır şartlar (Bakınız Çizelge 7.2) dikkate alınarak belirlenmiştir. Özellikle parametrik çalışmalar için önemli olan kömür debisi belirlenirken Çizelge 7.2 ile verilen deneysel çalışmalarda kullanılan kömür debilerinin ortalaması alınmıştır. Yatak yüksekliği değişikliklerini içeren parametrik çalışmalarda çalışma debileri sabit alınmıştır. Böylece dolaşımli akışkan yatak yüksekliğindeki değişikliklerin seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) gazlaştırılmasına etkileri araştırılmıştır.

Çizelge 7.6 ile yatağa gönderilen kömür debisi ve eşdeğerlik oranı belirtilmiştir. Buna karşın Çizelge 7.6 incelendiğinde yatağa gönderilen hava debisinin belirtilmediği görülmektedir. Hava debisi seçilen her bir Türk linyiti için farklılık göstermektedir. Bunun nedeni eşdeğerlik oranı hesabının kömürün kesin (ultimate) analiz sonuçlarına bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle de eşdeğerlik oranını parametrik çalışmalarda 0.3 olarak sabitleyebilmek için her bir kömür tipinin kesin analiz sonuçlarına göre hava debilerinin hesaplanması gerekmektedir. Seçilen Türk linyitlerinin kesin (ultimate) analiz sonuçları dikkate alınarak her bir kömür için yatağa

gönderilecek hava debileri hesaplanacaktır. Yatak yüksekliğinin dolaşımli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmanın her bir Türk linyiti için sonuçları alt başlıklar altında verilirken yatağa gönderilecek hava debisi miktarları da bu alt başlıklarda belirtilecektir.

7.2.1 L1 kömürü için elde edilen sonuçlar

Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğinin seçilen Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada ilk olarak L1 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için elde edilen sonuçlara yer verilecektir. Seçilen Türk linyitlerinden L1 için yapılan bu parametrik çalışma için ER değeri (equivalence ratio, ER) 0.3 ve Su-Buharı/Kömür debisi oranı 1.0 değerinde sabit alınmaktadır. Bu şartlar altında yatağa 25 kg/h debisinde kömür beslemesi yapılırken ER değerinin 0.3 olması için, L1 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları dikkate alınarak yatağa gönderilmesi gereken hava debisi 49.36 kg/h olarak hesaplanmıştır. Şekil 7.9 ile yatak yüksekliğine göre yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

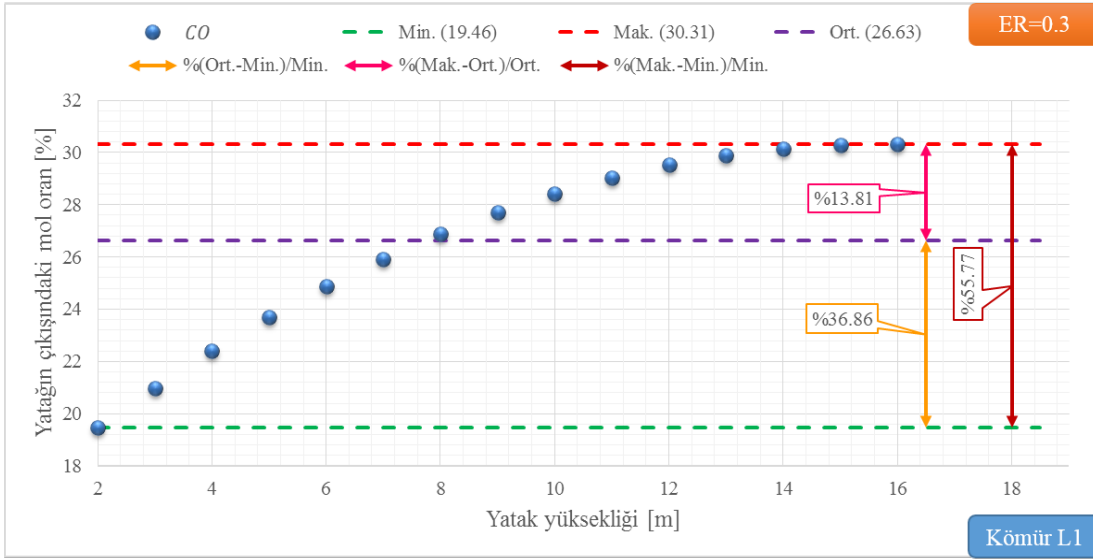


Şekil 7.9 : Yatak yüksekliğinin L1 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.

Şekil 7.9 ile her bir gaz (CO , H_2 ve CO_2) için çizdirilen eğim çizgileri ve bu çizgilerin eğim değerleri de gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 7.9 üzerinde yatak yüksekliğinin 6.76 m olduğu temel hal de gösterilmektedir. Temel hal olarak Li ve diğ. [6] tarafından yapılan deneysel çalışmada yer alan yatak yüksekliği kastedilmektedir.

Şekil 7.9 incelendiğinde yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkış ağzında CO ve H_2 gazları için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin arttığı, CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerinin ise azaldığı görülmektedir.

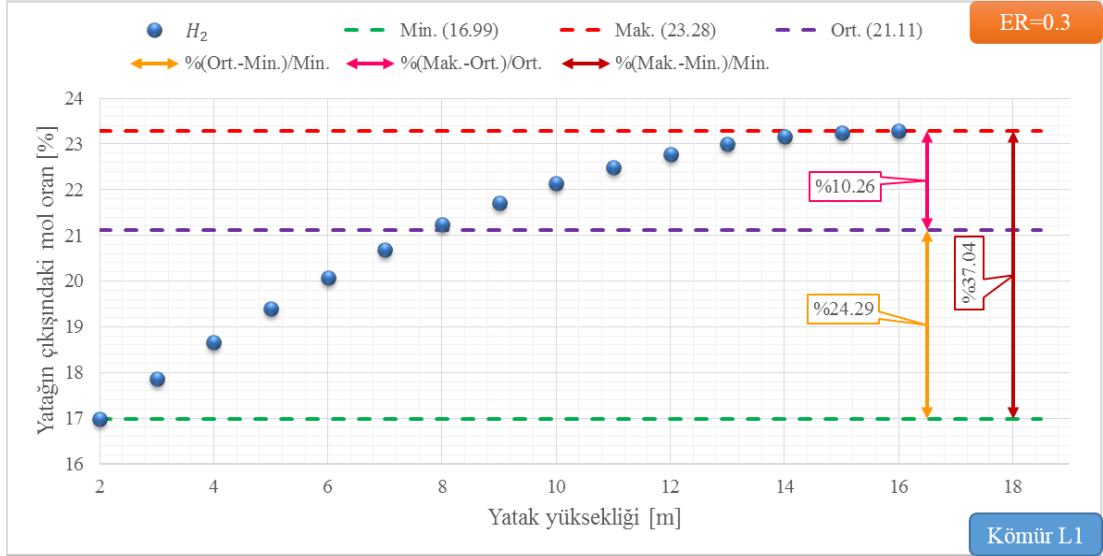
Gazlaştırma için önemli olan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatak çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğine bağlı olarak değişimi toplu halde Şekil 7.9 ile gösterildikten sonra, şimdi sırası ile her bir gaz için yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisi ayrı ayrı grafiklerde gösterilecektir. Böylece her bir gaz için elde edilen sonuçların daha anlaşılır olması hedeflenmektedir. Öncelikle Şekil 7.10 ile CO gazı için elde edilen sonuçlara yer verilecektir.



Şekil 7.10 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

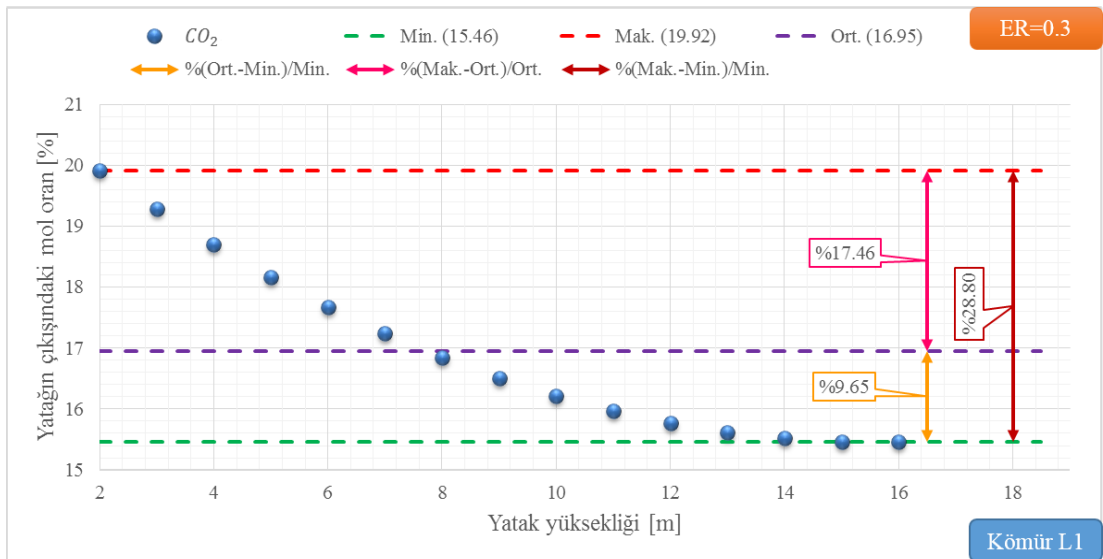
Şekil 7.10 incelendiğinde yatağın çıkışında CO gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin en düşüğü, en yükseği ve ortalaması sırasıyla 19.46, 30.31 ve 26.63 olduğu görülmektedir. Ortalama değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 36.86 değerindedir. En yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 13.81 değerindedir. Ayrıca en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 55.77 değerindedir. Şekil 7.11 ile H_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

Şekil 7.11 incelendiğinde yatağın çıkışında H_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en düşüğünün 16.99, en yükseğinin 23.28 değerinde olduğu görülmektedir. H_2 gazı için hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerin ortalaması



Şekil 7.11 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

ise 21.11 değerindedir. Şekil 7.11 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. Ortalama değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 24.29 değerindedir. En yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 10.26 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 37.04 değerindedir. Son olarak Şekil 7.12 ile CO_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliği ile değişimi gösterilmektedir.

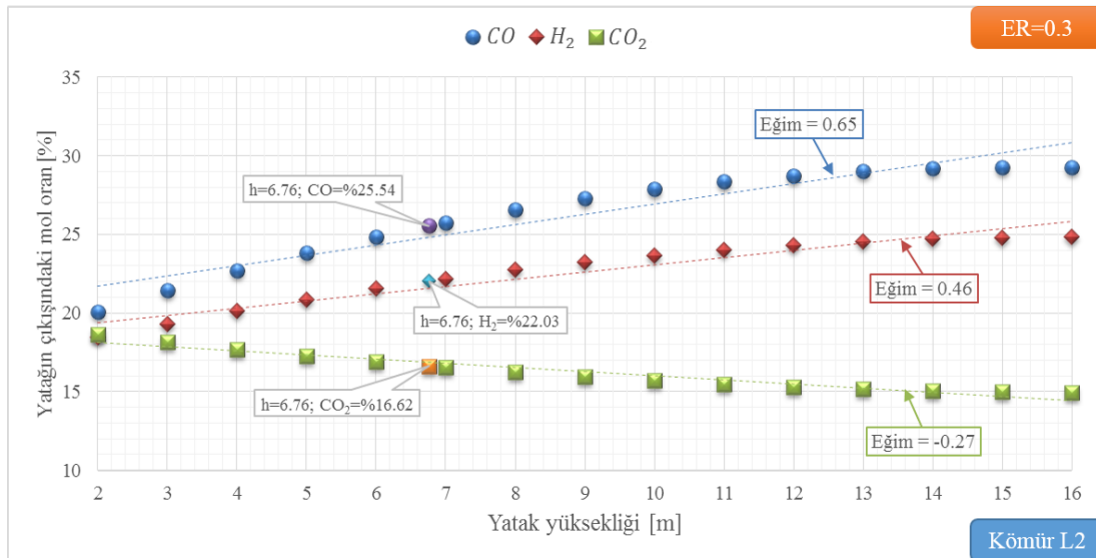


Şekil 7.12 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

Şekil 7.12 incelendiğinde değişik yatak yüksekliklerinde yapılan çözümlerinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen en düşük yüzde mol oranı 15.46 değerinde iken en yüksek yüzde mol oranı 19.92 değerinde olduğu görülmektedir. Çözümler sonucunda yatağın çıkışında elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 16.95 değerindedir. Ayrıca Şekil 7.12 üzerinde ortalama değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl farkın 9.65 olduğu görülmektedir. Buna karşılık en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerinin 17.46 olduğu görülmektedir. Son olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl farkın ise 28.80 değerinde olduğu görülmektedir.

7.2.2 L2 kömürü için elde edilen sonuçlar

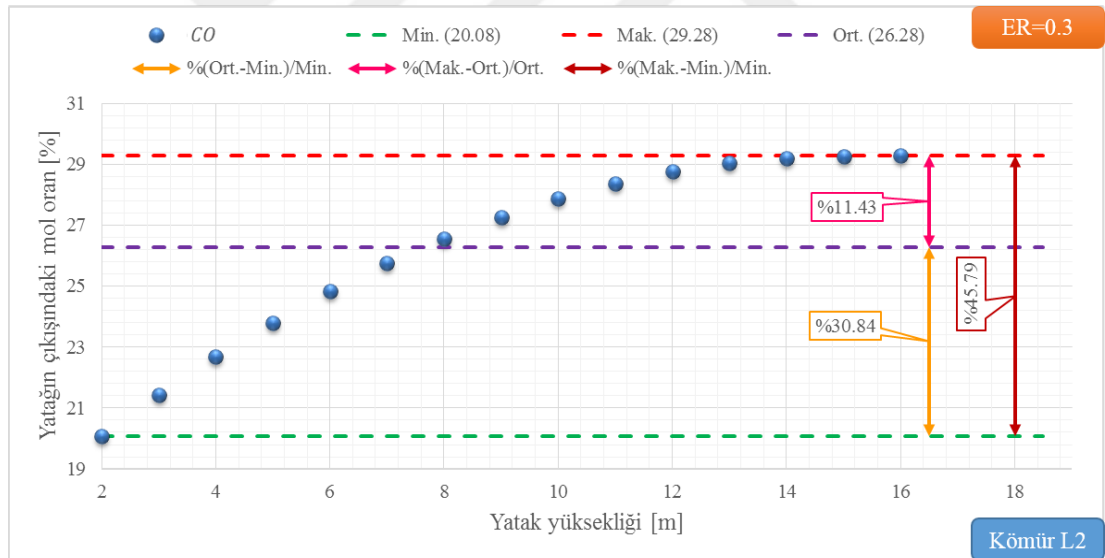
Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğinin seçilen Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada ikinci olarak L2 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için elde edilen sonuçlara yer verilecektir. Seçilen Türk linyitlerinden L2 için yapılan bu parametrik çalışma için ER değeri (equivalence ratio, ER) 0.3 ve Su-Buharı/Kömür debisi oranı 1.0 değerinde sabit alınmaktadır. Bu şartlar altında yatağa 25 kg/h debisinde kömür beslemesi yapılırken ER değerinin 0.3 olması için, L2 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları dikkate alınarak yatağa gönderilmesi gereken hava debisi 61.72 kg/h olarak hesaplanmıştır. Şekil 7.13 ile yatak yüksekliğine göre yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.13 : Yatak yüksekliğinin L2 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.

Şekil 7.13 incelendiğinde yatak yüksekliği arttıkça CO ve H_2 gazları için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı, CO_2 gazı için yüzde mol oranı değerlerinin ise azaldığı görülmektedir. Şekil 7.13 ile her bir gaz verisi için çizdirilen eğim çizgileri ve bu çizgilerin eğim değerleri de gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 7.13 üzerinde yatak yüksekliğinin 6.76 m olduğu temel hal de gösterilmektedir. Temel hal olarak Li ve diğ. [6] tarafından yapılan deneysel çalışmada yer alan yatak yüksekliği kastedilmektedir.

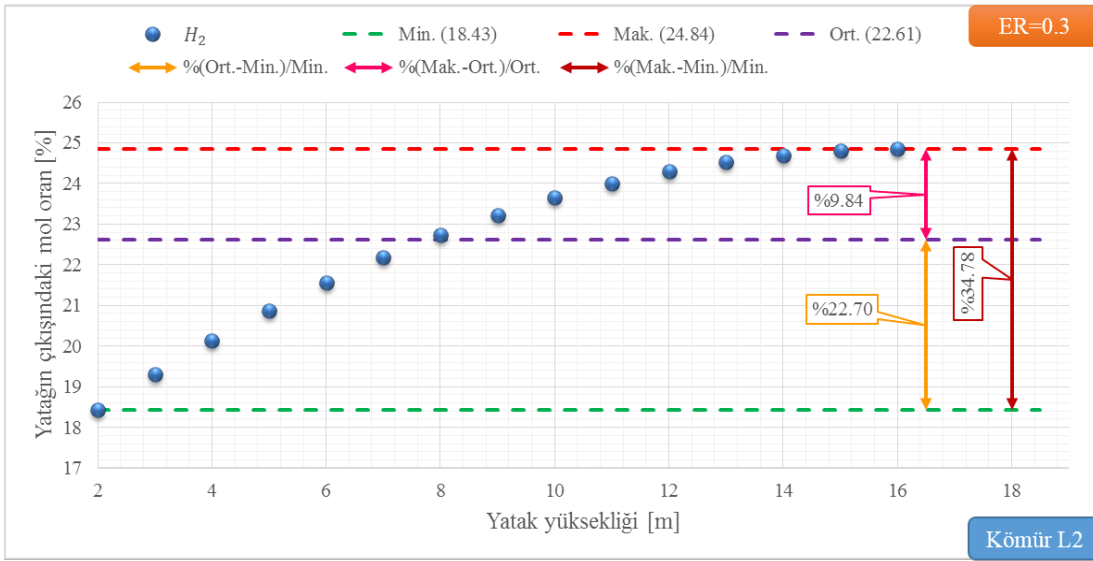
Gazlaştırma için önemli olan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatak çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğine bağlı olarak değişimi toplu halde Şekil 7.13 ile gösterildikten sonra, şimdi sırası ile her bir gaz için yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisi ayrı ayrı grafiklerde gösterilecektir. Böylece her bir gaz için elde edilen sonuçların daha anlaşılır olması hedeflenmektedir. Öncelikle Şekil 7.14 ile CO gazı için elde edilen sonuçlara yer verilecektir.



Şekil 7.14 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

Şekil 7.14 incelendiğinde yatak yüksekliği arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı görülmektedir. Şekil 7.14 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama değerler işaretlenmiştir. Ayrıca en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de Şekil 7.14 üzerinde belirtilmiştir.

L2 kömürü için yapılan bu parametrik çalışmada CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan en düşük ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri sırasıyla 20.08 ve 29.28'dir. Hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 26.28'dir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark 30.84 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 11.43 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 45.79 değerine sahiptir. Kömürün gazlaştırılmasında ortaya çıkan diğer bir önemli gaz H_2 gazıdır. Şekil 7.15 ile yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi gösterilmektedir.

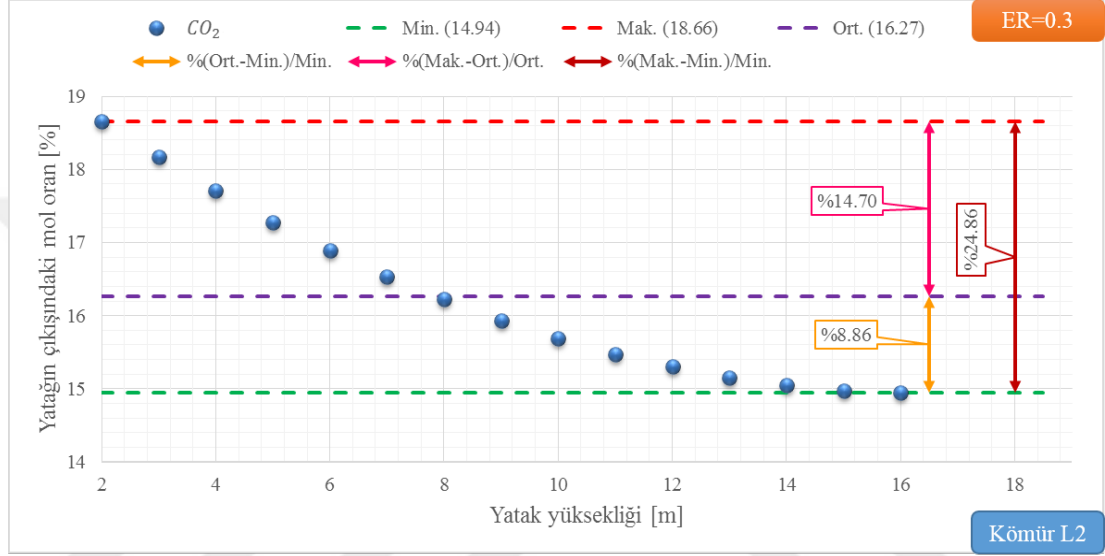


Şekil 7.15 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

Şekil 7.15 incelendiğinde yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkış ağzında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı görülmektedir. Şekil 7.15 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Dolaşimli akışkan yatak geometrisinde yapılan bu parametrik çalışmada H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 18.43 ve 24.84 değerindedir. Buna karşılık parametrik çalışmada elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 22.61'dir.

Ayrıca Şekil 7.15 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 22.70 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 9.84'tür. Bunun yanı sıra en düşük değer ile en yüksek

değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 34.78 değerindedir. Gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için elde edilen sonuçların gösterilmesinden sonra şimdi de gazlaştırma için diğer bir önemli gaz olan CO_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilecektir. L2 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 7.16 ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.16 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

Şekil 7.16 incelendiğinde yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 7.16 üzerinde elde edilen en düşük, ortalama ve en yüksek değerler de gösterilmektedir.

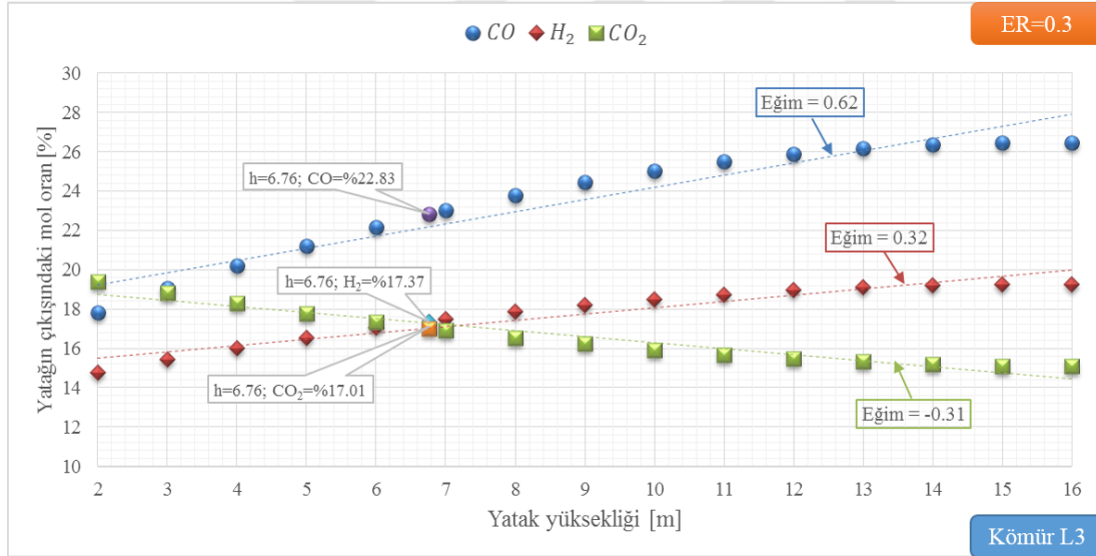
L2 kömürünün dolaşımli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırıldığı ve gazlaştırma üzerinde yatak yüksekliğinin etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 14.94 ve 18.66 değerindedir. Ayrıca sayısal çalışma sonucu elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 16.27 değerine sahiptir.

Bunun yanı sıra Şekil 7.16 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 8.86 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 14.70 değerindedir. Buna karşılık

en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağlı fark ise 24.86 değerine sahiptir.

7.2.3 L3 kömürü için elde edilen sonuçlar

Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğinin seçilen Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada üçüncü olarak L3 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için elde edilen sonuçlara yer verilecektir. Seçilen Türk linyitlerinden L3 için yapılan bu parametrik çalışma için ER değeri (equivalence ratio, ER) 0.3 ve Su-Buharı/Kömür debisi oranı 1.0 değerinde sabit alınmaktadır. Bu şartlar altında yatağa 25 kg/h debisinde kömür beslemesi yapılırken ER değerinin 0.3 olması için, L3 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları dikkate alınarak yatağa gönderilmesi gereken hava debisi 55.68 kg/h olarak hesaplanmıştır. Şekil 7.17 ile yatak yüksekliğine göre yatağın çıkış ağzında CO, H₂ ve CO₂ gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

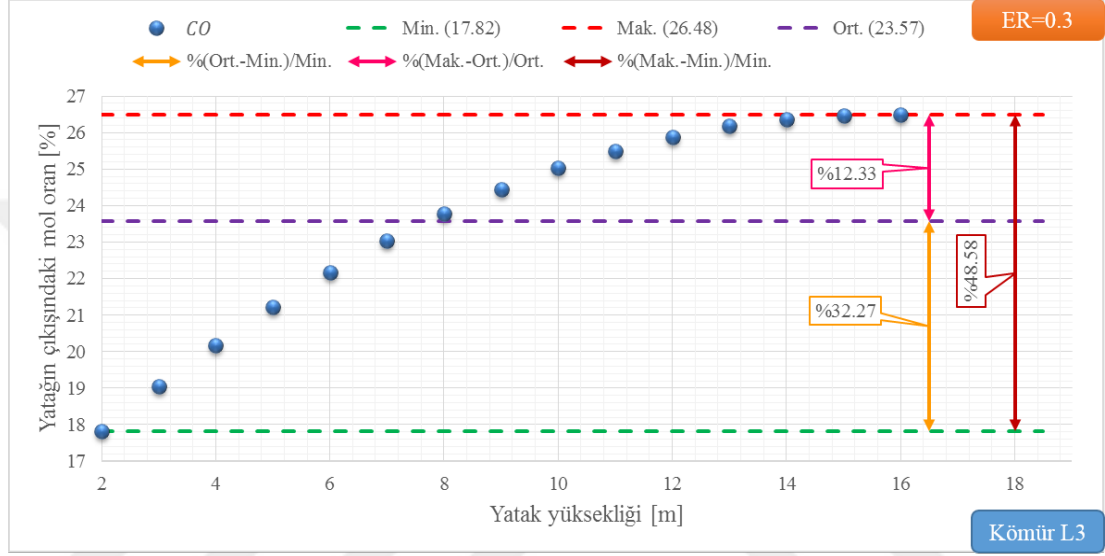


Şekil 7.17 : Yatak yüksekliğinin L3 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.

Şekil 7.17 ile her bir gaz verisi için çizdirilen eğim çizgileri ve bu çizgilerin eğim değerleri de gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 7.17 üzerinde yatak yüksekliğinin 6.76 m olduğu temel hal de gösterilmektedir. Temel hal olarak Li ve diğ. [6] tarafından yapılan deneysel çalışmada yer alan yatak yüksekliği kastedilmektedir.

Şekil 7.17 incelendiğinde yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkış ağzında CO ve H₂ gazları için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin arttığı, CO₂ gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerinin ise azaldığı görülmektedir.

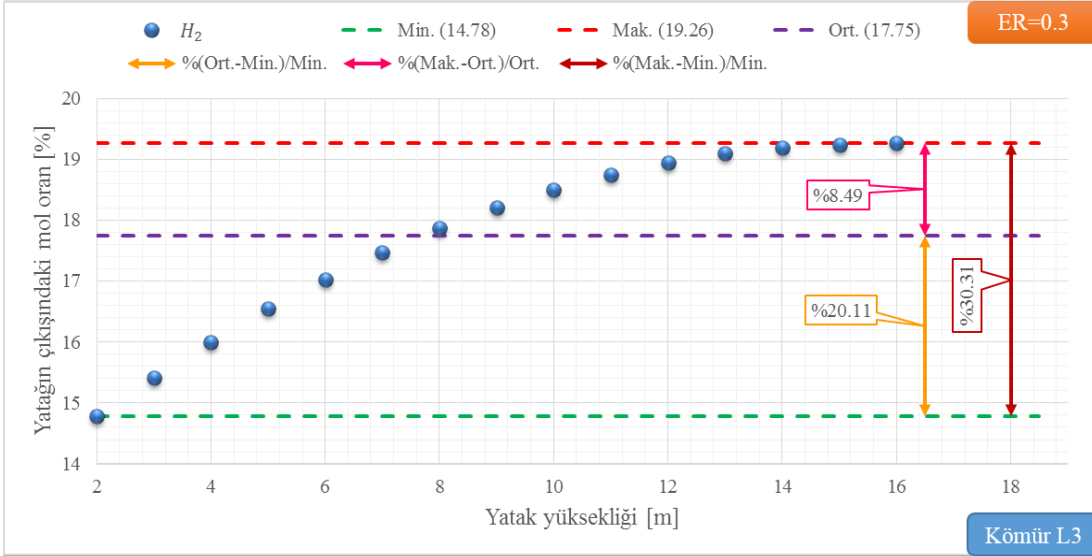
Gazlaştırma için önemli olan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatak çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin dolaşimli akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğine bağlı olarak değişimi toplu halde Şekil 7.17 ile gösterildikten sonra, şimdi sırası ile her bir gaz için yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisi ayrı ayrı grafiklerde gösterilecektir. Böylece her bir gaz için elde edilen sonuçların daha anlaşılır olması hedeflenmektedir. Öncelikle Şekil 7.18 ile CO gazı için elde edilen sonuçlara yer verilecektir.



