

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahmut ALTINER

**KURUTMANIN AFŞİN-ELBİSTAN LİNYİTİNİN ÖĞÜTME
KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2011

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KURUTMANIN AFŞİN-ELBİSTAN LİNYİTİNİN ÖĞÜTME
KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİ**

Mahmut ALTINER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 09/06/2011 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof.Dr. Mehmet YILDIRIM
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Oktay BAYAT
ÜYE

.....
Doç. Dr. Savaş ŞENER
ÜYE

.....
Doç. Dr. Özen KILIÇ
ÜYE

.....
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin VAPUR
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: MMF2010YL23

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KURUTMANIN AFŞİN-ELBİSTAN LİNYİTİNİN ÖĞÜTME
KARAKTERİSTLİĞİNE ETKİSİ**

Mahmut ALTINER

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM

Yıl: 2011, Sayfa: 108

Jüri : Prof. Dr. Oktay BAYAT

: Doç. Dr. Savaş ŞENER

: Doç. Dr. Özen KILIÇ

: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin VAPUR

Bu çalışmada, nem içeriğinin Afşin-Elbistan linyitinin öğütme karakteristiklerine etkisi Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi (HGI), Darbe Dayanım İndeksi (ISI), Düzeltilmiş Darbe Dayanım İndeksi (MISI) ve Öğütme deneyleri (d_{80}) yapılarak araştırılmıştır. Farklı nem içeriğinde linyit numuneleri elde etmek için değişik sıcaklık (60, 75, 90 ve 105 °C) ve sürelerde (80, 120, 160, 200 ve 240 dakika) kurutma işlemleri yapılmıştır. Yapılan kurutma işlemleri sonucunda en düşüğü %6,70 ve en yükseği %40,00 olmak üzere değişik nem içeriğinde birbirine paralel linyit numuneleri hazırlanmıştır. Kurutma sıcaklığının kurutma süresine göre daha etkili bir parametre olduğu varyans analizi tekniği uygulanarak belirlenmiştir.

Değişik boyut aralığındaki numuneler kullanılarak boyut dağılımının kırılma üzerindeki etkisini belirlemek için standart dayanım testleri yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin öğütülebilirliğini belirlemek amacı ile Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi ve öğütme deneyleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Linyit, Öğütülebilirlik, Darbe dayanımı, Nem miktarı, Isıl değer

ABSTRACT

MSc. THESIS

EFFECT OF DRYING ON GRINDING CHARACTERISTIC OF AFSIN-ELBISTAN LIGNITE

Mahmut ALTINER

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING**

Supervisor :Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM

Year: 2011, Pages: 108

Jury :Prof. Dr. Oktay BAYAT

:Assoc. Prof. Dr. Savaş ŞENER

:Assoc. Prof. Dr. Özen KILIÇ

:Asst. Prof. Dr. Hüseyin VAPUR

In this study, effect of moisture content on grinding characteristics of Afsin-Elbistan lignites were investigated using Hardgrove Grindability Index (HGI), Impact Strength Index (ISI), Measured Impact Strength Index (MISI) and Grinding tests (d_{80}). Lignite samples were dried at different temperatures (60, 75, 90 and 105 °C) and different time (80, 120, 160, 200 and 240 min) in order to obtain different moisture content of coal. At the end of these experiments, two series lignite samples whose moisture contents changed from 6,70% to 40,00% were prepared. It was determined that drying temperature was more effective than drying time using variance analysis method.

The standart strength tests were conducted to determine effect of particle size distribution on the breakage by using the samples in various size ranges. Hardgrove grindability index and grinding experiments were done in order to determine grindability of prepared samples.

Key Words: Lignite, Grindability, Impact strength, Moisture content, Calorific value

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM'ın danıŐmanlıĐında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

İlk olarak tez çalıŐmam sırasında bilgi ve birikimini benimle paylaşarak, araŐtırmalarımnda yol gösteren sayın hocam Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM'a teşekkür ederim.

ÇalıŐmalarımın yürütülebilmesi için sağladıkları olanaklar ve gösterdiği ilgiden dolayı Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı hocam sayın Prof. Dr. Adem ERSOY'a, literatürü oluŐturmamda yardımcı olan hocalarım sayın Doç. Dr. Suphi URAL ve sayın Doç. Dr. Ahmet DAĐ'a, HGI deneyleri yapabilmem için İsdemir laboratuvarlarını kullanmama izin veren Kömür, Kok ve Yan Ürünler Laboratuvar Personeline ve yardımları için Metalurji ve Malzeme Mühendisi sayın Muhammet BİLEN'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Afşin-Elbistan Linyit Havzası.....	3
1.1.1. İşletme Yöntemi.....	6
1.1.2. Havzanın Genel Jeolojisi.....	7
1.2. Afşin-Elbistan Termik Santralleri.....	9
1.2.1. Afşin-Elbistan (A) Termik Santrali.....	8
1.2.2. Afşin-Elbistan (B) Termik Santrali.....	11
1.2.3. Öğütme ve Yakma Çevriminin Çalışma Prensibi.....	12
1.2.4. Kül Atma Sistemi.....	13
1.3. Termik Santrallerin Çevresel Etkileri.....	14
1.4. Enerji Üretiminde Enerji Hammaddesi Olarak Linyitin Yeri.....	19
1.5. Linyitin Yakma İşlemi Öncesi Hazırlanmasının Faydaları.....	22
1.5.1. Linyitteki Nem İçeriğinin Azaltılmasının Etkileri.....	23
1.5.2. Linyitteki Kül İçeriğinin Uzaklaştırılmasının Etkileri.....	28
1.5.3. Linyitin Yakma Öncesi Hazırlanabilmesi İçin Öğütme Gereksinimi...29	
1.6. Çalışmanın Amacı.....	30
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	31
3. MATERYAL VE METOD.....	39
3.1. Materyal.....	39
3.2. Metod.....	39
3.2.1. Numunelerin Hazırlanması.....	39
3.2.2. Kısa Analiz Deneyleri.....	40

3.2.3. Havada Yapılan Kurutma İşleminin Nem Kaybına Etkisi	43
3.2.4. Etüvde Yapılan Kurutma İşleminin Nem Kaybına Etkisi	43
3.2.5. Darbe Dayanım İndeks Değerinin Belirlenmesi	45
3.2.6. Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks Değerinin Belirlenmesi	46
3.2.7. İş İndeks Değerinin Belirlenmesi	47
3.2.8. Düzeltilmiş Darbe Dayanım İndeks Değerinin Belirlenmesi	48
3.2.9. Öğütmeye Nem İçeriğinin Etkisinin Belirlenmesi	50
3.2.10. Farklı Nem İçeriğindeki Linyitin Isıl Değerinin Belirlenmesi	51
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	53
4.1. Havada Yapılan Kurutma İşleminin Nem Kaybına Etkisi	54
4.2. Etüvde Yapılan Kurutma İşlemleri	55
4.2.1. Tane Boyutunun Nem Kaybına Etkisi	55
4.2.2. Kurutma Sıcaklığının ve Süresinin Nem Kaybına Etkisi	56
4.3. Nem İçeriğinin Darbe Dayanım İndeks Değerine Etkisi	58
4.4. Nem İçeriğinin Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks Değerine Etkisi.....	62
4.5. Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks Değerinden Yararlanılarak İş İndeks Değerinin Belirlenmesi	64
4.6. Nem İçeriğinin Düzeltilmiş Darbe Dayanım İndeks Değerine Etkisi.....	65
4.7. Nem İçeriğinin Öğütme İşlemine Etkisi.....	71
4.8. Nem İçeriğinin Linyitin Isıl Değerine Etkisi.....	75
4.9. Deney Sonuçları Arasındaki Korelasyon İlişkileri	76
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ	95
EKLER.....	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. A ve B Termik Santrallerin tasarım parametreleri.....	8
Çizelge 3.1. Değişken parametrelerin değer aralıkları.....	44
Çizelge 3.2. Değişkenlerin gelişigüzel sıralanışı.....	44
Çizelge 3.3. Denejde kullanılacak bilyelerin özellikleri	51
Çizelge 4.1. Afşin-Elbistan linyit numunesinin kısa analiz sonuçları	53
Çizelge 4.2. Farklı sıcaklık ve kurutma süreleri sonucunda yeni nem içerikleri ..	56
Çizelge 4.3. ANOVA analizi.....	57
Çizelge 4.4 Dayanım ve öğütülebilirlik deneylerinde kullanılan numunelerin nem içerikleri	58
Çizelge 4.5. Farklı nem içeriğine sahip linyit numunelerinin (-9,5+3,15 mm) ISI değerleri	59
Çizelge 4.6 Darbe dayanım indeks değerine göre kömürün sınıflandırılması	59
Çizelge 4.7. Farklı nem içeriğine sahip linyit numunelerinin (-4,75+3,15 mm) ISI değerleri	61
Çizelge 4.8. -0,075 mm elek altı ve kalibrasyon grafiğinden bulunan HGI değerleri	63
Çizelge 4.9. Bond iş indeks değerleri	65
Çizelge 4.10. Farklı nem içeriğindeki linyit numunelerinin -9,5+3,15 mm ve -4,75+3,15 mm tane boyutunda elde edilen MISI değerleri	66
Çizelge 4.11. HGI ile MISI değerleri (-9,5+3,15 mm) arasındaki ilişkiyi gösteren formül ve korelasyon katsayıları	69
Çizelge 4.12. HGI ile MISI değerleri (-4,75+3,15 mm) arasındaki ilişkiyi gösteren formül ve korelasyon katsayıları	70
Çizelge 4.13. Öğütme şartları	71
Çizelge 4.14. Farklı nem içeriğindeki kömür numunelerinin öğütme işlemi sonucunda elde edilen d_{80} değerleri	74
Çizelge 4.15. Farklı nem içeriğindeki kömür numunelerinin ısı değerleri	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Afşin-Elbistan Havzasının yer bulduru haritası.....	4
Şekil 1.2. Afşin-Elbistan Havzasının sektör bazında rezerv dağılımı	5
Şekil 1.3. Türkiye’de elektrik üretimi kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı ..	21
Şekil 1.4. Elektrik üretimindeki kaynak payları	21
Şekil 1.5. Nem içeriğinin azalması ile birlikte santrale beslenen kömür miktarı....	24
Şekil 1.6. Nem içeriğinin azalması ile birlikte değirmen gücünün değişimi	24
Şekil 1.7. Nem içeriği ile baca gazı çıkış sıcaklığı arasındaki ilişki.....	25
Şekil 1.8. Nem içeriği ile baca gazı emisyonları arasındaki ilişki.....	26
Şekil 1.9. Toplam yıllık gider ve nem içeriğindeki azalma arasındaki ilişki.....	26
Şekil 1.10. Soğutma kulelerindeki su akışı ile nem içeriği arasındaki ilişki.....	27
Şekil 3.1. Deneysel akış şeması.....	42
Şekil 3.3. Deneyselerde kullanılan darbe dayanım aleti	45
Şekil 3.4. Hardgrove deney aygıtı	46
Şekil 3.5. Hardgrove deneyi kalibrasyon grafiği	47
Şekil 3.6. Düzeltilmiş darbe dayanım değeri deneyi aygıtı.....	49
Şekil 3.7. Enerji gideri ve bilye hacmi arasındaki ilişki	50
Şekil 3.8. Kalorimetre cihazı	52
Şeki 4.1. Afşin-Elbistan Termik santraline beslenen linyitin tane irilik dağılımı ..	53
Şekil 4.2. Atmosferik şartlarda kurutma işlemi ile nem kaybı değerleri	54
Şekil 4.3. Farklı kurutma süreleri ve sıcaklıklardaki nem kaybı değerleri	55
Şekil 4.4. Nem miktarı ile -9,5+3,15 mm tane boyutunda elde edilen ISI değeri arasındaki ilişki.....	60
Şekil 4.5. Nem içeriği ile -4,75+3,15 mm tane boyutunda elde edilen ISI değeri arasındaki ilişki	62
Şekil 4.6. Nem içeriği (%) ile HGI değeri arasındaki ilişki	64
Şekil 4.7. Nem içeriği ile -4,75+3,15mm tane boyutunda elde edilen MİSİ değeri arasındaki ilişki.....	67
Şekil 4.8. Nem içeriği ile -9,5+3,15 mm tane boyutunda elde edilen MİSİ değeri arasındaki ilişki.....	67

Şekil 4.9. HGI ile -9,5+3,15 mm tane boyutunda elde edilen MISI değeri arasındaki ilişki	68
Şekil 4.10. HGI ile -4,75+3,15 mm tane boyutunda elde edilen MISI değeri arasındaki ilişki	69
Şekil 4.11. (a) Nem içeriği %30'dan fazla olan kömür numunesinin öğütülmesi sonucu öğütücü haznenin görüntüsü (b) Nem içeriği %30'dan fazla olan kömür numunesinin öğütülmesi sonucu öğütücü haznenin görüntüsü	71
Şekil 4.12. (a) Öğütme işlemi sonucunda +1 mm elek üstü kömür numuneleri – (b) öğütücü haznenin görüntüsü.....	72
Şekil 4.13. (a) Nem içeriği %30'dan fazla olan kömür numunesinin öğütülmesi sonucu öğütücü haznenin görünümü (b) Nem içeriği %30'dan fazla olan kömür numunesinin öğütülmesi sonucu öğütücü haznenin görüntüsü	72
Şekil 4.14. Farklı nem içeriğindeki linyit numunelerine yapılan öğütme işlemi sonrası EA değerleri (60°C ve 75°C).....	73
Şekil 4.15. Farklı nem içeriğindeki kömür numunelerine yapılan öğütme işlemi sonrası EA değerleri (90°C ve 105°C).....	73
Şekil 4.16. Nem içeriği ile öğütme işlemi sonucunda elde edilen d_{80} değeri arasındaki ilişki	75
Şekil 4.17. Nem içeriği ile ısı değer arasındaki ilişki	76
Şekil 4.18. HGI ile -9,5+3,15 mm tane boyutunda elde edilen ISI değeri arasındaki ilişki	77
Şekil 4.19. HGI ile -4,75+3,15 mm tane boyutunda elde edilen ISI değeri arasındaki ilişki	78
Şekil 4.20. HGI ve öğütme işlemi sonucunda elde edilen d_{80} değeri arasındaki ilişki	78
Şekil 4.21. d_{80} ile -9,5+3,15 mm tane boyutunda elde edilen ISI değeri arasındaki ilişki	79
Şekil 4.22. d_{80} ile -4,75+3,15 mm tane boyutunda elde edilen ISI değeri arasındaki ilişki	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

Mt/yıl	:milyon ton/yıl
kJ/kg	:kilojoule/kilogram
EÜAŞ	:Elektrik Üretim Anonim Şirketi
MWh	:megawatt saat
m	:metre
Kcal/kg	:kilokalori/kilogram
KWh	:kilowatt saat
kJ/kg	:kilojoule/kilogram
mm	:milimetre
m/sn	:metre/saniye
µm	:mikrometre
mg	:miligram
mTEP	:milyon ton eşdeğer petrol
°C	:derece santigrat
TEAŞ	:Türkiye Elektrik Üretim-İletim Anonim Şirketi
TEP	:ton eşdeğer petrol
DPT	:Devlet Planlama Teşkilatı
mTEP	:milyon ton eşdeğer petrol
ETKB	:Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
kg	:Kilogram
ISI	:Darbe Dayanım İndeksi
HGI	:Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi
MISI	:Düzeltilmiş Darbe Dayanım İndeksi
XRF	:X-Ray Fluorescence
cm	:Santimetre
d ₈₀	:Malzemenin % 80'in geçtiği elek aralığı
dev/dk	:Devir/dakika
EA	:Elek altı
g	:gram

1. GİRİŞ

Enerji, insan hayatının devamlılığının sağlanmasında en önemli ihtiyaçlardan biridir. Ülkelerin gelişmişlik düzeyleri harcamış oldukları enerji ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Kömür çok eski çağlardan beri var olan ve tarihin çeşitli dönemlerinde yer yer kullanılan özellikle de yakın tarihimize damgasını vurmuş en önemli enerji kaynaklarından. 1800'lü yıllardan beri gelişen teknoloji ile birlikte kömür ve kömür kullanımının önemi anlaşılmaya başlanmış, ağır sanayinin ortaya çıkması ile yüksek enerji ihtiyacı, kömür kullanımıyla giderilmeye çalışılmaktadır.

Linyit, ısıl değeri düşük, barındırdığı kül ve nem miktarı fazla olduğu için genellikle termik santrallerde yakıt olarak kullanılan bir kömür çeşididir. Buna rağmen yerkabuğunda bolca bulunduğu için sıklıkla kullanılan enerji hammaddesidir. Taşkömürü ise yüksek kalorili kömürler grubundadır. Yerli kaynak potansiyelimizin 12,4 milyar tonunu linyit, 1,33 milyar tonunu taşkömürü oluşturmaktadır. Ülkemiz rezerv ve üretim miktarları açısından dünya ölçeğinde orta düzeyde, taşkömüründe ise alt düzeyde değerlendirilebilir. Toplam dünya linyit rezervinin yaklaşık %1,6'sı ülkemizde bulunmaktadır. Türkiye'nin toplam linyit rezervi 12,4 milyar ton seviyesinde olup işletilebilir rezerv miktarı ise 3,9 milyar ton düzeyinde bulunmaktadır. Bununla birlikte linyitlerimizin büyük kısmının ısıl değeri düşük olduğundan termik santrallerde kullanımı ön plana çıkmıştır (<http://www.enerji.gov.tr>, 2010).

Linyit rezervleri ve üretim miktarları açısından dünya ölçeğinde orta düzeyde bulunan ülkemizde, linyit yatakları içinde en büyük potansiyele sahip kömür sahası Afşin-Elbistan linyit havzasıdır ve Türkiye linyit rezervlerinin yaklaşık %47'sine sahiptir. Afşin-Elbistan Linyit Havzası diğer linyit sahalarına göre daha ekonomik örtü/liniyit oranı ile öncelikle değerlendirilmesi gereken saha olma özelliğine sahiptir (Ural ve Onur, 2000).

Afşin-Elbistan yöresinde bulunan düşük kalorili linyit kömürünün ekonomiye kazandırılması ve elektrik enerjisi üretimi amacıyla 1984 ve 2004 yıllarında üretime

başlayan iki adet termik santral kurulmuş ve toplam üretimi 116 milyar KW/h'i geçen elektrik enerjisi üretilmiştir.

Her iki santralin ülke ekonomisine 16 milyar TL'nin üzerinde bir katkı sağladığı tahmin edilmektedir. Bu denli büyük bir elektrik üretim potansiyeline sahip Afşin-Elbistan havzasındaki kömürün etkin bir şekilde değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması, enerji yatırımlarının bir plan ve program dahilinde yapılması, linyit kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Fakat Afşin-Elbistan (A) termik santralının performansı planlanan değerlerin altında gerçekleşmekte ve ayrıca çevre kirliliğine neden olmaktadır.

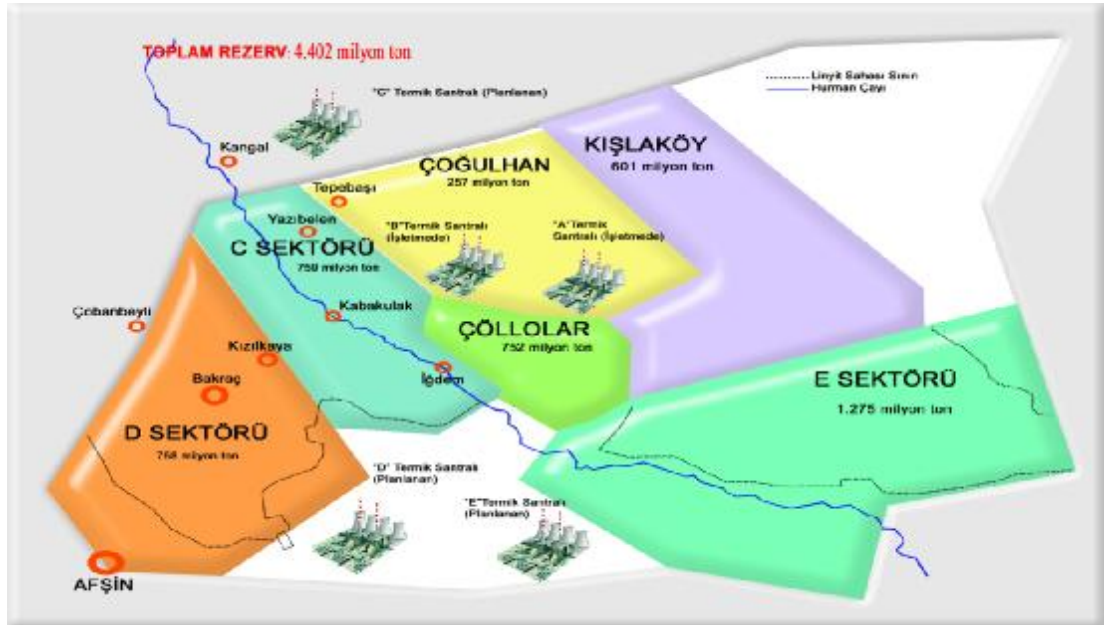
1984-1997 yılları arasında 110,7 milyon MWh elektrik üretimi öngörülmüş ancak 55,5 milyon MWh üretilmiştir. 1998 ve 1999 yıllarında enerji üretimi 8 milyar KWh, 2008 yılında 4 milyar 198 milyon KWh civarında ve 2009 yılının başlarında 1 milyar 124 milyon KWh gerçekleşmiştir (Ural ve Onur, 2000; MMO, 2010).