Şekil 7.18 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

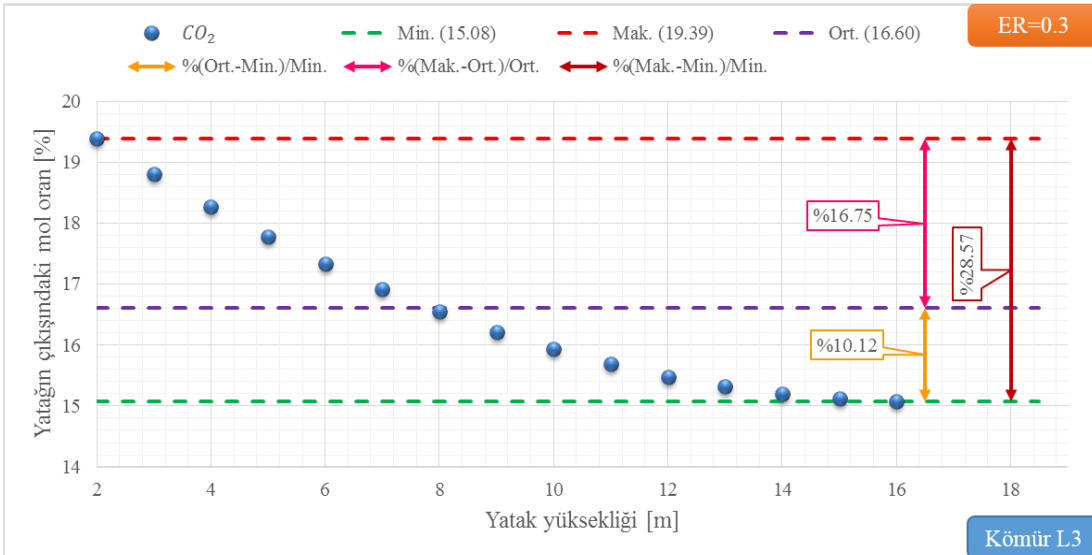
Şekil 7.18 incelendiğinde yatağın çıkışında CO gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin en düşüğü, en yükseği ve ortalaması sırasıyla 17.82, 26.48 ve 23.57 olduğu görülmektedir. Ortalama değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 32.27 değerindedir. En yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 12.33 değerindedir. Ayrıca en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 48.58 değerindedir. Şekil 7.19 ile H_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

Şekil 7.19 incelendiğinde yatağın çıkışında H_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en düşüğünün 14.78, en yükseğinin 19.26 değerinde olduğu görülmektedir. H_2 gazı için hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerin ortalaması ise 17.75 değerindedir. Şekil 7.19 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. Ortalama değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 20.11 değerindedir. En yüksek



Şekil 7.19 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 8.49 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 30.31 değerindedir. Son olarak Şekil 7.20 ile CO_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliği ile değişimi gösterilmektedir.



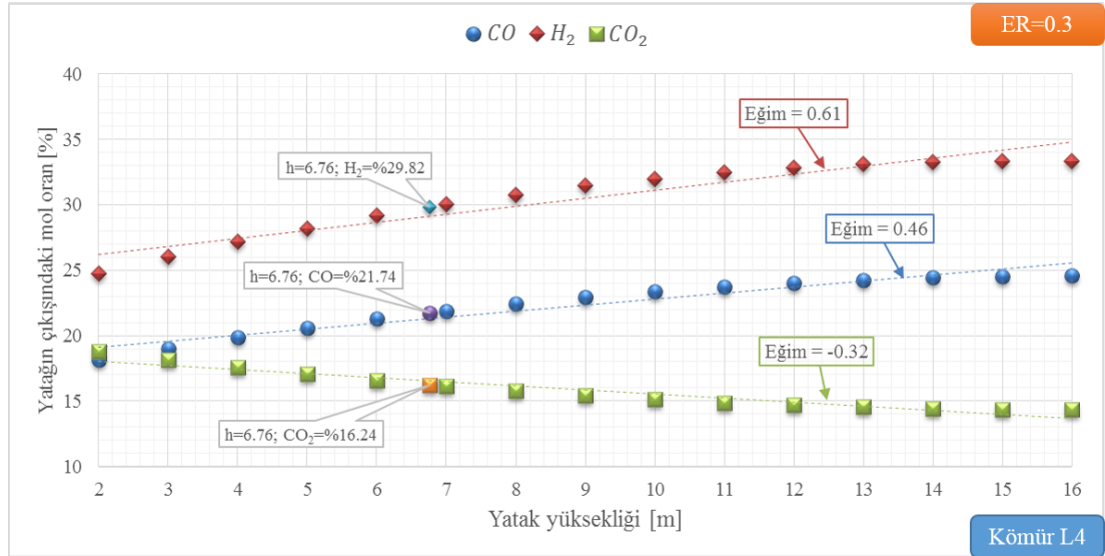
Şekil 7.20 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

Şekil 7.20 incelendiğinde değişik yatak yüksekliklerinde yapılan çözümlelerde yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen en düşük yüzde mol oranı 15.08 değerinde iken en yüksek yüzde mol oranı 19.39 değerinde olduğu görülmektedir. Çözümlmeler

sonucunda yatağın çıkışında elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 16.60 değerindedir. Ayrıca Şekil 7.20 üzerinde ortalama değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl farkın 10.12 olduğu görülmektedir. Buna karşılık en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerinin 16.75 olduğu görülmektedir. Son olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl farkın ise 28.57 değerinde olduğu görülmektedir.

7.2.4 L4 kömürü için elde edilen sonuçlar

Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğinin seçilen Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada dördüncü olarak L4 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için elde edilen sonuçlara yer verilecektir. Seçilen Türk linyitlerinden L4 için yapılan bu parametrik çalışma için ER değeri (equivalence ratio, ER) 0.3 ve Su-Buharı/Kömür debisi oranı 1.0 değerinde sabit alınmaktadır. Bu şartlar altında yatağa 25 kg/h debisinde kömür beslemesi yapılırken ER değerinin 0.3 olması için, L4 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları dikkate alınarak yatağa gönderilmesi gereken hava debisi 48.48 kg/h olarak hesaplanmıştır. Şekil 7.21 ile yatak yüksekliğine göre yatağın çıkış ağzında CO, H₂ ve CO₂ gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

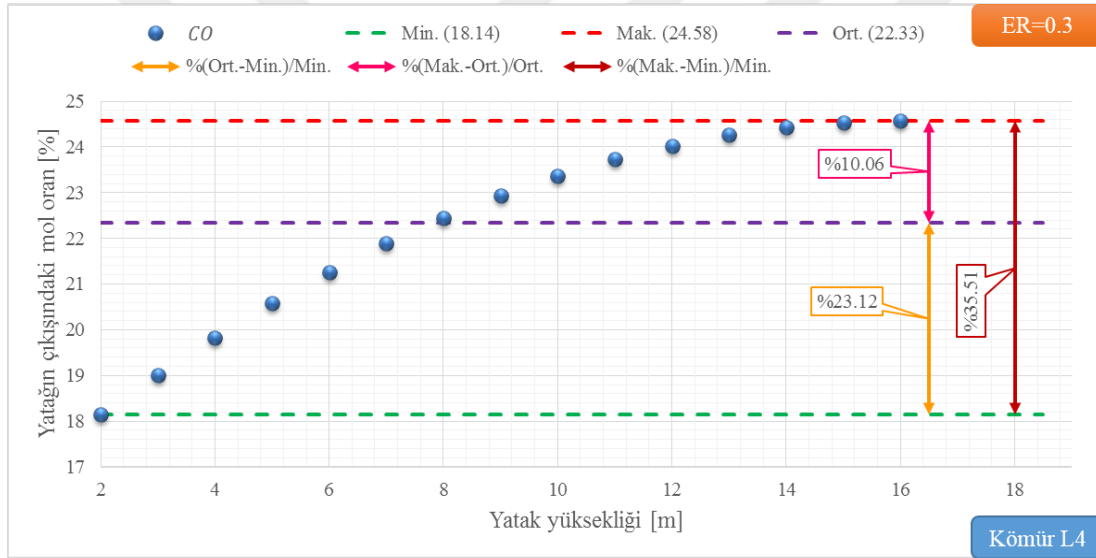


Şekil 7.21 : Yatak yüksekliğinin L4 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.

Şekil 7.21 incelendiğinde yatak yüksekliği arttıkça CO ve H₂ gazları için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı, CO₂ gazı için yüzde mol oranı değerlerinin ise azaldığı görülmektedir. Şekil 7.21 ile her bir gaz verisi için çizdirilen

eğim çizgileri ve bu çizgilerin eğim değerleri de gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 7.21 üzerinde yatak yüksekliğinin 6.76 m olduğu temel hal de gösterilmektedir. Temel hal olarak Li ve diğ. [6] tarafından yapılan deneysel çalışmada yer alan yatak yüksekliği kastedilmektedir.

Gazlaştırma için önemli olan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatak çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin dolaşım akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğine bağlı olarak değişimi toplu halde Şekil 7.21 ile gösterildikten sonra, şimdi sırası ile her bir gaz için yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisi ayrı ayrı grafiklerde gösterilecektir. Böylece her bir gaz için elde edilen sonuçların daha anlaşılır olması hedeflenmektedir. Öncelikle Şekil 7.22 ile CO gazı için elde edilen sonuçlara yer verilecektir.

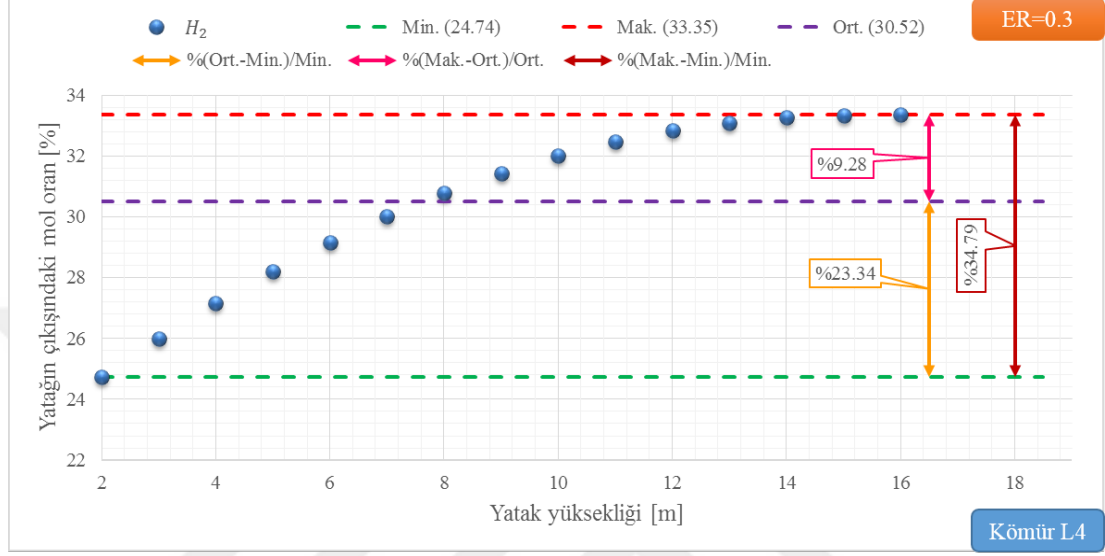


Şekil 7.22 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

Şekil 7.22 incelendiğinde yatak yüksekliği arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı görülmektedir. Şekil 7.22 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama değerler işaretlenmiştir. Ayrıca en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de Şekil 7.22 üzerinde belirtilmiştir.

L4 kömürü için yapılan bu parametrik çalışmada CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan en düşük ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri sırasıyla 18.14 ve 24.58'dir. Hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 22.33'tür. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark 23.12 iken en yüksek

değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 10.06 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 35.51 değerine sahiptir. Kömürün gazlaştırılmasında ortaya çıkan diğer bir önemli gaz H_2 gazıdır. Şekil 7.23 ile yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi gösterilmektedir.

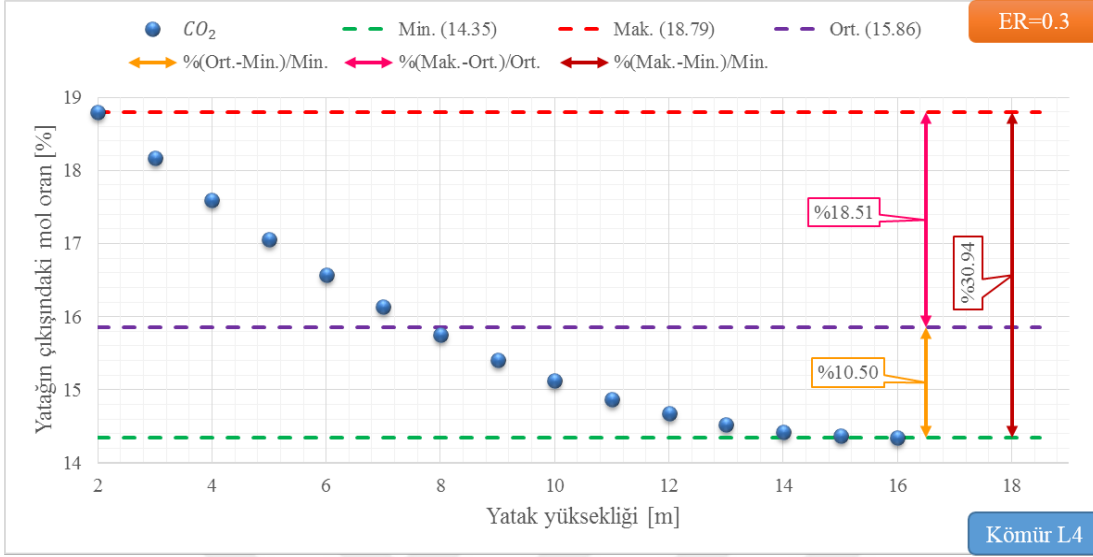


Şekil 7.23 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

Şekil 7.23 incelendiğinde yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkış ağzında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı görülmektedir. Şekil 7.23 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yapılan bu parametrik çalışmada H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 24.74 ve 33.35 değerindedir. Buna karşılık parametrik çalışmada elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 30.52'dir.

Ayrıca Şekil 7.23 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 23.34 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 9.28'dir. Bunun yanı sıra en düşük değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 34.79 değerindedir. Gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için elde edilen sonuçların gösterilmesinden sonra şimdi de gazlaştırma için diğer bir önemli gaz olan CO_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilecektir. L4 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında yatak

yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 7.24 ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliğine göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.24 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

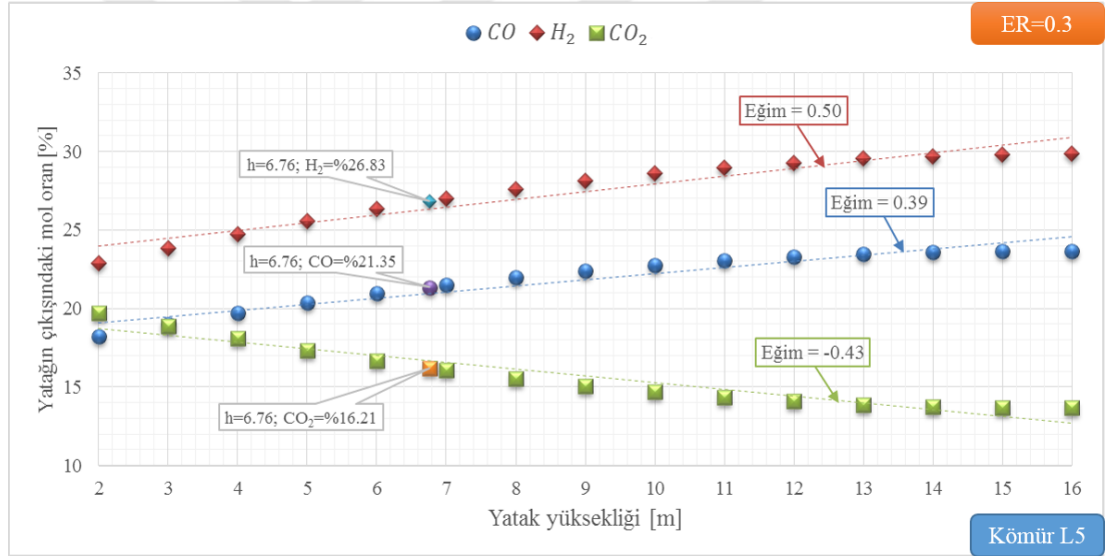
Şekil 7.24 incelendiğinde yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 7.24 üzerinde elde edilen en düşük, ortalama ve en yüksek değerler de gösterilmektedir.

L4 kömürünün dolaşımli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırıldığı ve gazlaştırma üzerinde yatak yüksekliğinin etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 14.35 ve 18.79 değerindedir. Ayrıca sayısal çalışma sonucu elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 15.86 değerine sahiptir.

Bunun yanı sıra Şekil 7.24 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 10.50 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 18.51 değerindedir. Buna karşılık en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 30.94 değerine sahiptir.

7.2.5 L5 kömürü için elde edilen sonuçlar

Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğinin seçilen Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada son olarak L5 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için elde edilen sonuçlara yer verilecektir. Seçilen Türk linyitlerinden L5 için yapılan bu parametrik çalışma için ER değeri (equivalence ratio, ER) 0.3 ve Su-Buharı/Kömür debisi oranı 1.0 değerinde sabit alınmaktadır. Bu şartlar altında yatağa 25 kg/h debisinde kömür beslemesi yapılırken ER değerinin 0.3 olması için, L5 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları dikkate alınarak yatağa gönderilmesi gereken hava debisi 53.31 kg/h olarak hesaplanmıştır. Şekil 7.25 ile yatak yüksekliğine göre yatağın çıkış ağzında CO, H₂ ve CO₂ gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

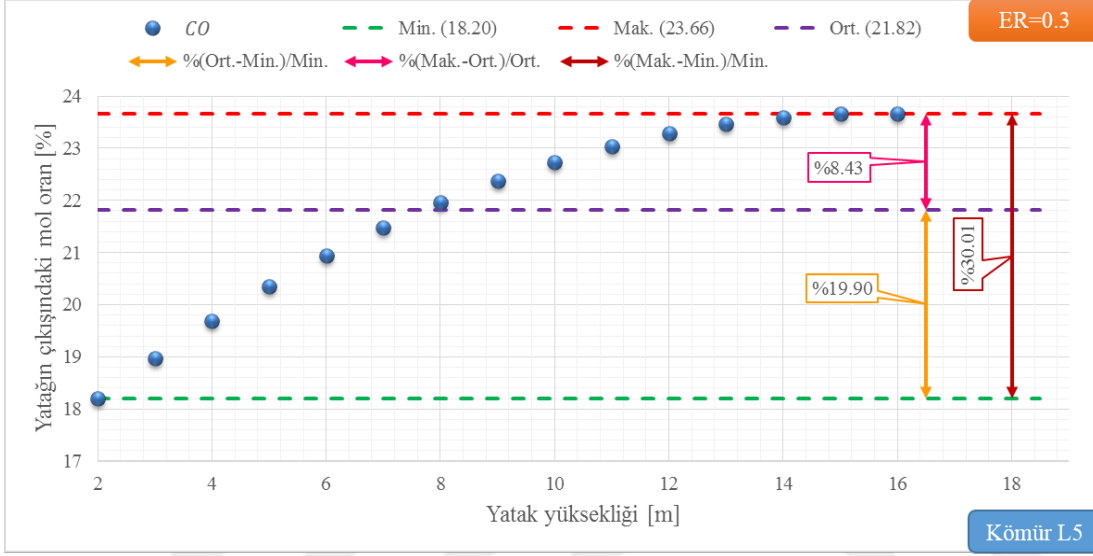


Şekil 7.25 : Yatak yüksekliğinin L5 kömürünün gazlaştırılmasına etkisi.

Şekil 7.25 ile her bir gaz verisi için çizdirilen eğim çizgileri ve bu çizgilerin eğim değerleri de gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 7.25 üzerinde yatak yüksekliğinin 6.76 m olduğu temel hal de gösterilmektedir. Temel hal olarak Li ve diğ. [6] tarafından yapılan deneysel çalışmada yer alan yatak yüksekliği kastedilmektedir.

Şekil 7.25 incelendiğinde yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkış ağzında elde edilen CO ve H₂ gazları için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin arttığı, CO₂ gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerinin ise azaldığı görülmektedir.

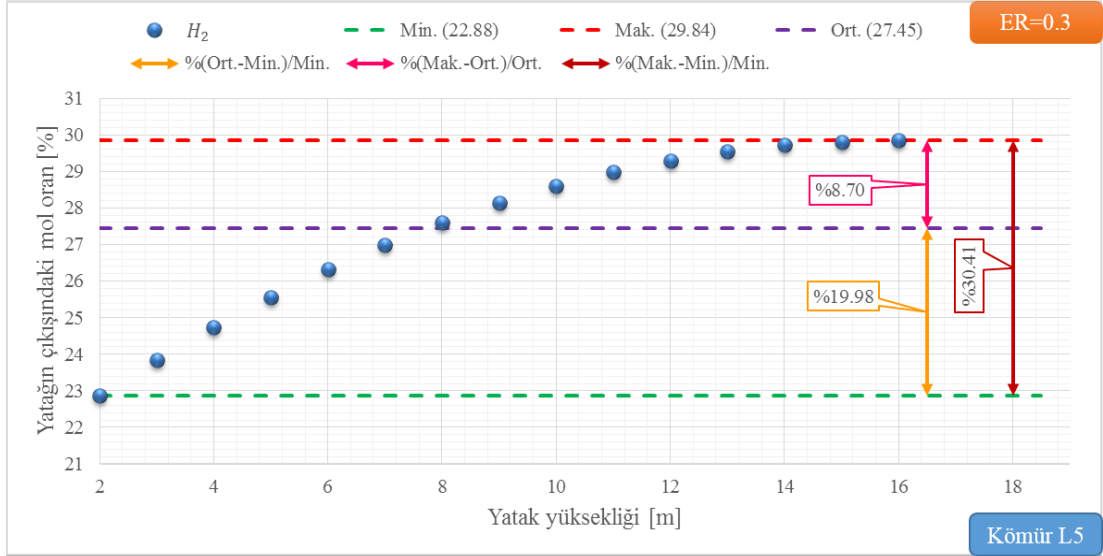
Gazlaştırma için önemli olan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatak çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğine bağlı olarak değişimi toplu halde Şekil 7.25 ile gösterildikten sonra, şimdi sırası ile her bir gaz için yatak yüksekliğinin gazlaştırmaya etkisi ayrı ayrı grafiklerde gösterilecektir. Böylece her bir gaz için elde edilen sonuçların daha anlaşılır olması hedeflenmektedir. Öncelikle Şekil 7.26 ile CO gazı için elde edilen sonuçlara yer verilecektir.



Şekil 7.26 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

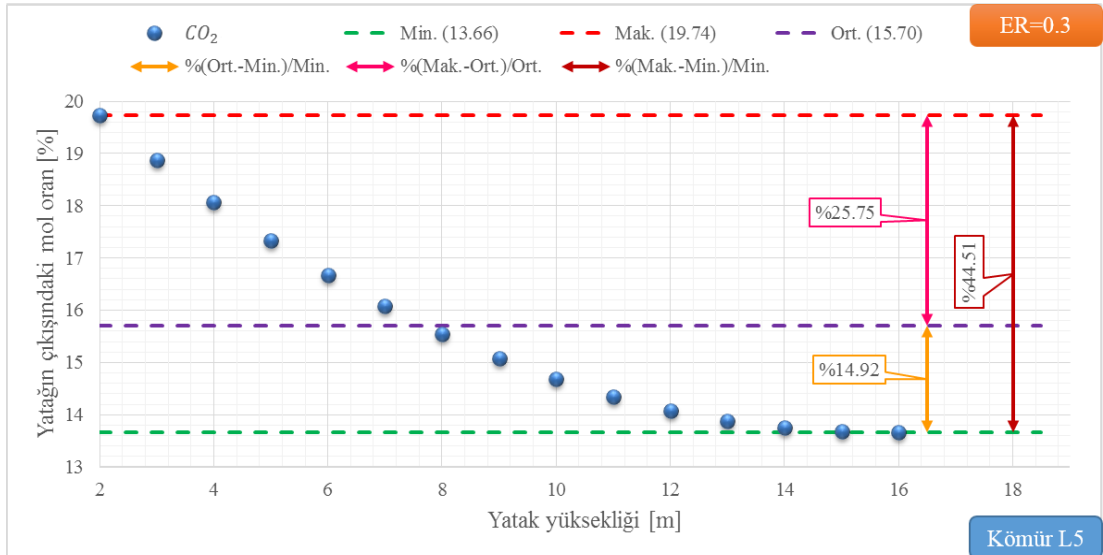
Şekil 7.26 incelendiğinde yatağın çıkışında CO gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin en düşüğü, en yükseği ve ortalaması sırasıyla 18.20, 23.66 ve 21.82 olduğu görülmektedir. Ortalama değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 19.90 değerindedir. En yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 8.43 değerindedir. Ayrıca en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 30.01 değerindedir. Şekil 7.27 ile H_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

Şekil 7.27 incelendiğinde yatağın çıkışında H_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en düşüğünün 22.88, en yükseğinin 29.84 olduğu görülmektedir. H_2 gazı için hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerin ortalaması ise 27.45 değerindedir. Şekil 7.27 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. Ortalama değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 19.98 değerindedir. En yüksek



Şekil 7.27 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 8.70 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 30.41 değerindedir. Son olarak Şekil 7.28 ile CO_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin yatak yüksekliği ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.28 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin yatak yüksekliği ile değişimi.

Şekil 7.28 incelendiğinde değişik yatak yüksekliklerinde yapılan çözümlelerde yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen en düşük yüzde mol oranı 13.66 değerinde iken en yüksek yüzde mol oranı 19.74 değerinde olduğu görülmektedir. Çözümlmeler

sonucunda yatağın çıkışında elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 15.70 değerindedir. Ayrıca Şekil 7.28 üzerinde ortalama değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl farkın 14.92 olduğu görülmektedir. Buna karşılık en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerinin 25.75 olduğu görülmektedir. Son olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl farkın ise 44.51 değerinde olduğu görülmektedir.

Böylece seçilen 5 Türk linyitinin dolaşımli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında yatak yüksekliğinin yatak çıkışında elde edilen CO , H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı değerlerine etkisi ortaya konulmuştur. Artış ve azalış miktarları kömür tipine göre farklılık göstermesine rağmen yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için elde edilen mol oranı değerleri artarken CO_2 gazı için elde edilen mol oranı değeri azalmaktadır. Dolaşımli akışkan yatakta kömür tanecikleri, kabarcıklı akışkan yatağa oranla yatak içine daha homojen yayılmaktadır. Bu da dolaşımli akışkan yatağın ana kolunun üst bölgesinde de kömür taneciklerin bulunmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de dolaşımli akışkan yataklarda yatağın üst bölgelerinde kömür taneciklerinin bulunması nedeni ile yatağın üst bölgelerine kadar heterojen reaksiyonlar da aktiflik göstermektedir. Ayrıca dolaşımli akışkan yataklarda hava ve/veya oksijen debileri, yatakta dolaşımın sağlanabilmesi amacıyla kabarcıklı akışkan yatağa göre daha fazladır. Bu da yatağın üst bölgelerinde kabarcıklı akışkan yatağa göre daha fazla miktarda hava ve/veya oksijen ve/veya su buharı bulunması anlamına gelmektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı dolaşımli akışkan yatağın üst bölgeleri homojen reaksiyonlar için de oldukça aktiftir. Hem homojen hem de heterojen reaksiyonların yatağın ana kolunun çoğu bölümünde (sadece yatağın alt bölgesinde değil) aktif olmasından dolayı dolaşımli akışkan yatağın yatak yüksekliğindeki değişimin, yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen mol oranı değerlerin değişmesine etkisinin kabarcıklı akışkan yatak geometrisine oranla daha çok olduğu ortaya konulmuştur.

7.3 Çalışma Debilerinin Türk Linyitlerinin Gazlaştırılmasına Etkisi

Bu bölümde seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatak kullanılarak gazlaştırılmasında çalışma debilerinin etkisi araştırılmıştır. Dolaşımli akışkan yatak geometrisi olarak ise Li [144] tarafından yapılan doktora

tezinde yer alan deneysel çalışmadaki yatak geometrisi aynen kullanılmıştır (Bakınız Bölüm 7.1, sayfa 229). Yatağın üç boyutlu HAD analizi yapılarak eşdeğerlik oranındaki (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranındaki değişimlerin gazlaştırmaya etkileri araştırılmıştır.

Çalışma debileri başlığı altında toplanan bu parametrik çalışmada iki alt başlık bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranının gazlaştırmaya etkilerinin incelendiği alt başlıklardır. Gazlaştırma için önemli olan bu iki oranın seçilen 5 Türk linyitinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) gazlaştırılmasına etkileri kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Aşağıdaki alt başlıklarda sırasıyla eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranı ile ilgili parametrik çalışmaların detaylı anlatımı ve sonuçları yer almaktadır.

Literatürde yer alan çalışmalar ve seçilen dolaşımli akışkan yatak geometrisinin özellikleri dikkate alınarak, eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Kömür debisi oranı için parametrik çalışma aralıkları belirlenmiştir. Parametrik çalışma yapılırken incelenen oranların dışındaki oranlar ve yatak geometrisi sabit tutulmuş ve bu şekilde incelenen eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) veya Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranının etkileri araştırılmıştır.

Gazlaştırma çalışmaları için literatür araştırması yapıldığında eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranı için değişik çalışma aralıkları olduğu görülmektedir. Literatür araştırmasında karşılaşılan bu çalışma aralıkları Çizelge 7.7 ile gösterilmektedir. Literatürde yer alan çalışmalardaki eşdeğerlik oranları (equivalence ratio, ER) incelendiğinde bu oranın en düşük 0.1, en yüksek 0.66 olduğu görülmektedir. Ayrıca Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranlarına bakıldığından en düşük 0 iken en yüksek 4 olduğu görülmektedir.

Seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatak geometrisi kullanılarak yapılan ve çalışma debileri ile ilgili olan bu parametrik çalışmada eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) aralığı 0.1-0.6 şeklinde seçilmiştir. Buna ek olarak Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg aralığı olarak ise 0.1-2.0 seçilmiştir.

Eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) ile ilgili parametrik çalışmalar yapılırken Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranı 1.0 alınmıştır. Buna karşılık Su-Buharı/Kömür

debisi kg/kg oranı ile ilgili yapılan parametrik çalışmada ise eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) 0.3 alınmıştır. Bu eşdeğerlik oranı değeri kömür gazlaştırılması için literatürde sıklıkla kullanılan bir değerdir.

Çizelge 7.7 : Gazlaştırma çalışmalarında kullanılan çalışma debi oranları ile ilgili özet bilgi.

Kaynak	Hava/Yakıt debisi [kg/kg]	Oksijen/Yakıt debisi [kg/kg]	Su buharı/Yakıt debisi [kg/kg]	ER
[63]	2.65-4.22	-	0-0.82	-
[120]	1.41-1.98	-	-	0.23-0.33
[120]	-	0.28	0.065	0.21
[118]	1.13-1.29	-	0-0.1	-
[49]	2.13-3.55	-	0.575-0.61	-
[10]	-	-	-	0.13-0.66
[134]	-	-	-	0.3-0.38
[12]	-	-	0.75-2	-
[59]	-	-	0-1.5	-
[7]	-	-	0-4	0.19-0.27
[58]	-	-	1.3-2.7	0.21-0.25
[135]	-	-	0.32-0.52	0.29-0.39
[136]	-	-	0.3-1.2	0.1-0.5
[137]	-	-	-	0.21-0.38
[138]	-	-	-	0.15-0.45
[3]	-	0.801-1.1	0.24-0.5	-
[139]	2.53-2.69	-	0.38	0.33-0.34
[140]	-	0.3-0.55	0.3-0.8	-

7.3.1 Eşdeğerlik oranının Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisi

Eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) için yapılan parametrik çalışmada Li ve diğ. [6] tarafından yapılan çalışma dikkate alınmıştır. Çizelge 7.2 (Bakınız sayfa 235) incelendiğinde Li ve diğ. [6] tarafından toplam 8 durum için deneysel çalışma yapıldığı görülmektedir. Li ve diğ. [6] yaptıkları çalışmalarda en düşük eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) olarak 0.31 değerini ve en yüksek 0.54 değerini kullanmışlardır (Bakınız Çizelge 7.2, sayfa 235).

En yüksek ve düşük eşdeğerlik oranları (equivalence ratio, ER) göz önüne alınarak doktora tezi kapsamında yapılan dolaşımli akışkan yataktaki bu parametrik çalışma için eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER), kabarcıklı akışkan yatak için yapılan parametrik çalışmaya (Bakınız Bölüm 6.2.1, sayfa 179) benzer şekilde 0.1 ile 0.6 aralığında seçilmiştir. Dolaşımli akışkan yatakta Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranının etkilerinin görülebilmesi için 0.1

ile 0.6 aralığında 17 değişik ER değeri kullanılarak 5 farklı Türk linyiti için parametrik çalışmalar yapılmıştır. Şimdi sırası ile her bir Türk linyiti için elde edilen sonuçlar paylaşılacaktır.

7.3.1.1 L1 kömürü için elde edilen sonuçlar

Seçilen Türk linyitlerinden L1 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için ER değerleri ile ilgili olan parametrik çalışma durumları Çizelge 7.8 ile gösterilmektedir.

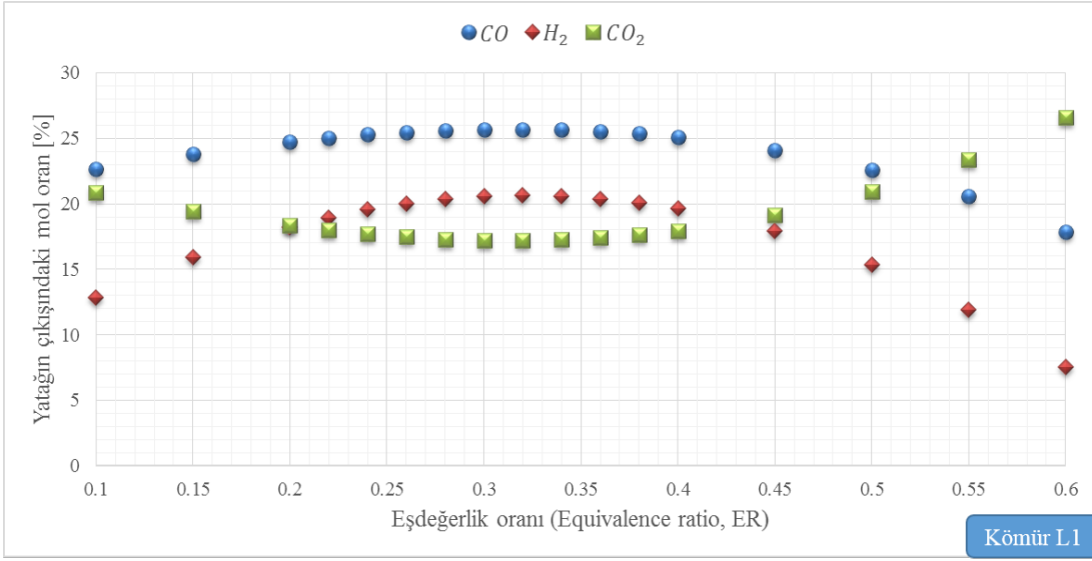
Çizelge 7.8 : L1 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	ER* [-]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]
D1	0.10	25	16.45	25	0.66	1
D2	0.15	25	24.68	25	0.99	1
D3	0.20	25	32.90	25	1.32	1
D4	0.22	25	36.20	25	1.45	1
D5	0.24	25	39.49	25	1.58	1
D6	0.26	25	42.78	25	1.71	1
D7	0.28	25	46.07	25	1.84	1
D8	0.30	25	49.36	25	1.97	1
D9	0.32	25	52.65	25	2.11	1
D10	0.34	25	55.94	25	2.24	1
D11	0.36	25	59.23	25	2.37	1
D12	0.38	25	62.52	25	2.50	1
D13	0.40	25	65.81	25	2.63	1
D14	0.45	25	74.04	25	2.96	1
D15	0.50	25	82.26	25	3.29	1
D16	0.55	25	90.49	25	3.62	1
D17	0.60	25	98.71	25	3.95	1
* Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)						

Eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasına etkilerinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) en düşük 0.10 ve en yüksek 0.60 alınmıştır. Eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) için toplam 17 durum oluşturulmuş ve bu her bir durum için L1 linyiti (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 5.3) kullanılarak üç boyutlu zamana bağlı sayısal çalışmalar yapılmıştır.

Eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) değişimi incelenir iken kömür debisi 25 kg/h olarak sabit alınmıştır. Bu sabit değer belirlenirken Li ve diğ. [6] tarafından yapılan deneysel çalışmadaki 8 farklı deney (Bakınız Çizelge 7.2) için kullanılan kömür debilerinin ortalaması alınmıştır. Çizelge 7.8 incelendiğinde her bir durum için yatağa gönderilen hava debisi değerlerinin de verildiği görülmektedir. Çizelge 7.8 ile gösterilen hava debilerin hesaplanabilmesi için öncelikle L1 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) değerleri (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kullanılarak kömürün tam yanması için gerekli hava miktarı hesaplanmaktadır. Kömürün tam

yanması için gerekli hava debisi değeri, ER değerleri ile çarpılarak Çizelge 7.8 ile gösterilen hava debileri hesaplanmaktadır. Gazlaştırmaya etkisi olan diğer bir oran ise Su-Buharı/Kömür debisi oranıdır. Eşdeğerlik oranının etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Su-Buharı/Kömür debisi oranı 1.0 olarak sabit alınmıştır. Bu değer Su-Buharı/Kömür debisi kg/kg oranı için seçilen çalışma aralığındaki değerlerin (0-2.0) ortalamasıdır. Şekil 7.29 ile dolaşımli akışkan yatakta L1 kömürünün değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

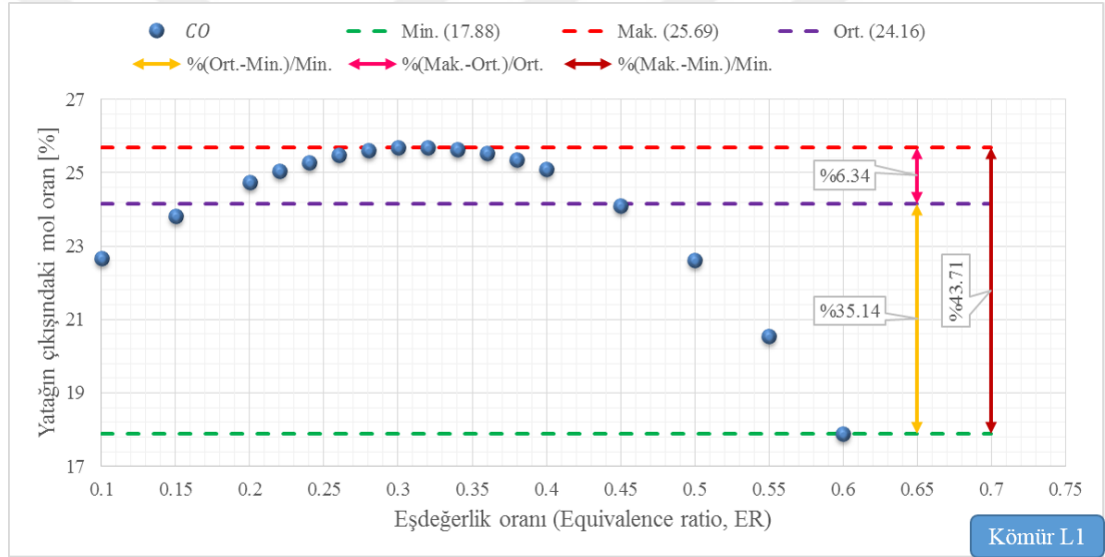


Şekil 7.29 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan gazların yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 7.29 incelendiğinde ER değeri 0.10'dan 0.32'ye doğru artar iken yatağın çıkış ağzında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı buna karşılık CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin düştüğü görülmektedir. ER değerinin 0.32'den daha büyük olduğu durumlarda ise yatağın çıkış ağzında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinde azalma olurken CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde artma olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının 0.32 mertebesinden düşük olduğu durumlarda yatak içindeki gazlaştırma reaksiyonlarının yanma reaksiyonlarına göre daha aktif olduğu tespit edilmiştir. Çünkü ER değerinin düşük olması yataktaki oksijen miktarının da düşük olması anlamına gelmektedir. Eşdeğerlik oranının belli bir değerden fazla olması ise gazlaştırma reaksiyonlarının yerine yanma reaksiyonlarının daha aktif olmasına neden olmaktadır. Eşdeğerlik

oranının artması, yataktaki oksijen miktarını da arttırdığından yanma reaksiyonların hızlanmasına neden olduğu görülmektedir.

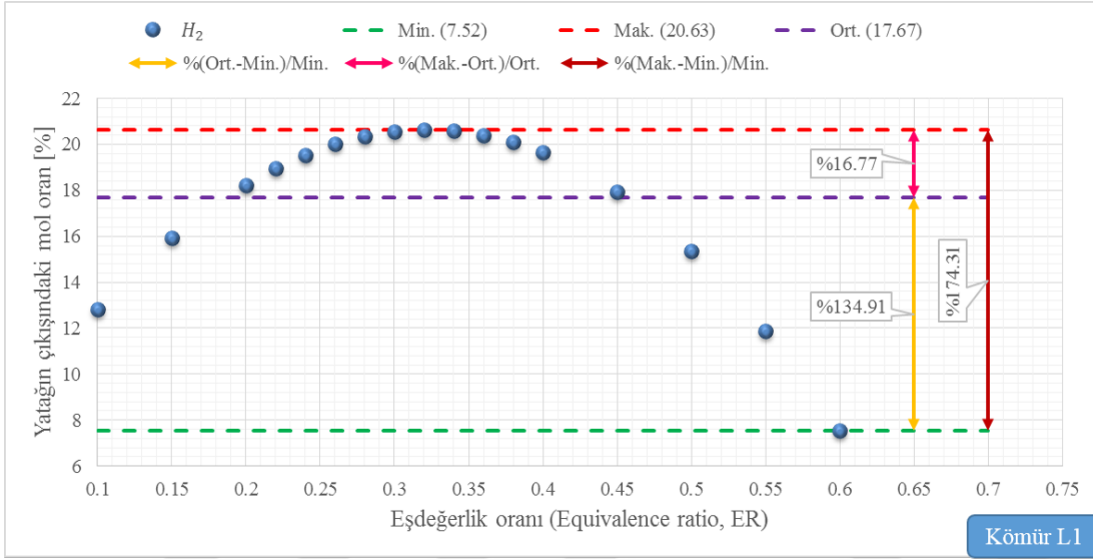
Şekil 7.29 ile L1 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatak geometrisinde değişik ER değerleri kullanılarak yapılan gazlaştırma modellemesinde yatağın çıkışında elde edilen CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin ER değerleri ile değişimi toplu olarak gösterilmişti. Şimdi sırası ile ER değerinin yatağın çıkışında hesaplanan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı şekillerde gösterilecek ve yorumlanacaktır. Şekil 7.30 ile L1 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.30 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 7.30 incelendiğinde yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan en düşük yüzde mol oranı değeri 17.88 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda görülmektedir. Buna karşılık ER değerinin 0.32 olduğu durumda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 25.69 ile en yüksek değere sahiptir. Toplam 17 farklı ER değeri için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 24.16 değerindedir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değeri 35.14 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 6.34 değerine sahiptir. Ayrıca en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 43.71 değerindedir. Eşdeğerlik oranının (ER) 0.10 ile 0.32

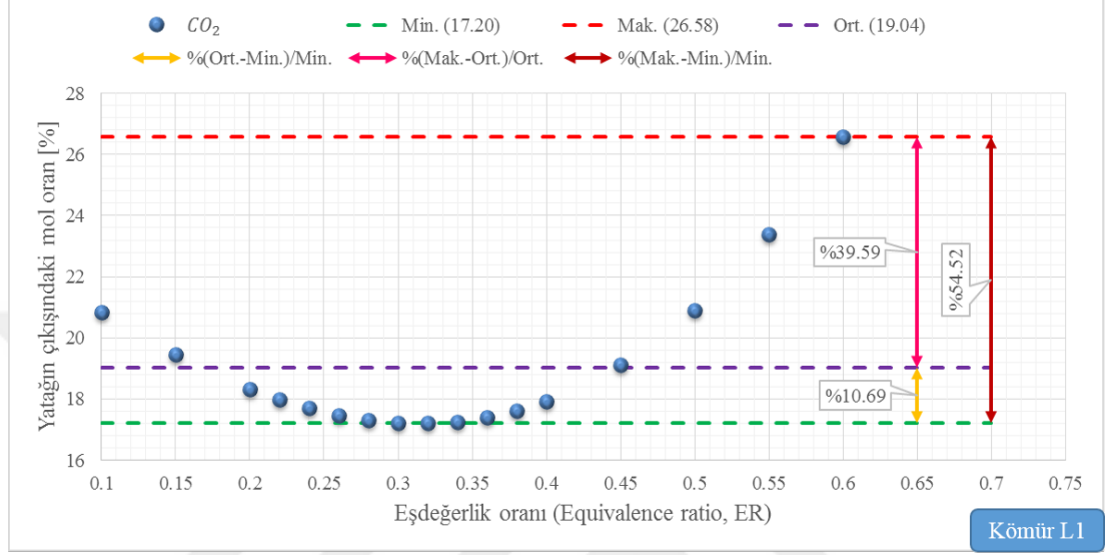
arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı görülmektedir. Buna ek olarak ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının artması ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile CO gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 7.31 ile L1 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.31 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 7.31 incelendiğinde L1 kömürü için dolaşımli akışkan yatakta yapılan çözümlerlerde ER değerinin 0.60 olduğu durumda H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin 7.52 ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık en yüksek değer 20.63 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. Sayısal analiz ile H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 17.67 değerindedir. Yapılan hesaplamalarda ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değerinin 134.91 olduğu görülmektedir. Buna karşılık ortalama değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark 16.77 olarak hesaplanmıştır. Son olarak en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl farkın ise 174.31 olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranı (ER) 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki

oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlandığı ve H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Gazlaştırma için diğer bir önemli gaz ise CO_2 gazıdır. L1 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin ER değeri ile değişimi Şekil 7.32 ile gösterilmektedir.



Şekil 7.32 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 7.32 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için sayısal analiz ile elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en düşük olan değer 17.20 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda oluşmaktadır. En yüksek değer ise 26.58 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda meydana gelmektedir. L1 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 19.04 değerindedir. Sayısal analiz sonucu elde edilen en düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 10.69'dur. Ayrıca ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri ise 39.59'dur. Son olarak L1 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında sayısal analiz sonuçları ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en yüksek olanı ve en düşük olanı arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 54.52'dir.

L1 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılması ile oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Eşdeğerlik oranının 0.10 ile 0.32 olduğu aralıkta CO ve H_2 gazlarının

yüzde mol oranı değerleri gazlaştırma reaksiyonlarının etkisi ile artarken CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmüştür. Buna ek olarak eşdeğerlik oranının 0.32'den fazla olduğu durumlarda ise yataktaki oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlanmakta olduğu ve bu nedenle de CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı buna karşın CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

7.3.1.2 L2 kömürü için elde edilen sonuçlar

Eşdeğerlik oranının seçilen Türk linyitlerinden ikincisi olan L2 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin incelendiği bu parametrik çalışmada toplam 17 durum göz önüne alınmıştır. Parametrik çalışmalar için seçilen bu 17 durumun bilgisi Çizelge 7.9 ile verilmektedir.

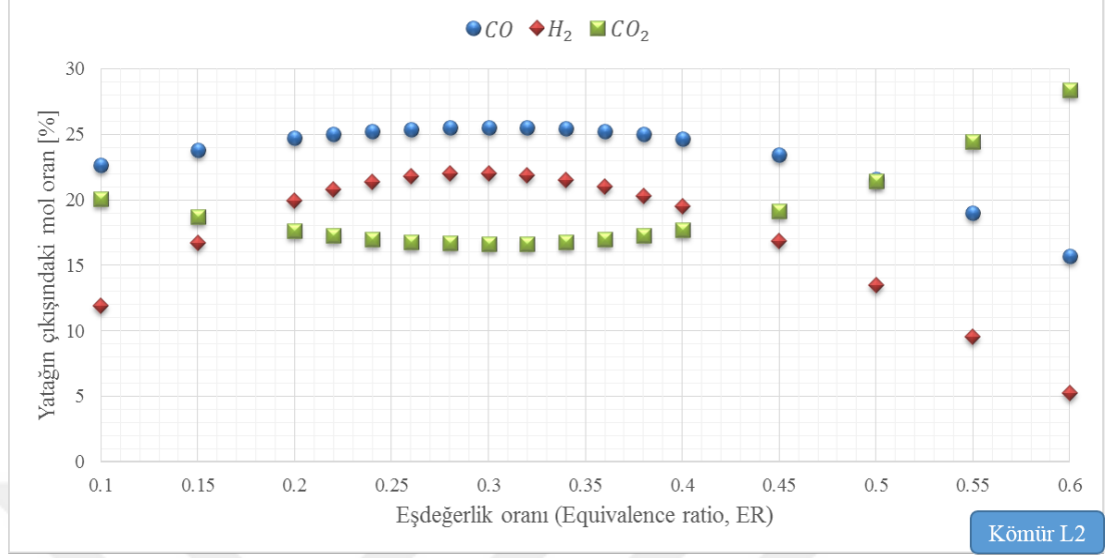
Çizelge 7.9 : L2 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	ER* [-]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]
D1	0.10	25	20.57	25	0.82	1
D2	0.15	25	30.86	25	1.23	1
D3	0.20	25	41.14	25	1.65	1
D4	0.22	25	45.26	25	1.81	1
D5	0.24	25	49.37	25	1.97	1
D6	0.26	25	53.49	25	2.14	1
D7	0.28	25	57.60	25	2.30	1
D8	0.30	25	61.72	25	2.47	1
D9	0.32	25	65.83	25	2.63	1
D10	0.34	25	69.95	25	2.80	1
D11	0.36	25	74.06	25	2.96	1
D12	0.38	25	78.18	25	3.13	1
D13	0.40	25	82.29	25	3.29	1
D14	0.45	25	92.58	25	3.70	1
D15	0.50	25	102.86	25	4.11	1
D16	0.55	25	113.15	25	4.53	1
D17	0.60	25	123.43	25	4.94	1
*	Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)					

Parametrik çalışma kapsamında eşdeğerlik oranı aralığı 0.1-0.6 olarak seçilmiştir. Eşdeğerlik oranı ve kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı çarpılarak yatağa gönderilen hava debisi hesaplanmaktadır. L2 kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı ise L2 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) değerleri (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kullanılarak hesaplanmaktadır.

L1 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranı (ER) etkisinin araştırılmasından sonra seçilen diğer bir Türk linyiti olan L2 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için de benzer sayısal çalışmalar yapılmıştır. Şekil 7.33 ile ER

değerine göre yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

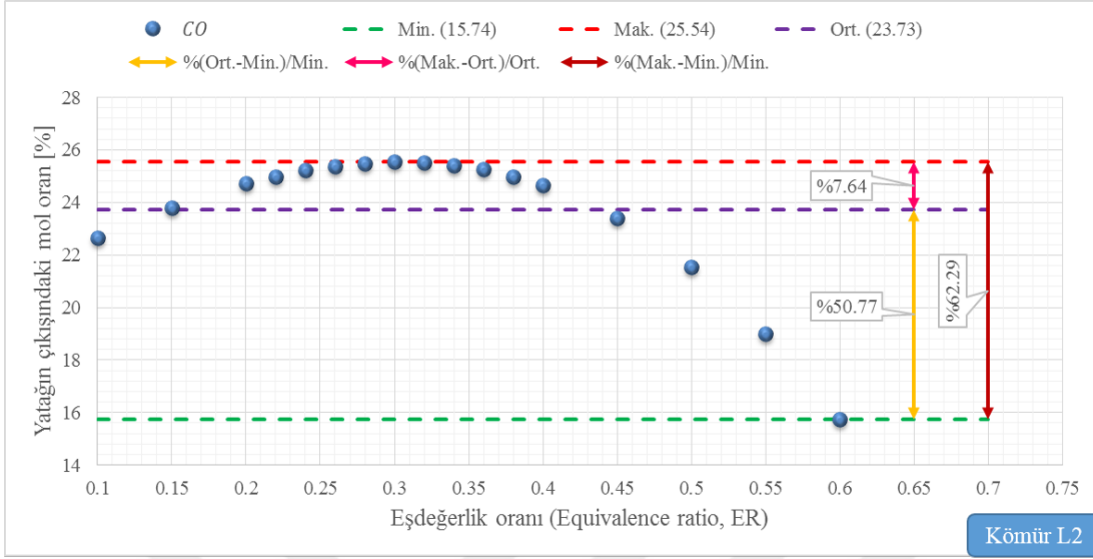


Şekil 7.33 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan gazların yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 7.33 incelendiğinde ER değeri 0.10 ile 0.32 arasında iken yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı buna karşılık CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. ER değerinin 0.32'den daha büyük olduğu durumlarda ise yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinde azalma, CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde artma olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının 0.32 mertebesinde düşük olduğu durumlarda yatak içindeki gazlaştırma reaksiyonları yanma reaksiyonlarına göre daha aktif olmaktadır. Çünkü ER değerinin düşük olması yataktaki oksijen miktarının da düşük olması anlamına gelmektedir. Eşdeğerlik oranının belli bir değerden fazla olması ise gazlaştırma reaksiyonlarının yerine yanma reaksiyonlarının daha aktif olmasına neden olmaktadır. Eşdeğerlik oranının artması yataktaki oksijen miktarının da artması, anlamına geldiğinden yanma reaksiyonlarını hızlandırmaktadır.

Şekil 7.33 ile ER değerinin L2 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılması sonucu oluşan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi toplu halde gösterilmiştir. Şimdi sırası ile ER değerinin yatağın çıkışında hesaplanan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı şekillerde gösterilecek ve yorumlanacaktır. Şekil 7.34 ile L2 kömürünün dolaşımli akışkan

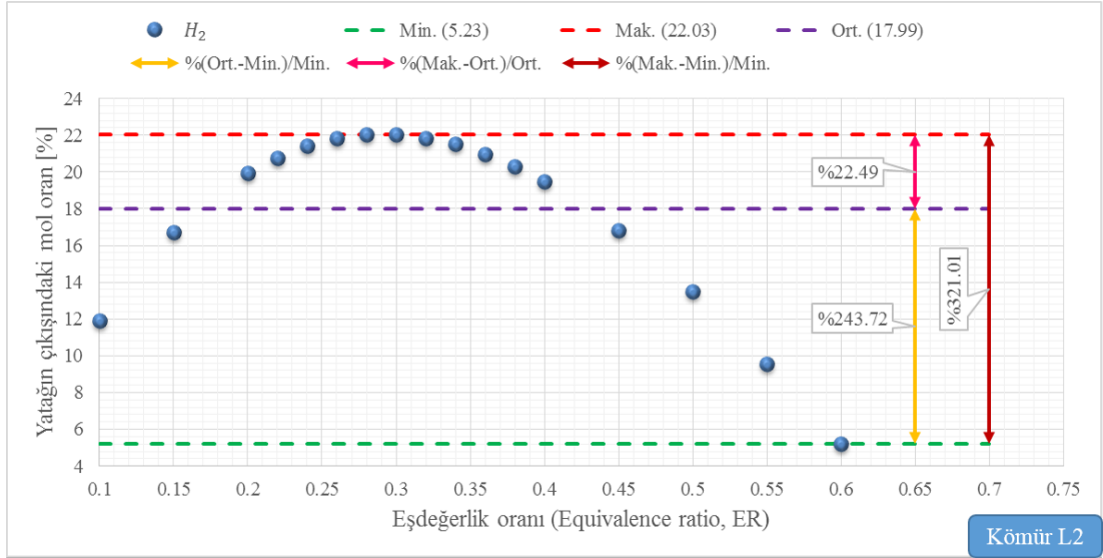
yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.34 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 7.34 incelendiğinde yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan en düşük yüzde mol oranı değeri 15.74 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda görülmektedir. Buna karşılık ER değerinin 0.32 olduğu durumda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 25.54 ile en yüksek değere sahiptir. Toplam 17 farklı ER değeri için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 23.73 değerine sahiptir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değeri 50.77 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 7.64 değerine sahiptir. Ayrıca en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değeri ise 62.29 değerindedir. Eşdeğerlik oranı (ER) 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Buna ek olarak ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Gazlaştırma için diğer önemli bir gaz ise H_2 gazıdır. Şekil 7.35 ile L2 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.

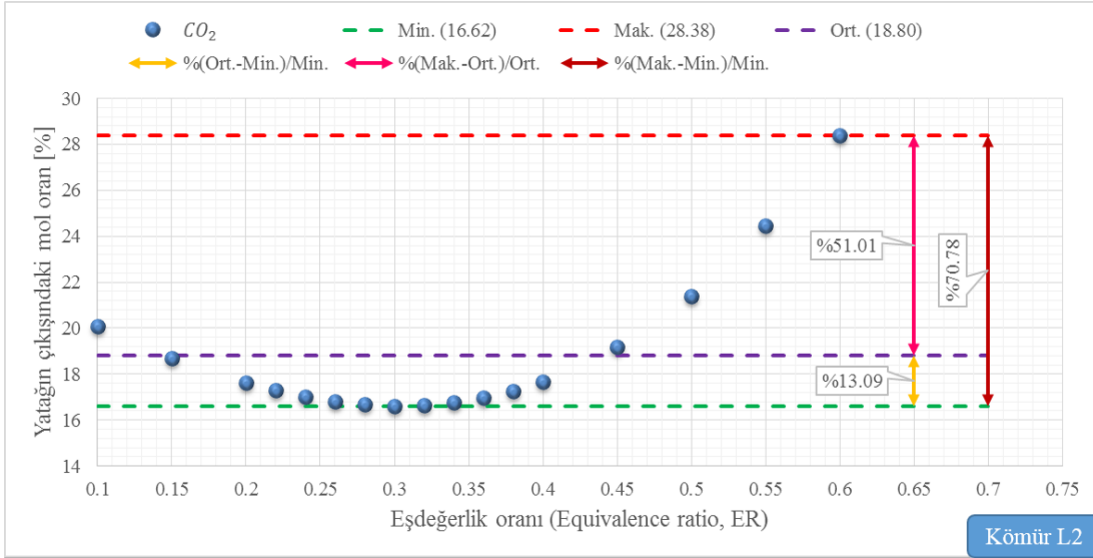
Şekil 7.35 incelendiğinde L2 kömürü için dolaşımli akışkan yatakta yapılan çözümlenelerde ER değerinin 0.60 olduğu durumda H_2 gazı için yatağın çıkışında



Şekil 7.35 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

hesaplanan yüzde mol oranı değerinin 5.23 ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık en yüksek değer 22.03 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. Sayısal analiz ile H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 17.99 değerindedir. Yapılan hesaplamalarda ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değerinin 243.72 olduğu görülmektedir. Buna karşılık ortalama değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark 22.49 olarak hesaplanmıştır. Son olarak en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl farkın ise 321.01 olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının (ER) 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlandığı ve H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Gazlaştırma için diğer bir önemli gaz ise CO_2 gazıdır. L2 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ER değerleri ile değişimi Şekil 7.36 ile gösterilmektedir.

Şekil 7.36 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için sayısal analiz ile elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en düşük olan değer 16.62 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda oluşmaktadır. En yüksek değer ise 28.38 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda meydana gelmektedir. L2 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta değişik



Şekil 7.36 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

ER değerlerinde gazlaştırılmasında yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 18.80 değerindedir. Sayısal analiz sonucu elde edilen en düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 13.09'dur. Ayrıca ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri ise 51.01'dir. Son olarak L2 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında sayısal analiz sonuçları ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en yüksek olanı ve en düşük olanı arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 70.78'dir.

L2 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılması ile oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranına bağıl olarak değişimi incelenmiştir. Eşdeğerlik oranının 0.10 ile 0.32 olduğu aralıkta CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri gazlaştırma reaksiyonlarının etkisi ile artarken CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmüştür. Buna ek olarak eşdeğerlik oranının 0.32'den fazla olduğu durumlarda ise yataktaki oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlanmakta olduğu ve bu nedenle de CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı buna karşın CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

7.3.1.3 L3 kömürü için elde edilen sonuçlar

Eşdeğerlik oranının seçilen Türk linyitlerinden üçüncüsü olan L3 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin incelendiği bu parametrik çalışmada toplam 17 durum göz önüne alınmıştır. Parametrik çalışmalar için seçilen bu 17 durumun bilgisi Çizelge 7.10 ile verilmektedir.