Termik santrallerde santral verimini doğrudan etkileyen en önemli parametrelerden birisi kazanda yakılacak kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleridir. Bu özelliklerin kazanın tasarım değerlerine uygun olması gerekmekte olup, söz konusu özellikler kömür işletmeleri ve termik santraller arasında yapılan protokollerle güvence altına alınmaktadır (Elevli ve Demirci, 2004). Kömür için kalite kriterleri; kalori değeri, kül, nem, uçucu madde ve bünyesindeki kükürt miktarı gibi yapısal özelliklerdir. Bu özellikler kömürün oluşumu ile ilgili hususlardır ve bu kriterlerin istenen düzeyde olması kömürün yanma performansını belirler. Öyle ki, Afşin-Elbistan Termik Santralinde, kazan altı ızgaralarının hava geçişleri, erimiş kül ile tıkanarak yanma veriminin düşmesine neden olmakta, erimiş veya yapışkan tortular, kazan içerisindeki ısı değiştirici yüzeylerde toplanarak ısı transferini engellemektedir. Yine bu erimiş ve yapışkan tortular kül nakliyat hattına hasar vererek santralin devre dışı kalmasına neden olmaktadır (TEK, 1990). Yanma artıklarının büyük bir çoğunluğunun uçucu olup, kazanı baca gazları ile birlikte terk etmesi durumunda; elektro filtreler aşırı derecede yüklenip parçacıkların önemli bir kısmını tutmakta yetersiz kaldıklarından, bacadan kaçan parçacıklar çevreyi kabul edilebilir sınırların ötesinde kirletmektedir (Ural ve Onur, 2000).

Termik santralin üretim performansındaki azalmanın ve akabinde çevreye verdiği zararların başlıca sebebine bakılırsa, Afşin-Elbistan linyitlerinin yanma kalitesinden kaynaklanan problemler olduğu görülmektedir. Madencilik Sektöründe de giderek önem kazanan kalite kavramı özellikle kömür madenciliğinde üretilen kömür kalitesinin kontrolü, çevresel kısıtlamalar ve termik santrallerde üretilen elektrik randımanı açısından önem arz etmektedir. Termik santralde elektrik üretim kayıplarının sebepleri incelendiğinde, teknolojik kayıplar ve işletmecilik kayıplarından bahsedilmektedir. Teknolojik kayıplar toplam kayıpların büyük bir bölümünü oluşturmakta olup günümüz koşullarında önüne geçilemeyen kayıplardır; işletmecilikten kaynaklanan kayıpları etkileyen en önemli faktör ise termik santral kazanlarında kullanılan yakıtın özellikleridir. Çünkü, kömür yakan termik santrallerde yüksek performans ve verimli üretim, ancak kullanılan kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri ile kazanın tasarım özelliklerinin uyumlu olmasıyla başarılır. Kazan tasarım özelliklerine uymayan kömür elektrik üretim verimini azalttığı gibi, yakma sistemine de zarar vererek bu sistemin ekonomik ömrünü azaltmaktadır (Aslan, 1996).

1.1. Afşin-Elbistan Linyit Havzası

Çalışma alanının Kahramanmaraş İli içindeki genel konumu Şekil 1.1’de verilmiştir. Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli Afşin L 38 a4 paftasında yer alır. Havzanın doğu bölümünde Elbistan, batı bölümünde ise Afşin ovaları yer almaktadır. Bu iki ovayı Şardağı (2300 m) ve onun uzantıları olan yükseltileri ayırmaktadır. Afşin ve Elbistan ovaları batıdan Binboğa Dağlarıyla, güneyden Şardağ, Beritdağı ve Nurhak Dağı; kuzeyden ise Hezanlı Dağı ile çevrilmiştir. Dağlar arasında kalan bu bölüm düzgün bir topografyaya sahiptir. Bölgede devamlı akan akarsuların en önemlisi Hurman Çayı’dır. Afşin-Elbistan Ovalarını, Ceyhan Nehri, Göksun, Sarsap ve Söğütlü Dereleri sulamaktadır. Bölgede karasal iklim hüküm sürmekte olup yıllık ortalama sıcaklık +11°C’dir (Meteoroloji Genel Müd.) bitki örtüsü tek düze olup, özellikle dere kenarlarındaki söğüt ve selvi ağaçları tipik bitki



Şekil 1.2. Afşin-Elbistan Havzasının sektör bazında rezerv dağılımı (Biçer, 2009)

Kışlaköy (A) sektörü: Bu sektörde sondaj, jeolojik, kimyasal, teknolojik ve hidrojeolojik incelemeleri kapsayan fizibilite çalışmaları tamamlanmıştır. Sektörde linyitin kalınlığı ortalama 40 m civarındadır. Ancak, bazı sondajlarda tüm birim içindeki linyitin toplam kalınlığı 80 metre'ye kadar ulaşmaktadır (Otto-Gold, 1969). İşletmede örtü tabakası, linyit kazısı ve nakli 60.000 m/gün kapasiteli 6 adet döner kepçeli ekskavatör 5.600 m/saat kapasiteli 5 adet dökücü, bunların yardımcı makine ve araçları dahil toplam 45 km uzunluğunda 1800 mm genişliğinde ve 5,2 m/sn hızla hareket eden band konveyörlerle sağlanmaktadır. Afşin-Elbistan (A) projesi kapsamında başlangıçta şu anda faaliyette olan Afşin-Elbistan termik santrali için 18,6 Mt/yıl ve çevre illerin yakıt gereksinimi için 1,4 Mt/yıl linyit üretimi öngörülmüş ve sektörden yılda yaklaşık 20 Mt/yıl linyit üretiminin yapılması planlanmıştır (Cicioğlu, 2001).

Çöllolar sektörü (B): bu sektörde toplam 256 adet sondaj yapılmıştır. Demirork ve arkadaşları (1978) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda bu sektörde yapılan sondajlardan 10 adedin problemlili olduğu için değerlendirme dışı tutulmuş ve

geri kalanlarında işletilebilir kalınlıktaki rezerv varlığı tespit edilmiştir. Ortalama kalınlığı 48,19 m olarak bulunmuştur.

Afşin sektörü (C): Bu sektörde kömürün kalınlığı ortalama 32,77 metredir.

Elbistan (Kuşkayası) sektörü (D): Sektörde jeolojik çalışmalar tamamlanmış, bu alanda 204 adet sondaj yapılmıştır. Ortalama kömür kalınlığı 36,14 m olarak bulunmuştur. Bilgin ve arkadaşları (1982) tarafından bu sektörün, Çöllolar sektörü kuzeyinde kalan alt bölümünde mevcut sondaj verileri kullanılarak rezerv belirleme amaçlı bir çalışma yapılmıştır. Sektörün bu alt bölümünde ortalama linyit kalınlığı 23,21 m ve 388.300.333 ton görünür ve bunun 341.562.132 tonunun işletilebilir/üretilebilir linyit rezervi olduğu saptanmıştır. Bu alt bölümde işletilebilir linyitte, dekapaj oranının 3,99 m³/ton, orijinal kömürde nem içeriği ortalama %50,33, kül içeriğinin %22,46 ve alt ısı değerinin 4702 kJ/kg olarak bulunmuştur. Diğer taraftan, bu alt sektörde yapılmış yaklaşık 51 adet sondajdan hesaplanan işletilebilir rezerve ait orijinal bazdaki analiz değerlerinde %49,51 nem, %23,33 kül, %18,27 uçucu madde, %8,16 bağlı karbon, %1,88 toplam kükürt ve 4762 kJ/kg alt ısı değer saptanmıştır. Bu örneklerin havada kuru bazdaki nem içeriği ise %11,65 olarak bulunmuştur

Elbistan sektörü (E): Bu sektörde kömürün kalınlığı 21,45 m ve rezervi 1,275 milyar tondur (Cankaya, 2005; <http://www.enerji.gov.tr>, 2010).

1.1.1. İşletme Yöntemi

Havzada bulunan iki linyit işletmesinden biri olan Kışlaköy Açık Linyit İşletmesi'nde, linyit horizonu havza ortasında yataya yakın tabakalanmaya sahipken havza kenarında 5–20° arasında tabaka eğimine sahiptir.

İşletmede, döner kepçeli ekskavatörler (Bager) tarafından kazılan örtü malzemesi ve kömür, bantlar aracılığıyla bant aktarma noktasına gönderilmektedir. Bant aktarma noktasında, kazı sahasından gelen bantlar, hareketli tamburlar

aracılığıyla döküm sahasına giden uygun bir banta göre kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Bagerler yardımıyla kazılan linyitin tamamını stok sahasına gönderilmekte, örtü malzemesi ise dökücüler tarafından dış ya da iç döküm sahasına serilmektedir (Mert, 2010).

Kışlaköy Açık İşletmesi 6 basamak halinde işletilmekte olup, işletmede her bir basamakta bir adet, toplamda 6 adet döner kepçeli ekskavatör (Bager) bulunmaktadır Bager'ler yaklaşık 3000 m³/saat kazma kapasitelidir. Bager'ler bulunduğu noktadan 30 m yüksekliğe ve yine bulunduğu noktadan 4 m. aşağısına kadar olan kesimde kazı yapabilme kapasitesine sahiptir. Duruma göre Bager'ler aynı basamakta istenilen yüksekliğe kadar kademeler halinde kazı yapabilmektedir. Kazı sahasındaki basamak yükseklikleri kazı verimi açısından kepçe çark yarıçapına (çark çapı=12,25 m) orantılı olarak en çok 18-20 m seviyelerinde tutulmaya çalışılmaktadır. Bant konveyörlerin genişliği 1800 mm, hızı 5,2 m/sn'dir. Basamaklar ilerledikçe kazıcıdan gelen örtü malzemesini taşıyan bantlar, ya açısız ya da paralel olarak bant kaydırma makineleriyle kaydırılmaktadır (Mert, 2010).

1.1.2. Havzanın Genel Jeolojisi

Afşin–Elbistan Havzası Alp Orojenezi sonunda Toros Dağları'nın yükselmesi sırasında oluşmuş kapalı bir basendir. Bölgenin tabanını Permo–Karbonifer yaşlı kireçtaşları oluşturur. Kışlaköy sahasının KD–D'sunda yer alan Kızıldağ da ise Üst Kretase yaşlı grimsi–beyaz renkli kireçtaşları yüzeylenmektedir (Yörükoğlu, 1991).

Neojen formasyonlar Kızıldağ güneyinde mostra vermekte olup diğer yerlerde Kuvaterner yaşlı çökelti tarafından örtülmüştür. Kalınlığı genel olarak 300-400 m'dir. Neojen formasyonları alttan üste doğru şöyle sıralanmaktadır;

- Ø Kırmızı, kahverengi iri taneli klastik çökeller,
- Ø Kızıl kahverengi, kumlu, marnlı sedimentler,
- Ø Yeşilimsi, mavimsi-plastik kömür altı kil ve marnları,
- Ø Kömür,
- Ø Gidy,
- Ø Yeşilimsi, mavimsi, plastik kömür üstü kil ve marnları.

Bu formasyonlardan gidyanın önemi büyüktür. Toros Dağları'nın yükselmesi ve havzanın çökmesiyle Pliosen'de bir göl oluşmuştur. Gidya denilen ve bol gastrapot fosilleri, bitki artıkları ve humuslu oluşları ile karakterize edilen bu formasyon, gölün büyük kısmına çökelmiş kömür ile ara tabakalanmalardır. Üste doğru kömürlü gidya, humuslu gidya, killi ve kalkerli gidya şeklinde sona erer. Üzerine kömür üstü kil ve marnları gelir. Kalınlığı 40-50 m'ye ulaşır. Eğimi 5-10° güneydoğu olup sahanın kuzey ve kuzeydoğusuna doğru incelenerek kaybolur (Yörükoğlu, 1991).

Pliosen'de oluşan linyit, gidyanın hemen altında 10-80 m kalınlığında ve düşük kalitelidir. Havzadaki kalınlığı doğudan batıya ve kuzeyden güneye doğru artmaktadır. Faylanma özellikle Kışlaköy sahasının doğusunda görülmektedir. Kuvaterner, Neojen çökellerinin üzerini tamamen örtmektedir. Kalınlığı 15-40 m arasında değişmektedir. Kırmızı, kahverengi, kil, lehm, çakıl, kum, yamaç molozu, eski dere yatakları çökelleri ve tatlı su kalker horizonları şeklinde bulunmaktadır. Eski dere yatakları çökelleri CaCO_3 'ün tabii çimento haline dönüşmesiyle sertleşmiş, konglomera ve kumtaşı haline dönüşmüşlerdir (Yörükoğlu, 1991).

1.2. Afşin-Elbistan Termik Santralleri

Afşin-Elbistan bölgesinde A ve B Termik Santralleri bulunmaktadır. Termik Santraller tüvenan linyite göre dizayn edilmiştir. Termik Santrallerin tasarım parametreleri Çizelge 1.1'deki gibidir.

Çizelge 1.1. A ve B Termik Santrallerin tasarım parametreleri (Dek Tmk, 2010)

Termik Santral	Gücü (MW)	Kömür			
		Kalori (Kcal/kg)	Orijinal (%)		Tane Boyutu (µm)
			Kül	Nem	
A (1,2,3,4)	4x340	1050±100	17	55	0-1000 µm
B(1,2,3,4)	4x360	1150±100	19	52	0-1000 µm

1.2.1 Afşin Elbistan (A) Termik Santrali

Havzadaki düşük kalorili bol miktarda linyit rezervinin değerlendirilmesi için 1968 yılında bir termik santral kurulmasına karar verilmiş, 1973 yılında her biri 344 MW gücünde dört ünite olarak yapımına başlanan santralin ilk ünitesi Temmuz 1984'te üretime başlamıştır. Kurulduğu yıllarda Türkiye'nin ve dünyanın en büyük termik santrallerinden biri olan, Türkiye'nin o güne kadar yaptığı en büyük kamu yatırımı olarak gösterilen Afşin-Elbistan A Termik santrali, 24 yıllık süre içinde 98 milyar KWh elektrik enerjisi üretmiş, bu zamana kadar 200 milyon tonun üzerinde linyit kömürü yakmıştır.

A santrali, Kışlaköy Bölgesi'nde çıkarılan linyiti kullanmaktadır. Çok farklı kalitelerde üretilen linyit, linyit bantları vasıtası ile 1 milyon ton kapasiteli stok sahasına gönderilmektedir. Stok sahası santralin 15 günlük ihtiyacını karşılayabilecek niteliktedir. Değişik ısıl değerdeki tabakalardan alınmış olan linyit, burada harmanlanmakta ve 1050 kcal/kg'lik ortalama ısıl değerdeki linyit, bantlarla santrale verilmektedir. Santralin yakıt ihtiyacı saatte 3000 ton'dur.

Santralde yakılan linyitten elde edilen buharın sıcaklığı 535 °C ve basıncı 197,5 kg/cm² olup, her kazanda saatte 1020 ton buhar elde edilmektedir. Bu buharla çalıştırılan buhar türbinine akuple jeneratörlerle enerji üretilmekte, jeneratör çıkışında 21.000 volt gerilim transformatörlerle 380.000 volt'a yükseltilerek enterkonnekte sisteme verilmektedir. Santralin ihtiyacı olan katma ve soğutma suyu, Elbistan'taki Ceyhan nehri kaynağından alınmaktadır. Su, her biri 1 m çapında ve 30 km uzunluğunda iki çelik boru ile santrale getirilmektedir. Santralin su ihtiyacı saatte 5400 ton'dur (TEK, 1990).

Çizelge 1.1'de verilen bilgilere ek olarak A termik santralinin kapasitesi, tasarım parametreleri ve 2008-2009 yıllarındaki üretimi aşağıdaki gibidir.

- Ø Bulunduğu Yer: Afşin/KAHRAMANMARAŞ
- Ø Kurulu Güç: 3x340 + 1x335 = 1355 MW
- Ø Nominal Yıllık Üretim Kapasitesi: 8.800.000.000 KWh
- Ø Yapımcı Firma: ABB- VKW-FOSTER WHEELER, KUTLUTAŞ-ÇARMIKLI

Ø Kömür Alma – Kül Atma Sistemi:

Ana kömür bantları	En/uzunluk (m)	Hız (m/sn)	Kapasite (ton/saat)
Stok sahası – kırıcı	2.2/214	3	2x4900
Kırıcı-kazan	2/424	3,3	2x4000
Ana kül ve curuf bantları	1,4/845	2,1	2x1400

Ø Buhar kazanları: sirkülasyonlu – benson tipi, taze buhar: 1020 ton/saat

Ø Buharın özellikleri

Kızdırıcı Çıkışı: 535 °C – 197,5 kg/cm²g

Tekrar kızdırıcı girişi: 317 °C – 42,4 kg/cm²g

Tekrar kızdırıcı çıkışı: 535 °C – 40 kg/cm²g

Besleme suyu girişi: 255 °C – 246 kg/cm²g

Ø Kömür değirmenleri: DGS/1805, çekiçli-fanlı, 6 adet/ünite, 175 ton/saat kapasite

Ø Kömür bunkerleri: 6 adet x 50 m³

Ø Toz kömür tutucuları: 6 adet/ünite, tutma verimi %99,8

Ø Kül Tutucuları: 2 adet/ünite, tutma verimi %99

Ø Baca: betonarme, ateş tuğlası kaplı tip ve 145 metre yüksekliğinde

Ø Turbo – Jeneratör:

Türbin: Kondenserli, tek ara kızdırmalı yüksek, orta ve alçak basınç kademeli, 7 ara buhar çıkışlı 4 alçak basınçlı 3 yüksek basınçlı ısıtıcı, devir sayısı 3000 devir/dakika

Jeneratör: 382 MVA güç, 344 MW aktif güç, 0,9 güç faktörü, soğutma sistemi hidrojen

Ø Ünite yükseltici trafo: nominal güç 345 MVA, nominal voltaj 21/400 kV

Ø İşletmeye Açılış Tarihi 1. Ünite: 07.07.1984 – 2. Ünite: 03.03.1985 – 3. Ünite: 05.01.1986 - 4. Ünite: 13.06.1988

Ø Kullanılan Yakıtın Cinsi: Linyit Kömürü

Ø Alt Isıl Değeri (Dizayn Değeri) : 1.050 Kcal/kg

Ø Kömür Tüketimi (Dizayn Değeri) : 2.500 g/KWh

Ø Kömürün kül/nem oranı: 0,18-0,50

Ø 2008 Yılı Brüt Üretimi (Gerçekleşen) : 4.198.350.000 KWh

- Ø 2008 Yılı Gelen Kömür A.I.D. : 1.073 Kcal/kg
- Ø 2008 Yılı Fiili Yakılan Kömür: 10.818.958 ton
- Ø 2008 Yılı Kapasite Kullanma Faktörü: %35,27
- Ø 2008 Yılı Emre amade Ol. Fak. (Üretim) :% 40,74
- Ø 2009 Yılı Brüt Üretimi: 1.124.440.000 KWh (TEK 1990; MMO, 2010).

1.2.2. Afşin Elbistan (B) Termik Santrali

2000 yılında yapımına başlanan ve 2004 yılında elektrik enerjisi üretmeye başlayan Afşin-Elbistan B Termik Santrali tıpkı A Termik Santrali gibi pulverize hale getirilen kömürün yakılması prensibine dayalı yakma sistemi kurulmuştur.

B termik santralinin kapasitesi, tasarım parametreleri ve 2008-2009 yıllarındaki üretimi aşağıdaki gibidir

Bulunduğu Yer: Afşin/KAHRAMANMARAŞ

Kurulu Güç: 4x360 MW

Nominal Yıllık Üretim Kapasitesi: 9.360.000.000 kWh

Yapımcı Firma: MHI-MITSUBISHI CORPORATION

BABCOCK-ENKA-GTT

İşletmeye Açılış Tarihi 1. Ünite: 03.03.2006

2. Ünite: 18.09.2006

3. Ünite: 23.06.2006

4. Ünite: 14.11.2006

Kullanılan Yakıtın Cinsi: Linyit Kömürü

Alt Isıl Değeri (Dizayn Değeri) : 950–1500 Kcal/kg

Kömür Tüketimi (Dizayn Değer) : 2.250 g/kWh

Kömürün kül/nem oranı : % 15 - % 48

2008 Yılı Brüt Üretimi (Gerçekleşen) : 7.241.155.000 kWh

2008 Yılı Yakılan Kömür A.I.D. : 1.044 Kcal/kg

2008 Yılı Fiili Yakıt: 15.546.424 ton

2008 Yılı Kapasite Kullanma Faktörü: %57

2008 Yılı Emre amade Ol. Fak.(Üretim) : %78

2009 Yılı Brüt Üretimi: 7.842.885.000 kWh (MMO, 2010)

(B) termik santralinin yakma prensibi (A) termik santraliyle aynıdır. Pulverize hale getirilen kömürün yakılması ile elektrik enerjisi elde edilmektedir. Kurulması aşamasında A Termik Santralinden farkı FGD sisteminin bulunmasıdır. B termik santralinde yakma öncesi her hangi bir kurutma işlemi yapılmamaktadır (Direskeneli, 2008).