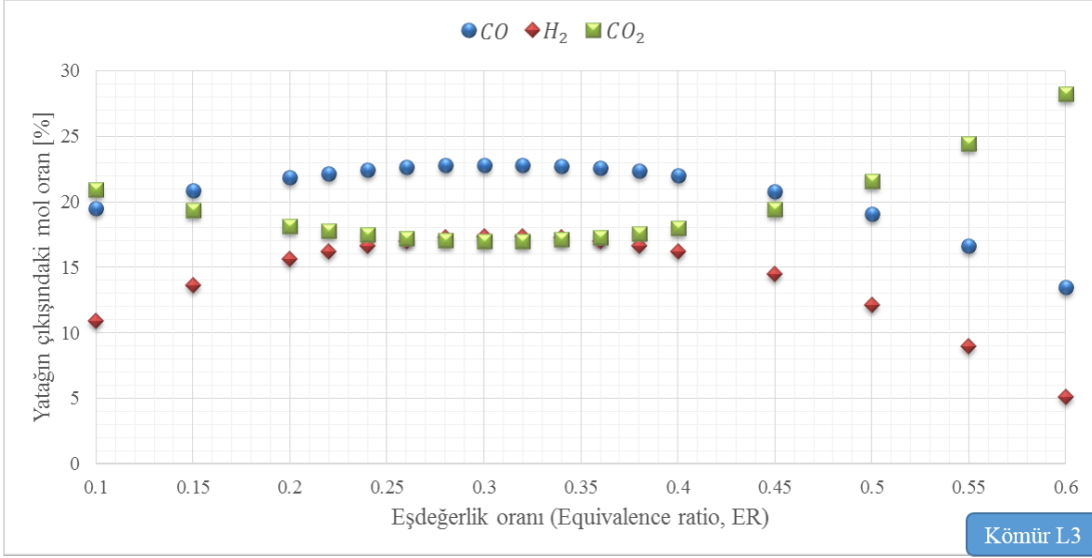
Çizelge 7.10 : L3 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	ER* [-]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]
D1	0.10	25	18.56	25	0.74	1
D2	0.15	25	27.84	25	1.11	1
D3	0.20	25	37.12	25	1.48	1
D4	0.22	25	40.83	25	1.63	1
D5	0.24	25	44.54	25	1.78	1
D6	0.26	25	48.25	25	1.93	1
D7	0.28	25	51.97	25	2.08	1
D8	0.30	25	55.68	25	2.23	1
D9	0.32	25	59.39	25	2.38	1
D10	0.34	25	63.10	25	2.52	1
D11	0.36	25	66.81	25	2.67	1
D12	0.38	25	70.53	25	2.82	1
D13	0.40	25	74.24	25	2.97	1
D14	0.45	25	83.52	25	3.34	1
D15	0.50	25	92.80	25	3.71	1
D16	0.55	25	102.08	25	4.08	1
D17	0.60	25	111.36	25	4.45	1
*	Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)					

Parametrik çalışma kapsamında eşdeğerlik oranı aralığı 0.1-0.6 olarak seçilmiştir. Eşdeğerlik oranı ve kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı çarpılarak yatağa gönderilen hava debisi hesaplanmaktadır. L3 kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı ise L3 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) değerleri (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kullanılarak hesaplanmaktadır.

L2 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranı (ER) etkisinin araştırılmasından sonra seçilen diğer bir Türk linyiti olan L3 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için de benzer sayısal çalışma yapılmıştır. Şekil 7.37 ile ER değerine göre yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranlarının değişimi gösterilmektedir.

Şekil 7.37 incelendiğinde ER değeri 0.10 ile 0.32 arasında iken yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı buna karşılık CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. ER değerinin 0.32'den daha büyük olduğu durumlarda ise yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan

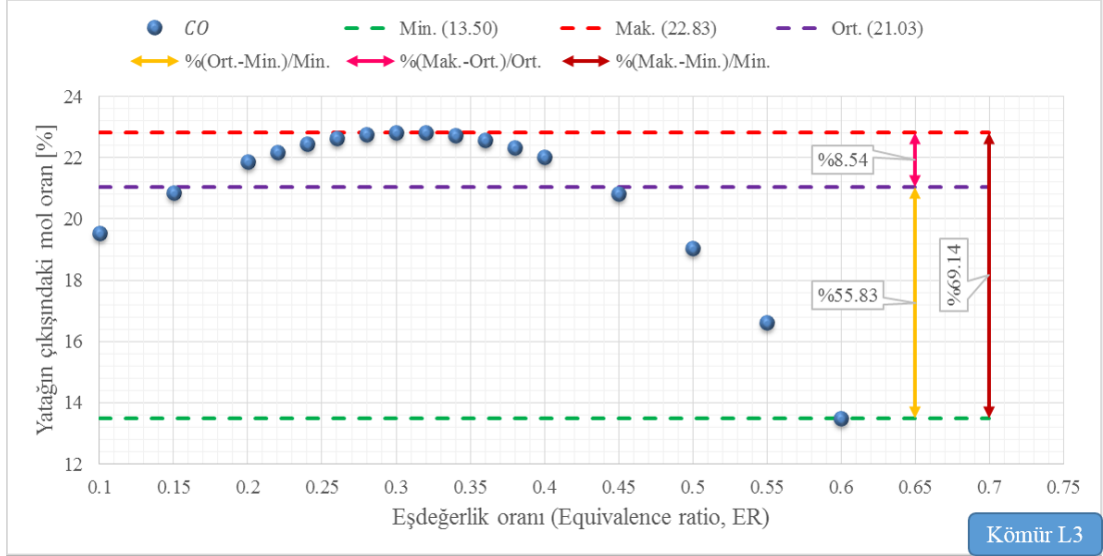


Şekil 7.37 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan gazların yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

yüzde mol oranı değerlerinde azalma, CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde artma olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının 0.32 mertebesinde düşük olduğu durumlarda yatak içindeki gazlaştırma reaksiyonları yanma reaksiyonlarına göre daha aktif olmaktadır. Çünkü ER değerinin düşük olması yataktaki oksijen miktarının da düşük olması anlamına gelmektedir. Eşdeğerlik oranının belli bir değerden fazla olması ise gazlaştırma reaksiyonlarının yerine yanma reaksiyonlarının daha aktif olmasına neden olmaktadır. Eşdeğerlik oranının artması, yataktaki oksijen miktarının da artması anlamına geldiğinden yanma reaksiyonlarını hızlandırmaktadır.

Şekil 7.37 ile ER değerinin L3 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşimli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılması sonucu oluşan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi toplu halde gösterilmişti. Şimdi sırası ile ER değerinin yatağın çıkışında hesaplanan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı şekillerde gösterilecek ve yorumlanacaktır. Şekil 7.38 ile L3 kömürünün dolaşimli akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.

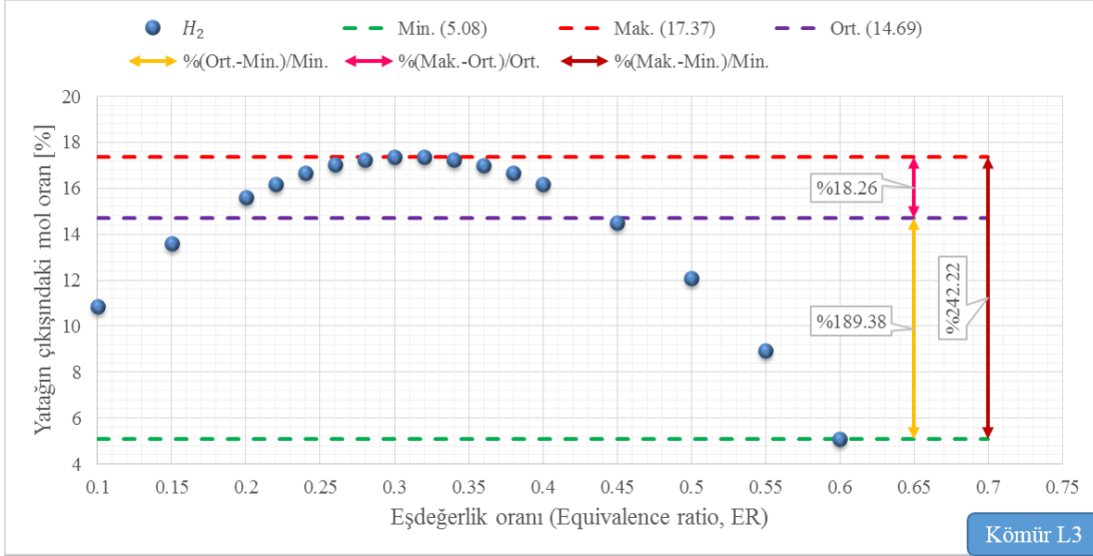
Şekil 7.38 incelendiğinde yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan en düşük yüzde mol oranı değeri 13.50 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda görülmektedir. Buna karşılık ER değerinin 0.32 olduğu durumda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 22.83 ile en yüksek değere sahiptir. Toplam 17 farklı ER



Şekil 7.38 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

değeri için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 21.03 değerine sahiptir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değeri 55.83 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 8.54 değerine sahiptir. Ayrıca en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 69.14 değerindedir. Eşdeğerlik oranının (ER) 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı görülmektedir. Buna ek olarak ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile CO gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Gazlaştırma için diğer önemli bir gaz ise H_2 gazıdır. Şekil 7.39 ile L3 kömürünün dolaşimli akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.

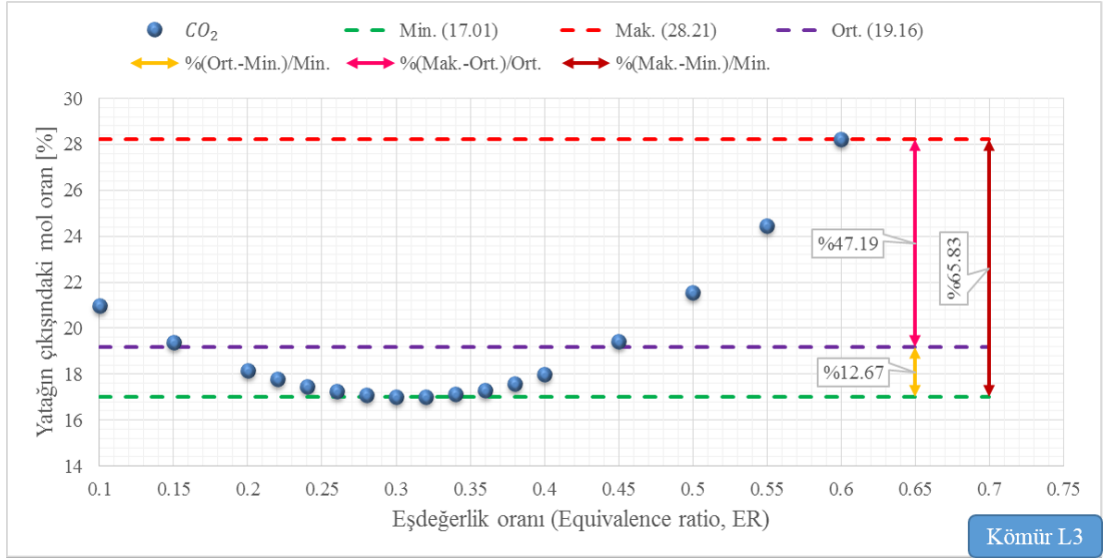
Şekil 7.39 incelendiğinde L3 kömürü için dolaşimli akışkan yatakta yapılan çözümlenelerde ER değerinin 0.60 olduğu durumda H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin 5.08 ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık en yüksek değer 17.37 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. Sayısal analiz ile H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 14.69 değerindedir. Yapılan hesaplamalarda ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark



Şekil 7.39 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

değerinin 189.38 olduğu görülmektedir. Buna karşılık ortalama değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark 18.26 olarak hesaplanmıştır. Son olarak en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl farkın ise 242.22 olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının (ER) 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlandığı ve H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Gazlaştırma için diğer bir önemli gaz ise CO_2 gazıdır. L3 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ER değeri ile değişimi Şekil 7.40 ile gösterilmektedir.

Şekil 7.40 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için sayısal analiz ile elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en düşük olan değer 17.01 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda oluşmaktadır. En yüksek değer ise 28.21 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda meydana gelmektedir. L3 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 19.16 değerindedir. Sayısal analiz sonucu elde edilen en düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 12.67'dir. Ayrıca ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri ise 47.19'dur. Son olarak L3 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta değişik



Şekil 7.40 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

ER değerlerinde gazlaştırılmasında sayısal analiz sonuçları ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en yüksek olanı ve en düşük olanı arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 65.83'tür.

L3 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılması ile oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Eşdeğerlik oranının 0.10 ile 0.32 olduğu aralıkta CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri gazlaştırma reaksiyonlarının etkisi ile artarken CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmüştür. Buna ek olarak eşdeğerlik oranının 0.32'den fazla olduğu durumlarda ise yataktaki oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlanmakta olduğu ve bu nedenle de CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı buna karşın CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

7.3.1.4 L4 kömürü için elde edilen sonuçlar

Eşdeğerlik oranının seçilen Türk linyitlerinden dördüncüsü olan L4 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin incelendiği bu parametrik çalışmada toplam 17 durum göz önüne alınmıştır. Parametrik çalışmalar için seçilen bu 17 durumun bilgisi Çizelge 7.11 ile verilmektedir. Parametrik çalışma kapsamında eşdeğerlik oranı aralığı 0.1-0.6 olarak seçilmiştir. Eşdeğerlik oranı ve kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı çarpılarak

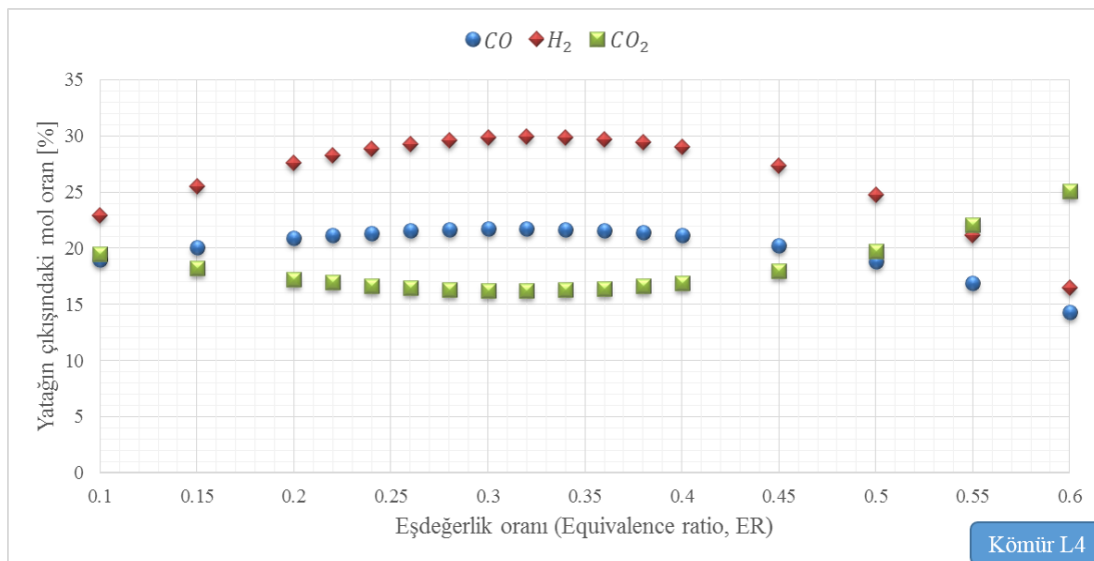
Çizelge 7.11 : L4 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	ER* [-]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]
D1	0.10	25	16.16	25	0.65	1
D2	0.15	25	24.24	25	0.97	1
D3	0.20	25	32.32	25	1.29	1
D4	0.22	25	35.55	25	1.42	1
D5	0.24	25	38.79	25	1.55	1
D6	0.26	25	42.02	25	1.68	1
D7	0.28	25	45.25	25	1.81	1
D8	0.30	25	48.48	25	1.94	1
D9	0.32	25	51.72	25	2.07	1
D10	0.34	25	54.95	25	2.20	1
D11	0.36	25	58.18	25	2.33	1
D12	0.38	25	61.41	25	2.46	1
D13	0.40	25	64.64	25	2.59	1
D14	0.45	25	72.73	25	2.91	1
D15	0.50	25	80.81	25	3.23	1
D16	0.55	25	88.89	25	3.56	1
D17	0.60	25	96.97	25	3.88	1

* Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

yatağa gönderilen hava debisi hesaplanmaktadır. L4 kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı ise L4 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) değerleri (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kullanılarak hesaplanmaktadır.

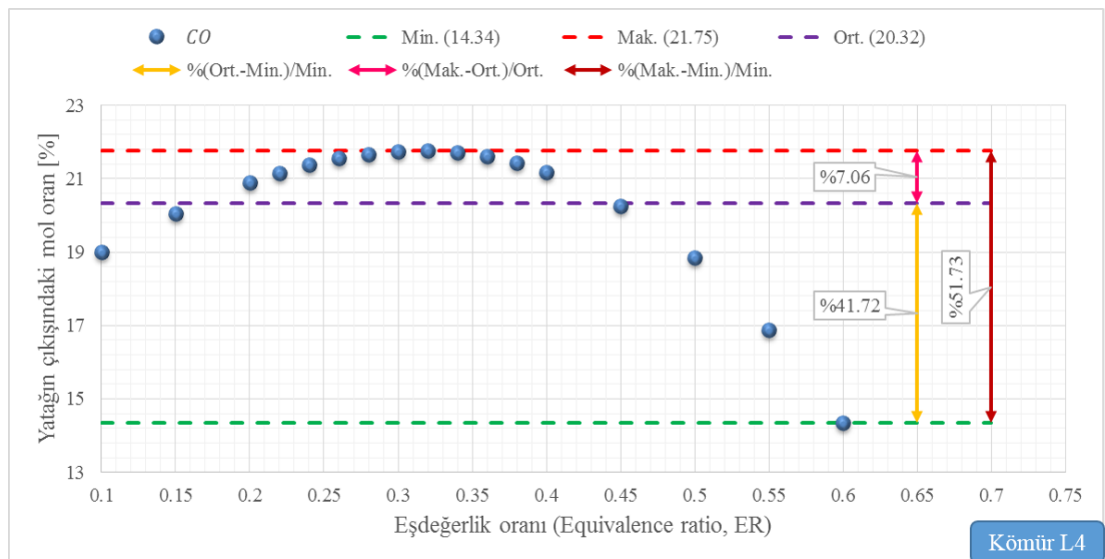
L3 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranı (ER) etkisinin araştırılmasından sonra seçilen diğer bir Türk linyiti olan L4 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için de benzer sayısal çalışma yapılmıştır. Şekil 7.41 ile ER değerine göre yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranlarının değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.41 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan gazların yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

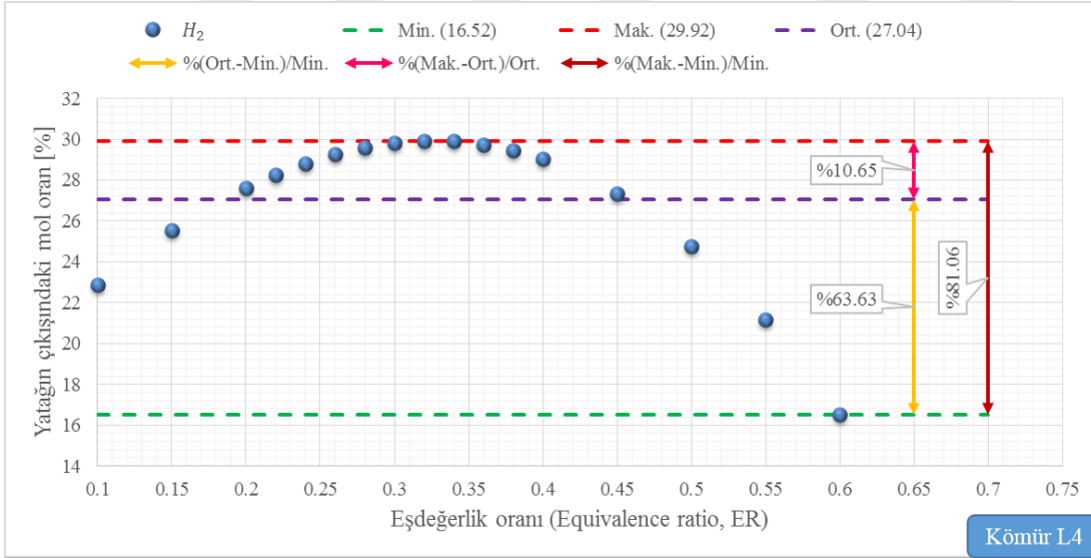
Şekil 7.41 incelendiğinde ER değeri 0.10 ile 0.32 arasında iken yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı buna karşılık CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. ER değerinin 0.32'den daha büyük olduğu durumlarda ise yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinde azalma, CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde artma olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının 0.32 mertebesinde düşük olduğu durumlarda yatak içindeki gazlaştırma reaksiyonları yanma reaksiyonlarına göre daha aktif olmaktadır. Çünkü ER değerinin düşük olması yataktaki oksijen miktarının da düşük olması anlamına gelmektedir. Eşdeğerlik oranının belli bir değerden fazla olması ise gazlaştırma reaksiyonlarının yerine yanma reaksiyonlarının daha aktif olmasına neden olmaktadır. Eşdeğerlik oranının artması, yataktaki oksijen miktarının da artması anlamına geldiğinden yanma reaksiyonlarını hızlandırmaktadır.

Şekil 7.41 ile ER değerinin L4 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşimli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılması sonucu oluşan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi toplu halde gösterilmişti. Şimdi sırası ile ER değerinin yatağın çıkışında hesaplanan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı şekillerde gösterilecek ve yorumlanacaktır. Şekil 7.42 ile L4 kömürünün dolaşimli akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.42 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

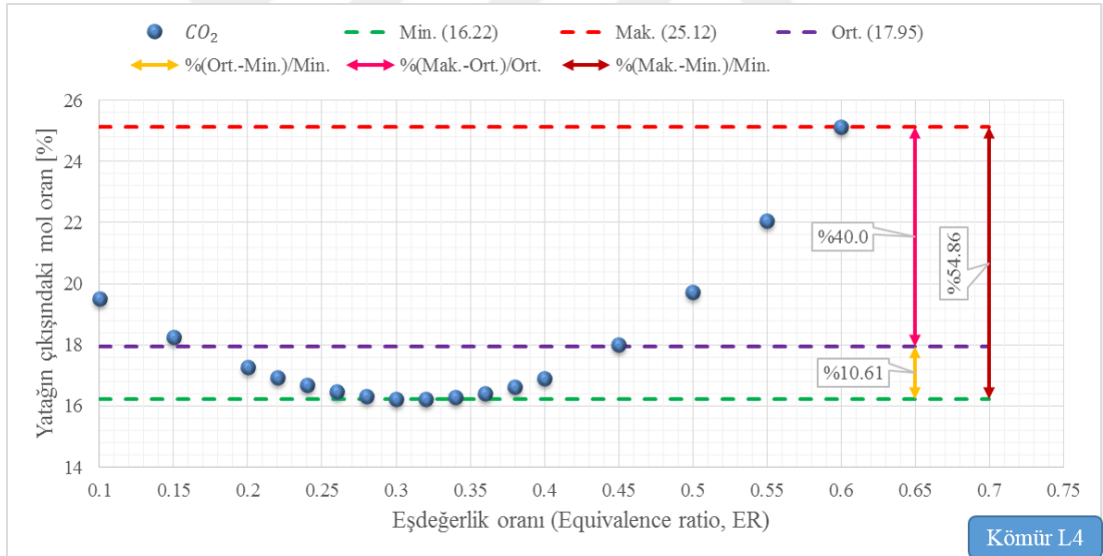
Şekil 7.42 incelendiğinde yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan en düşük yüzde mol oranı değeri 14.34 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda görülmektedir. Buna karşılık ER değerinin 0.32 olduğu durumda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 21.75 ile en yüksek değere sahiptir. Toplam 17 farklı ER değeri için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 20.32 değerine sahiptir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değeri 41.72 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 7.06 değerine sahiptir. Ayrıca en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 51.73 değerindedir. Eşdeğerlik oranı (ER) 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı görülmektedir. Buna ek olarak ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile CO gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Gazlaştırma için diğer önemli bir gaz ise H_2 gazıdır. Şekil 7.43 ile L4 kömürünün dolaşimli akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.43 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 7.43 incelendiğinde L4 kömürü için dolaşimli akışkan yatakta yapılan çözümlenmelerde ER değerinin 0.60 olduğu durumda H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin 16.52 ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık en yüksek değer 29.92 ile ER değerinin 0.32 olduğu

durumda ortaya çıkmaktadır. Sayısal analiz ile H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 27.04 değerindedir. Yapılan hesaplamalarda ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değerinin 63.63 olduğu görülmektedir. Buna karşılık ortalama değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark 10.65 olarak hesaplanmıştır. Son olarak en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl farkın ise 81.06 olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının (ER) 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlandığı ve H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Gazlaştırma için diğer bir önemli gaz ise CO_2 gazıdır. L4 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ER değeri ile değişimi Şekil 7.44 ile gösterilmektedir.



Şekil 7.44 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 7.44 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için sayısal analiz ile elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en düşük olan değer 16.22 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda oluşmaktadır. En yüksek değer ise 25.12 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda meydana gelmektedir. L4 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 17.95 değerindedir. Sayısal analiz sonucu elde

edilen en düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağlı fark değeri 10.61'dir. Ayrıca ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağlı fark değeri ise 40.00'dır. Son olarak L4 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında sayısal analiz sonuçları ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en yüksek olanı ile en düşük olanı arasında hesaplanan yüzde bağlı fark değeri 54.86'dır.

L4 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılması ile oluşun CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Eşdeğerlik oranının 0.10 ile 0.32 olduğu aralıkta CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerleri gazlaştırma reaksiyonlarının etkisi ile artarken CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmüştür. Buna ek olarak eşdeğerlik oranının 0.32'den fazla olduğu durumlarda ise yataktaki oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlanmakta olduğu ve bu nedenle de CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı buna karşın CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

7.3.1.5 L5 kömürü için elde edilen sonuçlar

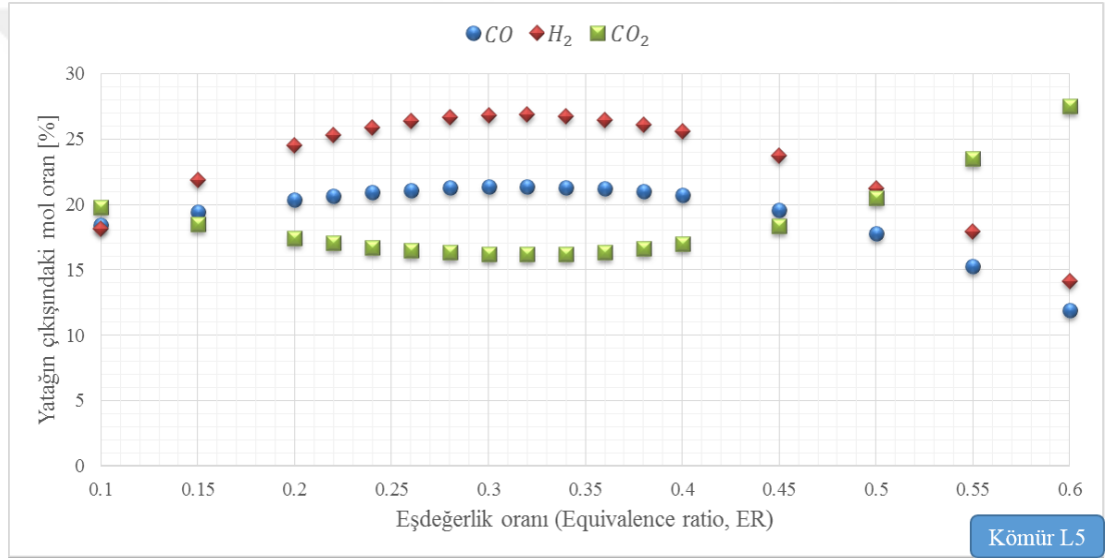
Eşdeğerlik oranının seçilen Türk linyitlerinden beşincisi olan L5 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin incelendiği bu parametrik çalışmada toplam 17 durum göz önüne alınmıştır. Parametrik çalışmalar için seçilen bu 17 durumun bilgisi Çizelge 7.12 ile verilmektedir.

Çizelge 7.12 : L5 kömürü için ER değerinin gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	ER* [-]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]
D1	0.10	25	17.77	25	0.71	1
D2	0.15	25	26.65	25	1.07	1
D3	0.20	25	35.54	25	1.42	1
D4	0.22	25	39.09	25	1.56	1
D5	0.24	25	42.65	25	1.71	1
D6	0.26	25	46.20	25	1.85	1
D7	0.28	25	49.75	25	1.99	1
D8	0.30	25	53.31	25	2.13	1
D9	0.32	25	56.86	25	2.27	1
D10	0.34	25	60.41	25	2.42	1
D11	0.36	25	63.97	25	2.56	1
D12	0.38	25	67.52	25	2.70	1
D13	0.40	25	71.08	25	2.84	1
D14	0.45	25	79.96	25	3.20	1
D15	0.50	25	88.84	25	3.55	1
D16	0.55	25	97.73	25	3.91	1
D17	0.60	25	106.61	25	4.26	1
*	Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)					

Parametrik çalışma kapsamında eşdeğerlik oranı aralığı 0.1-0.6 olarak seçilmiştir. Eşdeğerlik oranı ve kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı çarpılarak yatağa gönderilen hava debisi hesaplanmaktadır. L5 kömürünün tam yanması için gerekli hava miktarı ise L5 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) değerleri (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kullanılarak hesaplanmaktadır.

L4 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında eşdeğerlik oranı (ER) etkisinin araştırılmasından sonra seçilen diğer bir Türk linyiti olan L5 kömürü (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) için de benzer sayısal çalışma yapılmıştır. Şekil 7.45 ile ER değerine göre yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

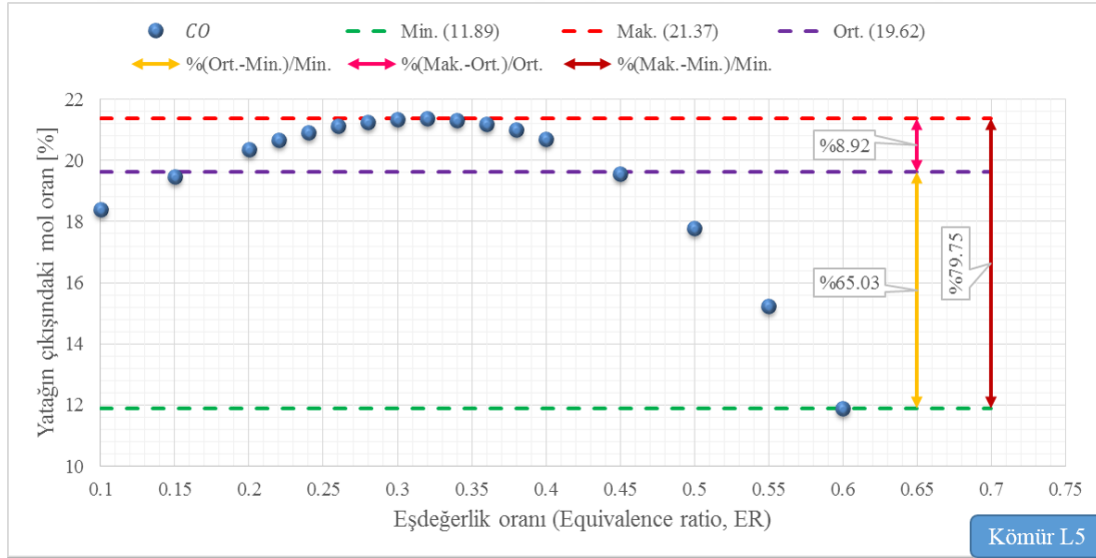


Şekil 7.45 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan gazların yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 7.45 incelendiğinde ER değeri 0.10 ile 0.32 arasında iken yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı buna karşılık CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. ER değerinin 0.32'den daha büyük olduğu durumlarda ise yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinde azalma, CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinde artma olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının 0.32 mertebesinden düşük olduğu durumlarda yatak içindeki gazlaştırma reaksiyonları yanma reaksiyonlarına göre daha aktif olmaktadır. Çünkü ER değerinin düşük olması yataktaki oksijen miktarının da düşük olması anlamına gelmektedir. Eşdeğerlik oranının belli bir değerden fazla olması ise gazlaştırma reaksiyonlarının yerine yanma reaksiyonlarının daha aktif

olmasına neden olmaktadır. Eşdeğerlik oranının artması, yataktaki oksijen miktarının da artması anlamına geldiğinden yanma reaksiyonlarını hızlandırmaktadır.

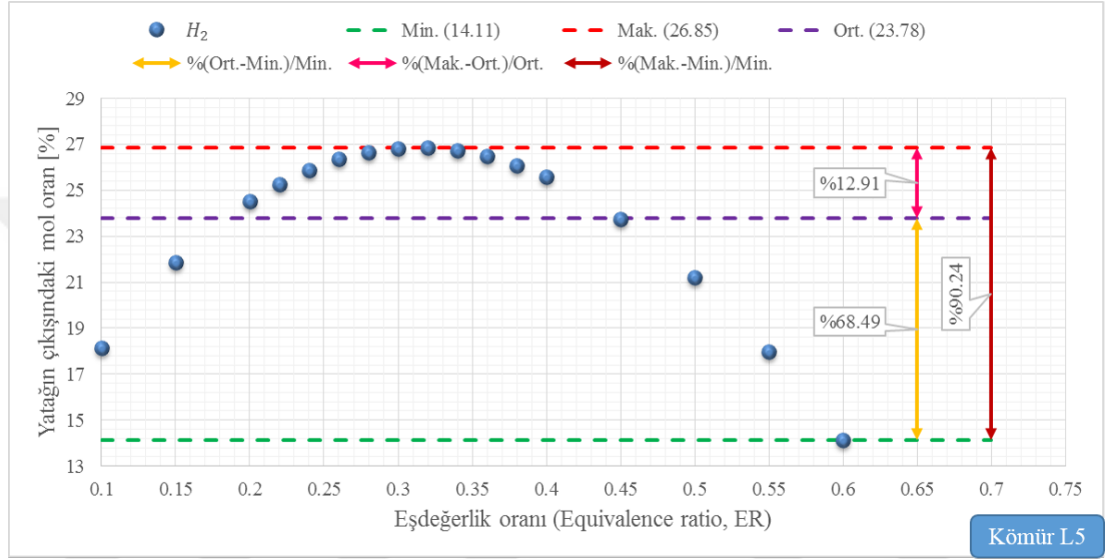
Şekil 7.45 ile ER değerinin L5 kömürünün (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşimli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılması sonucu oluşan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi toplu halde gösterilmişti. Şimdi sırası ile ER değerinin yatağın çıkışında hesaplanan CO , H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı şekillerde gösterilecek ve yorumlanacaktır. Şekil 7.46 ile L5 kömürünün dolaşimli akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.46 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 7.46 incelendiğinde yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan en düşük yüzde mol oranı değeri 11.89 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda görülmektedir. Buna karşılık ER değerinin 0.32 olduğu durumda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değeri 21.37 ile en yüksek değere sahiptir. Toplam 17 farklı ER değeri için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 19.62 değerine sahiptir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değeri 65.03 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 8.92 değerine sahiptir. Ayrıca en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 79.75 değerindedir. Eşdeğerlik oranının (ER) 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı

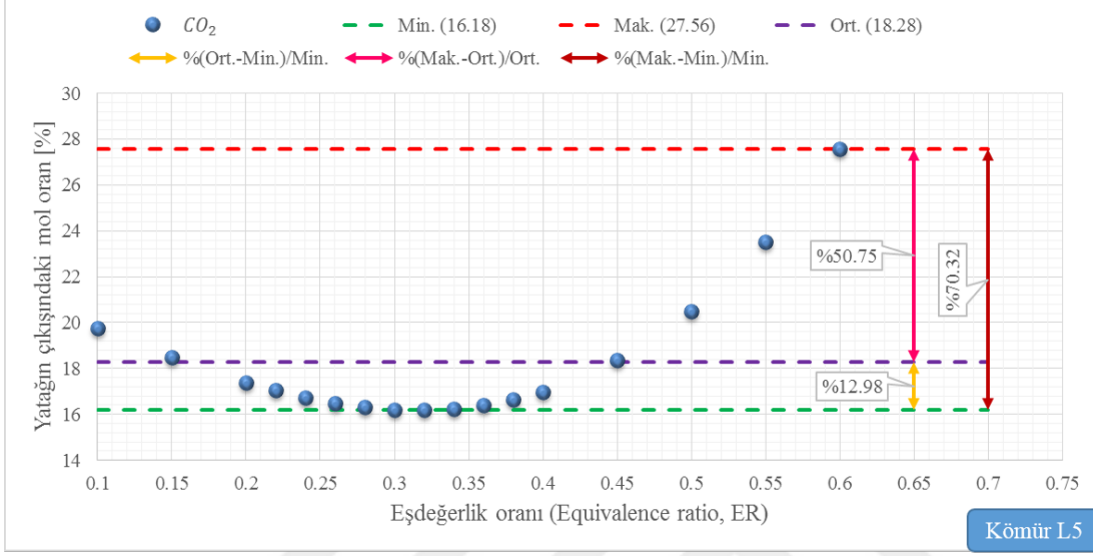
değerinin arttığı görülmektedir. Buna ek olarak ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki oksijen miktarının arttığı ve buna bağlı olarak yanma reaksiyonlarının hızlanması ile CO gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Gazlaştırma için diğer önemli bir gaz ise H_2 gazıdır. Şekil 7.47 ile L5 kömürünün dolaşimli akışkan yatakta gazlaştırılması sonucu yatağın çıkışında sayısal analiz ile elde edilen H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin ER ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.47 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 7.47 incelendiğinde L5 kömürü için dolaşimli akışkan yatakta yapılan çözümlenmelerde ER değerinin 0.60 olduğu durumda H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin 14.11 ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık en yüksek değer 26.85 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. Sayısal analiz ile H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 23.78 değerindedir. Yapılan hesaplamalarda ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark değerinin 68.49 olduğu görülmektedir. Buna karşılık ortalama değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark 12.91 olarak hesaplanmıştır. Son olarak en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl farkın ise 90.24 olduğu görülmektedir. Eşdeğerlik oranının (ER) 0.10 ile 0.32 arasında olduğu durumlarda yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin arttığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak ER değerinin 0.32'den daha fazla olduğu durumlarda ise yatak içindeki

oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlandığı ve H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Gazlaştırma için diğer bir önemli gaz ise CO_2 gazıdır. L5 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin ER değeri ile değişimi Şekil 7.48 ile gösterilmektedir.



Şekil 7.48 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranı ile değişimi.

Şekil 7.48 incelendiğinde yatağın çıkışında CO_2 gazı için sayısal analiz ile elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en düşük olan değer 16.18 ile ER değerinin 0.32 olduğu durumda oluşmaktadır. En yüksek değer ise 27.56 ile ER değerinin 0.60 olduğu durumda meydana gelmektedir. L5 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 18.28 değerindedir. Sayısal analiz sonucu elde edilen en düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 12.98'dir. Ayrıca ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri ise 50.75'tir. Son olarak L5 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta değişik ER değerlerinde gazlaştırılmasında sayısal analiz sonuçları ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinden en yüksek olanı ve en düşük olanı arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 70.32'dir.

L5 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılması ile oluşan CO_2 gazının yatağın çıkışındaki yüzde mol oranı değerlerinin eşdeğerlik oranına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Eşdeğerlik oranının 0.10 ile 0.32 olduğu aralıkta CO ve H_2 gazlarının

yüzde mol oranı değerleri gazlaştırma reaksiyonlarının etkisi ile artarken CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin azaldığı görülmüştür. Buna ek olarak eşdeğerlik oranının 0.32'den fazla olduğu durumlarda ise yataktaki oksijen miktarının artması ile yanma reaksiyonlarının hızlanmakta olduğu ve bu nedenle de CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı buna karşın CO ve H_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

7.3.2 Su buharı debisinin kömür debisine oranının Türk linyitlerinin gazlaştırılmasına etkisi

Çalışma debileri ile ilgili yapılan ikinci parametrik çalışma ise su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasına etkilerinin araştırılmasıdır. Bu parametrik çalışma yapılırken yatağa gönderilen kömür debisi 25 kg/h olarak sabit alınmıştır. Eşdeğerlik oranının gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmada da (Bakınız Bölüm 7.3.1, sayfa 262) kömür debisi 25 kg/h olarak sabit alınmıştır. Su-Buharı/Kömür debisi oranı için yapılan bu parametrik çalışmalarda eşdeğerlik oranı (equivalence ratio, ER) için 0.3 değeri seçilmiştir.

Seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3) her biri için yapılan parametrik çalışmada Su-Buharı/Kömür debisi oranı en düşük 0.10 ve en yüksek 2.00 alınmıştır. Su-Buharı/Kömür debisi oranı 0.10 arttırılarak her bir Türk linyiti (Bakınız Çizelge 5.3) için toplam 20 durumda sayısal çalışmalar yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

Şimdi sırası ile seçilen beş adet Türk linyitinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranının etkileri alt başlıklar halinde verilecektir.

7.3.2.1 L1 kömürü için elde edilen sonuçlar

Seçilen Türk linyitlerinden birincisi olan L1 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü kullanılarak Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisini araştırmak amacı ile Çizelge 7.13 ile gösterilen 20 durum göz önüne alınarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 7.13 incelendiğinde yatağa gönderilen hava debisinin 49.39 kg/h olduğu görülmektedir. Bu debi değeri, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) 0.3 olması

Çizelge 7.13 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L1 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	ER ¹ [-]
D1	0.10	25	49.36	2.5	1.97	0.3
D2	0.20	25	49.36	5.0	1.97	0.3
D3	0.30	25	49.36	7.5	1.97	0.3
D4	0.40	25	49.36	10.0	1.97	0.3
D5	0.50	25	49.36	12.5	1.97	0.3
D6	0.60	25	49.36	15.0	1.97	0.3
D7	0.70	25	49.36	17.5	1.97	0.3
D8	0.80	25	49.36	20.0	1.97	0.3
D9	0.90	25	49.36	22.5	1.97	0.3
D10	1.00	25	49.36	25.0	1.97	0.3
D11	1.10	25	49.36	27.5	1.97	0.3
D12	1.20	25	49.36	30.0	1.97	0.3
D13	1.30	25	49.36	32.5	1.97	0.3
D14	1.40	25	49.36	35.0	1.97	0.3
D15	1.50	25	49.36	37.5	1.97	0.3
D16	1.60	25	49.36	40.0	1.97	0.3
D17	1.70	25	49.36	42.5	1.97	0.3
D18	1.80	25	49.36	45.0	1.97	0.3
D19	1.90	25	49.36	47.5	1.97	0.3
D20	2.00	25	49.36	50.0	1.97	0.3

¹ : Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

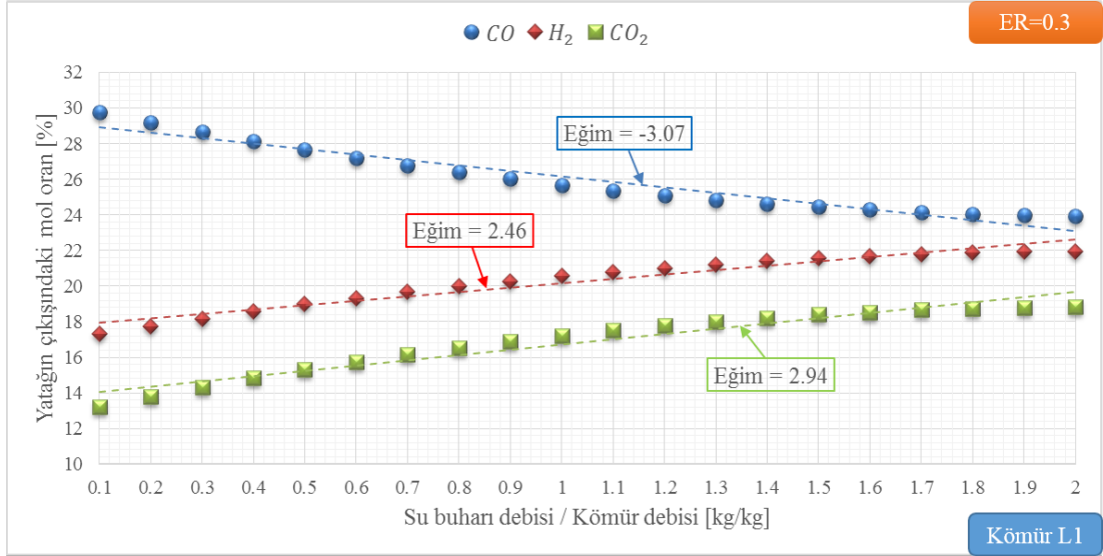
için L1 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinden L1 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmalarda ER değeri 0.3 olarak sabit alınmıştır.

Şekil 7.49 ile su buharı debisinin kömür debisine oranına göre, yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi Türk linyitlerinden L1 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü için gösterilmektedir.

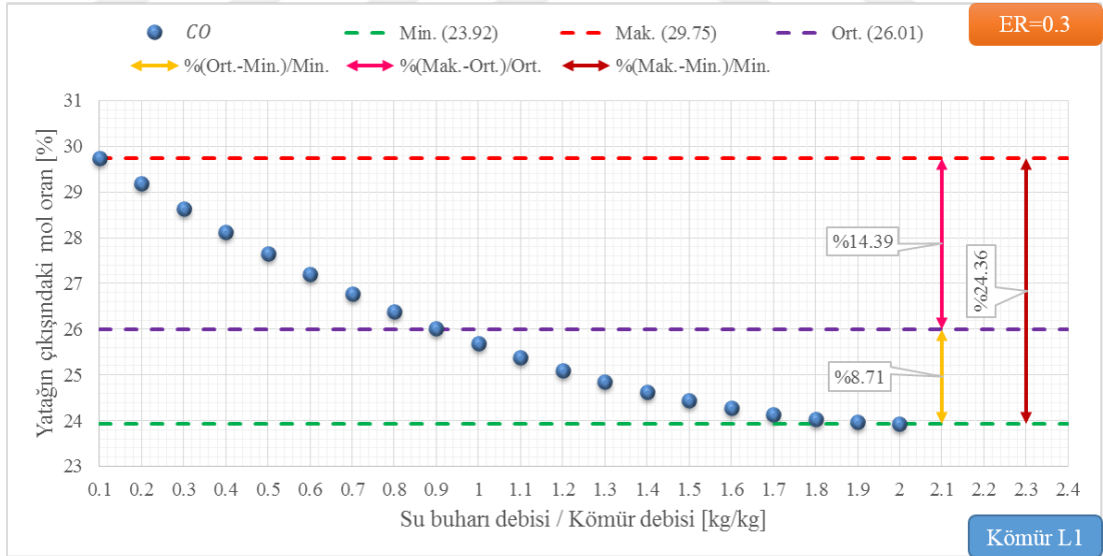
Şekil 7.49 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin azaldığı, H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 7.49 üzerinde CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen sayısal sonuçların eğim çizgileri ve eğim değerleri de gösterilmektedir.

Su-Buharı/Kömür debisi oranının artması, ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) hızlandırmaktadır. Bu nedenle de Su-Buharı/Kömür debisi oranındaki artış yatak içindeki CO gazının mol oranı değerinde azalmaya, H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı değerlerinde ise artışa neden olmaktadır. Şimdi sırası ile CO , H_2 ve CO_2 gazları için Su-Buharı/Kömür



Şekil 7.49 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.

debisi oranının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı gösterilecektir. Öncelikle Şekil 7.50 ile L1 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında elde edilen *CO* gazının yüzde mol oranı değerine etkisi gösterilmektedir.

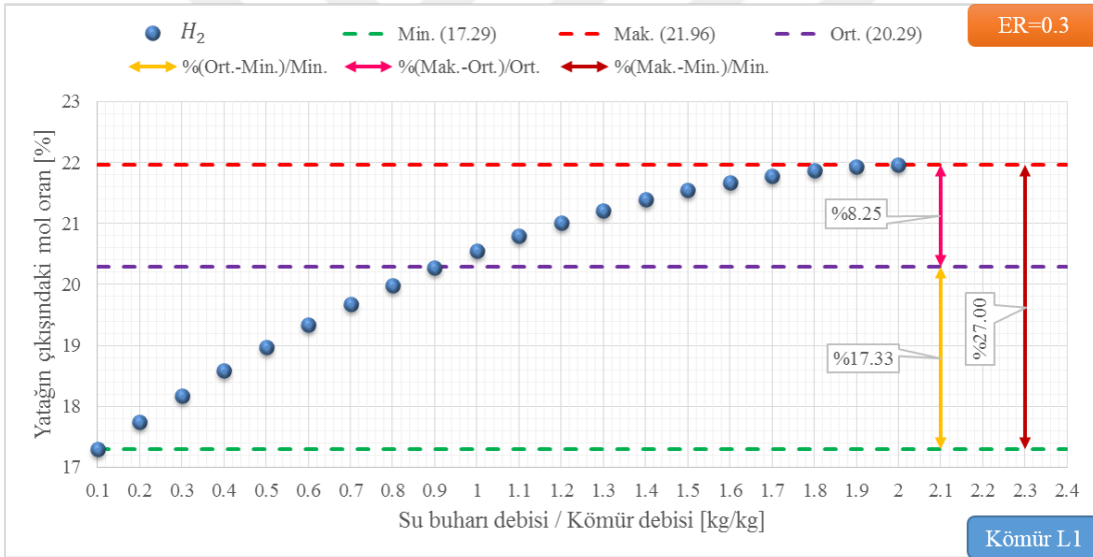


Şekil 7.50 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan *CO* gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 7.50 incelendiğinde su buharı debisinin kömür derisine oranı arttıkça *CO* gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 7.50 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama değerler işaretlenmiştir. Ayrıca

en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de Şekil 7.50 üzerinde belirtilmiştir.

L1 kömürü için yapılan bu parametrik çalışmada CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan en düşük ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri sırasıyla 23.92 ve 29.75'tir. Hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 26.01'dir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark 8.71 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 14.39 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 24.36 değerine sahiptir. Kömürün gazlaştırılmasında ortaya çıkan diğer bir önemli gaz H_2 gazıdır. Şekil 7.51 ile yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.

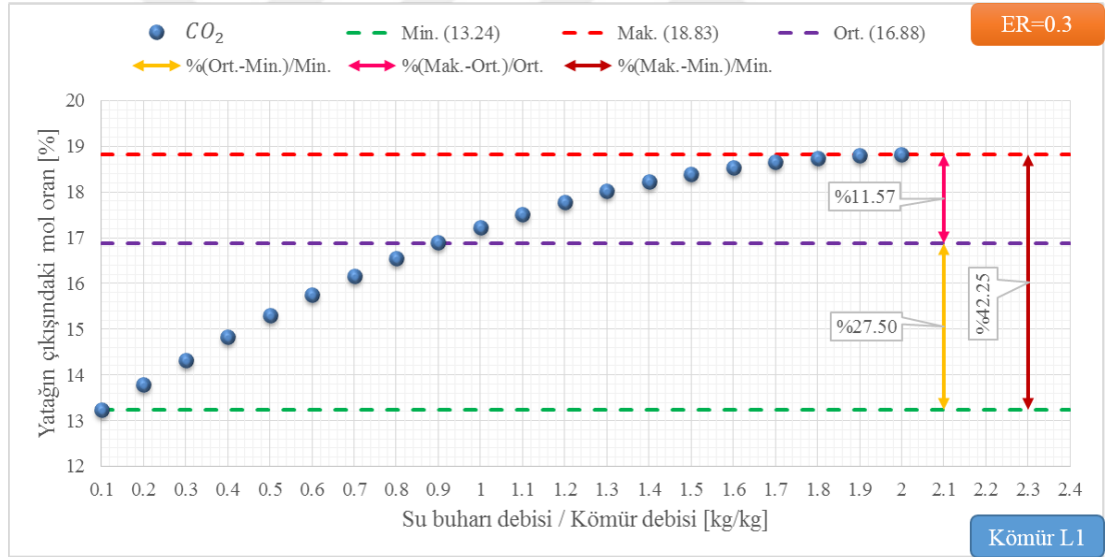


Şekil 7.51 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 7.51 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça yatağın çıkış ağzında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 7.51 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yapılan bu parametrik çalışmada H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 17.29 ve 21.96 değerindedir. Buna

karşılık parametrik çalışmada elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 20.29'dur.

Ayrıca Şekil 7.51 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 17.33 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 8.25'tir. Bunun yanı sıra en düşük değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 27.00 değerindedir. Gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için elde edilen sonuçların gösterilmesinden sonra şimdi de gazlaştırma için diğer bir önemli gaz olan CO_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilecektir. L1 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranı etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 7.52 ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.52 : L1 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 7.52 incelendiğinde Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 7.52 üzerinde elde edilen en düşük, ortalama ve en yüksek değerler gösterilmektedir.

L1 kömürünün dolaşımli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırıldığı ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden

en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 13.24 ve 18.83 değerindedir. Ayrıca sayısal çalışma sonucu elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 16.88 değerine sahiptir.

Bunun yanı sıra Şekil 7.52 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 27.50 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 11.57 değerindedir. Buna karşılık en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 42.25 değerine sahiptir.

7.3.2.2 L2 kömürü için elde edilen sonuçlar

Seçilen Türk linyitlerinden ikincisi olan L2 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü kullanılarak Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisini araştırmak amacı ile Çizelge 7.14 ile gösterilen 20 durum göz önüne alınarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 7.14 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L2 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.

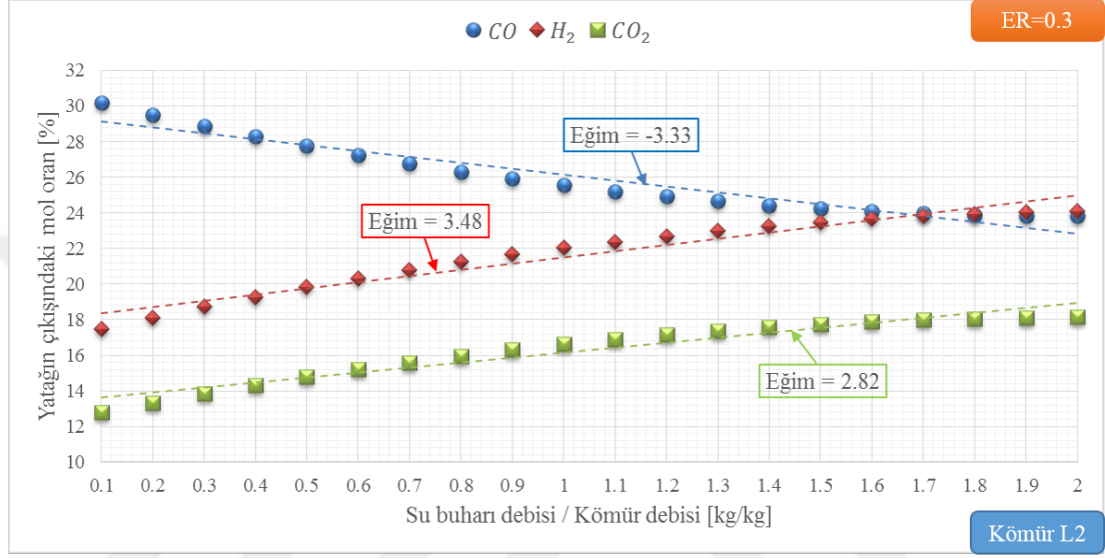
Durumlar	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	ER ¹ [-]
D1	0.10	25	61.72	2.5	2.47	0.3
D2	0.20	25	61.72	5.0	2.47	0.3
D3	0.30	25	61.72	7.5	2.47	0.3
D4	0.40	25	61.72	10.0	2.47	0.3
D5	0.50	25	61.72	12.5	2.47	0.3
D6	0.60	25	61.72	15.0	2.47	0.3
D7	0.70	25	61.72	17.5	2.47	0.3
D8	0.80	25	61.72	20.0	2.47	0.3
D9	0.90	25	61.72	22.5	2.47	0.3
D10	1.00	25	61.72	25.0	2.47	0.3
D11	1.10	25	61.72	27.5	2.47	0.3
D12	1.20	25	61.72	30.0	2.47	0.3
D13	1.30	25	61.72	32.5	2.47	0.3
D14	1.40	25	61.72	35.0	2.47	0.3
D15	1.50	25	61.72	37.5	2.47	0.3
D16	1.60	25	61.72	40.0	2.47	0.3
D17	1.70	25	61.72	42.5	2.47	0.3
D18	1.80	25	61.72	45.0	2.47	0.3
D19	1.90	25	61.72	47.5	2.47	0.3
D20	2.00	25	61.72	50.0	2.47	0.3

¹ : Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

Çizelge 7.14 incelendiğinde yatağa gönderilen hava debisinin 61.72 kg/h olduğu görülmektedir. Bu debi değeri, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) 0.3 olması için L2 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinden L2 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmalarda ER değeri 0.3 olarak sabit alınmıştır.

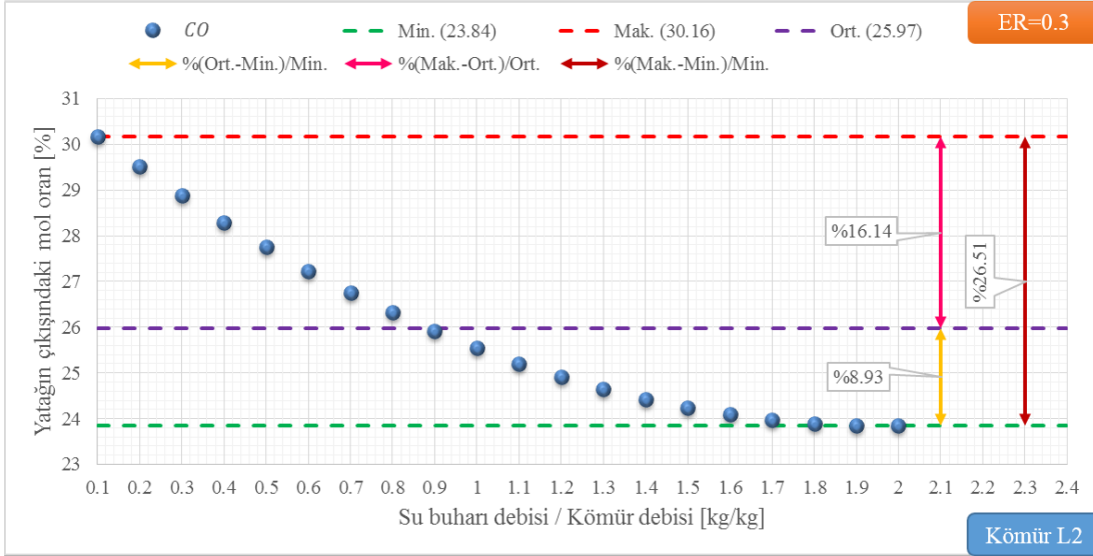
Şekil 7.53 ile su buharı debisinin kömür debisine oranına göre, yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi Türk linyitlerinden L2 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü için gösterilmektedir.



Şekil 7.53 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.

Şekil 7.53 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerinin azaldığı, H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 7.53 üzerinde CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen sayısal sonuçların eğim çizgileri ve eğim değerleri de gösterilmektedir.

Su-Buharı/Kömür debisi oranının artması, ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) hızlandırmaktadır. Bu nedenle de Su-Buharı/Kömür debisi oranındaki artış yatak içindeki CO gazının mol oranı değerinde azalmaya, H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı değerlerinde ise artışa neden olmaktadır. Şimdi sırası ile CO , H_2 ve CO_2 gazları için Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı gösterilecektir. Öncelikle Şekil 7.54 ile L2 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerine etkisi gösterilmektedir.

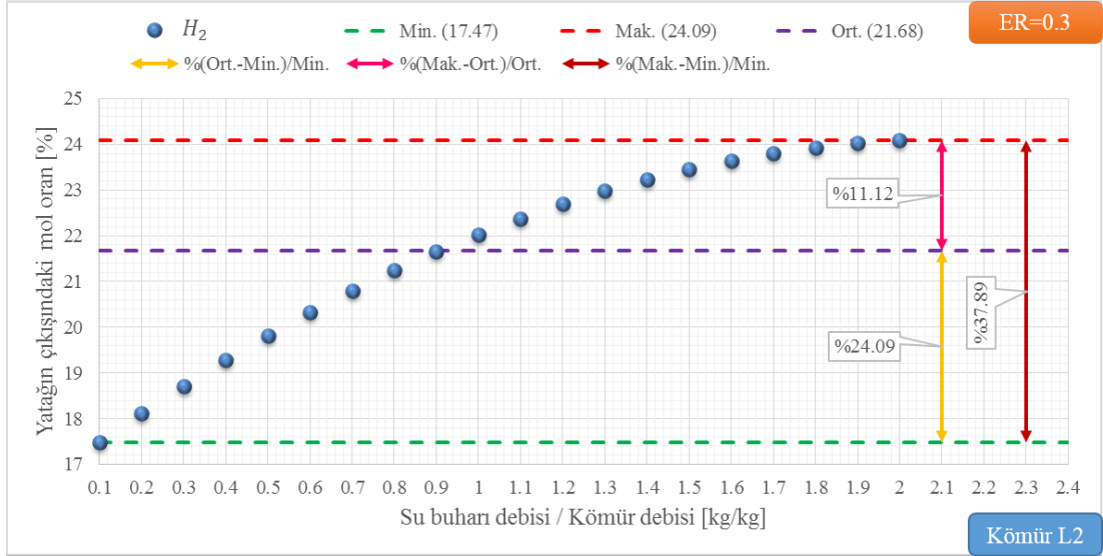


Şekil 7.54 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 7.54 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 7.54 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama değerler işaretlenmiştir. Ayrıca en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de Şekil 7.54 üzerinde belirtilmiştir.