2004-2009 yılları arasında santrale kömür sağlayacak Çöllolar havzasının açılmamış olması nedeniyle kömür ihtiyacı AEL–AEBTS arasına geçici olarak yapılan konveyör ile karşılanmıştır (MMO, 2010).

1.2.3. Öğütme ve Yakma Çevriminin Çalışma Prensibi

Kömür stok sahasından gelen kömürler -30 mm boyutuna düşürülerek kömür değirmenlerine ait bunkerlere gönderilir.

Her üniteye 6 adet 175 ton/saat kapasiteli çekiçli fanlı değirmenler bulunmaktadır. Değirmenler kendi emiş gücü ile ocaktan sıcak gazı emmekte ve kömür tozu-gaz karışımını yine kendi basma gücüyle kanallara sevk etmektedir. Emme ve basma gücü sevk ettiği maddenin özgül ağırlığının fonksiyonu olarak azalıp çoğalmaktadır. Değirmen fanından savrulan kömür tozlarının iri olanları savurma çemberinin dış tarafından primer sistemine, ince taneli olanlar ise brüden sistemine gitmektedir. Değirmen fanı bölgesinde kendi kütleli kuvveti ile kanallara yönelen kömür tozları; primer sisteminde kanalın doğal çekişi ve ocak vakumunun etkisi ile yakıcılara ulaşmakta, brüden hattına yönelen kömür tozu ise brüden kanalının doğal çekişi ve brüden fanının emişi ile brüden filtresine, buradan da brüden yakıcılarına gelmektedir. değirmende öğütülen linyitin %70'i primer hatlarına ve %30'u da brüden hatlarına gidecek şekilde dizayn edilmiştir. Benzer şekilde gaz ayrışma oranının da belli değerde olması gerekir. Değirmenin ocaktan emdiği sıcak gaz ile ilave edilen soğuk gaz ve linyitten gelen su buharının toplamının %60'ı brüden filtresi üzerinden atmosfere, %40'ının ise primer yakıcılardan ocağa gitmesi gerekmektedir.

Her üniteye 12 adet primer yakıcısı olup bunlardan atlısı 27 m kotunda, altısı da 20 m kotuna yerleştirilmiştir. Ayrıca 6 adet brüden yakıcısı ve 6 adet de fuel-oil yakıcısı bulunmaktadır. Brüden ve fuel-oil yakıcıları kazanın 15 m kotuna yerleştirilmişlerdir. Primer kömürü değirmen çıkışından sonra doğrudan yakıcılara ulaşmaktadır. Brüden kömürü ise önce Brüden filtresi altındaki bunkerlere gelmekte ve buradan Brüden yakıcılar vasıtası ile ocağa püskürtülmektedir. Brüden yakıcıların düşük kota yerleştirilmesi, yani Brüden kömürünün primer yakıcıların altından ocağa verilmesi ocakta dengeli bir yanmayı sağlamak içindir.

Düşük kalorili primer kömürü daha yüksek kalorili Brüden kömürü ile desteklenerek dengeli bir yanma düşünülmüştür. Primer yakıcıların dengeli çalıştırılması Brüden kömür miktarına bağlıdır. Brüden kömürünün toplam yanma içindeki payı %30'dur (TEK, 1993).

1.2.4. Kül Atma Sistemi

Kömürün içindeki anorganik maddeler yanma sırasında oksitlenerek ve parçalanarak geride oksitlerden oluşan bir artık bırakır. Bu artığa "kömürün külü" ve külün oluşmasına neden olan anorganik maddelere de "kömür mineral madde içeriği" adı verilmektedir. Kazan işletmeciliğinde küller; uçucu kül ve cüruf olarak sınıflandırılır.

Cüruf: Kazan altındaki son yakma ızgarasından cüruf teknesine dökülen küllerdir.

Uçucu kül: Temizleme kanallarında, bacalarda ve elektrostatik filtrelerde toplanan, kömürün yanan ve yanmayan elemanlarına denir.

Afşin-Elbistan termik santralindeki kazanların toplam kül atma kapasitesi 172 ton/saat olup; ocakta oluşan toplam külün %80'i uçucu kül ve %20'si cüruf olacak şekilde tasarlanmıştır.

Kazan altında biriken cüruflar bunkerlere nakledilir. Kazan çıkışındaki elektro filtrelerde tutulan uçucu küller ise pnömatik olarak kül bunkerlerine gönderilir. Bunkerlerde nemlendirilen uçucu kül ve cüruf konveyör sistemi ile toprak döküm sahasına nakledilir (Fischer, 1978).

1.3. Termik Santrallerin Çevresel Etkileri

Kömürün, enerji üretimi amacıyla çeşitli yakma sistemlerinde yakılması, önemli ölçüde hava, su ve toprak kirliliği yaratmaktadır.

Kömürün yakılması sonucu oluşan; karbondioksit, kükürt oksitler, azot oksitler gibi çeşitli gazlar, kurum ve kül gibi katı tanecikler ve çeşitli hidrokarbon bileşikleri başlıca **hava kirliliği** kaynaklarıdır. Yanma gazları ile atmosfere atılan bu kirleticiler, güneş ışığının etkisi ile veya atmosferde bulunan diğer bileşiklerle tepkimeye girerek; ozon, aerosol, nitrat, nitrit ve çeşitli asitler gibi ikincil kirleticileri de oluşturmaktadırlar (Barbir ve Veziroğlu,1992).

Hava Kirliliğine Neden Olan Kirleticiler;

a. Kükürt Oksitler: Özel tedbirler alınmadığı takdirde, kömürün yakılması sonucu oluşan kükürt oksitlerin miktarı, kömürün yanar kükürt içeriği ile doğru orantılıdır. Kömürün içerdiği kükürt türleri; organik ve inorganik olmak üzere iki çeşittir. Kömürde hidrokarbon yapıya bağlı olarak bulunan tüm kükürde organik kükürt denir. Kalsiyum, demir, bakır ve magnezyum tuzları halinde bulunabilen sülfat kükürdü gevşek kristaller halindedir. Kömürün içerdiği sülfat kükürdünün miktarı oldukça azdır, fakat hava ile temas ettikçe artar. Disülfür kükürdünü, büyük ölçüde demir sülfürün iki kristal şekli olan pirit ve markazit oluşturur (Meriçboyu ve Ark., 1998).

Kömür yanarken, içerdiği kükürtlü bileşikler de yanar. Kükürdün yüksek sıcaklıklarda kararlı olan bileşiği kükürt dioksittir. Ancak nispeten az miktarda kükürt oksit de oluşmaktadır. Genellikle kömürün içerdiği kükürdün %92-98 kadarı kükürt dioksite, ortalama %5 kadarı da kükürt okside dönüşmektedir. Yanma sırasında oluşan kükürt oksidin miktarı, yakma ünitesindeki sıcaklık profiline ve hava fazına bağlıdır. Kükürt oksidin, suyla hızla tepkimeye girerek sülfürik asidi oluşturduğu bilinmektedir. Kömürün yanması sonucu oluşan kükürt oksitlerin bir kısmı yakma sistemindeki kül tarafından kimyasal olarak tutularak sülfatları oluşturmaktadır. Tutulan kükürt oksitlerin miktarı oluşan külün bileşimine bağlı olarak değişmektedir (Shen, 1980).

b. Azot Oksitler: Azot oksit emisyonları, tek başlarına ya da diğer kirlenmelerle birlikte yerel ve bölgesel etkileri arttırıcı özelliktedirler. Yakma tesisi olan tüm endüstrilerde, hava içerisinde yüksek miktarda bulunan azot, yüksek sıcaklıklarda oksijenle birleşerek; $N_2(g) + O_2(g) \rightarrow NO(g)$ bileşimini oluşturur.

Azot oksitleri de kükürt oksitleri gibi asit yağmurlarına neden olur. Bu gazların havada bulunması hava kirliliğine, su ile birleşerek asit oluşturduklarında ise toprak ve su kirliliğine neden olur (Baykan, 2004).

c. Hidrokarbonlar: Kömürün yakılması sonucu oluşan baca gazları, eser miktarda oluşmuş çeşitli polisiklik aromatik bileşikler içeren kompleks organik gazları da içermektedir. Fosil yakıtlar maksimum verimle yakılmaz ise, karbon monoksitin yanı sıra hidrokarbonlar ve diğer organik maddeler de yayılır. Yakma verimi yakıtın türü ve yakma sisteminin tasarımı hidrokarbon yayılımını etkiler. Her fosil yakıtın yanması sonucu, iki veya daha fazla aromatik halka içeren, çok sayıda bileşik oluşur. Polisiklik organik madde yayılımı ile diğer yayınımlar kıyaslandığında, baca gazındaki karbon monoksit ve toplam hidrokarbon miktarı fazla olunca bu yayılım oranının da yüksek olduğu saptanmıştır (Sawyer 1971; Shen 1980).

d. Karbon monoksit: Renksiz, kokusuz, tatsız, yanıcı ve zehirleyici bir gazdır (Calvert ve Englund, 1984). Karbon içeren yakıtların ideal olmayan koşullarda tam olarak yakılamaması karbon dioksit gazı yerine karbon monoksit gazının oluşumuna neden olur. Yakıtların kısmi yanması; oksijen miktarı, alev sıcaklığı, yanma gazlarının yüksek sıcaklıkta kalma süresi ve yakma odası türbülansı gibi faktörlerinin yeterince yüksek olmaması sonucu meydana gelmektedir (Masters, 1991).

e. Karbondioksit: Karbonlu yakıtların tam yanma ürünü olan karbondioksit (CO_2), zehirli olmayan, renksiz, kokusuz ve suda çözünebilir bir gazdır (Calvert ve Englund, 1984). Atmosferin doğal olarak oluşan bir bileşeni olan karbondioksitin canlılar ve diğer malzemeler üzerinde belirgin bir olumsuz etkisi yoktur. Ancak fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan karbondioksitin atmosferdeki derişiminin artması yarattığı sera etkisi nedeniyle istenmemektedir (Abrahamson, 1989; Allen, 1989).

f. Ozon: Atmosferdeki ozonun yaklaşık %10'u atmosferin alt katlarında troposferde bulunur. $1 m^3$ havada $8 mm^3$ kadar ozon bulunur. Yeryüzüne yakın

atmosfer tabakalarındaki ozonun başlıca kaynağı, azot oksitlerin ultraviyole ışınları ile fiziko sismik reaksiyona girmesidir. Fotokimyasal pusun (smog) en önemli bileşeni olduğu için, bu seviyede başlıca hava kirleticilerinden biridir. Buna karşılık yaklaşık %90'nın bulunduğu stratosferdeki ozon, troposferdekinin aksine canlı yaşamında önemli rol oynar. Atmosferin üst katlarında ultraviyole ışınlarını emerek yeryüzündeki yaşam üzerinde olumlu bir etki yapar. Diğer yandan ozon bu ışınların emilmesi nedeniyle, iklim değişikliğinde rol oynayan sera gazları arasında dördüncü sırada gelir (Baykan, 2004).

g. Partikül Maddeler: Kömürün yakılmasından kaynaklanan taneciklerin boyut dağılımı ve miktarı, kömürün özelliklerine ve yakıcı tipine bağlı olarak değişmektedir. Tanecikler, geniş bir aralıkta değişen tane boyutuna ve bileşimine sahip olabilmekte ve uçucu gazlar tarafından yakma odasının dışına taşınmaktadır. Uçucu gazla taşınan tanecikler toz veya grit şeklinde olabilmektedir. Kömürün yakılmasından kaynaklanan tanecikler kimyasal olarak; karbon, silis, alümina, demir oksit, kükürt ve organik bileşiklerden oluşmaktadır. Ayrıca, eser miktarlarda diğer elementler de bulunabilmektedir. Yanma ürünleri olarak oluşan fume, duman ve fotokimyasal aerosoller 0,1-1 mikrometre çapındaki taneciklerin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bunlar, boyutları küçük olduğu için uzun süre atmosferde serbestçe yüzen bir konumda askıda kalma eğilimine sahiptir ve genel olarak askıda kalan tanecikler olarak adlandırılmaktadır (Painter, 1974).

h. Termal (Isıl) Kirlenme: Termik santrallerde üretilen enerjinin sadece %30-40 oranındaki bir bölümü elektrik enerjisine dönüştürülebilmekte, kalan kısmı ise “kaçak enerji” olarak adlandırılmakta ve ısı kazanından radyasyon ile çıkmakta ya da baca gazıyla birlikte bacadan atılmaktadır. Bacadan kaçan malzemeyi korumak için kazan çıkışında gaz ve buhar sürekli soğutulmakta ve bu nedenle santralin büyük miktarlarda soğutma suyu kullanması gerekmektedir (Baykan, 2004). Kömürün yakılması sonucu çevre kirliliği yaratan temel kirleticilere ilave olarak çevreye yayılan diğer kirleticiler; asit sisi, eser elementler, radyoaktif atomlar ve atık ısıdır (Karatepe ve ark., 1998b).

ı. Ağır Metaller: Fosil yakıtların ağır metal içerikleri de, diğer kirleticilerde olduğu gibi yakıtın cinsine ve kaynağına göre değişmektedir. Yakıttaki elementin

konsantrasyonu, kazan tipi baca gazı emisyonu kontrol aygıtının yapısı, termik santralden atmosfere verilen ağır metal emisyon miktarlarını belirler (Baykan, 2004).

i. Kadmiyum: Uzun süreli kadmiyuma maruz kalma böbrek fonksiyonlarını bozmaktadır. 1940 yıllarda kadmiyumla kirlenme sonucu itaitai hastalığı tanımlanmıştır. Kömür ve petrolün yanması havadaki ve sudaki kadmiyumun çoğundan sorumludur. Kadmiyuma uzun süre maruz kalmak “Amfizem” hastalığına da yol açar (<http://www.ssto.org.tr>).

j. Arsenik: Doğada çok yaygın bulunur Bazı yer altı sularında orantısız yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Su için önemli bir tehlikedir. Arseniğe sürekli maruz kalınması özellikle primer olarak avuç içi ve ayak tabanlarında deri lezyonlarına yol açar. Kronik olarak maruz kalanlarda 5 ile 25 yıl sonra deri kanseri meydana gelir İçme suyundan sürekli etkileşim; aşırı terleme, solukta sarımsak kokusuna, kas ağrılarına ve bitkinliğe, deri renk değişikliklerine, el ve ayaklarda uyuşmaya, çeşitli damar hastalıklarına ve ayaklarda kangrene yol açar (<http://www.ssto.org.tr>).

k. Kurşun: Termik santrallerde kömürün yanması sonucu oluşan kurşun özellikle çocuklarda önemli bir zehirlenme nedenidir. Sanayi devriminden önce vucut kurşun yükü yaklaşık 2 mg iken, endüstrileşmiş toplumlarda 200 mg'dır. Kurşun; beyni, sinir sistemini, alyuvarları ve böbrekleri etkiler, bilinç kaybı ve komaya yol açar. Termik santrallerden kaynaklanan küllerin ve cürufların yüzeyinde tutunurlar. Kurşun zehirlenmesi özellikle santral sinir sistemi için önemlidir ve huzursuzluk koordinasyonsuzluk, hafıza kayıpları, uyku bozuklukları, keyifsizlik, baş ağrısı, uyuşukluk, baş dönmesi gibi etkiler yapar (<http://www.ssto.org.tr>).

l. Cıva: Cıva en çok sanayi işlemleri, atık boşaltımı ve kömür yakılması ile havaya karışmaktadır. Atmosferde dolaştıktan sonra özellikle okyanuslarda ve su yollarında yerleşmektedir. Buralarda bulunan bakteriler civayı emip metil cıva adlı çok zehirli organik bileşiklere dönüştürmektedir. Dünya genelinde hükümetler, aşırı cıvaya maruz kalmamak için bazı balık türlerinin tüketiminin azaltılması konusunda halklarını uyarmaktadır. İnsan sağlığı çok küçük miktarda cıva ile birlikte tehlikeye girmektedir. Cıva klasik bir küresel kirleticidir. Bir kaynaktan salındığında, dünyaya

hemen yayılabilir ve asıl kaynağının çok uzağına ulaşır besin kaynaklarına girebilir (<http://www.ssto.org.tr>).

Termik santrallerde buhar üretme, soğutma ve temizleme işlemleri için önemli miktarlarda su kullanılmaktadır. Kullanılmış sular tekrar alındıkları kaynağa verilirken kirliliğin artmasına neden olmaktadır. Bunlardan başka baca gazları ile birlikte ortama verilen uçucu küllerden yağmur suları ile taşınan bileşenler yüzey ve yeraltı sularında çeşitli kirliliklere sebep olmaktadır (Türkmenoğlu, 2010).

Yeraltı ve Yüzey Suyu Kirliliği: Atık depolama tesisinden asidik su akıntısı, kükürlü demirlerin (pirit ve markazit) oksitlenip daha sonra suda çözünmesiyle oluşur. Eğer tedbir alınmazsa ortaya çıkan asidik eriyik ya akar gider, ya da önce dolgunun içine doğru çekilir ve daha sonra dolgudan dışarı sızarak yer üstü ve yeraltı sularını kirletir. Tüm başarılı kirlilik kontrolü programlarında olduğu gibi, kirliliğin kaynağında durdurulup en az seviyeye indirilmesi en iyi kontrol yöntemidir. Asidik akıntı durumunda, en iyi kontrol yöntemi, dolguda hava şartlarının etkisine maruz kalacak yüzey miktarını azaltmaktır. Dolgu yapısı geliştikçe açığa çıkan şev yüzeyleri, mümkün olduğu kadar çabuk bir şekilde toprak tabakasıyla örtülüp bitkilendirilmelidir (Sevim ve ark., 1998)

Yerküre ekosisteminin bir parçası olan ve ana kaya ile arazi yüzeyi arasındaki kısımda yer alan toprak, en önemli doğal üretim kaynaklarımızdan biridir. Doğal kaynakların korunması konusunda toprakların ekolojik ve insan faaliyetlerine bağlı önemli özellikleri vardır. Öncelikle toprak, doğal bir kaynaktır ve canlılar için esin kaynağı ortamıdır, transformatördür. Toprak, insan ve tüm canlı yaşamını destekleyen en önemli sistemdir. Yeryüzünde tarımsal üretimin kapasitesini belirler.

Toprak bir çok formda ve çeşitli derecelerde kirlilik yaratan maddeler için en büyük filtredir. Toprak, CO₂, metan ve N₂O içeren biyokimyasal dönüşümde en önemli kaynaktır. Bu nedenle artan nüfusun tüm ihtiyaçlarının karşılanması, toprak ve su gibi doğal kaynakların bilinçli ve ekonomik biçimde kullanılması, değerlendirilmesi ve geliştirilmesi ile mümkün olabilecektir. Türkiye'deki linyitlerde önemli miktarda radyoaktif madde ile zehir etkisi yaratan elementler bulunmaktadır. Bu linyitlerin yakılması ile radyoaktif maddeler ve diğer ağır metaller partikül madde halinde baca gazıyla birlikte atmosfere yayılırlar. Ayrıca, bacalara kurulan filtre

sistemlerinde tutulan uçucu küller ile yakma kazanı dibinde oluşan taban külleri büyük yığınlar halinde atık depolama alanlarında biriktirilmektedir ya da toprakla karıştırılarak gömülmektedir. Bütün bu etkiler, santral çevresindeki topraklarda verim kaybına, tarımsal ürünlerin zarar görmesine ve bitki örtüsünün olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır (Baykan, 2004).

Uçucu küllerin bünyesinde; Sb, As, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag, Zn, vb. elementler bulunmakta ve her biri canlılar üzerinde çeşitli toksik etkiler oluşturmaktadır. Yine kömürün yakılması ile ortaya çıkan radon, uranyum, toryum gibi radyoaktif elementler insan sağlığını olumsuz etkilemektedir.

Termik santrallerin çevresindeki topraklar aşağıdaki şekillerde kirlenmektedir;

- a. Baca gazındaki kükürt dioksitin asit yağmuru şeklinde toprağa geçmesi ve toprağın kimyasal yapısının zamanla değişmesi,
- b. Baca küllerinin kül yağmuru olarak toprağa yağması ve toprağın fiziksel ve kimyasal yapısının zamanla değişmesi,
- c. Radyoaktif maddeler içeren kömür kullanan termik santrallerde, baca külleri ile radyoaktif maddelerin toprağa karışması,
- d. Termik santrallerin kirlettiği akarsuların tarım topraklarının sulanmasında kullanılması ile bu kirliliğin topraklara geçmesi ve tarım topraklarını kirlenmesi,
- e. Termik santrallerin oluşturduğu asit yağmurlarının ormanları kurutması ve bu alanlardaki topraklarda erozyonunun hızlanması (Baykan, 2004).

1.4. Enerji Üretiminde Enerji Hammaddesi Olarak Linyitin Yeri

Günümüzde kullanılmakta olan enerji kaynaklarının, toplam potansiyel içerisindeki dağılımları, kullanım oranları ve geleceğe yönelik trendler açısından birlikte değerlendirilmesi, kaynakların durumunu daha açık bir şekilde ortaya koymaktadır. İlk olarak tüketimdeki paylarına bakıldığında günümüzde en büyük payın fosil yakıtlara ait olduğu bilinmektedir (Arslan,2009).