L2 kömürü için yapılan bu parametrik çalışmada CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan en düşük ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri sırasıyla 23.84 ve 30.16'dır. Hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 25.97'dir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark 8.93 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 16.14 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 26.51 değerine sahiptir. Kömürün gazlaştırılmasında ortaya çıkan diğer bir önemli gaz H₂ gazıdır. Şekil 7.55 ile yatağın çıkışında H₂ gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 7.55 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça yatağın çıkış ağzında hesaplanan H₂ gazının yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 7.55 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yapılan bu

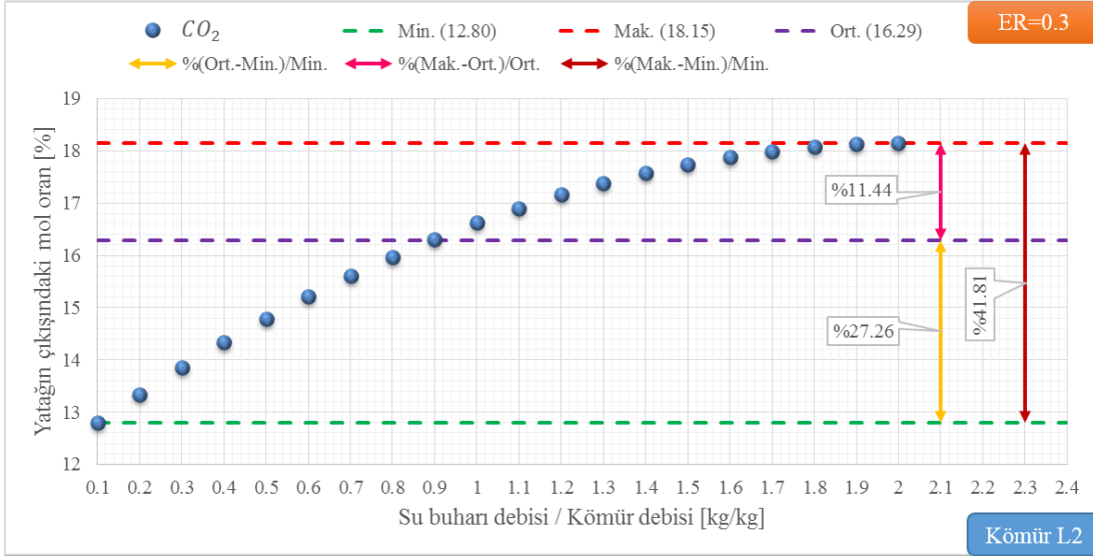


Şekil 7.55 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

parametrik çalışmada H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 17.47 ve 24.09 değerindedir. Buna karşılık parametrik çalışmada elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 21.68'dir.

Ayrıca Şekil 7.55 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 24.09 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 11.12'dir. Bunun yanı sıra en düşük değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 37.89 değerindedir. Gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için elde edilen sonuçların gösterilmesinden sonra şimdi de gazlaştırma için diğer bir önemli gaz olan CO_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilecektir. L2 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranı etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 7.56 ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 7.56 incelendiğinde Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 7.56 üzerinde elde edilen en düşük, ortalama ve en yüksek değerler gösterilmektedir.



Şekil 7.56 : L2 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

L2 kömürünün dolaşımli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırıldığı ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 12.80 ve 18.15 değerindedir. Ayrıca sayısal çalışma sonucu elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 16.29 değerine sahiptir.

Bunun yanı sıra Şekil 7.56 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 27.26 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 11.44 değerindedir. Buna karşılık en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 41.81 değerine sahiptir.

7.3.2.3 L3 kömürü için elde edilen sonuçlar

Seçilen Türk linyitlerinden üçüncüsü olan L3 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü kullanılarak Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisini araştırmak amacı ile Çizelge 7.15 ile gösterilen 20 durum göz önüne alınarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 7.15 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L3 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	ER ¹ [-]
D1	0.10	25	55.68	2.5	2.23	0.3
D2	0.20	25	55.68	5.0	2.23	0.3
D3	0.30	25	55.68	7.5	2.23	0.3
D4	0.40	25	55.68	10.0	2.23	0.3
D5	0.50	25	55.68	12.5	2.23	0.3
D6	0.60	25	55.68	15.0	2.23	0.3
D7	0.70	25	55.68	17.5	2.23	0.3
D8	0.80	25	55.68	20.0	2.23	0.3
D9	0.90	25	55.68	22.5	2.23	0.3
D10	1.00	25	55.68	25.0	2.23	0.3
D11	1.10	25	55.68	27.5	2.23	0.3
D12	1.20	25	55.68	30.0	2.23	0.3
D13	1.30	25	55.68	32.5	2.23	0.3
D14	1.40	25	55.68	35.0	2.23	0.3
D15	1.50	25	55.68	37.5	2.23	0.3
D16	1.60	25	55.68	40.0	2.23	0.3
D17	1.70	25	55.68	42.5	2.23	0.3
D18	1.80	25	55.68	45.0	2.23	0.3
D19	1.90	25	55.68	47.5	2.23	0.3
D20	2.00	25	55.68	50.0	2.23	0.3

¹ : Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

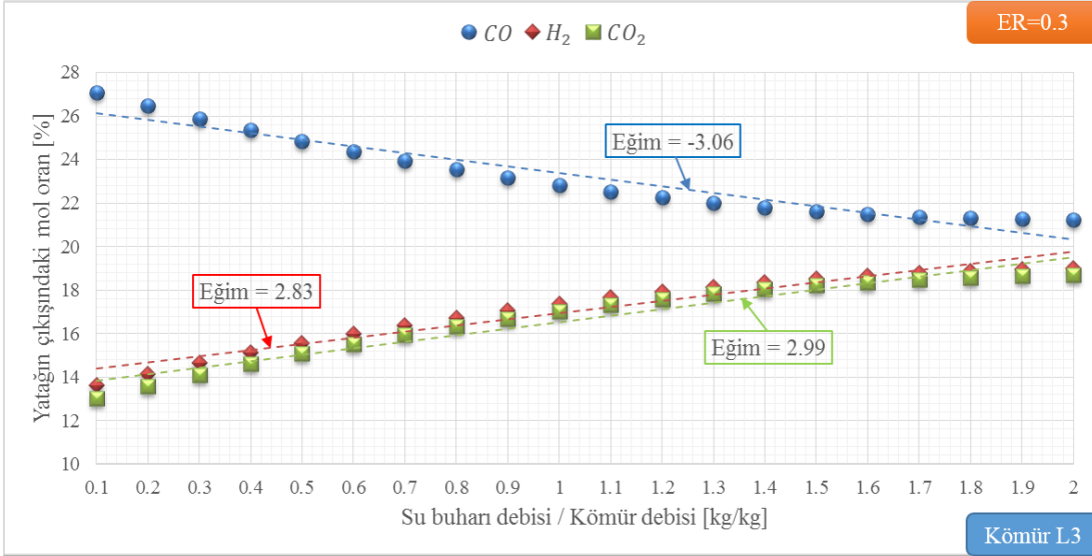
Çizelge 7.15 incelendiğinde yatağa gönderilen hava debisinin 55.68 kg/h olduğu görülmektedir. Bu debi değeri, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) 0.3 olması için L3 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinden L3 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmalarda ER değeri 0.3 olarak sabit alınmıştır.

Şekil 7.57 ile su buharı debisinin kömür debisine oranına göre, yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi Türk linyitlerinden L3 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü için gösterilmektedir.

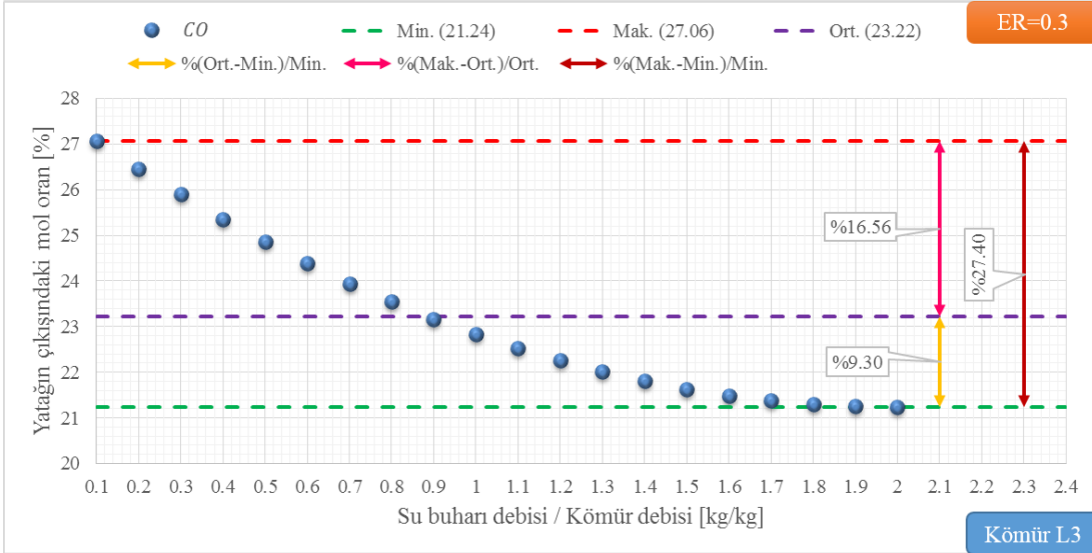
Şekil 7.57 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı, H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 7.57 üzerinde CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen sayısal sonuçların eğim çizgileri ve eğim değerleri de gösterilmektedir.

Su-Buharı/Kömür debisi oranının artması, ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) hızlandırmaktadır. Bu nedenle de Su-Buharı/Kömür debisi oranındaki artış yatak içindeki CO gazının



Şekil 7.57 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.

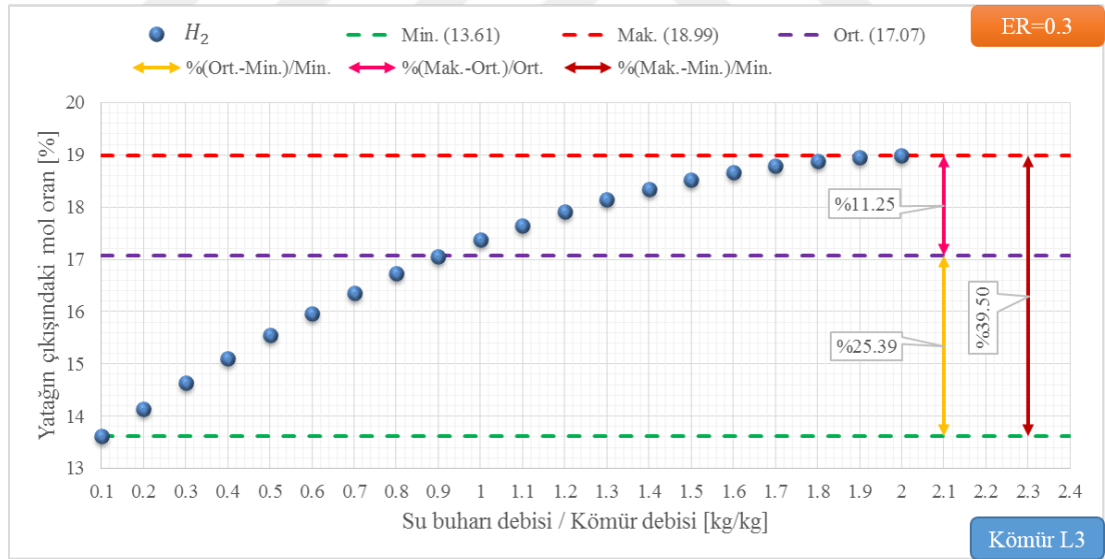
mol oranı değerinde azalmaya, H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı değerlerinde ise artışa neden olmaktadır. Şimdi sırası ile CO , H_2 ve CO_2 gazları için Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı gösterilecektir. Öncelikle Şekil 7.58 ile L3 kömürünün dolaşimli akışkan yataкта gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerlerine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 7.58 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 7.58 incelendiğinde su buharı debisinin kömür derisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 7.58 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama değerler işaretlenmiştir. Ayrıca en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de Şekil 7.58 üzerinde belirtilmiştir.

L3 kömürü için yapılan bu parametrik çalışmada CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan en düşük ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri sırasıyla 21.24 ve 27.06'dır. Hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 23.22'dir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark 9.30 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 16.56 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 27.40 değerine sahiptir. Kömürün gazlaştırılmasında ortaya çıkan diğer bir önemli gaz H_2 gazıdır. Şekil 7.59 ile yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.

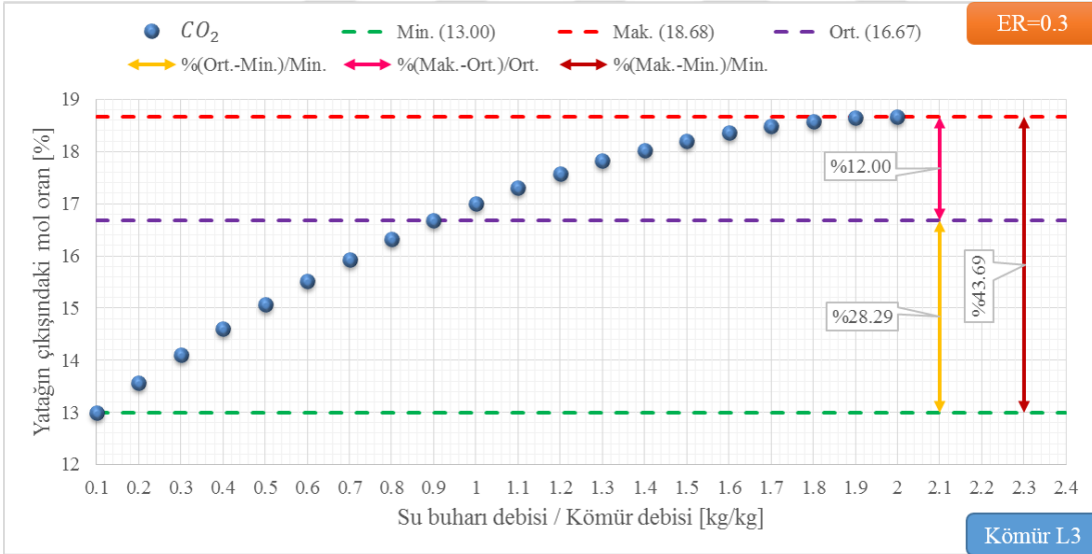


Şekil 7.59 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 7.59 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça yatağın çıkış ağzında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 7.59 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yapılan bu parametrik çalışmada

H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 13.61 ve 18.99 değerindedir. Buna karşılık parametrik çalışmada elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 17.07'dir.

Ayrıca Şekil 7.59 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 25.39 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 11.25'dir. Bunun yanı sıra en düşük değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 39.50 değerindedir. Gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için elde edilen sonuçların gösterilmesinden sonra şimdi de gazlaştırma için diğer bir önemli gaz olan CO_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilecektir. L3 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranı etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 7.60 ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.60 : L3 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 7.60 incelendiğinde Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 7.60 üzerinde elde edilen en düşük, ortalama ve en yüksek değerler gösterilmektedir.

L3 kömürünün dolaşımli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırıldığı ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik

çalışmada yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 13.00 ve 18.68 değerindedir. Ayrıca sayısal çalışma sonucu elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 16.67 değerine sahiptir.

Bunun yanı sıra Şekil 7.60 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 28.29 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 12.00 değerindedir. Buna karşılık en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 43.69 değerine sahiptir.

7.3.2.4 L4 kömürü için elde edilen sonuçlar

Seçilen Türk linyitlerinden dördüncüsü olan L4 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü kullanılarak Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisini araştırmak amacı ile Çizelge 7.16 ile gösterilen 20 durum göz önüne alınarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 7.16 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L4 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	ER ¹ [-]
D1	0.10	25	48.48	2.5	1.94	0.3
D2	0.20	25	48.48	5.0	1.94	0.3
D3	0.30	25	48.48	7.5	1.94	0.3
D4	0.40	25	48.48	10.0	1.94	0.3
D5	0.50	25	48.48	12.5	1.94	0.3
D6	0.60	25	48.48	15.0	1.94	0.3
D7	0.70	25	48.48	17.5	1.94	0.3
D8	0.80	25	48.48	20.0	1.94	0.3
D9	0.90	25	48.48	22.5	1.94	0.3
D10	1.00	25	48.48	25.0	1.94	0.3
D11	1.10	25	48.48	27.5	1.94	0.3
D12	1.20	25	48.48	30.0	1.94	0.3
D13	1.30	25	48.48	32.5	1.94	0.3
D14	1.40	25	48.48	35.0	1.94	0.3
D15	1.50	25	48.48	37.5	1.94	0.3
D16	1.60	25	48.48	40.0	1.94	0.3
D17	1.70	25	48.48	42.5	1.94	0.3
D18	1.80	25	48.48	45.0	1.94	0.3
D19	1.90	25	48.48	47.5	1.94	0.3
D20	2.00	25	48.48	50.0	1.94	0.3

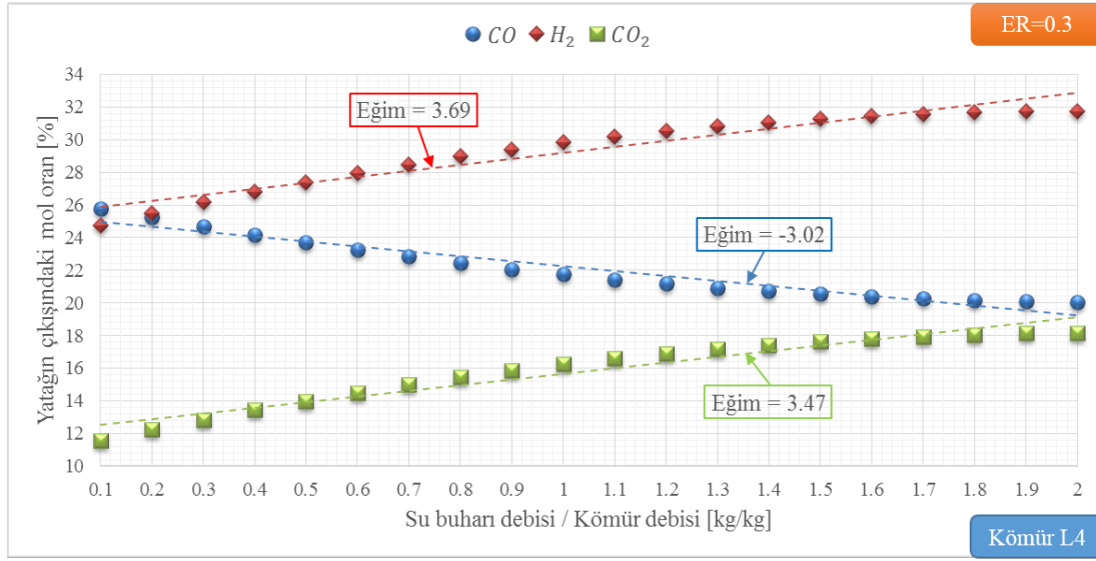
¹ : Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

Çizelge 7.16 incelendiğinde yatağa gönderilen hava debisinin 48.48 kg/h olduğu görülmektedir. Bu debi değeri, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) 0.3 olması

için L4 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinden L4 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmalarda ER değeri 0.3 olarak sabit alınmıştır.

Şekil 7.61 ile su buharı debisinin kömür debisine oranına göre, yatağın çıkış ağzında CO , H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi Türk linyitlerinden L4 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü için gösterilmektedir.

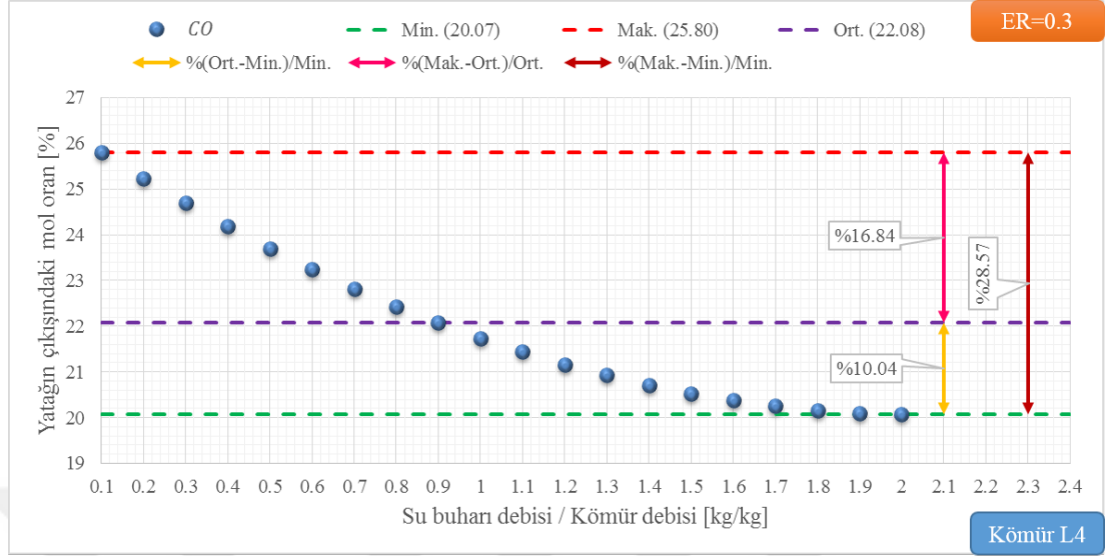


Şekil 7.61 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.

Şekil 7.61 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı, H_2 ve CO_2 gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 7.61 üzerinde CO , H_2 ve CO_2 gazları için elde edilen sayısal sonuçların eğim çizgileri ve eğim değerleri de gösterilmektedir.

Su-Buharı/Kömür debisi oranının artması, ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) hızlandırmaktadır. Bu nedenle de Su-Buharı/Kömür debisi oranındaki artış yatak içindeki CO gazının mol oranı değerinde azalmaya, H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı değerlerinde ise artışa neden olmaktadır. Şimdi sırası ile CO , H_2 ve CO_2 gazları için Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı gösterilecektir. Öncelikle Şekil 7.62 ile L4 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta

gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerlerine etkisi gösterilmektedir.

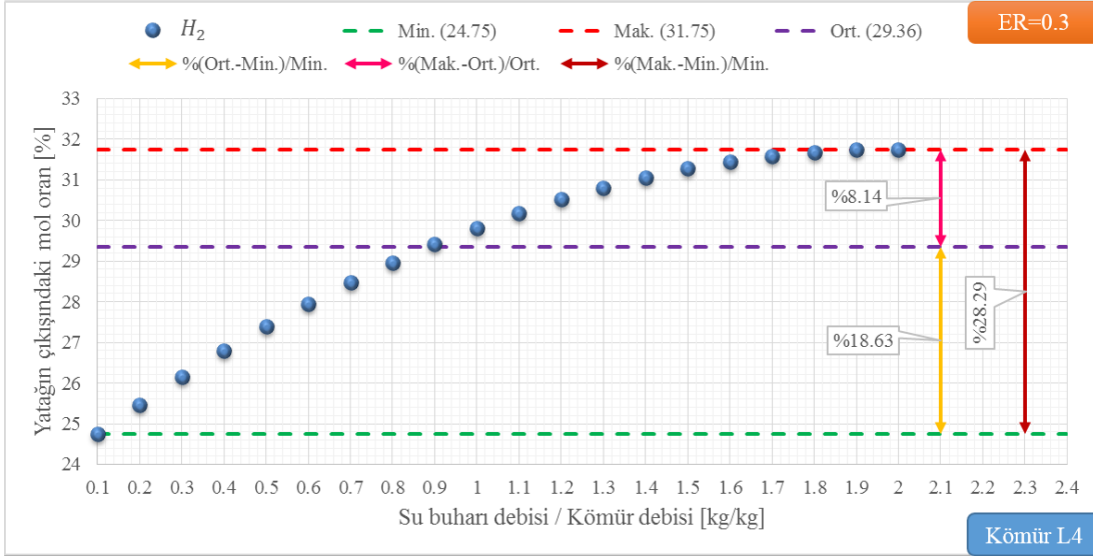


Şekil 7.62 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerlerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 7.62 incelendiğinde su buharı debisinin kömür derisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 7.62 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama değerler işaretlenmiştir. Ayrıca en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de Şekil 7.62 üzerinde belirtilmiştir.

L4 kömürü için yapılan bu parametrik çalışmada CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan en düşük ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri sırasıyla 20.07 ve 25.80'dir. Hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 22.08'dir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark 10.04 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 16.84 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 28.57 değerine sahiptir. Kömürün gazlaştırılmasında ortaya çıkan diğer bir önemli gaz H_2 gazıdır. Şekil 7.63 ile yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 7.63 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça yatağın çıkış ağzında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir.

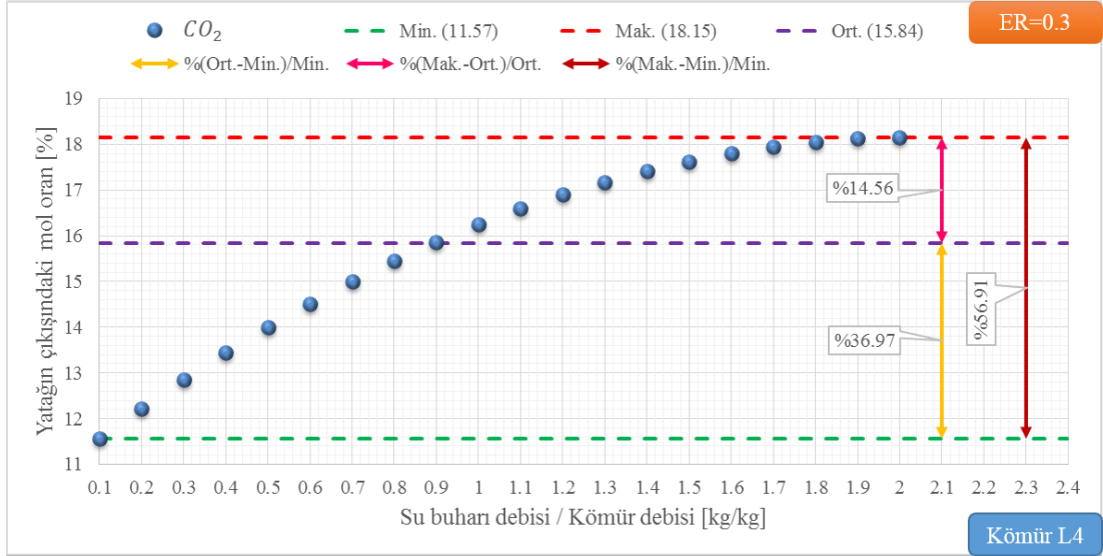


Şekil 7.63 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 7.63 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yapılan bu parametrik çalışmada H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 24.75 ve 31.75 değerindedir. Buna karşılık parametrik çalışmada elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 29.36'dır.

Ayrıca Şekil 7.63 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 18.63 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 8.14'tür. Bunun yanı sıra en düşük değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 28.29 değerindedir. Gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için elde edilen sonuçların gösterilmesinden sonra şimdi de gazlaştırma için diğer bir önemli gaz olan CO_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilecektir. L4 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranı etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 7.64 ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 7.64 incelendiğinde Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 7.64 üzerinde elde edilen en düşük, ortalama ve en yüksek değerler gösterilmektedir.



Şekil 7.64 : L4 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

L4 kömürünün dolaşımli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırıldığı ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 11.57 ve 18.15 değerindedir. Ayrıca sayısal çalışma sonucu elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 15.84 değerine sahiptir.

Bunun yanı sıra Şekil 7.64 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 36.97 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 14.56 değerindedir. Buna karşılık en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 56.91 değerine sahiptir.

7.3.2.5 L5 kömürü için elde edilen sonuçlar

Seçilen Türk linyitlerinden beşincisi olan L5 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü kullanılarak Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisini araştırmak amacı ile Çizelge 7.17 ile gösterilen 20 durum göz önüne alınarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 7.17 : Su-Buharı/Kömür debisi oranının L5 kömürünün gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı durumlar.

Durumlar	Su buharı/Kömür debisi [kg/kg]	Kömür debisi [kg/h]	Hava debisi [kg/h]	Su buharı debisi [kg/h]	Hava/Kömür debisi [kg/kg]	ER ¹ [-]
D1	0.10	25	53.31	2.5	2.13	0.3
D2	0.20	25	53.31	5.0	2.13	0.3
D3	0.30	25	53.31	7.5	2.13	0.3
D4	0.40	25	53.31	10.0	2.13	0.3
D5	0.50	25	53.31	12.5	2.13	0.3
D6	0.60	25	53.31	15.0	2.13	0.3
D7	0.70	25	53.31	17.5	2.13	0.3
D8	0.80	25	53.31	20.0	2.13	0.3
D9	0.90	25	53.31	22.5	2.13	0.3
D10	1.00	25	53.31	25.0	2.13	0.3
D11	1.10	25	53.31	27.5	2.13	0.3
D12	1.20	25	53.31	30.0	2.13	0.3
D13	1.30	25	53.31	32.5	2.13	0.3
D14	1.40	25	53.31	35.0	2.13	0.3
D15	1.50	25	53.31	37.5	2.13	0.3
D16	1.60	25	53.31	40.0	2.13	0.3
D17	1.70	25	53.31	42.5	2.13	0.3
D18	1.80	25	53.31	45.0	2.13	0.3
D19	1.90	25	53.31	47.5	2.13	0.3
D20	2.00	25	53.31	50.0	2.13	0.3

¹ : Eşdeğerlik oranı (Equivalence ratio, ER)

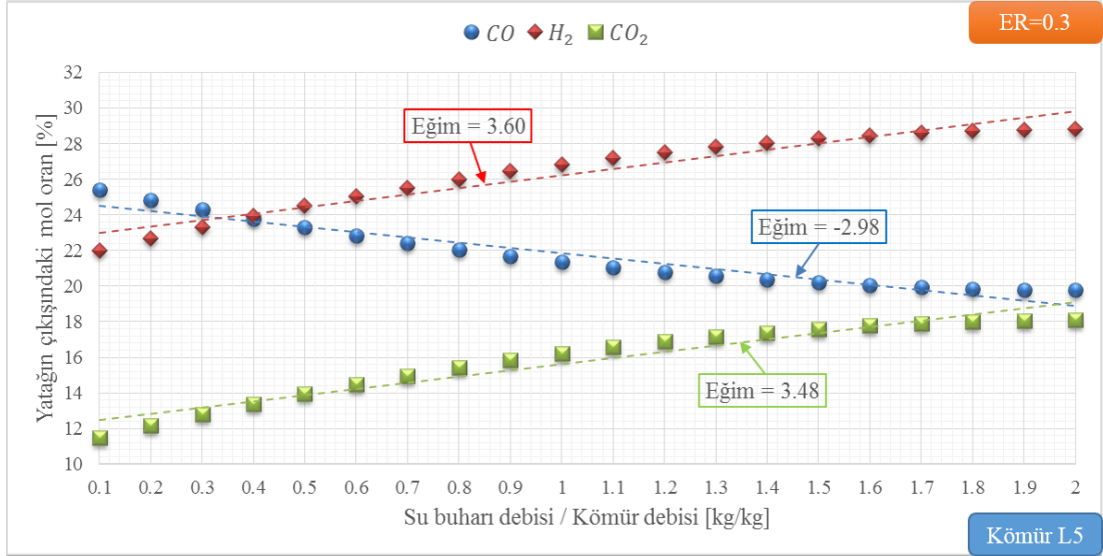
Çizelge 7.17 incelendiğinde yatağa gönderilen hava debisinin 53.31 kg/h olduğu görülmektedir. Bu debi değeri, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) 0.3 olması için L5 kömürünün kesin analiz (ultimate analysis) sonuçları (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinden L5 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmalarda ER değeri 0.3 olarak sabit alınmıştır.