Tüketim oranlarının yanında kaynakların potansiyeline de bakılması, tüketimin kaynaklara göre nasıl bir gelişim trendi gösterebileceği konusunda bilgi

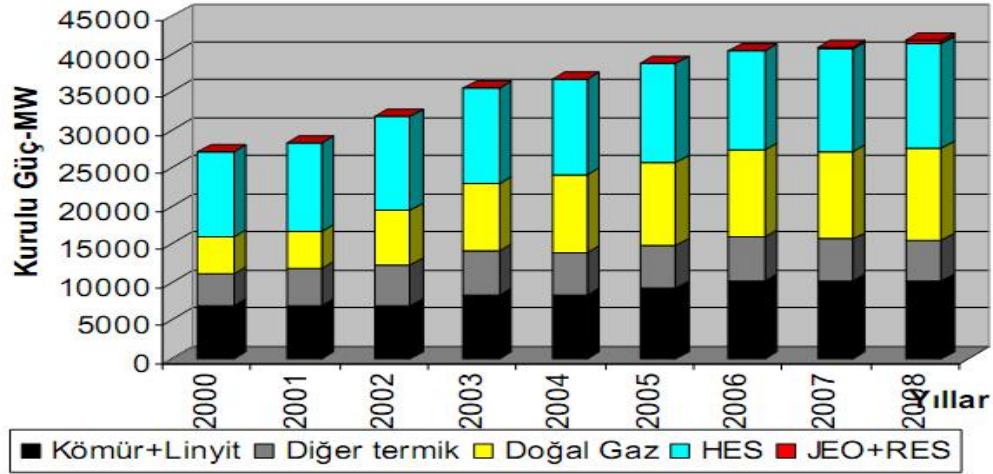
vermektedir. Burada önemli olan tüketimin % 80'inden fazlasını oluşturan fosil kökenli yakıtların durumudur. Rezerv miktarının çokluğu, kömürün uzun vadeli yeterliliğini beraberinde getirmektedir. Mevcut üretim seviyeleri ile, dünya görünür kömür rezervlerinin 120 yılı aşkın bir sürede tüketileceği tahmin edilmektedir. Buna karşılık görünür petrol ve doğal gaz rezervlerinin tükenme ömürlerinin mevcut üretim seviyeleri ile sırasıyla 40 ve 60 yıl süreceği tahmin edilmektedir (Laer, 2010).

Türkiye'deki en önemli yerel kömür kaynağı linyittir. Ülkede büyük ve yaygın linyit kömürü madenleri mevcuttur. 1998-2004 yıllarında 65 Mt seviyesinden 43 Mt'a sürekli bir düşüş içinde olan linyit kömürü üretimi, son beş yıldır sabit bir artış göstererek 2008 yılında 75 Mt seviyesine ulaşmıştır (Keskin ve Ünlü, 2010).

Linyit sahaları ülkemizde bütün bölgelere yayılmış olup bu sahalardaki linyit kömürünün ısı değerleri 1000-5000 Kcal/kg arasında değişmektedir. Linyit rezervlerinin %88'i ekonomik açıdan uygun olmasına rağmen, bunlardan ancak %8,4'ü kilogram başına 3.000 Kcal'den fazla ısı içeriğine sahiptir. Geri kalan rezervlerin kalori değerleri ise şöyledir: %68'i 800-2000 Kcal/kg; %23,5'i 2000-3000 Kcal/kg; %5,1'i 3000-4000 Kcal/kg ve % 3,4'ü 4000 Kcal/kg üstü olarak belirlenmiştir (Keskin ve Ünlü, 2010).

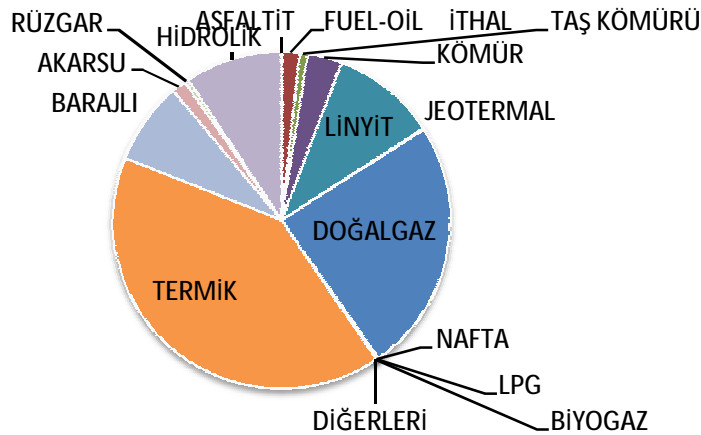
Türkiye enerji sektöründe 45.000 MW kurulu güce erişen çok sayıda elektrik enerjisi tesisine sahiptir. Bu yatırımların %65'i fosil yakıt bazlıdır ve bunların emre amadeliği yüksek olduğu için de enerji üretimine katkısı %83'tür.

Türkiye'de uzun yıllardır gözlemlenen kalkınma ve nüfus artışı kaynaklı yüksek talep artışı son yıllarda da devam etmektedir. Elektrik sektörü 2008 yılında bir önceki yıla göre % 2,5 kapasite artışı ile 41,8 MW, 2009 yılında % 7,2 artış ile 44.800 MW ve 2010 Haziran ayı itibariyle 45.689 MW kurulu güce ulaşmıştır. Kurulu gücün yıllar ve yakıt türlerine göre gelişimi Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.3. Türkiye’de elektrik üretimi kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı (Keskin ve Ünlü, 2010)

2000 yılında toplam kurulu gücün %25,6’sı kömür, linyit ve diğer konvansiyonel yakıtlardan, %18’i doğalgaz, %41’i hidrolik kaynaklardan oluşmuş iken 2008 sonu değerlerine göre %30’u kömür, linyit ve diğer konvansiyonel yakıtlardan, %36’sı doğalgaz, %33’ü hidrolik ve %0,07’si jeotermal ve %0,87’si rüzgar santrallerinden oluştuğu görülmektedir. Son yıllarda doğal gazın kurulu gücün içerisindeki payı artarken, hidroliğin de içinde yer aldığı yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güçteki payı düşmektedir. Yeni yenilenebilirler olarak bilinen jeotermal, rüzgar ve biyokütle santrallerinin sayısının hızla artmasına rağmen toplam kurulu güçteki payları sınırlı kalmaktadır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Elektrik üretimindeki kaynak payları (MMO, 2010)

Ülkemizde 2007 yılında üretilen birincil enerjinin %54'ü, 2008'de ise %57,11 (16.671 mTEP) ile yerli kömürdür. Ancak kömürün birincil enerji tüketimindeki payı, doğal gaza verilen ağırlık nedeniyle, 2000 yılında %15,5 iken 2007 yılında %13,6 seviyesine gerilemiştir. 2008'de ise %15,69 olarak gerçekleşmiştir. 1990 yılında 2,745 milyon ton olan yerli taş kömürü üretimi, 2000 yılında 2,392 Mt'a gerilemiş, 2007 yılında 2,462 Mt, 2008'de ise 2,220 Mt olarak gerçekleşmiştir. Oysa taş kömür ithalatı 1990'da 5,557 Mt iken, 2007 yılında %304,82'lik artışla 22,496 Mt'a ulaşmıştır. 2008 yılında ithalat %15 seviyesine düşerek 19.489.000 ton olmuştur. (<http://www.mmo.org.tr/>).

2009 yılı üretimi, Türkiye toplam elektrik üretiminin %80,73'üne karşılık gelmektedir. Kaynaklar açısından bakıldığında ise, toplam elektrik üretiminin %48,7'si doğalgazdan, %20'si yerli kömürden, %6,60'ı ithal kömürden, %3,80'i ise sıvı yakıtlardan sağlandığı görülmektedir (Keskin ve Ünlü, 2010).

1.5. Linyitin Yakma İşlemi Öncesi Hazırlanmasının Faydaları

Kömür fiziksel özellikleri ve yataklanmaları nedeniyle değişik özellikler gösterir. Zenginleştirilmesi ve hazırlanmasında bu özellik farklılıklarının yanında yan taşlarının da özellik farklılıkları önemlidir. Kömür zenginleştirmede temel amaç kömürün ısı değerini yükseltmek ve yakıldığı zaman çevre kirliliğinin az olmasını sağlamaktır. Kömürdeki yabancı maddeler kül, kükürt ve nemdir. Bunlar arasında kül ve nem ısı değeri düşürür. "S" ise çevre kirliliği yaratması nedeniyle kömürden uzaklaştırılmalıdır. Buna ilave olarak ağır metal buharları ve azotta çevre kirliliği yarattığı için santrale beslenmeden önce temizlenmesi gerekmektedir. Tüketim alanlarının tercihlerine göre ise belirli kalorifik değere ve boyut dağılımına ulaşmak gerekir. Örneğin termik santral yakma kazanına beslenen kömürlerin belirli boyut dağılımında ve ısı değeri kabul edilir. Halbuki bu özellikteki kömür doğada nadiren bulunmaktadır. Bu nedenle kömürden kül atma gereksinimi doğmaktadır. Son yıllarda bütün dünya ülkelerinde çevresel duyarlılık arttığı için yakılması gereken kömürün kükürt ve iz element içeriğinin az olması istenmektedir.

1.5.1. Linyitteki Nem İçeriğinin Azaltılmasının Etkileri

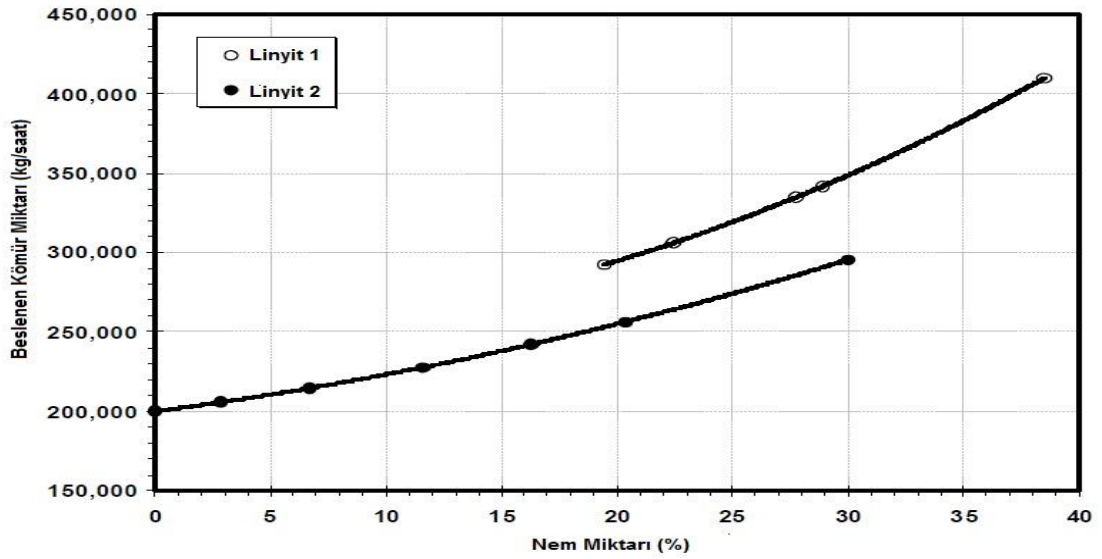
Kömür dayalı çalışma mekanizmasına sahip olan termik santrallerin yakma öncesi herhangi bir temizleme işlemi olmaması nedeniyle çevrenin kirlenmesine neden olduğu bilinmektedir. Son yıllarda elektrik enerjisi ihtiyacının giderilebilmesi için düşük kalorifik değer ve yüksek nem içeriğindeki kömürlerin kullanımı artmakta ve termik santraller kömürün özelliklerine göre dizayn edilmektedir.

Termik santraller yüksek nem içerikli kömürün yakılması üzerine dizayn edilmiş olsalar da bu durum önemli bir dezavantajdır. Mevcut linyit yakma öncesi verimli bir kurutma işlemine tabi tutulmadığından, nem miktarı yüksek kömür tanecikleri yakma kazanında yanarken önce birlikte bulunduğu suyu buharlaştırmakta, kalan ısı enerjisi ancak buhar türbini için gerekli olan su buharının elde edilmesinde harcanmaktadır. Yani nem içeriği ısı çalmaktadır. Bunun sonunda enerji elde etme verimi düşmektedir (Levy, 2005).

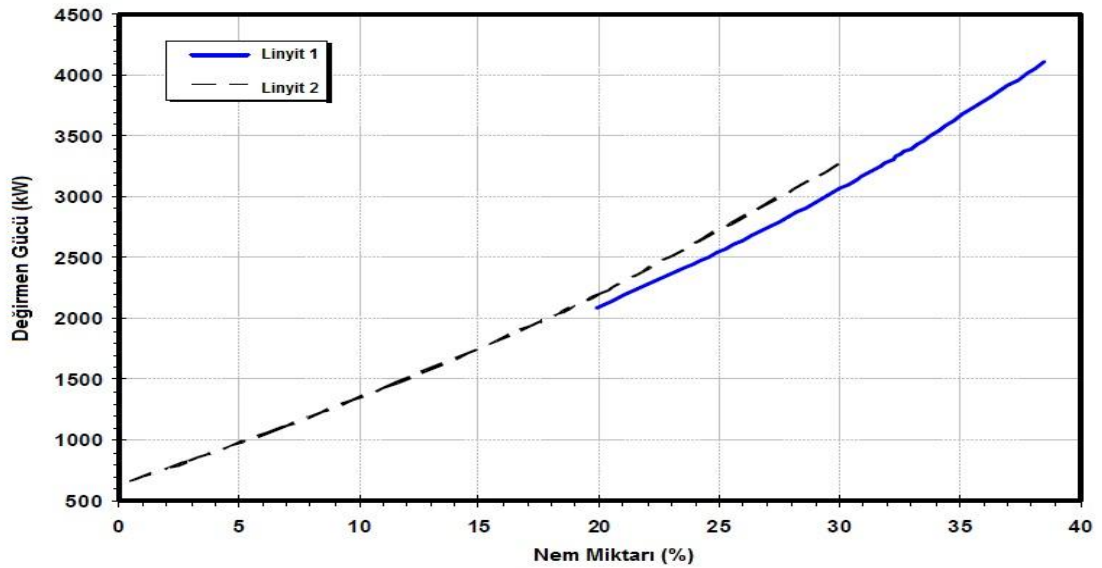
Santralde yakılan kömürün nem içeriğinin santral kazanına, performansına ve baca gazı emisyonlarına etkisi bilinmektedir. Ayrıca kömürdeki nem içeriği ısı değerini düşürmesi ve emisyonların artmasına sebep olmasının yanında, kazanda buharlaştırma için 1000 btu/lb (552,6 kcal/kg) enerji gereksimi ortaya koymaktadır. Nem içeriğindeki her %1 artışa karşılık ısı gereksinimi 20 btu/kWh artmaktadır (Arslan, 2009).

Kömürün içerdiği nem miktarı azaldığında, kömürün ısı değeri yükselmektedir. Böylelikle kazanda buharlaştırma için gerekli olan enerji miktarı daha az miktarda kömür ile elde edilebilmektedir (Şekil 1.5).

Kömür kurutma işlemine tabii tutulduğu zaman santrale beslenmesi gereken kömür miktarı azalacağından değirmene beslenen kömür miktarı azalarak değirmenin harcadığı enerji miktarı azalacaktır. Ayrıca kurutma işlemiyle kömürün öğütülebilirliğe karşı olan dayanımı azaldığı için daha az enerji kullanılarak kömür pulverize hale getirilmektedir. (Şekil 1.6). Öğütme öncesi yapılacak olan kurutma işlemi ile elde edilecek tane boyutu düşecek ve ateşleme sıcaklığı bununla birlikte yükselecektir (Cassel ve Liebman, 1959).



Şekil 1.5. Nem içeriğinin azalması ile birlikte santrale beslenen kömür miktarı (Levy ve ark, 2006)

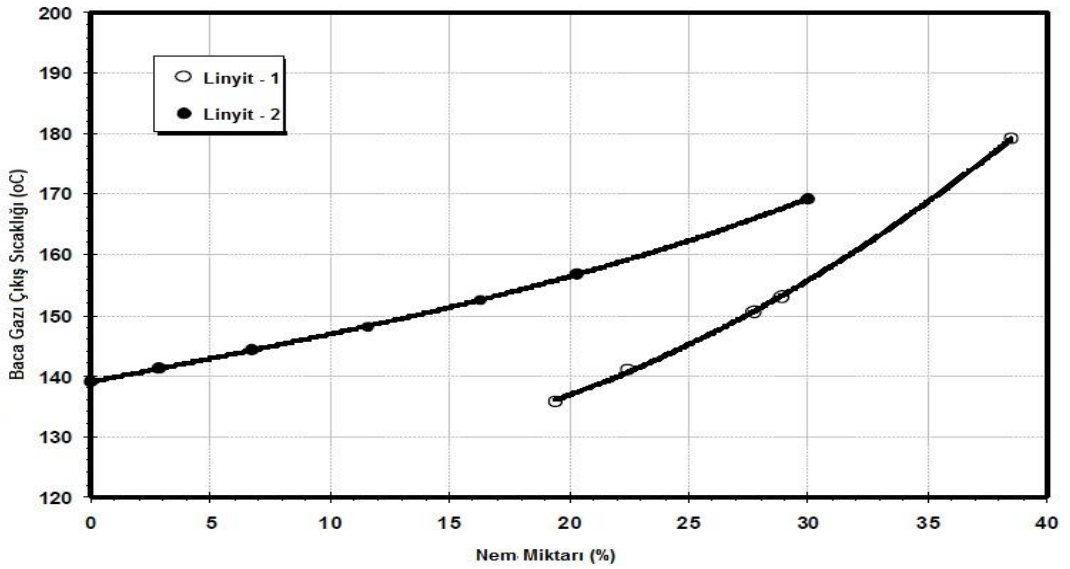


Şekil 1.6. Nem içeriğinin azalması ile birlikte değirmen gücünün değişimi (Levy ve ark, 2006)

Yanma sonrasında oluşan kül miktarı da giren kömür miktarının azalması ile doğru orantılı olarak azalacaktır. Kazana giren kül miktarı azaldığında kül birikim süreci de uzayacağından kazanın bakım periyodu aralığı da uzayacaktır.

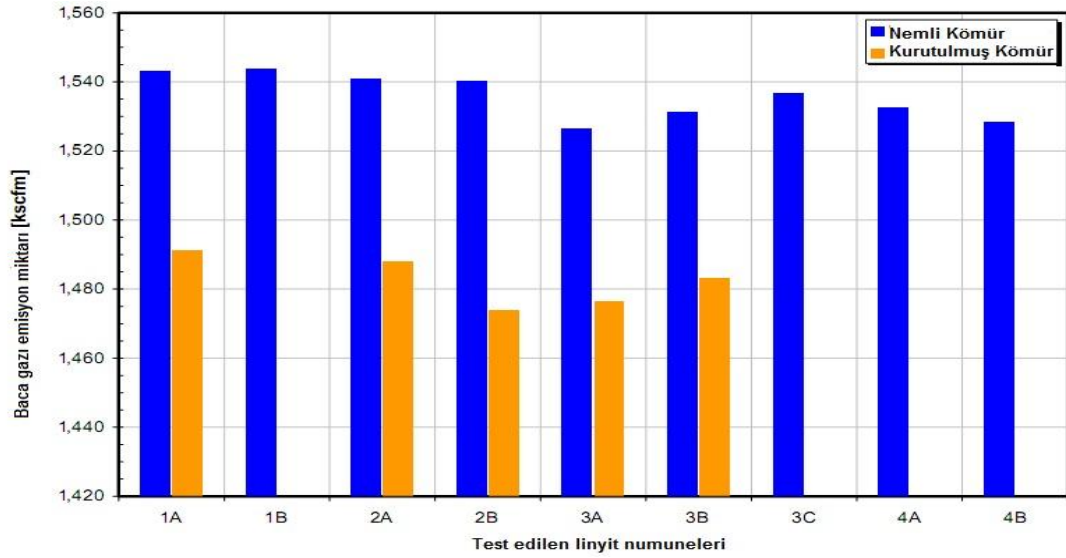
Nem içeriği yüksek kömürlerin değirmenden çıkış sıcaklıkları yüksektir ve değirmene gönderilen hava miktarı da nem içeriği ile doğru orantılı olarak

artmaktadır. Nem içeriği yüksek kömürlerin yanma sıcaklığı da yükselmektedir. Yanma sıcaklığı yükseldiğinde kömürün içinde bulunan kül yapıcıların cüruflaşma derecesi artmakta ve yanma sırasında oluşan duman miktarı da artarak bacadan atılan ısı miktarı artmaktadır (Şekil 1.7). Nem içeriği yüksek yakıtın baca gazı sıcaklığı nem içeriği düşük yakıtın baca gazı sıcaklığına göre daha yüksektir. Ancak, nem içeriği düştüğü zaman kazan içine girecek olan kömür miktarı azalacağından katı taneciklerin yakma kazanı çeperlerine yapışarak erozyona uğramayacak ve kazan bakım maliyetleri azalacaktır (Bullinger ve ark, 2004).



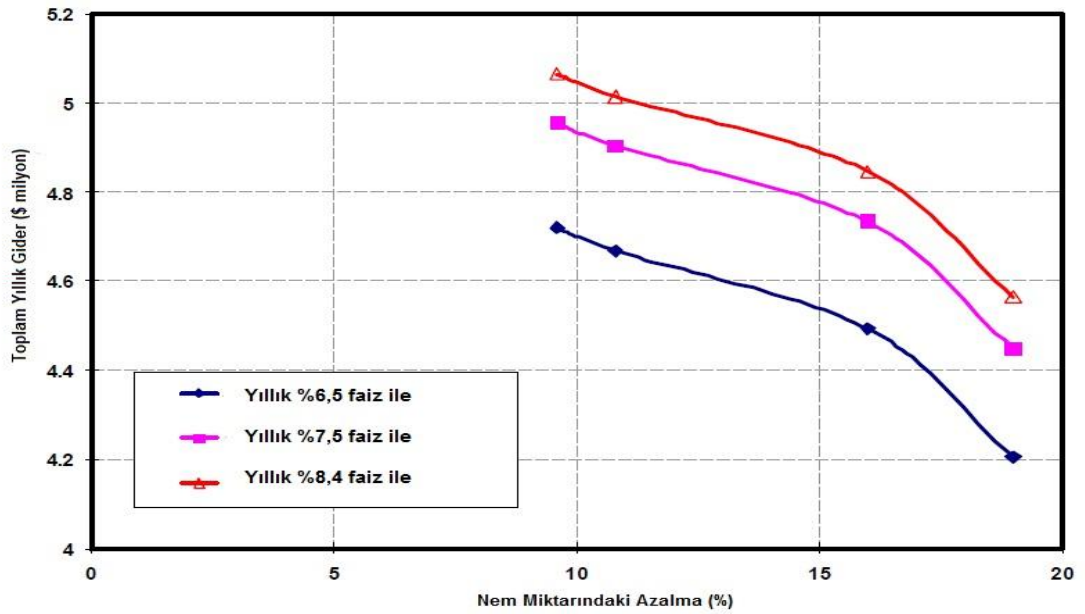
Şekil 1.7. Nem içeriği ile baca gazı çıkış sıcaklığı arasındaki ilişki (Levy ve ark, 2006)

Birim zamanda atmosfere yüksek oranda atılan baca gazı miktarı, yüksek oranda NO_x 'in, CO_2 'in, SO_2 'nin ve partikül maddelerin atmosfere karışmasına, yani daha çok çevre kirlenmesine neden olmaktadır. Bilindiği gibi kömürün neminin azaltılması ile birlikte santral verimi artarken baca gazı emisyon miktarları (SO_2 , NO_x , CO_2 ve Hg) azalacaktır (Şekil 1.8).



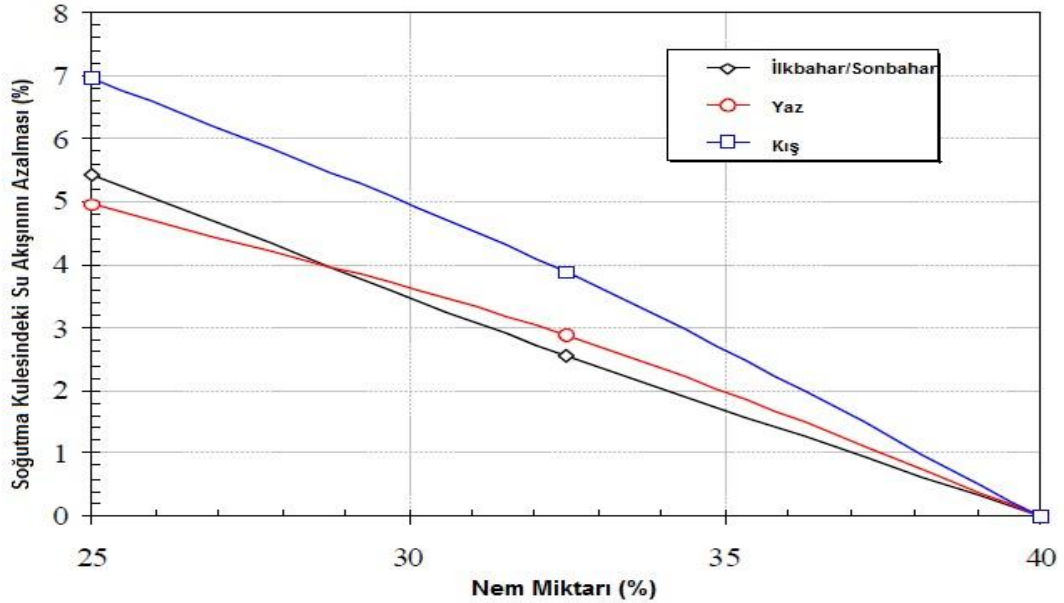
Şekil 1.8. Nem içeriği ile baca gazı emisyonları arasındaki ilişki (Bullinger ve Sarunac, 2010)

Kömür kurutma işlemi ile değirmen için gerekli enerji miktarı azalırken, yeni güç kaynaklarına ihtiyaç vardır. Bu güç kaynakları kömürün kurutulmasında kullanılmaktadır. Eğer kurutma işlemi baca gazından atılan sıcak hava gazı ile yapılırsa santralin yıllık masrafında azalma oluşmaktadır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9 Toplam yıllık gider ve nem içeriğindeki azalma arasındaki ilişki (Levy ve ark, 2006)

Kurutma işlemi sonucunda kömür miktarı azalacağından kömürün taşınmasında kullanılacak olan bandın motor gücü daha az olacaktır. Nem içeriği azaldığı zaman soğutma kulelerinde kullanılan soğutma suyu miktarı da mevsim şartlarına göre azalmaktadır (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Soğutma kulelerindeki su akışı ile nem içeriği arasındaki ilişki (Levy ve ark, 2006)

Genel olarak; kömürün kurutulmasının başlıca ekonomik yararları ise;

Ø Yakıt maliyetinde azalma: Kurutma işlemi sonucunda kömürün nem içeriğinin düşmesi ile birlikte ısıl değeri yükseleceğinden termik santralde elde edilmesi gereken enerji daha az miktar kömür ile elde edilebilecektir.

Ø Yanma sonucu oluşan külün depolanma maliyetinde azalma: Kurutma işlemi sonucunda yakma kazanına girecek olan kömür miktarı azalacağından yanma sonucu oluşacak olan kül miktarı da azalacağından külün depolanması için gerekli olan maliyet azalacaktır.

Ø Nem içeriğinin düşmesi ile azalacak olan emisyonların kontrolünün maliyetinde azalma: Yanma kazanında daha az kömürün kullanılması ile birlikte baca gazından çıkan SO₂, NO_x, CO₂ ve Hg emisyon değerleri düşecektir. Emisyon

değerlerinin düşmesi ile baca gazından çıkan emisyonların çevreye olan etkisini önlemek için yapılacak işlemlerde emisyon ile birlikte azalacaktır.

Ø Su sarfiyatında azalma: Soğutma kulelerinde kullanılacak olan su miktarı kömürün kurutulması ile birlikte azalacaktır.

Ø Değirmen başta olmak üzere termik santraldeki ekipmanların bakım ve onarım maliyetinde azalma: Kömürün kurutulması sonucu HGI değeri yükselecek ve kömürün öğütülmesi için gerekli olan enerji miktarı azalacaktır (Levy, 2005).

1.5.2. Linyitteki Kül İçeriğinin Uzaklaştırılmasının Etkileri

Termik santralde yakılan kömürün nem içeriğinin yanı sıra bir diğer problemi içerdiği kül miktarıdır. Yanma sonucu oluşan kül oranını yüksek olmasından dolayı kül depolanması işlemi problem yaratmaktadır. Beslenen kömürün kül içeriği fazla olduğunda santral kazan dizaynı ile uyumsuzluktan dolayı her yıl belirli miktarda enerji kaybına neden olmaktadır. Yanma ortamından çıkan uçucu külün, elektrofiltre ve gerektiğinde ilave olarak diğer filtrelerde tutularak çevre kirliliği yaratması önlenmektedir. Ancak kömür kül oranı çok yükseldiğinde, elektrofiltreler külü tutmakta yetersiz kalabilmekte ve bacadan kül kaçıışı olabilmektedir (Arslan, 2008).

Ayrıca santrale beslenen kömürdeki bazı kül bileşenleri, özellikle CaO içeriği yakma kazanı içerisinde cüruflaşmaya neden olmaktadır. Diğer taraftan kül içerisindeki SiO₂, Fe₂O₃, MgO, Al₂O₃, Na₂O, K₂O ve TiO₂ miktarları kazan kirliliği ve cüruflaşma açısından önemli bileşiklerdir. Kül miktarının fazla oluşundan ve içerdiği bazı cüruf yapıcı elementlerin (CaO, SiO₂, Fe₂O₃, MgO, Al₂O₃, Na₂O, K₂O ve TiO₂) belirli oranların üzerinde olmasından dolayı kazan altı ızgara ve cüruf çıkarıcılarda sorunların olduğu bilinmektedir. Bu sorunlar nedeni ile tıkanıklıklar yaşanmakta ve bu ünitelerin belirli bir süre devre dışı kaldıkları için her yıl belirli miktarlarda enerji kaybına neden olmaktadır. Bunlardan başka, yanma sırasında oluşacak olan baca gazları çevreye kirlilik açısından tehdit edebilecek boyutlara çıkabilecektir.

Bu nedenlerden dolayı, fiziksel yöntemlerle kül oranının, dolayısıyla ile küldeki cüruf yapıcılarının azaltılması problemlerin ortadan kalkmasını sağlayacağı için oldukça önemlidir. Flotasyon veya diğer kömür hazırlama yöntemleri ile bu bileşenlerin olumsuz etkilerinin giderilmesi mümkün olabilecektir, Kül atma işlemleri ile yakma öncesi kükürt içeren özellikle piritik ve sülfat kökenli kükürtlerin azaltılması yakma işlemi sonucu oluşan baca gazındaki SO₂ miktarının azaltılmasını sağlayacaktır. Kül atma işlemleri ile kazan içi kirlenme ve buna bağlı olarak ısı transferinden oluşan enerji kayıpları azalacak, dolayısı ile ekonomik kazanım sağlanacaktır (Kural, 1991).

1.5.3. Linyitin Yakma Öncesi Hazırlanabilmesi İçin Öğütme Gereksinimi

Termik santrallerde kömür; yakma kazanına öğütme işlemi ile pulverize hale getirildikten sonra beslenmektedir. Afşin-Elbistan Linyit Havzasında işletilen linyit kömürünün yanabilir kısmı yatağın oluşumu sırasında killerle sarmal bir yapıda oluşmuştur. Nem içeriğinin yüksek olmasının yanı sıra içerdiği kil minerallerinin öğütme işlemi sırasında tanecikler elastik ve plastik özellik gösterdiğinden ince boyutlara ufalanması oldukça güç olmaktadır. Bu nedenle, öğütme işlemi verimli olmamaktadır (Doğan ve ark, 1984). Öğütme sonucu elde edilen tane aralığı ne kadar büyürse ateşleme sıcaklığı da o kadar düşmektedir. (Cassel ve Liebman, 1959).

Bu nedenle kazan içerisinde istenilen verimde yakma işlemi gerçekleşmemektedir. Kömür taneciklerinin yanma odasına püskürtülmesi işlemi düzgün yapılamamakta ve kömürün yanması esnasında küllerden oluşan cüruflar kazan yüzeyine yapışarak yanan linyitten elde edilen ısının türbin için gerekli buharın elde edilmesine harcanmadan baca gazı ile birlikte atmosfere atıldığı ve baca gazlarının çevre kirliliğine neden olduğu bilinmektedir.

Başta kömür olmak üzere fosil kaynaklı yakıtların “sera gazı etkileri” olarak adlandırılan çevreye yaratmış oldukları olumsuzluklar, fosil yakıtlardan enerji üretimi konusunda yeni kömür teknolojilerinin geliştirilmesine neden olmuştur. Yeni kömür teknolojilerinin ana özellikleri; santrale beslenen linyitin kırılması ve çok ince boyutlara öğütülmesi sonucu serbestleşmesi sağlanarak konvansiyonel yöntemler

(kolon flotasyonu, flokülasyon) ile çevre kirliliğine neden olabilecek serbestleşmiş inorganik mineral taneciklerinin uzaklaştırılması mümkün olabilecektir (Ateşok, 2004).

Afşin-Elbistan Termik Santrali'nde kazan kirliliği ve cüruflaşmaya neden olan CaO, SiO₂, Fe₂O₃, MgO, Al₂O₃, Na₂O, K₂O ve TiO₂ gibi kül yapıcıların ancak çok ince boyutlara öğütülerek serbestleşmesi sağlanabilmektedir. Bu nedenle, yakma öncesi kül yapıcıları linyitten ayırmak için yapılabilecek işlemlerin verimli olabilmesi için linyitin çok ince boyutlara öğütülebilmesi gerekmektedir.

1.6. Çalışmanın Amacı

Afşin-Elbistan termik santralinde, santral yakma kazanlarına beslenen linyit üretildiğinde nem içeriği ağırlıkça %40-60 arasındadır.

Bu çalışmada; nem içeriğinin Afşin-Elbistan linyitlerinin dayanımına ve öğütülebilirliğine olan etkisi araştırılacaktır.

Afşin-Elbistan Linyit Havzasından (A) termik santrale ait stok sahasından getirilen yüksek nem içeriğine sahip linyit numunesi farklı sıcaklıkta, farklı kurutma sürelerinde ve farklı kurutma işlemleri ile kurutma işlemine tabi tutulacaktır.

Yapılacak kurutma işlemleri sonucunda sonuçlar varyans analizi tekniğine göre değerlendirilerek linyitin kurutulmasında etken parametreler belirlenecektir.

Farklı nem içeriğindeki linyit numunelerinin öğütülebilirlik ve dayanım değerlerini belirleyebilmek için; Hardgrove Öğütülebilirlik Deneyi (HGI), Darbe Dayanım Deneyi (ISI), Düzeltilmiş Darbe Dayanım Deneyi (MISI) ve Öğütme Deneyleri yapılacaktır.

Dayanım deneylerinde boyut dağılımının etkisini belirleyebilmek için farklı tane boyut aralığında numuneler kullanılacaktır. Ayrıca elde edilecek farklı nem içeriğindeki linyit numunelerinin ısı değerleri tespit edilerek nem kaybının linyitin ısı değeri üzerine olan etkisi belirlenecektir.

Elde edilecek sonuçlar ile (A) termik santrali tesis dizayn parametreleri karşılaştırılarak santralin verimli çalışabilmesi için beslenmesi gereken linyitin en uygun nem içeriği belirlenecektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Afşin-Elbistan Termik Santrali işletme yetkilileri tarafından hazırlanan (1990) “TEK Afşin-Elbistan Termik Santrali 2 Nolu Kazanında Yapılan Özel Testler (1990)” adlı rapordan elde edilen verilere göre HGI değeri 66’nın üzerinde ve HGI değeri 53’ün altındaki linyit türlerinde değirmenden çıkan linyitlerin tane boyut dağılımlarının tasarım parametreleri dışında kalmaktadır. Değirmenlere HGI değeri 66’nın üzerinde olan linyitler beslenildiğinde kazanlardaki uçucu kül oranı %90’ın üzerine çıkmaktadır. Buna karşın HGI değeri 53’ün altına düştüğünde kazan altına düşen kül miktarı %10’un üzerine çıkmakta ve ayrıca kazanın alt bölgelerindeki sıcaklıkta artarak külün yumuşamamasına ve hatta ergimesine neden olduğu belirlenmiştir.

Akçın ve arkadaşları (1990) yapmış oldukları çalışmada, kömür damarlarının sertliğine göre sınıflandırılması yapılabilmesi için elde etmiş oldukları darbe dayanım indeks değerleri ile kömürün dayanımı hakkında bilgi veren diğer deneyler arasındaki ilişkisini araştırmışlardır. Aşma işletmesi kömür damarlarının ISI değerleri 26 ile 56 arasında bulunmuş ve sınıflama sistemine göre damarların kırılma yapıda olduğu tespit edilmiştir.

Azahari (1990) yapmış olduğu çalışmada, Endonezya kömürlerinde nem içeriğinin öğütülebilirliğine etkisini araştırmıştır. Deneylerde linyit ve yüksek uçucu madde içeriğine sahip bitümlü kömürler kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde; nem içeriğinin özellikle kahverengi kömürde öğütülebilirliği etkilediği belirlenmiştir.

Barton ve arkadaşları (1994) yapmış oldukları çalışmada, kömürün öğütülebilirliğinin kömürün bileşimi ve yapısı ile ilişkilerini araştırmışlardır.

Bilgin ve arkadaşları (1988) yapmış oldukları çalışmada, kömürün darbe dayanım değerleri açısından sınıflandırılması yapılmıştır. Bu sınıflandırma sistemine göre darbe dayanımı 75’den büyük ise aşırı sert, 75-70 arasında çok sert, 70-40 arasında orta sert ve 40’dan ufak ise yumuşak olarak sınıflandırılmıştır.

Bullinger ve arkadaşları (2002) yapmış oldukları çalışmada, termik santrale beslenen kömürü düşük sıcaklıkta kurutularak nem içeriğini %37,5’den %31,4’e

düşürmüşlerdir. Nem içeriğindeki %6,1'lik düşüş ile; yakma kazanı verimi %2,6 artmıştır. Ayrıca santrale beslenen kömür miktarında %10,8 ve baca gazı çıkışında %4'lük bir azalma olduğu ve nem içeriğinin azalması ile birlikte kömürün öğütülebilirliği de artmış ve değirmenin harcamış olduğu güç miktarında %17'lik bir azalma görülmüştür.

Bullinger ve Sarunac (2010) yapmış oldukları çalışmada, nem içeriği yüksek ve kurutulmuş linyitlerin yakılmasının kazan üzerindeki etkilerini, baca gazı emisyonu üzerine etkilerini ve yardımcı güçler üzerine olan etkilerini açıklamışlardır. Sonuç olarak; kömürün nem içeriğinin azalması ile çevre kirliliğine olan etkisinin azaldığı, kömürü pulverize hale getirmek için harcanan enerjinin azaldığı ve santralin veriminin arttığını belirtmişlerdir.

Deutsch Babcock (1975) değirmenlerin tasarımı için, Kışlaköy sektöründen alınan örnekler üzerinde öğütülebilirlik deneyleri yapmıştır.

Doğan ve arkadaşları (1984) yapmış oldukları çalışmada, ülkedeki bazı linyitlerin öğütülebilirlikleri belirlemek amacıyla çalışmanın yapıldığı sırada var olan termik santralleri besleyen ya da kurulması planlanmış santralleri besleyecek olan işletmelerden linyit numunelerini kullanmışlardır. Linyitin öğütülebilirliğinin nem içeriğinin değişmesiyle birlikte değiştiği ve farklı bölgelerden alınan linyit numunelerinin nem içerikleri aynı olsa bile elde edilen hardgrove öğütülebilirlik değerlerinin büyük farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir.

Dunxi ve arkadaşları (2005) yapmış oldukları çalışmada, regresyon analizi yöntemini kullanarak kömürün kısa analiz değerlerinden HGI değerini tahmin etmişlerdir. Yüksek nem ve yüksek uçucu madde içeriğine sahip kömür numunesinin HGI değeri düşük çıkmıştır. Sonuç olarak; bu method ile kömürün kısa analiz değerleri kullanılarak HGI değeri tahmin edilebilmiştir.

Ghosal ve arkadaşları (1958) yapmış oldukları çalışmada HGI değerinin kömürün rankı ile ilişkili olduğunu belirlemişlerdir. %35-50 arasında uçucu madde içeren kömürün öğütülebilirliğinin zor, %20-30 arasında uçucu madde içeren kömürün öğütülebilirliğinin kolay olduğu belirlenmiştir.

Gray ve Patalsky (1990) yapmış oldukları çalışmada kömürün öğütülebilirliği ile petrografisi arasında ilişkiyi araştırmışlardır.

Harrison ve Rowson (1996) yapmış oldukları çalışmada öğütme öncesi kömürü mikrodalga enerjisi yardımıyla kurutma işlemine tabi tutmuşlardır. Sonuç olarak; mikrodalga ile ısıtma işlemi sonucunda iş indeksi %20-30 arasında düşmüştür.

Harrison ve Lawrence (1997) yapmış olduğu çalışmada konvansiyonel ısıtma ve mikrodalga işlemiyle kömürü ayrı ayrı kurutma işlemine tabi tutmuşlar. Sonuç olarak; mikrodalga enerjisinin kömürün kırılgenliğini daha fazla arttırdığı ve iş indeks değerinde %20-30 arasında düşme olduğu belirlenmiştir.

Hower ve arkadaşları (1987) yapmış oldukları çalışmada kömürün bileşimi ile öğütülebilirliği arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır.

Humphreys ve arkadaşları (1967) yapmış oldukları çalışmada 400 farklı kömür numunesinin kısa analiz değerlerini kullanarak veritabanı oluşturmuşlar. Elde edilen değerlerin arasındaki ilişkiye bakarak; HGI değerindeki değişikliğinin nedenlerinin uçucu madde, kül ve kükürt miktarı olduğunu belirlemişlerdir.

Kadıköylü (2005) yapmış olduğu çalışmada, Afşin-Elbistan için geliştirilen düzeltilmiş darbe dayanım indeks değeri yöntemi ile Elbistan ve diğer kömür numunelerinin MISI değerlerini belirlemiş, Elbistan linyitinin MISI değeri %71 olarak belirlemiştir. Mineral madde içeriğiyle MISI arasında azalan yönde bir ilişkiye rastlanılmıştır.