Şekil 7.65 ile su buharı debisinin kömür debisine oranına göre, yatağın çıkış ağzında CO, H₂ ve CO₂ gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin değişimi Türk linyitlerinden L5 (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) kömürü için gösterilmektedir.

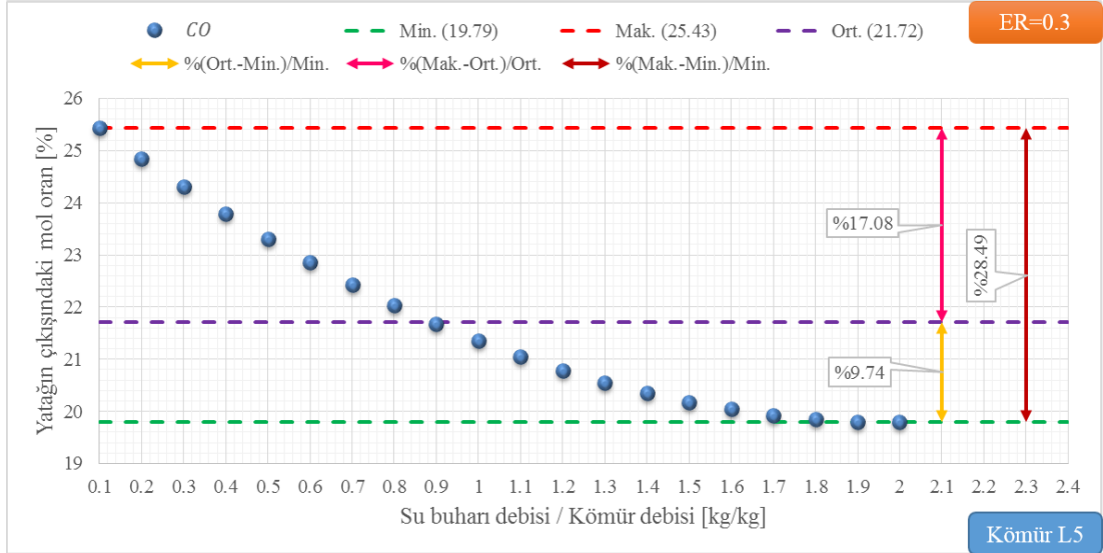
Şekil 7.65 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı, H₂ ve CO₂ gazlarının yüzde mol oranı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 7.65 üzerinde CO, H₂ ve CO₂ gazları için elde edilen sayısal sonuçların eğim çizgileri ve eğim değerleri de gösterilmektedir.

Su-Buharı/Kömür debisi oranının artması, ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift, WGS) reaksiyonunu (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) hızlandırmaktadır. Bu nedenle de Su-Buharı/Kömür debisi oranındaki artış yatak içindeki CO gazının



Şekil 7.65 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında su buharı debisinin kömür debisine oranının etkisi.

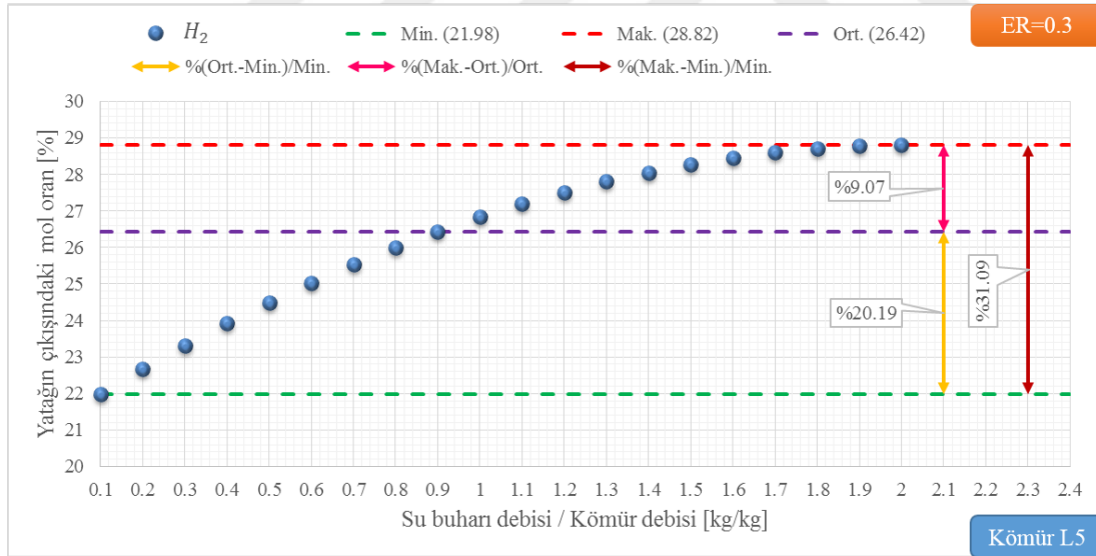
mol oranı değerinde azalmaya, H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı değerlerinde ise artışa neden olmaktadır. Şimdi sırası ile CO , H_2 ve CO_2 gazları için Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerine etkisi ayrı ayrı gösterilecektir. Öncelikle Şekil 7.66 ile L5 kömürünün dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranının yatağın çıkışında elde edilen CO gazının yüzde mol oranı değerlerine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 7.66 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 7.66 incelendiğinde su buharı debisinin kömür derisine oranı arttıkça CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 7.66 üzerinde en yüksek, en düşük ve ortalama değerler işaretlenmiştir. Ayrıca en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de Şekil 7.66 üzerinde belirtilmiştir.

L5 kömürü için yapılan bu parametrik çalışmada CO gazı için yatağın çıkışında hesaplanan en düşük ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri sırasıyla 19.79 ve 25.43'tür. Hesaplanan tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması ise 21.72'dir. Ortalama değer ile en düşük değer arasındaki yüzde bağıl fark 9.74 iken en yüksek değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 17.08 değerindedir. Bunlara ek olarak en yüksek değer ile en düşük değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 28.49 değerine sahiptir. Kömürün gazlaştırılmasında ortaya çıkan diğer bir önemli gaz H_2 gazıdır. Şekil 7.67 ile yatağın çıkışında H_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.

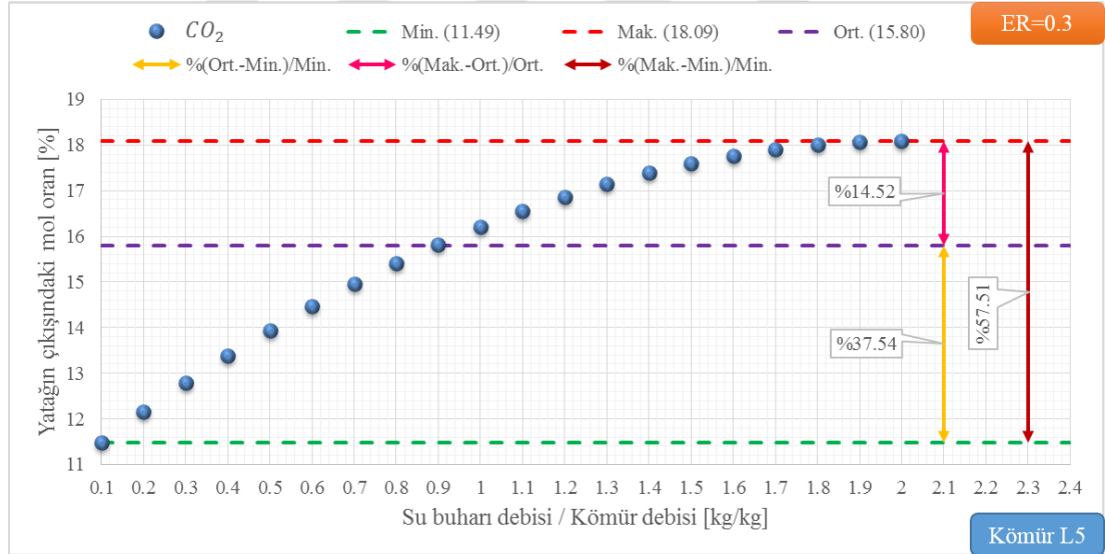


Şekil 7.67 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 7.67 incelendiğinde su buharı debisinin kömür debisine oranı arttıkça yatağın çıkış ağzında hesaplanan H_2 gazının yüzde mol oranı değerinin arttığı görülmektedir. Şekil 7.67 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek yüzde mol oranı değerleri gösterilmiştir. Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yapılan bu parametrik çalışmada

H_2 gazı için yatağın çıkışında hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 21.98 ve 28.82 değerindedir. Buna karşılık parametrik çalışmada elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 26.42'dir.

Ayrıca Şekil 7.67 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 20.19 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 9.07'dir. Bunun yanı sıra en düşük değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark ise 31.09 değerindedir. Gazlaştırma sonucu oluşan CO ve H_2 gazları için elde edilen sonuçların gösterilmesinden sonra şimdi de gazlaştırma için diğer bir önemli gaz olan CO_2 gazı için elde edilen sonuçlar gösterilecektir. L5 kömürünün dolaşimli akışkan yatakta gazlaştırılmasında Su-Buharı/Kömür debisi oranı etkisinin araştırıldığı bu parametrik çalışmada Şekil 7.68 ile yatağın çıkışında CO_2 gazı için elde edilen yüzde mol oranı değerlerinin Su-Buharı/Kömür debisi oranına göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.68 : L5 kömürünün gazlaştırılmasında yatağın çıkışında hesaplanan CO_2 gazının yüzde mol oranı değerlerinin su buharı debisinin kömür debisine oranı ile değişimi.

Şekil 7.68 incelendiğinde Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 7.68 üzerinde elde edilen en düşük, ortalama ve en yüksek değerler gösterilmektedir.

L5 kömürünün dolaşimli akışkan yatak geometrisinde gazlaştırıldığı ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının gazlaştırmaya etkisinin araştırıldığı bu parametrik

çalışmada yatağın çıkışında CO_2 gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinden en düşük ve en yüksek olanı sırasıyla 11.49 ve 18.09 değerindedir. Ayrıca sayısal çalışma sonucu elde edilen tüm yüzde mol oranı değerlerinin ortalaması 15.80 değerine sahiptir.

Bunun yanı sıra Şekil 7.68 üzerinde en düşük, ortalama ve en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değerleri de gösterilmiştir. En düşük değer ile ortalama değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark değeri 37.54 iken ortalama değer ile en yüksek değer arasında hesaplanan yüzde bağıl fark 14.52 değerindedir. Buna karşılık en düşük değer ile en yüksek değer arasındaki yüzde bağıl fark ise 57.71 değerine sahiptir.

Su buharı debisinin kömür debisine oranının seçilen Türk linyitlerinin (Bakınız Çizelge 5.3, sayfa 134) dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisi parametrik çalışılmış ve yatağın çıkışında CO , H_2 ve CO_2 gazları için yüzde mol oranı değerleri elde edilmiştir. Şekil 7.49-7.68 ile tüm sonuçlar verilmiş ve sayısal değerlendirmeler yapılmıştır. Şimdi ise bu parametrik çalışma sonuçlarının kimyasal nedenleri tartışılacaktır.

Şekil 7.49-7.68 ile verilen sonuçlar incelendiğinde genel karakter olarak Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttıkça yatağın çıkışında CO gazı için hesaplanan yüzde mol oranı değerinin azaldığı buna karşılık ise H_2 ve CO_2 gazları için hesaplanan yüzde mol oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeni yatağa gönderilen su buharı debisinin fazlalaşması ile ileri yönlü su-gaz dönüşümü (water gas shift-WGS) reaksiyonunun (Bakınız Çizelge 3.11, sayfa 56, R9) dengesinin ürünler tarafına kayarak yataktaki CO gazının azalmasına buna karşılıkta H_2 ve CO_2 gazlarının artmasına neden olmasıdır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Su-Buharı/Kömür debisindeki artışın benzer sonuçlar doğurduğunu gösteren birçok çalışma yer almaktadır [12, 47, 58, 141–143].

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doktora tezinde kömürün akışkan yatakta gazlaştırılması sayısal olarak çalışılmıştır. Gazlaştırma için 5 Türk linyiti seçilmiştir. Seçilen 5 Türk linyiti Muğla-Yatağan, Tunçbilek, Soma-Merkez, Elbistan ve Seyitömer bölgelerinin linyitleridir. Kömürün ve diğer biyoyakıtların gazlaştırılmasında yoğun bir şekilde kullanılan iki akışkan yatak tipi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi kabarcıklı akışkan yatak diğeri de dolaşımli akışkan yatak geometrisine sahip akışkan yataklardır. Seçilen bu 5 Türk linyitinin hem kabarcıklı akışkan yatakta hem de dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılması sayısal olarak çalışılmıştır.

Sayısal modelleme üç boyutlu, zamana bağıli yapılmıştır. Kömür gazlaştırmasında temelde iki sayısal çözümleme yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birincisi Eulerian-Lagrangian yöntemi iken ikincisi Eulerian-Eulerian yöntemidir. Eulerian-Lagrangian genellikle tanecik sayısının az olduğu laboratuvar ölçekli gazlaştırıcıların modellenmesinde kullanılmaktadır. Çünkü Eulerian-Lagrangian yönteminde akış içindeki her bir taneciğın hareketi dikkate alınarak modelleme yapılmaktadır. Bu da Eulerian-Lagrangian yönteminin bilgisayar zamanı açısından özellikle tanecik sayısının çok olduğu gazlaştırıcılarda kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Eulerian-Eulerian yönteminde ise tanecik fazı, akış içinde modellenmekte ve her bir tanecik izlenmemektedir. Bu nedenle de Eulerian-Lagrangian yöntemine göre büyük ölçekli gazlaştırıcı sistemlerinin modellenmesinde daha kullanışlı bir yöntemdir. Doktora tezinde yapılan modellemelerde tanecik sayısının fazla olmasından ve çok sayıda parametrik çalışmanın yer almasından dolayı Eulerian-Eulerian yöntemi seçilmiştir.

Doktora tezinde kömürün gazlaştırılması için geliştirilen model için hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programlarından ANSYS Fluent 15.0 kullanılmıştır. Modelde kullanılan akışkan yatakların ağı yapısı ve modellemenin zaman adımı belirlenirken farklı ağı ölçülerinde ve zaman adımlarında durumlar oluşturulup çözümlenmeler yapılmış ve elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılarak en uygun ağı

ölçüsü ve modelleme zaman adımı belirlenmiştir. Çalışma debilerinin akışkan yatakta türbülans oluşturacak mertebede olmasından dolayı modellemede türbülans modeli olarak $k - \epsilon$ ayırık türbülans modeli ($k - \epsilon$ dispersed turbulence model) kullanılmıştır. Gazlaştırma çalışmalarında genellikle ışıının etkisi ihmal edilmektedir. Bunun en önemli nedeni bilgisayar zamanı açısından olumsuz etkisinin olmasıdır. Fakat doktora tezinde ışıının modellerinden P-1 modeli seçilerek gazlaştırmada ışıının etkisi de göz önüne alınmıştır.

Kömürün gazlaştırılmasında gerçekleşen kimyasal olaylar kabaca iki sınıfa ayrılabilir. Öncelikle gazlaştırıcı gaz (sıcak hava, oksijen, oksijence zengin hava, hava+su-buharı, oksijen+su-buharı gibi) ile karşılaşan kömürde uçucu maddenin kömürden ayrılması (devolatilizasyon) ve kömürdeki nemin ayrılması olayları gerçekleşmektedir. Uçucu maddenin ve nemin kömürden ayrılması ile kömürden geriye karbon ve kül kalmaktadır. Gazlaştırmada ikinci kısım ise uçucu maddeyi oluşturan gazların homojen reaksiyonlara ve kömürün içindeki karbonun da heterojen reaksiyonlara maruz kalmasıdır. Modellemede 5 heterojen ve 5 homojen olmak üzere toplam 10 reaksiyon göz önüne alınmıştır. ANSYS Fluent 15.0 hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı homojen reaksiyonları modelleyebilir iken heterojen reaksiyonları doğrudan modelleyememektedir. Heterojen reaksiyonların modellenmesi için dışarıdan bilgisayar kodu yazılması gerekmektedir. Bu nedenle doktora tezi kapsamında heterojen reaksiyonların modellenmesi için bilgisayar kodu yazılmıştır.

Kömürden uçucu maddenin çıkışı için literatürde yer alan en kapsamlı modellerden biri olan CPD (chemical percolation devolatilizasyon) modeli seçilmiştir. Kömürden uçucu maddenin çıkışının modellenmesi gazlaştırmada kritik öneme sahip bir konudur. CPD modelin en önemli özelliği literatürdeki diğer modellerden farklı olarak kömür tipine bağlı olmasıdır. CPD modelin kullanılabilmesi için kömürün NMR (Nuclear Magnetic Resonance) testi sonuçlarına ihtiyaç vardır. NMR testinin kolay yapılan bir test olmamasından dolayı da CPD modeli gazlaştırma modellemelerinde sıklıkla kullanılamamaktadır. CPD modelin kolaylıkla kullanılabilmesi için kömürün yaklaşık analiz (proximate analysis) ve kesin analiz (ultimate analysis) sonuçlarını kullanarak CPD model için gerekli, kömür tipine bağlı değişkenleri hesaplayan literatürde korelasyonlar bulunmaktadır. Bu korelasyonlar 30 kömür verisi kullanılarak oluşturulmuş korelasyonlardır. Doktora tezi kapsamında bu korelasyonların kömür

verisi %50 arttırılarak 45 kömüre çıkarılmıştır. Ayrıca doktora tezinde veri sayısı arttırılarak kapsamı geliştirilen korelasyonların belirleme katsayısı (coefficient of determination, R^2) değerleri de literatürde yer alan haline göre yükseltilmiştir. Böylece hem veri sayısı açısından hem de belirleme katsayısı değeri açısından daha kapsamlı korelasyonlar geliştirilmiştir.

CPD modelin kullanılabilmesi için kömür tipine bağlı 4 parametreye ihtiyaç vardır. Doktora tezi çalışmasında literatürde yer alan ve bu 4 adet CPD parametresini kömürün yaklaşık ve kesin analiz sonuçlarından faydalanarak hesaplayan korelasyonun kapsamı geliştirilmiştir. Kapsamı geliştirilen bu korelasyonların seçilen 5 Türk linyitinin özelliklerine de uygun olduğu gösterildikten sonra CPD model için gerekli 4 adet parametre seçilen 5 Türk linyiti için hesaplanmıştır. Böylece gazlaştırma için kritik öneme sahip uçucu maddenin kömürden çıkışı için kapsamlı bir model oluşturulmuştur.

Doktora tezi kapsamında geliştirilen model, 3 farklı yatak geometrisinde yapılan deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır. Karşılaştırma yapılan yatak geometrilerinden ikisi kabarcıklı biri dolaşımli akışkan yatak geometrisidir. Ayrıca doktora tezinde kullanılan gazlaştırma modeli 7 adet sayısal çalışma sonucu ile de karşılaştırmıştır. Böylece geliştirilen model hem farklı geometrilerde hem de farklı çalışma şartlarında kapsamlı bir şekilde doğrulanmıştır.

Modelin hem deneysel hem de sayısal çalışma sonuçları ile karşılaştırılmasından sonra seçilen 5 Türk linyitinin gazlaştırılmasında parametrik çalışmalar yapılmıştır. Bu parametrik çalışmalar iki farklı akışkan yatak geometrisi seçilerek yapılmıştır. Seçilen akışkan yataklardan birincisi kabarcıklı diğeri ise dolaşımli akışkan yataktır. Parametrik çalışmalarda kullanılan kabarcıklı akışkan yatağın yüksekliği 2 metre ve yatak çapı 0.22 metredir. Buna karşılık parametrik çalışmalar için seçilen dolaşımli akışkan yatağın ana kol yüksekliği 6.76 metre ve yatak ana kolunun çapı 0.113 metredir. Seçilen dolaşımli akışkan yatağın dönüş kolunun çapı ise 0.08 metredir.

Doktora tezi kapsamında yatak yüksekliğinin, eşdeğerlik oranının (equivalence ratio, ER) ve Su-Buharı/Kömür debisi oranının seçilen 5 Türk linyitinin kabarcıklı ve dolaşımli akışkan yatak geometrilerinde gazlaştırılmasına etkileri araştırılmış ve

gazlaştırma sonucu yatağın çıkışında elde edilen CO , H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı değerlerinin değişimleri elde edilmiştir.

Kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde yatak yüksekliğinin etkisini araştırmak için 13 farklı yatak yüksekliği seçilerek 5 Türk linyiti için toplam 65 modelleme, eşdeğerlik oranının etkisi araştırmak için 17 farklı eşdeğerlik oranı seçilerek 5 Türk linyiti için toplam 85 modelleme ve son olarak Su-Buharı/Kömür debisi oranının etkisini araştırmak için 21 farklı Su-Buharı/Kömür debisi oranı seçilerek 5 Türk linyiti için toplam 105 modelle yapılmıştır. Kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde seçilen 5 Türk linyitinin gazlaştırılması için yapılan toplam modelleme sayısı 255'tir.

Dolaşımli akışkan yatak geometrisinde ise yatak yüksekliğinin etkisini araştırmak için 16 farklı yatak yüksekliği seçilerek 5 Türk linyiti için toplam 80 modelleme, eşdeğerlik oranının etkisi araştırmak için 17 farklı eşdeğerlik oranı seçilerek 5 Türk linyiti için toplam 85 modelleme ve son olarak Su-Buharı/Kömür debisi oranının etkisini araştırmak için 20 farklı Su-Buharı/Kömür debisi oranı seçilerek 5 Türk linyiti için toplam 100 modelle yapılmıştır. Böylece dolaşımli akışkan yatak geometrisinde seçilen 5 Türk linyitinin gazlaştırılması için yapılan parametrik çalışmalar için toplamda 265 modelleme yapılmıştır.

Kabarcıklı akışkan yatak geometrisinde yapılan yatak yüksekliği ile ilgili parametrik çalışmalarda, yatak yüksekliğinin gazlaştırma sonucu oluşan ve yatağın çıkışında elde edilen CO , H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı değerlerinin değişimine etkisinin az olduğu ortaya konulmuştur. Buna karşın dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yapılan yatak yüksekliği ile ilgili parametrik çalışmalarda yatak yüksekliği arttıkça yatağın çıkışında elde edilen CO ve H_2 gazlarının mol oranı değerlerinin arttığı CO_2 için elde edilen mol oranı değerlerinin ise azaldığı tespit edilmiştir.

Eşdeğerlik oranı ile ilgili yapılan parametrik çalışmalarda eşdeğerlik oranı en düşük 0.1 en yüksek 0.6 almıştır. Hem dolaşımli hem de kabarcıklı akışkan yatak geometrilerinde gazlaştırma için en uygun eşdeğerlik oranı 0.32 olarak belirlenmiştir. Eşdeğerlik oranının 0.32 olduğu durumda yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için elde edilen mol oranı değerleri en yüksek değere ulaştığı, CO_2 gazı için yatağın çıkışında elde edilen mol oranı değeri ise en düşük değere ulaştığı tespit edilmiştir. Eşdeğerlik oranının 0.1 ile 0.32 olduğu aralıkta eşdeğerlik oranı arttıkça hem kabarcıklı hem

de dolaşımli akışkan yatak geometrisi için yatağın çıkışında elde edilen CO ve H_2 gazlarının mol oranı değerlerin arttığı, buna karşın CO_2 gazının mol oranı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Eşdeğerlik oranı 0.32 değerinden 0.6 değerine doğru arttığında ise hem kabarcıklı hem de dolaşımli akışkan yatak geometrisinde yatağın çıkışında CO ve H_2 gazları için elde edilen mol oranı değerlerinin azaldığı, buna karşın CO_2 için elde edilen mol oranı değerlerinin ise arttığı tespit edilmiştir.

Doktora tezinde çalışılan son parametrik çalışma Su-Buharı/Kömür debisi oranının seçilen 5 Türk linyitinin akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı parametrik çalışmadır. Su-Buharı/Kömür debisi oranının etkisini araştırmak için Su-Buharı/Kömür debisi oranı en düşük 0.1 ve en yüksek 2.0 değerinde alınmıştır. Hem kabarcıklı hem de dolaşımli akışkan yatak geometrisinde Su-Buharı/Kömür debisi oranı arttırıldıkça yatağın çıkışında elde edilen CO gazının mol oranı değerleri azalırken H_2 ve CO_2 gazlarının mol oranı değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Doktora tezinde elde edilen sonuçlara kısaca yer verildikten sonra ileriki dönemde yapılacak çalışmalara fayda sağlaması açısından önerilerde bulunacaktır. Öncelikle doktora tezi kapsamında yatak geometrisi olarak sadece yatak yüksekliği ile ilgili parametrik çalışmalar yapılmıştır. Bunun en önemli nedeni yatak yüksekliğinin kritik öneme sahip olduğu düşünülmesindedir. Parametrik çalışmalar, günümüz bilgisayarlarının işlemci hızlarının artmasına rağmen problemin fiziğinin karmaşık olmasından dolayı uzun sürmektedir. Bu nedenden ötürü yatak geometrisi kapsamında değerlendirilecek parametrik çalışmalardan sadece yatak yüksekliği ile ilgili parametrik çalışmalara bu doktora tezinde yer verilebilmiştir. İleriki dönemde yapılacak çalışmalara fayda sağlaması açısından yatak çapı ile ilgili parametrik çalışmaları yapılması önerilmektedir. Böylece hem kabarcıklı akışkan yatakta hem de dolaşım akışkan yatakta yatak çapının gazlaştırmaya etkileri ortaya konulabilecektir. Yatak geometrisi başlığı altına konulabilecek diğer bir parametrik çalışma ise kömür besleme noktasının en uygun şekilde belirlenmesidir. Kömür besleme noktasının uygun seçilmesinin kömür ile gazlaştırıcı sıcak gazların daha iyi karışmasını sağlayabileceği düşünülmemektedir. Kömür ile gazlaştırıcı gazların iyi karışımının, kömürün gazlaştırılmasına etkisinin ne kadar olduğunun ortaya konulmasının faydalı olacağı düşünülmemektedir. Yatak geometrisi ile ilgili önerilebilecek son çalışma ise dolaşımli akışkan yataklarda yer alan siklon tasarımı ile ilgili parametrik çalışmadır.

Dolaşımli akışkan yatakta kömürün yatakta kalma süresinin arttırılabilmesi açısından siklon tasarımının önemi büyüktür. Kullanılan kömür taneciğinin çapına bağılı olarak siklonun kömür taneciklerini yatakta tutması ve uygun kömür dolaşımını sağlaması gerekmektedir. Bu yapıya uygun siklon geometrisinin kapsamlı analizlerinin yapılmasının faydalı olacağı düşünölmektedir.

Doktora tezi kapsamında çalışma debileri ile ilgili olarak ise iki parametrik çalışma üzerinde durulmuştur. Bunlardan birincisi eşdeğerlik oranının etkisinin araştırılması iken ikincisi ise Su-Buharı/Kömür debisi oranının etkisinin araştırılmasıdır. Bu iki parametrik çalışmaya ek olarak yatağı gönderilen kömür taneciklerinin çapı ile ilgili de parametrik çalışmalar ileriki dönemlerde yapılabilir. Kömür tanecik çapının Türk linyitlerinin hem kabarcıklı hem de dolaşımli akışkan yatakta gazlaştırılmasına etkisinin ortaya konulmasının faydalı olacağı düşünölmektedir.

Son parametrik çalışma önerisi olarak ise yatak basıncının etkilerinin araştırılması önerilmektedir. Bu doktora tezinde hem kabarcıklı hem de dolaşımli akışkan yatakta, yatak basıncı atmosfer basıncına eşit alınmıştır. İleriki çalışmalarda yatak basıncının etkisinin araştırılmasının faydalı olacağı düşünölmektedir. Türk linyitlerinin hem kabarcıklı hem de dolaşımli akışkan yatakta farklı yatak basınçlarında gazlaştırılmasının etkilerinin irdelenmesinin önemli olacağı düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kurkela, E. ve Ståhlberg, P.** (1992). Air gasification of peat, wood and brown coal in a pressurized fluidized-bed reactor. I. Carbon conversion, gas yields and tar formation, *Fuel Processing Technology*, 31(1), 1–21.
- [2] **Lin, S., Harada, M., Suzuki, Y. ve Hatano, H.** (2002). Hydrogen production from coal by separating carbon dioxide during gasification, *Fuel*, 81(16), 2079–2085.
- [3] **Yoshida, H., Kiyono, F., Tajima, H., Yamasaki, A., Ogasawara, K. ve Masuyama, T.** (2008). Two-stage equilibrium model for a coal gasifier to predict the accurate carbon conversion in hydrogen production, *Fuel*, 87(10), 2186–2193.
- [4] **Azuhata, S., Hedman, P.O. ve Smoot, L.D.** (1986). Carbon conversion in an atmospheric-pressure entrained coal gasifier, *Fuel*, 65(2), 212–217.
- [5] **Watanabe, H. ve Otaka, M.** (2006). Numerical simulation of coal gasification in entrained flow coal gasifier, *Fuel*, 85(12), 1935–1943.
- [6] **Li, X., Grace, J., Watkinson, A., Lim, C. ve Ergüdenler, A.** (2001). Equilibrium modeling of gasification: a free energy minimization approach and its application to a circulating fluidized bed coal gasifier, *Fuel*, 80(2), 195–207.
- [7] **Lv, P., Xiong, Z., Chang, J., Wu, C., Chen, Y. ve Zhu, J.** (2004). An experimental study on biomass air–steam gasification in a fluidized bed, *Bioresource technology*, 95(1), 95–101.
- [8] **Loha, C., Chattopadhyay, H. ve Chatterjee, P.K.** (2014). Three dimensional kinetic modeling of fluidized bed biomass gasification, *Chemical Engineering Science*, 109, 53–64.
- [9] **Turn, S., Kinoshita, C., Zhang, Z., Ishimura, D. ve Zhou, J.** (1998). An experimental investigation of hydrogen production from biomass gasification, *International Journal of Hydrogen Energy*, 23(8), 641–648.
- [10] **Radmanesh, R., Chaouki, J. ve Guy, C.** (2006). Biomass gasification in a bubbling fluidized bed reactor: experiments and modeling, *AIChE Journal*, 52(12), 4258–4272.
- [11] **Petersen, I. ve Werther, J.** (2005). Experimental investigation and modeling of gasification of sewage sludge in the circulating fluidized bed, *Chemical Engineering and Processing: process intensification*, 44(7), 717–736.