Karthikeyan ve arkadaşları (2007) yapmış oldukları çalışmada, düşük karbon içeriğindeki kömürleri farklı sıcaklıkta ve farklı tane aralığında kurutma işlemine tabii tutarak kurutma öncesi ve sonrası kömür numunelerinin analizleri karşılaştırmış ve kömürün nemi tekrar absorblama süresini belirlemişlerdir.

Li ve arkadaşları (2005) yapmış oldukları çalışmada istatikselsel yöntem kullanılarak kömürün kısa analiz değerlerinden HGI değerinin tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Lytle ve arkadaşları (1992) yapmış oldukları çalışmada ön ısıtma işleminin öğütülebilirliğe olan etkisini araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde bacadan çıkan sıcak gaz ile ısıtma işlemi ile kömürün öğütülebilirliğinin %40 arttığı ve yaklaşık 5 KWh/ton enerji tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir.

Ljubomir (1973) yapmış olduğu çalışmada Yugoslavya kömürlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin öğütülebilirliğe olan etkisini araştırmıştır.

Lehigh Üniversitesi, Enerji Araştırma Merkezi (1997–1998;2002) tarafından yapılan çalışmada yakıtın nem içeriğinin azalmasının termik santral performansı üzerine olumlu etkisi olduğunu belirtilmiştir. 2002 yılında laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar sonucunda akışkan yataklı kurutucunun elde edilen sonuçlardan dolayı en iyi kurutucu sistemi olduğu belirtilmiştir.

Levy ve arkadaşları (2005) yapmış oldukları çalışmada, teoriksel analiz ve kömür yakma testleri ile nem içeriğinin azaltılmasının termik santral üzerine etkilerini açıklamıştır. Kurutma işlemi için iki farklı kömür numunesi kullanılmış ve ikisinin de kurutma karakteristikleri birbirine yakın çıkmıştır. Yapılan termik santral performans analizleri sonucunda kömürün kurutulmasının santral verimini yükselttiği, baca gazı emisyonlarının kurutma sayesinde azaldığı, soğutma için kullanılan su miktarının azaldığı ve değirmen bakım maliyetinin azaldığı belirlenmiştir. Kurutmanın ekonomik olarak etkisinin kurutma sıcaklığı ile doğrudan alakalı olduğu belirlenmiştir.

Oki ve arkadaşları (1996) yapmış oldukları çalışmada kömürün dayanımı, kırılabilirliği, karbon içeriği ve yapısı arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. 10 farklı karbon içeriğindeki kömür kullanılmıştır. Yüksek karbon içeriğindeki kömürün yüksek kolinit içerdiği ve kolinitin kömürün kırılabilirliğini arttırdığı belirlenmiştir. . Sonuç olarak, karbon içeriği yükseldikçe vitrinit grubundan kolinitinde arttığı ve kolinitin öğütülebilirliğe karşı yüksek etkisi olduğu bulunmuştur.

Padgett ve Hower (1997), 5 farklı kömürü harmanlayarak öğütülebilirliğini araştırmışlardır. 1 numaralı kömür; düşük sülfür, yüksek uçucu madde içeriğine sahip, 2 numaralı kömür; orta derecede sülfür, yüksek uçucu madde içeriğine sahip, 3,4 ve 5 numaralı kömürler ise düşük sülfür içeriğine sahiptir.

Ruberia ve Gopalakrishna (1999) yapmış oldukları çalışmada 3 farklı ufalama mekanizması ile (Raymond değirmen; Merdaneli kırıcı; Bilyalı değirmen) kömürü pulverize hale getirmişlerdir. Pulverize hale getirilen kömür tanecikleri dört farklı tane aralığında ayarlanıp, sıcaklık programlı yakma programıyla yakılarak kömürün yakma işlemi sırasındaki davranışı izlenmiştir. Buna ek olarak, 3 farklı kömür

numunesi (farklı sertlik ve karbon içeriğindeki) harmanlanarak aynı işleme tabi tutulmuş ve yakma sırasındaki davranışları karşılaştırılmıştır. Harmanlanan kömürlerin HGI değerleri de belirlenmiştir. Yakma işlemi sonucunda harmanlama işleminin yakma davranışına etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Rao ve arkadaşları (2009) yapmış oldukları istatistiksel çalışmada kömürün nem içeriği, kül miktarı ve uçucu madde miktarlarının kullanılarak HGI değerinin tahmin edebildiğini belirtmişlerdir.

Stnadish ve arkadaşları (1993) yapmış oldukları çalışmada nem içeriğinin kömürün öğütülebilirliğine olan etkisini nem içeriği yüksek ve düşük iki kömür üzerinde araştırmışlardır. Nem içeriğinin öğütülebilirliğe etkisi yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. Kurutma işleminin kömürün içinde kırıklar oluşturduğu için öğütülebilirliğinin arttığı belirlenmiştir.

Su ve arkadaşları (2010) yapmış oldukları çalışmada, farklı bölgelerden alınan kömür numunelerin ISI değerleri ile HGI değerleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ISI değerinin kömürün öğütülebilirliği hakkında doğru bir bilgi verdiği ve öğütülebilirliği ile ilgili etken parametrelerinden biri olduğu belirlenmiştir.

Su ve arkadaşları (2004) yapmış oldukları başka çalışmada ise, kömürün bazı dayanım ve indeks özellikleri ile öğütülebilirliği arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Dayanım ve indeks değerleri için tek eksenli basınç dayanımı, darbe dayanım indeksi, konik delici değeri ve shore sertlik indeks değerleri belirlenmiş, öğütülebilirlik indeks değeri içinde HGI deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar neticesinde dayanım indeks değerleri ile öğütülebilirlik indeks değerleri arasında anlamlı ilişkiler kurulmuştur. Dayanım indeks özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler ile HGI arasında azalan yönde doğrusal ilişkilerin olduğu görülmüştür. Yani kömürün dayanımı arttıkça HGI değeri düşmekte ve kömürün öğütülebilirliği zorlaştığı belirlenmiştir.

Sengupta (2001) yapmış olduğu istatistiksel çalışma ile havada kurutulmuş kömürü kullanarak elde ettiği sonuçları kullanarak kömürün öğütülebilirliğini belirlemiştir. Bu çalışma neticesinde HGI değerinin bulunmasının zor olduğu

durumlarda SGI yöntemi kullanılarak HGI değerinin tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

Tichanek (2008) yaptığı çalışmada, hardgrove öğütülebilirlik indeks yönteminin öğütücü ekipman seçiminde kapasite ve boyutları üzerine önemli bir faktör olduğunu belirlemiştir.

Tiryaki ve ark (2001) yapmış oldukları çalışmada, öğütülebilirlik ve dayanım indeks değerlerinin belirlenmesinde yapılan deney yöntemlerinin birbirleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, HGI değerinin kömürün öğütülebilirliğinin belirlenmesinde ve değirmenin kapasitesinin belirlenmesinde önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Ayrıca, kömürün dayanımının belirlenmesinde kullanılan deney yöntemlerinin kendi aralarındaki ilişkilerine bakılmış ve nokta yük dayanımı deneyinin kömürün tek eksenli basma dayanımı değeri hakkında birbirine çok yakın sonuç verdiği görülmüştür.

Trimble ve Hower (2002) yapmış oldukları çalışmada kömürün öğütülebilirliği ile petrografisi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Toshihiko (1966) yapmış olduğu çalışmada mineral madde içeriğinin kömürün öğütülebilirliğine olan etkisini araştırmıştır. Petrografik analiz ve mikroskop ile inceleme işlemi sonrasında; 50 mikrondan ufak kuvars taneciklerinin öğütülebilirliğe karşı herhangi bir etkisinin olmadığı, 100 mikrondan büyük kuvars taneciklerinin ise öğütülebilirliği olumsuz etkilediği, karbonatlı minerallerin kömürün öğütülebilirliğine etkisi olduğu, kaolin, illit ve montmorillonit minerallerinin öğütülebilirliğe karşı etkisinin ise bulunmadığı belirlenmiştir.

Ural (1999) tarafından Afşin-Elbistan (A) Termik Santrali'nin performansının düşük olmasının nedenleri araştırılmış ve bu nedenlerin birisi de yakıt olarak kullanılan linyitlerin kalitesini belirleyen sınırlayıcı parametrelerin yetersizliği olarak belirlenmiştir. Satılabilir kömürün kalitesini belirleyen en önemli iki sınırlayıcı parametre Afşin-Elbistan linyitlerinin dayanım özellikleri ve ısı değeri ile kül oranı arasındaki orantıdır. Linyitlerin dayanımlarını belirleyebilmek için düzeltilmiş darbe dayanım deneyi adı verilen bir yöntem geliştirilmiştir. Afşin- Elbistan linyitlerinin darbe dayanım değerleri % 9.8 ile % 56 arasında değişmektedir. Satılabilir linyitlerin

ortalama darbe dayanım değeri % 45 ve varyansı da % 4 olmalıdır. Bu nedenle farklı özelliklere sahip linyitlerin harmanlanması gerektiği tespit edilmiştir.

Ural ve Akyıldız (2004) yapmış oldukları çalışmada, Türkiye'deki düşük ranklı kömürlerin öğütülebilirliğine mineral madde içeriğinin etkisini araştırmışlardır. Elbistan ve Tufanbeyli bölgelerinden alınan kömürlerin HGI değerleri sırasıyla 39 – 83 ile 48 – 69 arasında belirlenmiştir. Kömür numuneleri su, amonyum asetat ve hidroklorik asit ile muameleye maruz bırakılmış ve sonuç olarak kül yapıcılarını oluşturan inorganik maddeler suda çözünebilir, asitte çözünebilir yada iyon değiştirebilir şekilde sınıflandırılmıştır. Su ve asitte çözünebilir mineral madde içeriğinin öğütülebilirliğe karşı etkisinin olduğu belirlenmiştir. Yüksek kül, su ve asitte çözünebilir madde içeriğine sahip kömürün HGI değeri yüksek çıkarken, Yüksek kül, düşük su ve asitte çözünebilir madde içeriğine sahip kömürün HGI değeri düşük çıkmıştır.

Vuthaluru ve arkadaşları (2003) yapmış oldukları çalışmada nem içeriğinin ve harmanlamanın öğütülebilirliğine olan etkisini araştırmışlardır. Nemin etkisini belirlemek için atmosferik şartlarda ve 40°C sıcaklıkta kurutma işlemleri yapılmıştır. Avustralya kömürleri ile Collie bölgesinden düşük ranklı, yüksek nem içerikli ve düşük HGI değerindeki kömür harmanlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda nem içeriği değiştikçe HGI değerinin de değiştiği belirlenmiştir. Harmanlanan kömürlerin HGI değerleri harman oranına göre değişmesi nedeniyle kömürün öğütülebilirlik davranışı hakkında genel bir değerlendirme yapılamayacağı, için kömürün öğütülebilirliğinin tahmin edilmesinin zor olduğu belirlenmiştir. Harmanlama yapıldığı zaman deneysel olarak HGI değerinin bulunmasının gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Çalışmanın sağlıklı yürütülebilmesi ve gerçekçi sonuçların üretilebilmesi deneylerde kullanılan numunenin kömür yatağını doğru temsil etmesine bağlıdır. Havzanın çok büyük olması ve çok farklı özellikler göstermektedir.

Afşin-Elbistan Linyit Havzası 5 sektöre ayrılmıştır (A, B, C, D ve E sektörleri). Çalışmada kullanılacak olan linyit numuneleri A (Kışlaköy) sektöründe üretilen ve A termik santraline gönderilmeden önce bekletilen stok sahasından alınmıştır.

Stok sahasının değişik bölgelerinden temsili olarak alınan yaklaşık 100 kg kömür numunesi hava ile temasını kesmek amacı ile naylon bir çuvala konulmuştur.

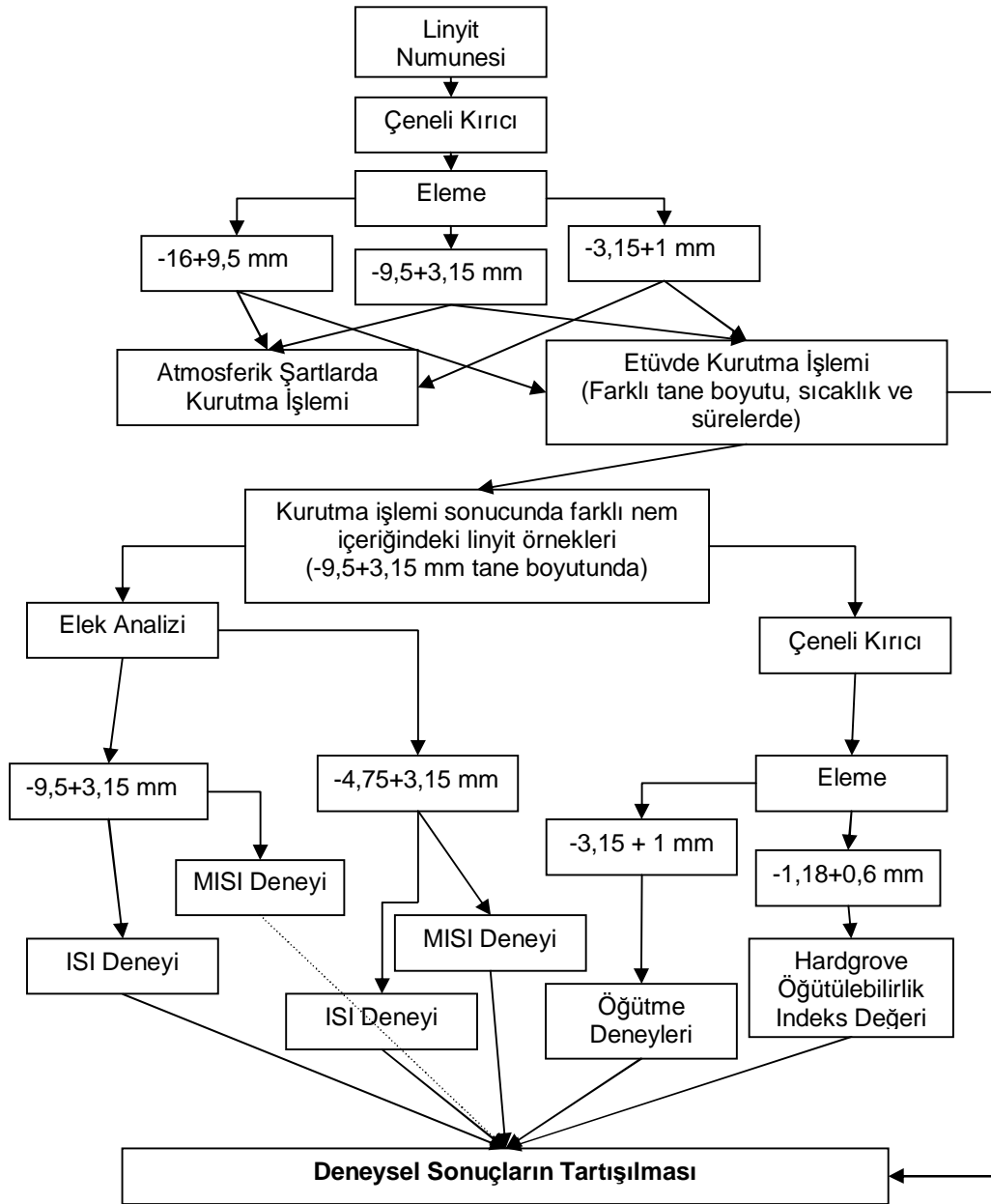
Ayrıca, öğütme işlemi sonucunda pulverize hale getirilerek (A) termik santrali yakma kazanına gönderilen kömürden de yaklaşık 3 kg temsili numune alınmıştır.

3.2. Metod

3.2.1. Numunelerin Hazırlanması

Stok sahasından alınan yaklaşık 100 kg Afşin-Elbistan linyit numunesi Çukurova Üniversitesi, Müh-Mim. Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarına getirilmiştir. Getirilen numuneler ilk olarak tek istinat kollu laboratuvar tipi çeneli kırıcı ile kırılarak boyut küçültme işlemine tabii tutulmuş ve konileme-dörtleme yöntemi ile azaltılarak deney numuneleri hazırlanmıştır.

Yapılacak olan deneylerde farklı tane boyutunda linyit numuneleri gerekmektedir (Şekil 3.1). Gerekli numuneyi hazırlamak için ve farklı tane boyutunda (-16+9,5 mm, -9,5+3,15 mm ve -3,15+1 mm) linyit numuneleri elde edilmiştir.



Şekil 3.1. Deneysel akış şeması

3.2.2. Kısa Analiz Deneyleri

Nem analizi: Linyit numunesinin bağıl ve bünye nemini belirleyebilmek için iki çeşit kurutma işlemi yapılmıştır. Gerçek nem miktarını belirleyebilmek için; -250 μm tane boyutuna indirilen linyit numunesinden 1 g alınarak önceden 105°C sıcaklığa getirilmiş olan etüve konulmuştur. Bir saatlik süre sonunda linyit numunesi

etüvden çıkartılarak desikatöre konulmuştur. Numune desikatörde soğuduktan sonra hassas terazide tartılarak tekrar etüve konulmuştur. Bu işlemler; linyit numunesi sabit tartıma gelinceye kadar devam etmiştir (ASTM-D 3302;TS 438 ISO 331). Deney sonucunda (3.1) numaralı formül kullanılarak linyitin nem içeriği belirlenmiştir.

$$\text{Nem Miktarı (\%)} = \frac{x_1 - x_2}{x_1} * 100 \quad (3.1)$$

x_1 = Etüve konulan linyit numunesi miktarı (g)

x_2 = Sabit tartıma geldikten sonra linyit numunesi miktarı (g)

Havada nem miktarını belirleyebilmek için -3,15mm tane boyutuna indirilen linyit numunesinden 500 g alınarak havada kurutma işlemine bırakılmıştır. 24 saatlik sürenin sonunda tartılmıştır. (3.2) numaralı formül kullanılarak linyitin nem içeriği belirlenmiştir (ASTM-D 3302).

$$\text{Nem Miktarı (\%)} = \frac{500 - x_2}{500} * 100 \quad (3.2)$$

x_2 = 24 saatlik havada kurutma işlemi sonucunda linyit miktarı(g)

Uçucu madde analizi: Linyit numunesinin içerdiği uçucu madde miktarını belirleyebilmek için havada kurutulmuş olan linyit numunelerinden kullanılmıştır.

Değişmez ağırlığa getirilen porselen kroze içine 1 g numune konulmuş ve 900°C sıcaklığa ayarlanan kül fırınında 7 dakika tutulmuştur (ASTM-D 3175-07). Süre sonunda kroze desikatör içine konularak soğutulmuş ve tartım işlemi yapılarak (3.4) formül yardımıyla uçucu madde yüzdesi belirlenmiştir.

$$\text{U.M.(\%)} = [m_3 - (\frac{m_2 - m_1}{m_3})] * 100 \quad (3.4)$$

m_1 = boş porselen krozenin ağırlığı (g)

m_2 = 7 dakika sonunda kroze ve linyitin ağırlığı (g)

m_3 = deneyde kullanılan linyit miktarı (g)

Kül analizi: Linyit numunesinin kül analizini belirlemek için yapılacak olan deneyde porselen kroze kullanılmıştır. Bu nedenle deney öncesi porselen krozeler 815°C sıcaklıkta 15 dakika ısıtılmış ve süre sonunda desikatöre konularak sabit ağırlıkları belirlenmiştir.

Porselen krozelerin sabit ağırlıkları belirlendikten sonra etüvde kurutulmuş linyit numunesinden 1 g tartılmıştır. 815°C sıcaklığa getirilen kül fırınına içinde numune bulunan porselen kroze konularak 4 saat bekletilmiştir. Süre sonunda kroze desikatör içine bırakılarak soğutulmuş ve tartılmıştır.

Kızdırma işlemi kap içindeki numunelerin sabit ağırlığa gelinceye kadar tekrarlanmıştır (ASTM-D 3174-04) (3.3) numaralı formül kullanılarak kül yüzdesi belirlenmiştir.

$$\text{Kül Yüzdesi (\%)} = \frac{m_2 - m_1}{m_3} * 100 \quad (3.3)$$

m_1 = boş porselen krozenin ağırlığı (g)

m_2 = 4 saatlik kızdırma işlemi sonucu kroze ve linyitin ağırlığı (g)

m_3 = deneyde kullanılan linyit miktarı (g)

Kükürt analizi: Linyit numunesinin içerdiği kükürt miktarı ELTRA CS 580 marka kükürt analiz cihazı ile ISO 351-1975 ve ASTM D 3177 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deneyde etüvde kurutulmuş linyit numunesinden yaklaşık 0,300 g kullanılmıştır.

Isıl değer analizi: Linyit numunesinin ısıl değer analizi IKA marka kalorimetre cihazı ile TS ISO 1928 ve ASTM D 5865 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Isıl değeri belirlemek için yapılan deneylerde 1 g numune kullanılmıştır.

Stok sahasından getirilen numunenin kısa analiz değerleri belirlendikten sonra farklı sıcaklık ve kurutma süreleri ile yapılacak kurutma işlemi sonucunda elde edilen her yeni nem içeriğindeki linyitin ISI değerleri, MISI değerleri, HGI değerleri, İş İndeks değerleri ve yapılacak öğütme işlemi sonucunda d_{80} değerleri belirlenmiş, ayrıca farklı nem içeriğinde elde edilen linyit numunelerinin ısıl değerleri ölçülmüştür.

3.2.3. Havada Yapılan Kurutma İşleminin Nem Kaybına Etkisi

3 farklı tane boyutunda (-16+9,5 mm, -9,5+3,15 mm, -3,15+1 mm) ayarlanan linyit numuneleri havada kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

Havada kurutma deneyleri için 3 farklı tane boyutunda hazırlanan linyit numunelerinden 500 g alınarak zemin üzerine serilmiş ve 24 saatlik periyotlarla tartım işlemi yapılmıştır. Zemin üzerine serilen numunelerin et kalınlığı 1 cm olarak belirlenmiştir. (3.5) numaralı formül kullanılarak farklı tane boyutundaki linyit numunelerinin günden güne nem kaybı değerleri belirlenmiştir.

$$\text{Nem Kaybı (\%)} = [(500 - (x))]/500 * 100 \quad (3.5)$$

x = 24 saatlik periyotlardaki tartım miktarı (g)

3.2.4. Etüvde Yapılan Kurutma İşleminin Nem Kaybına Etkisi

Etüvde yapılan kurutma işlemlerinde sıcaklık hassasiyeti \pm %1 olan Heraeus T 6060 marka kullanılmıştır. Deneylerde 500'er g numune kullanılmıştır. Kurutma deneylerinde aşağıda maddeler halinde verilmiş olan parametrelerin etkisi belirlenmiştir.

- Tane boyutunun etkisi : -16+9,5 mm, -9,5+3,15 mm ve -3,15+1 mm
- Sürenin etkisi: 80, 120, 160, 200 ve 240 dk (Ek-1'de sürelerin belirlenmesi için yapılan ön deneylerin grafiksel sonucu verilmiştir.)
- Sıcaklığın etkisi: 60, 75, 90 ve 105°C

Etüvde yapılan kurutma işlemlerinde ilk olarak tane boyutunun etkisi araştırılmıştır. 3 farklı tane boyutunda (-16+9,5 mm, -9,5+3,15 mm ve -3,15+1 mm) numuneler kullanılmıştır. Farklı tane boyutundaki linyit numunelerinden 500 g tartılarak belirlenen sıcaklıklarda kurutma işlemi yapılırken belirlenen sürelerde de numune etüvden çıkartılarak tartılmış ve nem kaybı değerleri belirlenmiştir.

En uygun tane boyutu belirlendikten sonra kurutma işleminde sıcaklık ve sürenin etkisi araştırılmıştır. Farklı nem içeriğinde numuneler elde ederek dayanım ve öğütülebilirlik deneyleri kullanmak için belirlenen her sıcaklık her sürede ayrı ayrı

500 g numune kullanılmıştır. Kurutma işlemlerinde; deneysel hataların en aza indirebilmesi için deneyler gelişigüzel sıra ile yapılmış ve deneyler iki kez tekrarlanmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.1. Değişken parametrelerin değer aralıkları

Sıcaklık °C	60	75	90	105	
Süre (dakika)	80	120	160	200	240

Design Expert 8 Software proğı kullanılarak etüvde yapılan kurutma işlemleri sonucu elde edilen deney sonuçları Varyans Analizi Deney Tekniğı ile değerlendirilmiş ve en etken parametre belirlenmiştir. Ayrıca analiz tekniğinin geçerliliğini belirlemek için Cochran Eş Varyanslık Testi uygulanmıştır.

Çizelge 3.2. Değişkenlerin gelişigüzel sıralanışı

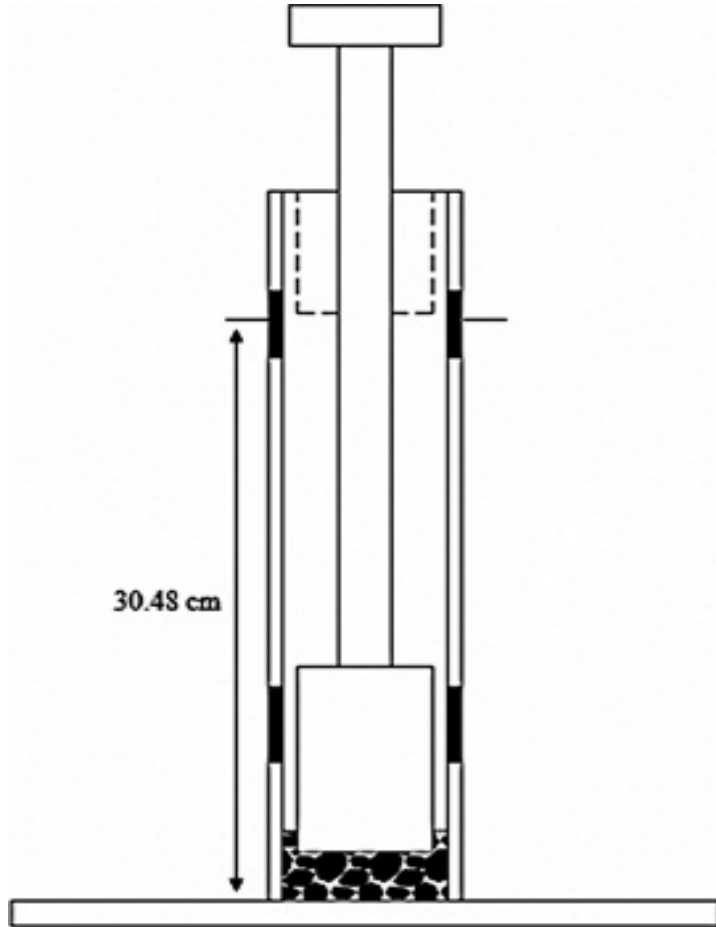
Sıra no	Kurutma süresi (dakika)	Sıcaklık °C	Sıra no	Kurutma Süresi (dakika)	Sıcaklık °C
1	200	90	21	240	75
2	80	105	22	160	60
3	240	90	23	160	60
4	160	90	24	240	60
5	80	90	25	240	60
6	160	105	26	120	105
7	120	105	27	120	75
8	240	90	28	80	90
9	240	75	29	120	60
10	80	105	30	80	60
11	160	90	31	120	75
12	200	60	32	200	105
13	200	105	33	120	60
14	160	75	34	160	105
15	120	90	35	240	105
16	200	60	36	200	90
17	200	75	37	80	60
18	120	90	38	240	105
19	80	75	39	160	75
20	200	75	40	80	75

3.2.5. Darbe Dayanım İndeks Değerinin Belirlenmesi

Kurutma işlemleri sonucunda elde edilen yeni nem içeriğindeki linyit numunelerinin Darbe Dayanım İndeks (ISI) değerleri belirlenmiştir.

Deneyde; $-9,5+3,15$ mm tane boyutunda linyit numuneleri kullanılması gerekmektedir. Ancak; tane aralığının azaltılmasının deneylerden elde edilecek sonuçların güvenilirliğinin daha da artacağı düşünüldüğünden $-4,75+3,15$ mm tane boyutunda da linyit numuneleri hazırlanmıştır.

Deneyde kullanılan linyit numuneleri $100\pm 0,05$ g olacak şekilde tartılmıştır. Deneyde 1,8 kg ve 4,45 cm çapındaki çekiç silindir 30,48 cm yükseklikten aynı çaptaki içi çelik başka bir silindir üzerine 20 kez ardışık olarak düşürülmüştür (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan darbe dayanım aleti (Su ve ark, 2010)

Silindir kaptan çıkarılan numuneler 3,15 mm'lik elekten elenmiş ve elek üstü tartılarak ISI değerleri belirlenmiştir. Bu işlemler, 5 kez tekrarlanarak ortalamaları alınmış ve (3.6) numaralı formül kullanılarak Darbe Dayanım İndeks (ISI) değerleri bulunmuştur.

$$ISI (\%) = \frac{+ 3,15 \text{ mm Elek üstü miktarı (g)}}{\text{Deneyde Kullanılan linyit miktarı (g)}} \times 100 \quad (3.6)$$

3.2.6. Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks Değerinin Belirlenmesi

Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks (HGI) deneyi; pulverize hale getirilen kömürün öğütme ortamında öğütülebilirliğe karşı gösterdiği dayanımını belirleyen bir yöntem olması nedeniyle farklı nem içeriğindeki linyit numunelerinin HGI değerleri belirlenmiştir. HGI deneyleri İsdemir Kömür, Kok ve Yan Ürünler laboratuvarında bulunan Hardgrove deney aygıtı ile yapılmıştır (Şekil 3.4).

Şekil 3.4'de görülen Hardgrove deney aygıtı, çelikten yapılmış ve içinde 25,4 mm çapında sekiz adet bilyenin hareketi için yatay yuva bulunan hareketsiz öğütme çanağı içermektedir. Bilyeler, 19-21 dev/dk hızla dönen bir üst öğütme halkası tarafından tahrik edilmektedir. Elek altı ve elek üstü kömürlerin ağırlığının toplamı deneyde girmeden önce tartılan linyit numunesinin ağırlığından en fazla 0,01 g olması gerekmektedir. Kabul edilebilir fark 0,75 g'dır, aradaki fark daha fazla ise deney geçersiz sayılır (TS 3536; ASTM D-409-93).

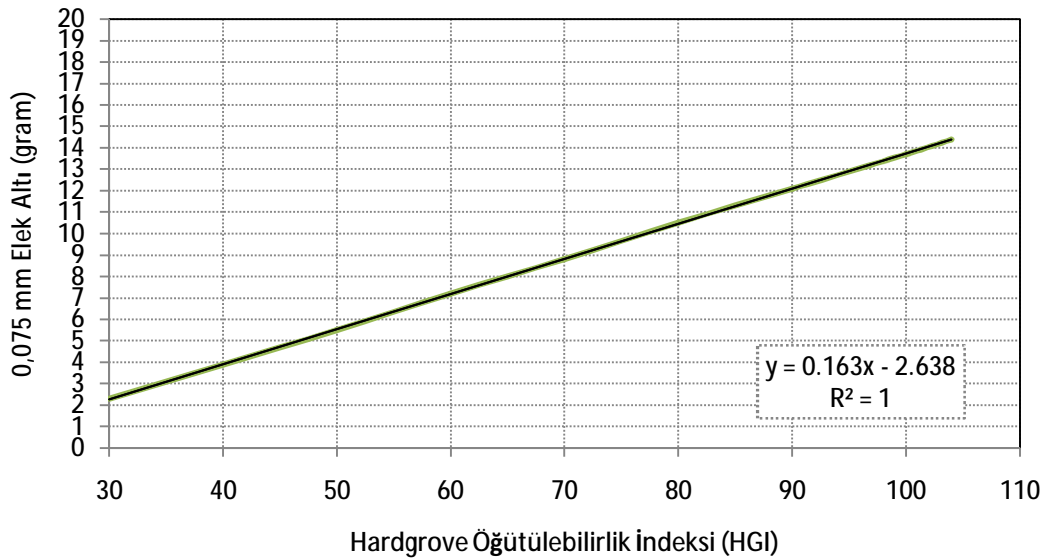


Şekil 3.4. Hardgrove deney aygıtı (İsdemir, 2010)

Deneyde, daha önce yapılan kurutma işlemleri sonucunda elde edilen yeni nem içeriğindeki linyit numunelerinden -1,18 + 0,6 mm tane boyutunda $50 \pm 0,01$ g kullanılmıştır. Deney aygıtı numune ve bilyeler öğütme çanağının içine konulduktan sonra çalıştırılarak $60 \pm 0,25$ devir döndükten sonra otomatik olarak durmuştur. İşlem sonrası elde edilen yeni linyit numunesi 0,075 mm'lik elekten 10 dakika süreyle elenmiştir.

0,075 mm'lik elekten eleme sonrası elek altına geçen linyit numunesinin ağırlığı kullanılarak Şekil 3.5'de görülen kalibrasyon grafiğinden elde edilen (3.7) numaralı formül kullanılarak HGI değeri bulunmuştur.

$$\text{HGI} = \frac{-0,075 \text{ mm numune miktarı (g)} + 2,638}{0,163} \quad (3.7)$$



Şekil 3.5. Hardgrove deneyi kalibrasyon grafiği

3.2.7. İş İndeks Değerinin Belirlenmesi

Daha önce yapılan çalışmalarda Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi (HGI) ile Bond İş İndeksi (Wi) arasında kuvvetli bir ilişkiye rastlanılmıştır.

Bond (1954), yaptığı ilk çalışmada, elde edilen HGI değeri ile iş indeksi arasındaki bağıntı aşağıdaki formül ile belirlenmiştir.

$$W_i = \frac{88}{HGI^{0,5}} \quad (3.8)$$

Bond (1961), W_i indeks değerini bulunması için yapmış olduğu yeni çalışma ile daha önceki belirlemiş olduğu formülü geliştirerek aşağıdaki gibi formül elde etmiştir.

$$W_i = \frac{435}{HGI^{0,91}} \quad (3.9)$$

McIntyre ve Plitt (1980), yapmış oldukları öğütülebilirlik araştırmalarında W_i değeri 8,5 kwh/ton'dan fazla olan iş indeks değerlerini HGI değeri ile tespit için aşağıdaki formülü önermiştir.

$$W_i = \frac{1622}{HGI^{1,08}} \quad (3.10)$$

Hower ve ark. (1992), karbonat içerikli numunelerin iş indeks değerini bulunabilmesi için aşağıdaki formülü kullanmıştır.

$$W_i = 14,56 - (0,10 * HGI) \quad (3.11)$$

Belirtilen formüller kullanılarak farklı nem içeriğindeki linyit numunelerinin HGI değerlerinden yararlanılarak Bond İş İndeks (W_i) değerleri bulunmuştur.

3.2.8. Düzeltilmiş Darbe Dayanım İndeks Değerinin Belirlenmesi

Düzeltilmiş Darbe Dayanım İndeks Deneyi (MISI) Afşin-Elbistan linyitlerinin öğütülebilirlik özelliklerine göre sınıflandırılması için geliştirilmiştir.

Deneyde -9,5+3,15 mm ve -4,75+3,15 mm tane boyutunda 13,11 g numune

kullanılmıştır. Deneyde; 4795 g ağırlığında ve 7,5 cm çapında bir çelik silindir, 10 cm yüksekten 13,11 g linyit numunesi deney hücresine konularak yukarıda belirtilen geçen ağırlık, örnek üzerine 3 kez düşürülmüş ve işlem 5 defa tekrarlanmıştır. (3.12) numaralı formül kullanılarak MISI değeri belirlenmiştir.

$$MISI = \frac{mort}{13,11} * 100 \quad (3.12)$$

Yapılan ön çalışmalar neticesinde, deneye giren numune miktarı 13,11 g olduğunda elde edilen MISI değerleri ile HGI değerleri arasındaki korelasyon düşük çıkmıştır. Bu nedenle, farklı numune miktarları ve tane boyutunda numuneler kullanılarak MISI değerleri bulunmuş ve HGI ile korelasyon değerine bakılmıştır.

Deneylerde 13,11 g numune miktarının yanı sıra; 4,37 g, 8,74 g, 26,21 g, 39,31 g, 52,41 g ve 65,51 g olarak belirlenmiştir. -9,5+3,15mm ve -4,75+3,15mm tane boyutunda numuneler kullanılmıştır



Şekil 3.6. Düzeltilmiş darbe dayanım deneyi aygıtı (Ural, 1999)

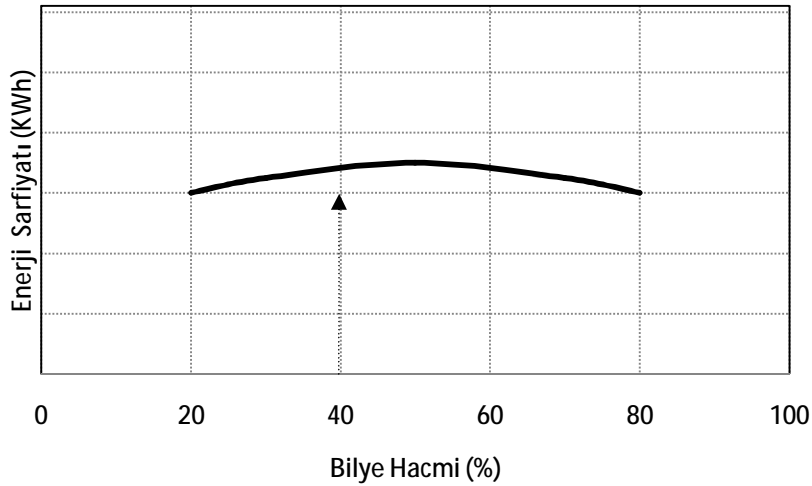
3.13 numaralı formül kullanılarak farklı miktarlarda kullanılan numunelerin MISI değerleri belirlenmiştir.

$$\text{MISI} = \frac{\text{mort}}{\text{deneye giren numune miktarı (g)}} * 100 \quad (3.13)$$

3.2.9. Öğütmeye Nem İçeriğinin Etkisinin Belirlenmesi

Farklı nem içeriğindeki linyit numuneleri aynı şartlar altında öğütme işlemine tabi tutulmuş ve farklı nem içeriğindeki her linyit için farklı d_{80} değerleri elde edilmiştir. Öğütme şartları aşağıdaki gibidir.

Ø **Bilye hacmi;** Değirmende bilye kullanılarak yapılacak olan öğütme işleminde bilye hacmi %40-50 arasında olmaktadır. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi öğütücü ortamdaki bilye hacmi artarken harcanılan enerji miktarı da artmaktadır. Endüstriyel boyutta öğütülen malzemenin değirmenden çıkışının en verimli olduğu bilye hacminin %40 olduğu belirlenmiştir (Wills, 1985). Bu nedenle yapılacak olan öğütme deneylerinde bilye hacmi %40 olarak seçilmiştir.



Şekil 3.7. Enerji gideri ve bilye hacmi arasındaki ilişki (Wills, 1985)

Ø **Kullanılacak olan bilyeler;** Değirmen hacminin %40'ına denk gelen yaklaşık 10 kg bilye kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Deneyde kullanılacak çelik bilyelerin özellikleri

Çap (cm)	Adet	Ağırlığı (gr)
1,5	7	224
2	44	2731
2,5	25	2603
3	14	3624
4	2	755
TOPLAM	92	9937

Ø **Değirmen dönüş hızı;** öğütme deneyinde kullanılacak olan değirmenin çapı 30,5 cm'dir. Değirmen çapından yararlanılarak değirmen kritik hızı hesaplanacaktır. Elde edilen kritik hız değerinin %70'i kullanılmıştır.

$$\text{Kritik Hız} = \frac{423}{\sqrt{D}} \quad (3.14)$$

Kritik Hız yaklaşık 95 dev/dk çıkmıştır. Kritik hızın %70'i kullanılacağı için değirmen dönüş hızı; 66 dev/dk olarak belirlenmiştir.

Ø **Öğütme süresi;** 30 dk olarak belirlenmiştir.

Ø **Malzeme miktarı;** 500 g olarak belirlenmiştir.

Öğütme işlemi sonrasında elek analizi yapılarak elek altı ve elek üstü değerleri bulunmuş ve d_{80} değerleri tespit edilmiştir. Eleme işlemi yaş olarak yapılmıştır ve elek analizinde kullanılan elekler; 1 mm, 0,500 mm, 0,355 mm, 0,250 mm, 0,150 mm, 0,106 mm, 0,075 mm, 0,045 mm'dir.

3.2.10. Farklı Nem İçeriğindeki Linyitin Isıl Değerinin Belirlenmesi

Farklı nem içeriğindeki kömürün ısıl değerinin belirlemek için öğütme işlemleri sonucunda elde edilen linyit numunelerinden her analiz için 1 g kullanılmıştır. Isıl değer, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Yakıt Analiz Laboratuvarı'nda bulunan IKA marka kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. IKA Kalorimetre cihazı (Ç.Ü. Otomotiv Müh. Laboratuvarı)

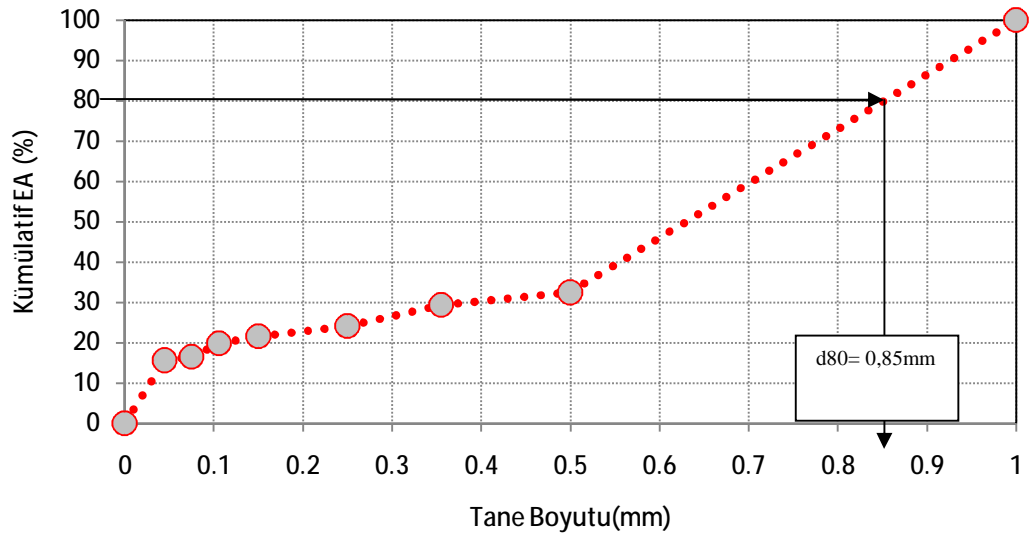
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Afşin-Elbistan Linyit Havzası'ndan getirilen linyit numunelerinin özelliklerini belirleyebilmek için yapılan deneyler sonucunda elde edilen kısa analiz değerleri Çizelge 4.1'deki gibidir.