- [12] **Loha, C., Chatterjee, P.K. ve Chattopadhyay, H.** (2011). Performance of fluidized bed steam gasification of biomass—modeling and experiment, *Energy Conversion and Management*, 52(3), 1583–1588.
- [13] **Masnadi, M.S., Grace, J.R., Bi, X.T., Lim, C.J., Ellis, N., Li, Y.H. ve Watkinson, A.P.** (2015). Single-fuel steam gasification of switchgrass and coal in a bubbling fluidized bed: A comprehensive parametric reference for co-gasification study, *Energy*, 80, 133–147.
- [14] **Corella, J. ve Sanz, A.** (2005). Modeling circulating fluidized bed biomass gasifiers. A pseudo-rigorous model for stationary state, *Fuel Processing Technology*, 86(9), 1021–1053.
- [15] **Gungor, A.** (2013). Simulation of co-firing coal and biomass in circulating fluidized beds, *Energy conversion and management*, 65, 574–579.
- [16] **Gungor, A. ve Eskin, N.** (2008). Two-dimensional coal combustion modeling of CFB, *International Journal of Thermal Sciences*, 47(2), 157–174.
- [17] **Liu, H. ve Gibbs, B.M.** (2002). Modelling of NO and N₂O emissions from biomass-fired circulating fluidized bed combustors, *Fuel*, 81(3), 271–280.
- [18] **Zhu, H., Zhou, Z., Yang, R. ve Yu, A.** (2007). Discrete particle simulation of particulate systems: theoretical developments, *Chemical Engineering Science*, 62(13), 3378–3396.
- [19] **Gidaspow, D.** (1994). *Multiphase flow and fluidization: continuum and kinetic theory descriptions*, Academic press.
- [20] **Cundall, P.A. ve Strack, O.D.** (1979). A discrete numerical model for granular assemblies, *geotechnique*, 29(1), 47–65.
- [21] **Tsuji, Y.** (2007). Multi-scale modeling of dense phase gas–particle flow, *Chemical Engineering Science*, 62(13), 3410–3418.
- [22] **Tsuji, Y., Kawaguchi, T. ve Tanaka, T.** (1993). Discrete particle simulation of two-dimensional fluidized bed, *Powder technology*, 77(1), 79–87.
- [23] **Jajcevic, D., Siegmann, E., Radeke, C. ve Khinast, J.G.** (2013). Large-scale CFD–DEM simulations of fluidized granular systems, *Chemical Engineering Science*, 98, 298–310.
- [24] **Wang, X., Jin, B. ve Zhong, W.** (2009). Three-dimensional simulation of fluidized bed coal gasification, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 48(2), 695–705.
- [25] **Wu, C., Ayeni, O., Berrouk, A. ve Nandakumar, K.** (2014). Parallel algorithms for CFD–DEM modeling of dense particulate flows, *Chemical Engineering Science*, 118, 221–244.
- [26] **Kafui, D., Johnson, S., Thornton, C. ve Seville, J.P.** (2011). Parallelization of a Lagrangian–Eulerian DEM/CFD code for application to fluidized beds, *Powder Technology*, 207(1), 270–278.

- [27] **Yue, X., Zhang, H., Ke, C., Luo, C., Shu, S., Tan, Y. ve Feng, C.** (2015). A GPU-based discrete element modeling code and its application in die filling, *Computers & Fluids*, 110, 235–244.
- [28] **Neves, D., Thunman, H., Matos, A., Tarelho, L. ve Gómez-Barea, A.** (2011). Characterization and prediction of biomass pyrolysis products, *Progress in Energy and Combustion Science*, 37(5), 611–630.
- [29] **de Souza-Santos, M.L.** (2010). *Solid Fuels Combustion and Gasification: Modeling, Simulation*, CRC Press.
- [30] **Loha, C., Gu, S., De Wilde, J., Mahanta, P. ve Chatterjee, P.K.** (2014). Advances in mathematical modeling of fluidized bed gasification, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 688–715.
- [31] **Fletcher, T.H., Kerstein, A.R., Pugmire, R.J., Solum, M.S. ve Grant, D.M.** (1992). Chemical percolation model for devolatilization. 3. Direct use of carbon-13 NMR data to predict effects of coal type, *Energy & Fuels*, 6(4), 414–431.
- [32] **Fletcher, T.H., Kerstein, A.R., Pugmire, R.J. ve Grant, D.M.** (1990). Chemical percolation model for devolatilization. 2. Temperature and heating rate effects on product yields, *Energy & Fuels*, 4(1), 54–60.
- [33] **Grant, D.M., Pugmire, R.J., Fletcher, T.H. ve Kerstein, A.R.** (1989). Chemical model of coal devolatilization using percolation lattice statistics, *Energy & Fuels*, 3(2), 175–186.
- [34] **Zhong, W., Yu, A., Zhou, G., Xie, J. ve Zhang, H.** (2016). CFD simulation of dense particulate reaction system: Approaches, recent advances and applications, *Chemical Engineering Science*, 140, 16–43.
- [35] **Gómez-Barea, A. ve Leckner, B.** (2010). Modeling of biomass gasification in fluidized bed, *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(4), 444–509.
- [36] **Armstrong, L.M., Gu, S. ve Luo, K.H.** (2011). Effects of limestone calcination on the gasification processes in a BFB coal gasifier, *Chemical engineering journal*, 168(2), 848–860.
- [37] **Couto, N., Silva, V., Monteiro, E., Brito, P. ve Rouboa, A.** (2015). Using an Eulerian-granular 2-D multiphase CFD model to simulate oxygen air enriched gasification of agroindustrial residues, *Renewable Energy*, 77, 174–181.
- [38] **Jeong, H.J., Seo, D.K. ve Hwang, J.** (2014). CFD modeling for coal size effect on coal gasification in a two-stage commercial entrained-bed gasifier with an improved char gasification model, *Applied Energy*, 123, 29–36.
- [39] **Luan, Y.T., Chyou, Y.P. ve Wang, T.** (2013). Numerical analysis of gasification performance via finite-rate model in a cross-type two-stage gasifier, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57(2), 558–566.

- [40] **Singh, R.I., Brink, A. ve Hupa, M.** (2013). CFD modeling to study fluidized bed combustion and gasification, *Applied Thermal Engineering*, 52(2), 585–614.
- [41] **Snider, D.M., Clark, S.M. ve O'Rourke, P.J.** (2011). Eulerian–Lagrangian method for three-dimensional thermal reacting flow with application to coal gasifiers, *Chemical engineering science*, 66(6), 1285–1295.
- [42] **Chejne, F. ve Hernandez, J.** (2002). Modelling and simulation of coal gasification process in fluidised bed, *Fuel*, 81(13), 1687–1702.
- [43] **Chejne, F., Lopera, E. ve Londoño, C.A.** (2011). Modelling and simulation of a coal gasification process in pressurized fluidized bed, *Fuel*, 90(1), 399–411.
- [44] **Gidaspow, D., Bezburuah, R. ve Ding, J.** (1991). Hydrodynamics of circulating fluidized beds: kinetic theory approach, **Teknik Rapor**, Illinois Inst. of Tech., Chicago, IL (United States). Dept. of Chemical Engineering.
- [45] **Kobayashi, H.** (1976). *Devolatilization of pulverized coal at high temperatures*, (Doktora Tezi), Massachusetts Institute of Technology.
- [46] **Xie, J., Zhong, W., Jin, B., Shao, Y. ve Huang, Y.** (2013). Eulerian–Lagrangian method for three-dimensional simulation of fluidized bed coal gasification, *Advanced Powder Technology*, 24(1), 382–392.
- [47] **Esmaili, E., Mahinpey, N. ve Mostafavi, E.** (2014). An extensive simulation of coal gasification in bubbling fluidized bed: Integration of hydrodynamics into reaction modelling, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 92(10), 1714–1724.
- [48] **Armstrong, L.M., Gu, S., Luo, K.H. ve Mahanta, P.** (2013). Multifluid modeling of the desulfurization process within a bubbling fluidized bed coal gasifier, *AIChE Journal*, 59(6), 1952–1963.
- [49] **Yu, L., Lu, J., Zhang, X. ve Zhang, S.** (2007). Numerical simulation of the bubbling fluidized bed coal gasification by the kinetic theory of granular flow (KTGF), *Fuel*, 86(5), 722–734.
- [50] **Ceng, K., Yao, Q. ve Liao, Z.** (2002). Higher Combustion Science, *Zhejiang University Press, Hangzhou*.
- [51] **Xue, Q.; Fox, R.** (2014). Multi-fluid, CFD modeling of biomass gasification in polydisperse fluidized-bed gasifiers, *Powder Technology*, 254, 187–198.
- [52] **Couto, N., Silva, V., Monteiro, E., Brito, P. ve Rouboa, A.** (2013). Experimental and numerical analysis of coffee husks biomass gasification in a fluidized bed reactor, *Energy Procedia*, 36, 591–595.
- [53] **Badzioch, S. ve Hawksley, P.G.** (1970). Kinetics of thermal decomposition of pulverized coal particles, *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*, 9(4), 521–530.

- [54] **Liu, H., Elkamel, A., Lohi, A. ve Biglari, M.** (2013). Computational fluid dynamics modeling of biomass gasification in circulating fluidized-bed reactor using the Eulerian–Eulerian approach, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(51), 18162–18174.
- [55] **Manchasing, C., Kuchonthara, P., Chalermssinsuwan, B. ve Piumsomboon, P.** (2013). Experiment and computational fluid dynamics simulation of in-depth system hydrodynamics in dual-bed gasifier, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(25), 10417–10430.
- [56] **Breault, R.W., Li, T. ve Nicoletti, P.** (2013). Mass transfer effects in a gasification riser, *Powder technology*, 242, 108–116.
- [57] **Boateng, A. ve Mtui, P.** (2012). CFD modeling of space-time evolution of fast pyrolysis products in a bench-scale fluidized-bed reactor, *Applied Thermal Engineering*, 33, 190–198.
- [58] **Xie, J., Zhong, W., Jin, B., Shao, Y. ve Liu, H.** (2012). Simulation on gasification of forestry residues in fluidized beds by Eulerian–Lagrangian approach, *Bioresource technology*, 121, 36–46.
- [59] **Silva, V. ve Rouboa, A.** (2015). Combining a 2-D multiphase CFD model with a Response Surface Methodology to optimize the gasification of Portuguese biomasses, *Energy Conversion and Management*, 99, 28–40.
- [60] **Gerber, S. ve Oevermann, M.** (2014). A two dimensional Euler–Lagrangian model of wood gasification in a charcoal bed—Part I: model description and base scenario, *Fuel*, 115, 385–400.
- [61] **Hoomans, B., Kuipers, J., Briels, W.J. ve van Swaaij, W.P.M.** (1996). Discrete particle simulation of bubble and slug formation in a two-dimensional gas-fluidised bed: a hard-sphere approach, *Chemical Engineering Science*, 51(1), 99–118.
- [62] **Gerber, S. ve Oevermann, M.** (2017). A two dimensional Euler–Lagrangian model of wood gasification in a charcoal bed—Part II: Parameter influence and comparison, *Particuology*.
- [63] **Ju, F., Chen, H., Yang, H., Wang, X., Zhang, S. ve Liu, D.** (2010). Experimental study of a commercial circulated fluidized bed coal gasifier, *Fuel Processing Technology*, 91(8), 818–822.
- [64] **Taghipour, F., Ellis, N. ve Wong, C.** (2005). Experimental and computational study of gas–solid fluidized bed hydrodynamics, *Chemical Engineering Science*, 60(24), 6857–6867.
- [65] **Huilin, L., Gidaspow, D., Bouillard, J. ve Wentie, L.** (2003). Hydrodynamic simulation of gas–solid flow in a riser using kinetic theory of granular flow, *Chemical Engineering Journal*, 95(1), 1–13.
- [66] **Almohammed, N., Alobaid, F., Breuer, M. ve Epple, B.** (2014). A comparative study on the influence of the gas flow rate on the hydrodynamics of a gas–solid spouted fluidized bed using Euler–Euler and Euler–Lagrange/DEM models, *Powder Technology*, 264, 343–364.

- [67] **Schaeffer, D.G.** (1987). Instability in the evolution equations describing incompressible granular flow, *Journal of differential equations*, 66(1), 19–50.
- [68] **Fluent, A.** (2015). Theory Guide and User's Guide, *Ansys Inc, USA*.
- [69] **Sharma, A., Wang, S., Pareek, V., Yang, H. ve Zhang, D.** (2014). CFD modeling of mixing/segregation behavior of biomass and biochar particles in a bubbling fluidized bed, *Chemical Engineering Science*, 106, 264–274.
- [70] **Chalermsoonsuwan, B., Gidaspow, D. ve Piumsomboon, P.** (2011). Two-and three-dimensional CFD modeling of Geldart A particles in a thin bubbling fluidized bed: Comparison of turbulence and dispersion coefficients, *Chemical Engineering Journal*, 171(1), 301–313.
- [71] **McKeen, T. ve Pugsley, T.** (2003). Simulation and experimental validation of a freely bubbling bed of FCC catalyst, *Powder Technology*, 129(1), 139–152.
- [72] **Almuttahir, A. ve Taghipour, F.** (2008). Computational fluid dynamics of high density circulating fluidized bed riser: Study of modeling parameters, *Powder Technology*, 185(1), 11–23.
- [73] **Pain, C., Mansoorzadeh, S. ve De Oliveira, C.** (2001). A study of bubbling and slugging fluidised beds using the two-fluid granular temperature model, *International Journal of Multiphase Flow*, 27(3), 527–551.
- [74] **Du, W., Bao, X., Xu, J. ve Wei, W.** (2006). Computational fluid dynamics (CFD) modeling of spouted bed: Assessment of drag coefficient correlations, *Chemical Engineering Science*, 61(5), 1401–1420.
- [75] **Patil, D., van Sint Annaland, M. ve Kuipers, J.** (2005). Critical comparison of hydrodynamic models for gas–solid fluidized beds—Part I: bubbling gas–solid fluidized beds operated with a jet, *Chemical Engineering Science*, 60(1), 57–72.
- [76] **Lun, C., Savage, S.B., Jeffrey, D. ve Chepurdiy, N.** (1984). Kinetic theories for granular flow: inelastic particles in Couette flow and slightly inelastic particles in a general flowfield, *Journal of fluid mechanics*, 140, 223–256.
- [77] **Ahuja, G. ve Patwardhan, A.** (2008). CFD and experimental studies of solids hold-up distribution and circulation patterns in gas–solid fluidized beds, *Chemical Engineering Journal*, 143(1), 147–160.
- [78] **Askaripour, H. ve Dehkordi, A.M.** (2016). Effects of initial static bed height on fractional conversion and bed pressure drop in tapered-in and tapered-out fluidized bed reactors, *International Journal of Multiphase Flow*, 79, 50–61.
- [79] **Gidaspow, D., Li, F. ve Huang, J.** (2013). A CFD simulator for multiphase flow in reservoirs and pipes, *Powder technology*, 242, 2–12.

- [80] **Upadhyay, M. ve Park, J.H.** (2015). CFD simulation via conventional Two-Fluid Model of a circulating fluidized bed riser: Influence of models and model parameters on hydrodynamic behavior, *Powder Technology*, 272, 260–268.
- [81] **Yao, Y., He, Y.J., Luo, Z.H. ve Shi, L.** (2014). 3D CFD-PBM modeling of the gas–solid flow field in a polydisperse polymerization FBR: The effect of drag model, *Advanced Powder Technology*, 25(5), 1474–1482.
- [82] **Dong, C., Yang, Y., Yang, R. ve Zhang, J.** (2010). Numerical modeling of the gasification based biomass co-firing in a 600MW pulverized coal boiler, *Applied Energy*, 87(9), 2834–2838.
- [83] **Nguyen, T.D., Seo, M.W., Lim, Y.I., Song, B.H. ve Kim, S.D.** (2012). CFD simulation with experiments in a dual circulating fluidized bed gasifier, *Computers & Chemical Engineering*, 36, 48–56.
- [84] **Cornejo, P. ve Farías, O.** (2011). Mathematical modeling of coal gasification in a fluidized bed reactor using a Eulerian granular description, *International journal of chemical reactor engineering*, 9(1).
- [85] **Zhang, Q., Dor, L., Yang, W. ve Blasiak, W.** (2011). Eulerian model for municipal solid waste gasification in a fixed-bed plasma gasification melting reactor, *Energy & Fuels*, 25(9), 4129–4137.
- [86] **Couto, N., Silva, V., Monteiro, E., Teixeira, S., Chacartegui, R., Bouziane, K., Brito, P. ve Rouboa, A.** (2015). Numerical and experimental analysis of municipal solid wastes gasification process, *Applied Thermal Engineering*, 78, 185–195.
- [87] **Gunn, D.** (1978). Transfer of heat or mass to particles in fixed and fluidised beds, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 21(4), 467–476.
- [88] **Yu, L., Lu, J., Zhang, X., Zhang, S. ve Wang, X.** (2008). Two fluid model using kinetic theory for modeling of one-step hydrogen production gasifier, *AIChE journal*, 54(11), 2833–2851.
- [89] **Deng, Z., Xiao, R., Jin, B., Huang, H., Shen, L., Song, Q. ve Li, Q.** (2008). Computational fluid dynamics modeling of coal gasification in a pressurized spout-fluid bed, *Energy & Fuels*, 22(3), 1560–1569.
- [90] **Pillai, K.** (1981). Influence of coal type on devolatilization and combustion in fluidized beds, *Journal of the Institute of Energy*, 54, 142–50.
- [91] **Khan, J. ve Wang, T.** (2013). Implementation of a Demolition and Devolatilization Model in Multi-Phase Simulation of a Hybrid Entrained-Flow and Fluidized Bed Mild Gasifier, *International Journal of Clean Coal and Energy*, 2(03), 35.
- [92] **Cheng, Y. ve Wang, C.H.** (2014). Numerical study on coal gasification in the downer reactor of a triple-bed combined circulating fluidized bed, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(16), 6624–6635.

- [93] **Kobayashi, H., Howard, J. ve Sarofim, A.F.** (1977). Coal devolatilization at high temperatures, *Symposium (international) on combustion*, cilt 16, Elsevier, s.411–425.
- [94] **Smoot, L.D. ve Smith, P.J.** (2013). *Coal combustion and gasification*, Springer Science & Business Media.
- [95] **Silaen, A. ve Wang, T.** (2010). Effect of turbulence and devolatilization models on coal gasification simulation in an entrained-flow gasifier, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53(9), 2074–2091.
- [96] **Shuang, Y., Wu, C., Yan, B. ve Cheng, Y.** (2010). Heat transfer inside particles and devolatilization for coal pyrolysis to acetylene at ultrahigh temperatures, *Energy & Fuels*, 24(5), 2991–2998.
- [97] **Tang, Y.l., Liu, D.j., Liu, Y.h. ve Luo, Q.** (2010). 3D computational fluid dynamics simulation of natural coke steam gasification in general and improved fluidized beds, *Energy & Fuels*, 24(10), 5602–5610.
- [98] **Perry, S.T. ve Fletcher, T.H.** (1999). *A global free-radical mechanism for nitrogen release during coal devolatilization based on chemical structure*, (Doktora Tezi), Brigham Young University. Department of Chemical Engineering.
- [99] **Genetti, D., Fletcher, T.H. ve Pugmire, R.J.** (1999). Development and application of a correlation of ¹³C NMR chemical structural analyses of coal based on elemental composition and volatile matter content, *Energy & Fuels*, 13(1), 60–68.
- [100] **Mei, Z., Li, P., Wang, F., Zhang, J. ve Mi, J.** (2013). Influences of reactant injection velocities on moderate or intense low-oxygen dilution coal combustion, *Energy & Fuels*, 28(1), 369–384.
- [101] **Schaffel, N., Mancini, M., Szle, A., Weber, R. ve diğerleri** (2009). Mathematical modeling of MILD combustion of pulverized coal, *Combustion and Flame*, 156(9), 1771–1784.
- [102] **Wang, Z., Wan, K., Xia, J., He, Y., Liu, Y. ve Liu, J.** (2015). Pyrolysis characteristics of coal, biomass, and coal–biomass blends under high heating rate conditions: effects of particle diameter, fuel type, and mixing conditions, *Energy & Fuels*, 29(8), 5036–5046.
- [103] **Lu, X. ve Wang, T.** (2013). Investigation of radiation models in entrained-flow coal gasification simulation, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 67, 377–392.
- [104] **Qian, L., Zhao, Y., Sun, S., Che, H., Chen, H. ve Wang, D.** (2014). Chemical/physical properties of char during devolatilization in inert and reducing conditions, *Fuel Processing Technology*, 118, 327–334.
- [105] **Roberts, M.J., Everson, R.C., Neomagus, H.W., Van Niekerk, D., Mathews, J.P. ve Branken, D.J.** (2015). Influence of maceral composition on the structure, properties and behaviour of chars derived from South African coals, *Fuel*, 142, 9–20.

- [106] **Okolo, G.N., Neomagus, H.W., Everson, R.C., Roberts, M.J., Bunt, J.R., Sakurovs, R. ve Mathews, J.P.** (2015). Chemical–structural properties of South African bituminous coals: insights from wide angle XRD–carbon fraction analysis, ATR–FTIR, solid state ^{13}C NMR, and HRTEM techniques, *Fuel*, 158, 779–792.
- [107] **Perry, S., Hambly, E., Fletcher, T., Solum, M. ve Pugmire, R.** (2000). Solid-state ^{13}C NMR characterization of matched tars and chars from rapid coal devolatilization, *Proceedings of the Combustion Institute*, 28(2), 2313–2319.
- [108] **Yan, B., Cheng, Y., Jin, Y. ve Guo, C.Y.** (2012). Analysis of particle heating and devolatilization during rapid coal pyrolysis in a thermal plasma reactor, *Fuel processing technology*, 100, 1–10.
- [109] **Solum, M.S., Sarofim, A.F., Pugmire, R.J., Fletcher, T.H. ve Zhang, H.** (2001). ^{13}C NMR analysis of soot produced from model compounds and a coal, *Energy & Fuels*, 15(4), 961–971.
- [110] **Cheng, P.** (1964). Two-dimensional radiating gas flow by a moment method, *AIAA journal*, 2(9), 1662–1664.
- [111] **Armstrong, L., Gu, S. ve Luo, K.** (2011). Parametric study of gasification processes in a BFB coal gasifier, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(10), 5959–5974.
- [112] **Di Felice, R.** (1994). The voidage function for fluid-particle interaction systems, *International Journal of Multiphase Flow*, 20(1), 153–159.
- [113] **Huilin, L., Yurong, H. ve Gidaspow, D.** (2003). Hydrodynamic modelling of binary mixture in a gas bubbling fluidized bed using the kinetic theory of granular flow, *Chemical Engineering Science*, 58(7), 1197–1205.
- [114] **de Souza-Santos, M.** (1989). Comprehensive modelling and simulation of fluidized bed boilers and gasifiers, *Fuel*, 68(12), 1507–1521.
- [115] **Hoang, D. ve Chan, S.** (2004). Modeling of a catalytic autothermal methane reformer for fuel cell applications, *Applied Catalysis A: General*, 268(1), 207–216.
- [116] **Wang, Y., Lin, S. ve Suzuki, Y.** (2007). Study of limestone calcination with CO_2 capture: Decomposition behavior in a CO_2 atmosphere, *Energy & Fuels*, 21(6), 3317–3321.
- [117] **Gerber, S., Behrendt, F. ve Oevermann, M.** (2010). An Eulerian modeling approach of wood gasification in a bubbling fluidized bed reactor using char as bed material, *Fuel*, 89(10), 2903–2917.
- [118] **Klimanek, A., Adamczyk, W., Katelbach-Woźniak, A., Węcel, G. ve Szłęk, A.** (2015). Towards a hybrid Eulerian–Lagrangian CFD modeling of coal gasification in a circulating fluidized bed reactor, *Fuel*, 152, 131–137.
- [119] **Rohatgi, A.**, (2016), WebPlotDigitizer, <http://arohatgi.info/WebPlotDigitizer>.

- [120] **Aydar, E., Gul, S., Unlu, N., Akgun, F. ve Livatyali, H.** (2014). Effect of the type of gasifying agent on gas composition in a bubbling fluidized bed reactor, *Journal of the Energy Institute*, 87(1), 35–42.
- [121] **Yaman, S. ve Küçükbayrak, S.** (2000). Influence of oxidation in aqueous medium on the structure and properties of lignites, *Fuel*, 79(7), 777–783.
- [122] **Şimşek, E., Bilgesü, A. ve Olcay, A.** (1995). Effect of preswelling on soxhlet and supercritical gas extraction of a Turkish lignite, *Fuel science & technology international*, 13(5), 569–577.
- [123] **Hassani, A., Vafaei, F., Karaca, S. ve Khataee, A.** (2014). Adsorption of a cationic dye from aqueous solution using Turkish lignite: Kinetic, isotherm, thermodynamic studies and neural network modeling, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 2615–2624.
- [124] **Hüseyin Şimşek, E. ve Olcay, A.** (1995). Relation between swelling of lignites and the characteristics of swelling agents, *Fuel science & technology international*, 13(10), 1265–1275.
- [125] **Yağmur, E., Şimşek, E.H., Aktaş, Z. ve Toğrul, T.** (2005). Effect of demineralization process on the liquefaction of Turkish coals in tetralin with microwave energy: Determination of particle size distribution and surface area, *Fuel*, 84(18), 2316–2323.
- [126] **Karacan, F., Şimşek, E.H. ve Toğrul, T.** (2005). Photocatalytic dissolution of two Turkish lignites in tetralin: effects of uv irradiation, TiO₂ and ZnO as photocatalyst, *Energy sources*, 27(16), 1523–1533.
- [127] **Güldoğan, Y., Durusoy, T. ve Bozdemir, T.** (2002). Effects of heating rate and particle size on pyrolysis kinetics of Gediz lignite, *Energy Sources*, 24(8), 753–760.
- [128] **Şimşek, E.H., Karaduman, A. ve Olcay, A.** (2001). Investigation of dissolution mechanism of six Turkish coals in tetralin with microwave energy, *Fuel*, 80(15), 2181–2188.
- [129] **Bayraktar, K. ve Lawson, G.** (1984). Properties and potential of formed cokes derived from two Turkish lignites by carbonization of binderless briquettes, *Fuel*, 63(9), 1221–1225.
- [130] **Gürses, A., Doymuş, K., Doğar, Ç. ve Yalçın, M.** (2003). Investigation of agglomeration rates of two Turkish lignites, *Energy conversion and management*, 44(8), 1247–1257.
- [131] **Öner, M., Bolat, E. ve Dincer, S.** (1990). Effects of Catalysts and Solvents on the Direct Hydroliquefaction of Turkish Lignites, *Energy Sources*, 12(4), 407–419.
- [132] **ASTM** (2014). *Coal Sampling and Analysis Standard*, (ASTM D3170).
- [133] **ASTM** (2014). *Coal Sampling and Analysis Standard*, (ASTM D3173).

- [134] **Makwana, J., Joshi, A.K., Athawale, G., Singh, D. ve Mohanty, P.** (2015). Air gasification of rice husk in bubbling fluidized bed reactor with bed heating by conventional charcoal, *Bioresource technology*, 178, 45–52.
- [135] **Ramzan, N., Athar, M., Begum, S., Ahmad, S.W. ve Naveed, S.** (2015). Simulation of circulating fluidized bed gasification for characteristic study of pakistani coal, *Polish Journal of Chemical Technology*, 17(1), 66–78.
- [136] **Chutichai, B., Patcharavorachot, Y., Assabumrungrat, S. ve Arpornwichanop, A.** (2015). Parametric analysis of a circulating fluidized bed biomass gasifier for hydrogen production, *Energy*, 82, 406–413.
- [137] **Broer, K.M., Woolcock, P.J., Johnston, P.A. ve Brown, R.C.** (2015). Steam/oxygen gasification system for the production of clean syngas from switchgrass, *Fuel*, 140, 282–292.
- [138] **Karatas, H., Olgun, H. ve Akgun, F.** (2013). Coal and coal and calcined dolomite gasification experiments in a bubbling fluidized bed gasifier under air atmosphere, *Fuel processing technology*, 106, 666–672.
- [139] **Feng, D., Jin, B.S., Huang, Y.J., Li, B., Sun, Y., Wu, Y. ve Zhang, M.Y.** (2010). Research on the main factors for changes in pressure based on turbulent circulating fluidized bed coal gasification technology, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 27(6), 1707–1714.
- [140] **Kim, Y., Lee, J. ve Kim, S.D.** (2000). Modeling of coal gasification in an internally circulating fluidized bed reactor with draught tube, *Fuel*, 79(1), 69–77.
- [141] **Lee, W.J., Kim, S.D. ve Song, B.H.** (2002). Steam gasification of an Australian bituminous coal in a fluidized bed, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 19(6), 1091–1096.
- [142] **Lee, W.J., Kim, S.D. ve Song, B.H.** (2001). Steam gasification of coal with salt mixture of potassium and nickel in a fluidized bed reactor, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 18(5), 640–645.
- [143] **Silva, V., Monteiro, E., Couto, N., Brito, P. ve Rouboa, A.** (2014). Analysis of syngas quality from Portuguese biomasses: an experimental and numerical study, *Energy & Fuels*, 28(9), 5766–5777.
- [144] **Li, X.** (2002). *Biomass gasification in a circulating fluidized bed*, (Doktora Tezi), The University of British Columbia.



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Cem Dolu

Doğum Tarihi ve Yeri: 10.03.1980, İstanbul

E-Posta: doluce@itu.edu.tr, cemdolu@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2004, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü
- **Y. Lisans:** 2007, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı Akışkan Programı.

MESLEKİ DENEYİMLER VE ÖDÜLLER:

- 2005-2013 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalıştı.
- 2014-2015 yılları arasında General Electric Aviation şirketinde araştırma geliştirme mühendisi olarak çalıştı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Dolu, C., Kuddusi, L., 2015.** The Effect Of Reactor Height On Coal Gasification, *Thermal Science*, Vol. 21, No. 5, 1937-1951, <https://doi.org/10.2298/TSCI150526112D>

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Dolu, C., Kuddusi, L., 2009.** Second Order Slip Flow Effects On Heat Transfer Performance Of Microchannels, *ASME Micro/Nanoscale Heat and Mass Transfer International Conference*, December 18-21, Shanghai, China.