Çizelge 4.1. Afşin-Elbistan linyit numunesinin kısa analiz sonuçları

Parametre	Orijinal	Havada Kuru	Kuru Değer
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	1703	-	3871
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	1870	3546	4251
Toplam Nem (%)	56,00	16,58	-
Toplam Kükürt (%)	0,57	1,08	1,29
Uçucu Madde (%)	20,64	40,23	46,90
Kül (%)	13,32	25,26	30,28

Termik santrale beslenen linyitten alınan 3 kg temsili numunenin d_{80} değeri 0,85 mm ve nem miktarı %40 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).



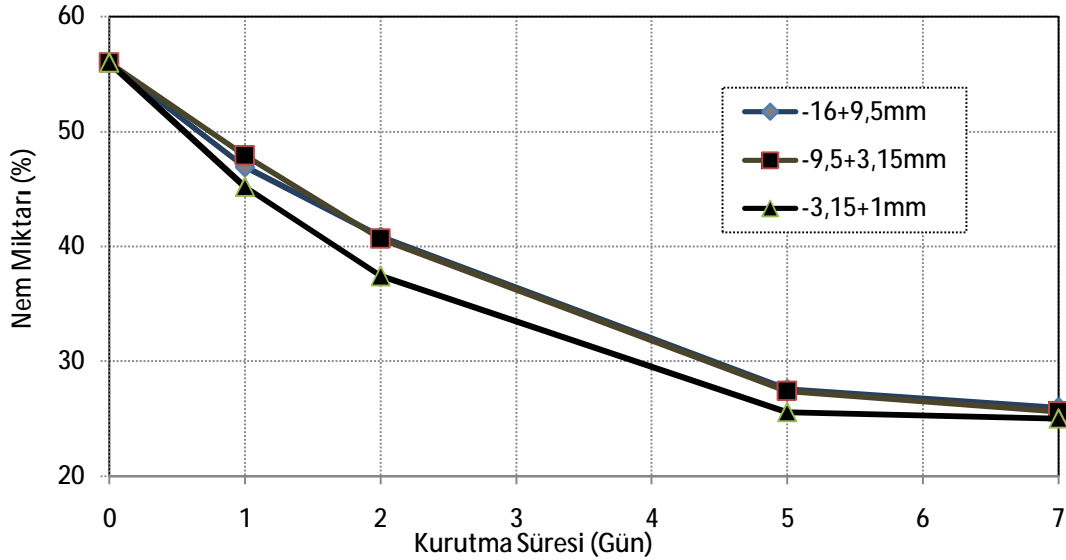
Şekil 4.1. Afşin-Elbistan Termik santraline beslenen linyitin tane irilik dağılımı

Afşin-Elbistan Linyit Havzası'nın (A) termik santrali stok sahasından alınan ve temsili olarak hazırlanan numuneler üzerinde kurutma deneyleri yapılarak elde edilen

yeni nem içeriğindeki linyit numunelerinin ISI değerleri, MISI değerleri, HGI değerleri ve d_{80} değerinin tespiti için öğütme ve elek analizi deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar ve bulgular aşağıda verilmektedir.

4.1. Havada Yapılan Kurutma İşleminin Nem Kaybına Etkisi

Oda sıcaklığında yapılan kurutma işlemi 7 gün sürmüştür. Farklı tane boyutunda (-16+9,5 mm, -9,5+3,15 mm, -3,15+1 mm) hazırlanan linyit numunelerinin nem kaybı değerleri Şekil 4.2'deki gibidir.



Şekil 4.2. Atmosferik şartlarda kurutma işlemi ile nem kaybı değerleri

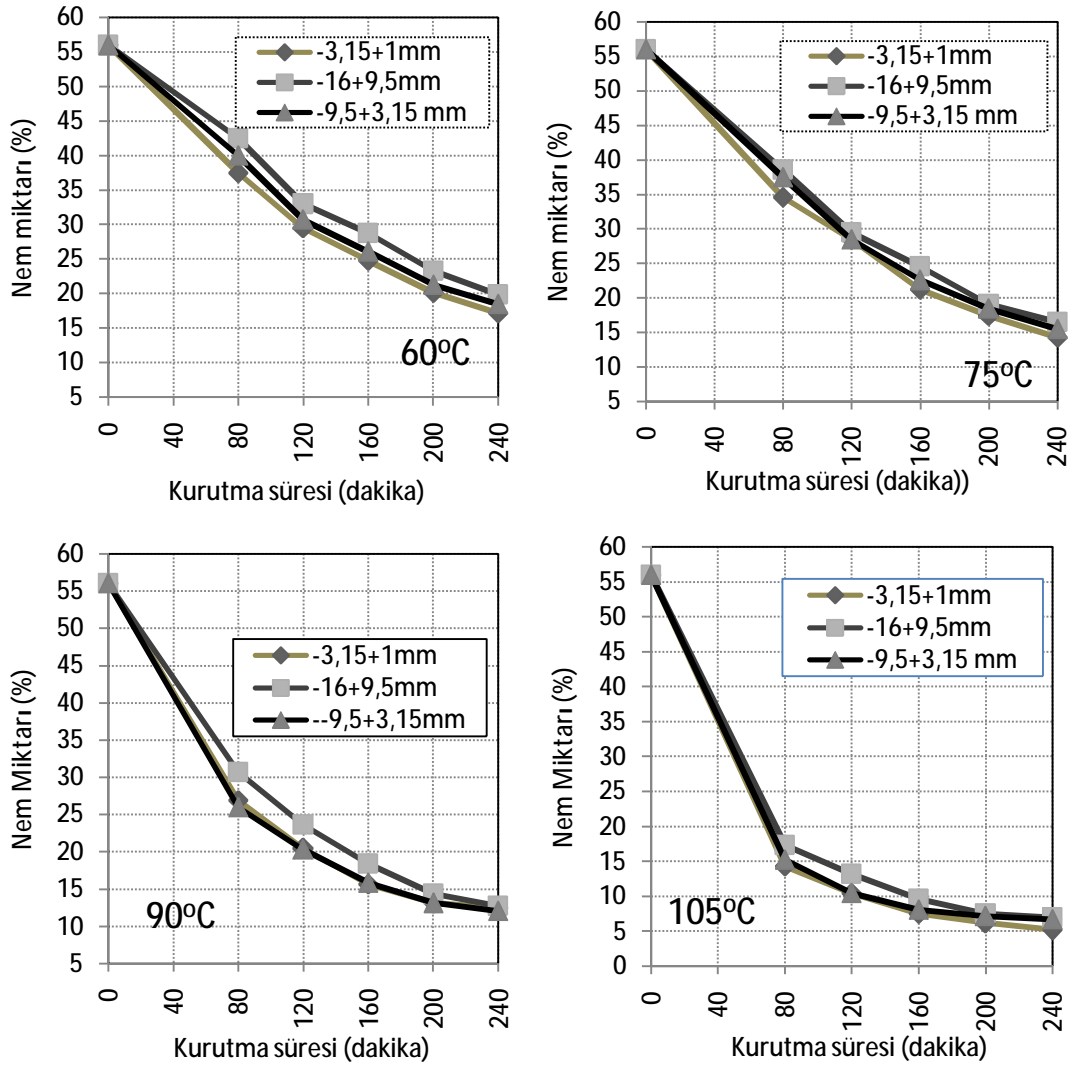
Şekil 4.2'de görüldüğü gibi iri boyutlardaki linyit numunelerinin atmosferik şartlarda kurutulmasında tane boyunun etkisinin çok fazla olmadığı görülmektedir. Kurutma işlemlerinde; ikinci günün sonunda -3,15+1 mm tane boyutundaki numunenin nem kaybı değeri diğer numunelere göre daha fazla iken, yedinci günün sonunda nem kayıp miktarları birbirine çok yakın olarak çıkmıştır. Havada kurutma işleminde, belirlenen boyut aralıklarında, parçacıklardaki nemin uzaklaştırılmasında etken olunamamıştır.

4.2. Etüvde Yapılan Kurutma İşlemleri

4.2.1. Tane Boyutunun Nem Kaybına Etkisi

Farklı tane boyutunda (-16+9,5 mm, -9,5+3,15 mm, -3,15+1 mm) linyit numunelerinin farklı sıcaklıklarda (60, 75, 90 ve 105°C) kurutulmasının nem kaybına etkisi belirlenmiştir.

Şekil 4.3'de tane boyutunun kurutma işlemi sırasında etken bir parametre olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.3. Farklı kurutma süreleri ve sıcaklıklardaki nem kaybı değerleri

60°C’de yapılan kurutma işlemlerinde; numunenin nem içeriği yapılan ilk tartımda(80. dakika) %56’dan %37 ile %43 arasına düşmüş ve daha sonraki her 40’ar dk periyotlarda yapılan tartımlarda yaklaşık %5’lik nem kaybı ile 240. dk sonunda numunenin nem içeriğinin %17 ile %20 arasında değiştiği belirlenmiştir.

75°C’de ise ilk tartımda nem içeriği %34 ile %38 arasına düşmüş, daha sonraki periyotlarda yapılan tartımlarda ise 60°C’deki gibi yaklaşık %5’lik nem kaybı ile kurutma işlemi sonucunda %14 ile %18 arasında numuneler elde edilmiştir

90°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde ilk tartımda nem içeriği %56’dan %25 ile %30 arasına düşerken, daha sonraki tartımlarda nem kaybı değerleri azalmaya başlamış ve kurutma işlemi sonucunda numunelerin nem içeriği %10 ile %13 arasında değişmiştir

Kurutma işlemlerinde yapılan ilk tartımlarda en fazla nem kaybı 105°C’de olmuştur. Numunelerin nem içeriği %56’dan tane boyutuyla orantılı olarak %12 ile %17 arasına inmiştir. 105°C’de yapılan daha sonraki tartımlarda ise nem kaybı azalarak devam etmiş ve 240. dk sonunda ise %5 ile %8 arasında numuneler elde edilmiştir.

4.2.2. Kurutma Sıcaklığının ve Süresinin Nem Kaybına Etkisi

Farklı sıcaklık (60, 75, 90 ve 105°C) ve kurutma sürelerinde (80, 120, 160, 200 ve 240 dk) kurutma işlemleri sonucunda -9,5+3,15mm tane boyutundaki linyit numunelerinden farklı nem içeriğine sahip numuneler elde edilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Farklı sıcaklık ve kurutma süreleri sonucunda yeni nem içerikleri

Kurutma Süresi (dk)	Sıcaklık (°C)							
	60		75		90		105	
	Nem (%)		Nem (%)		Nem (%)		Nem (%)	
0	56,00		56,00		56,00		56,00	
80	39,00	41,00	37,48	37,42	28,32	23,62	15,32	15,08
120	30,73	30,67	28,59	28,30	18,43	22,10	9,56	11,44
160	25,23	27,05	22,16	22,96	18,45	13,08	8,53	7,66
200	22,52	20,15	18,05	18,80	13,56	12,70	6,95	7,45
240	18,56	18,44	15,43	15,57	11,56	12,44	6,40	7,00
EK-2’de varyans analizi deney tasarımı tablosu görülmektedir								

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi yapılan kurutma işlemlerinde deneysel hataların en aza indirilebilmesi için kurutma işlemi iki değişkenli varyans analizi tekniğine uygun olarak yapılmış ve kurutma işlemi iki kez tekrarlanmıştır.

Design Expert Software programı kullanılarak oluşturulan ANOVA analizi Çizelge 4.3’deki gibidir. Çizelgede görüldüğü gibi elde edilen F_{hesap} değeri ile bulunan F_{tablo} değerleri karşılaştırıldığında süre ve sıcaklığın nem içeriği üzerine istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Ancak, sıcaklığın F_{hesap} değeri daha yüksek olduğu için kurutma süresine göre daha anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Kısacası kurutma işleminde sıcaklığın daha etken bir parametre olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. ANOVA analizi

Varyansın Kaynağı		Serbestlik Derecesi	Deneysel Hata	F(hesap)	F(tablo)
A-SURE	1389,26	4		163,083	2,87
B-SICAKLIK	1895,58	3		296,693	3,1
AB	155,51	12		6,08	2,35
Hata	42,59	20	2,13		
Toplam	3482,96	39			

EK-3’de ANOVA analizi tablosunu oluşturan değerlerin hesaplanması görülmektedir.

ANOVA analizinin ve seçilen Varyans analizi tekniğinin geçerli olabilmesi elde edilen varyansların homojen olması gerekmektedir. Bu nedenle için eş varyanslık varsayımının doğruluğu Cochran Eş Varyanslık testi ile sınanmıştır. 4.1 numaralı formül kullanılarak Cochran Eş Varyanslık değeri belirlenmiştir.

$$C = S_{\max}^2 / (S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 \dots + S_k^2) \quad (4.1)$$

C = Cochran Eş Varyanslık değeri

4.1 numaralı eşitlikte S_{\max}^2 gruptaki en büyük varyans, ($S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 \dots + S_k^2$) ise gruptaki varyansların toplamıdır (EK-2’de varyans değerleri görülmektedir).

4.1 numaralı formül kullanılarak Cochran Eş Varyanslık değeri **0,33** olarak bulunmuştur. Bulunan Cochran Eş Varyanslık değeri tablo değerine göre daha düşük

olduğundan varyansların eşit olduğu sonucuna varılmıştır. $C(0,95;2;20) = 0,3894$ 'tür ($C_{2,20} < C_{tablo}$) (EK-4'de Cochran Eş Varyanslık değer tablosu görülmektedir).

Aynı sürelerde ve sıcaklıklarda kurutma işlemine tabi tutulmuş linyit numunelerinden Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi birbirine yakın nem içeriğinde numuneler elde edilmiştir. Aynı deney şartlarına maruz kalmış numunelerden aynı miktarlarda alınarak harmanlanmış ve dayanım ile öğütülebilirlik deneyleri için yeni nem içeriğinde linyit numuneleri elde edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Dayanım ve öğütülebilirlik deneylerinde kullanılan numunelerin nem içerikleri

Kurutma Süresi (dakika)	Sıcaklık(°C)			
	60	75	90	105
	Nem (%)	Nem (%)	Nem (%)	Nem (%)
80	40,00	37,45	25,97	15,20
120	30,70	28,45	20,27	10,50
160	26,10	22,56	15,77	8,10
200	21,30	18,45	13,10	7,20
240	18,50	15,50	12,00	6,70

4.3. Nem İçeriğinin Darbe Dayanım İndeks Değerine Etkisi

60°C'de yapılan 5 farklı kurutma süresi sonucunda nem içeriği %40,00 ile %18,50 arasında, 75°C'de yapılan 5 farklı kurutma süresi sonucunda nem içeriği %37,45 ile %15,50 arasında, 90°C'de yapılan 5 farklı kurutma süresi sonucunda nem içeriği %25,97 ile %12,00 arasında ve 105°C'de yapılan 5 farklı kurutma süresi sonucunda nem içeriği %15,20 ile %6,70 arasında numuneler elde edilmiş ve farklı nem içeriğindeki linyit numunelerinin ISI değerleri tespit edilmiştir.

-9,5+3,15 mm tane boyutunda ayarlanan numunelerden elde edilen ISI değerleri (3.6) numaralı formül kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 4.5 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.5'de görüldüğü gibi nem içeriği %30'un üzerinde olan linyit numuneleri ile yapılan ISI deneylerinde bir sonuç alınamamıştır. Linyit numuneleri

üzerilerine uygulanan kuvvetin etkisiyle **YASTIK** etkisi göstermiş ve deney aygıtının etrafına yapışarak topaklaşmıştır. Nem içeriği %30'ın üzerinde olduğu zaman deneyde kullanılan numunenin tane boyutunun da her hangi bir önemi olmadığı gözlenmiştir. Nem içeriği %30'ın altına indiği anda ISI değeri belirlenebilmiştir.

Çizelge 4.5. Farklı nem içeriğine sahip linyit numunelerinin (-9,5+3,15 mm) ISI değerleri

Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Nem (%)	ISI (%)	Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Nem (%)	ISI (%)
60	80	40,00	Yastık	90	80	25,97	82,55
	120	30,70	Yastık		120	20,27	73,59
	160	26,10	80,46		160	15,77	71,72
	200	21,30	82,32		200	13,10	69,42
	240	18,50	81,122		240	12,00	68,49
75	80	37,45	Yastık	105	80	15,20	70,4
	120	28,45	Yastık		120	10,50	68,97
	160	22,56	76,89		160	8,10	68,63
	200	18,45	73,14		200	7,20	66,13
	240	15,50	73,46		240	6,70	64,98

EK-5-6-7-8'de Darbe dayanım indeks deney sonuçları görülmektedir.

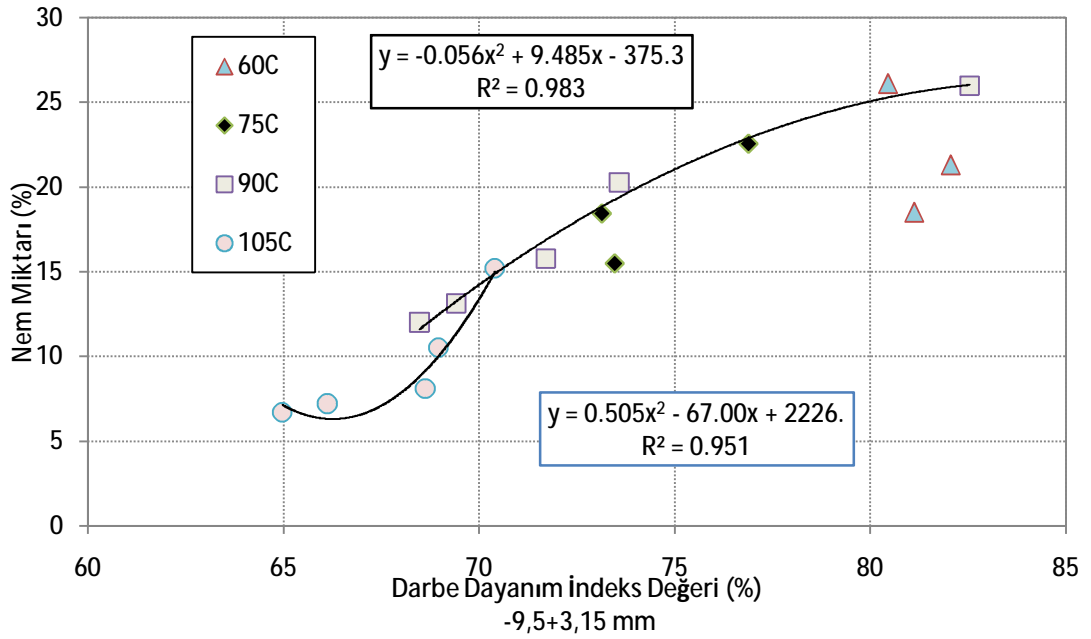
Sonuçta; darbe dayanım değeri 75'ten büyük olanlar aşırı sert, 70-75 arasında olanlar çok sert, 40-60 arasında olanlar sert ve 40'dan küçük olanlar yumuşak kömür olarak sınıflandırılmıştır (Bilgin ve ark, 1988).

Çizelge 4.6. Darbe dayanım indeks değerine göre kömürün sınıflandırılması

ISI > 75	AŞIRI SERT
70 < ISI < 75	ÇOK SERT
40 < ISI < 70	SERT
ISI < 40	YUMUŞAK

Çizelge 4.6'da görülen sınıflandırma sistemine dayanım değerleri kullanılarak yapılacak olan sınıflandırmanın doğru olmayacağı düşünülmüştür. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi düşük sıcaklıklarda (60°C ve 75°C) elde edilen dayanım değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. Düşük sıcaklıklarda linyit numunelerinin içermiş oldukları

kil mineralleri nedeniyle nem kayıp miktarları oldukça az olmuştur. Bu nedenle linyit numuneleri içermiş oldukları nem içeriği nedeni ile elastik özellik göstermiş ve dayanımları yüksek çıkmıştır. Uygulanan sıcaklığın artması ve nem içeriğinin daha fazla düşürülmesi ile elde edilen dayanım değerleri daha düşük çıkmış ve linyit numuneleri elastik özelliğini kaybetmiştir (90°C 'de $R^2=0,983$, 105°C 'de $R^2=0,951$).



Şekil 4.4. Nem miktarı ile -9,5+3,15 mm tane boyutunda elde edilen ISI değeri arasındaki ilişki

Geniş tane boyutunda elde edilen sonuçların linyitin dayanımı hakkında güvenilir bilgi verdiği belirlenmiş olsa da, yapılan eski çalışmalar (Ural, 1999) dikkate alınarak dar tane boyutunda da linyit numunelerinin dayanım değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.7.).

Çizelge 4.7'de görüldüğü gibi nem içeriği %30'dan yüksek olduğu zaman tane boyutunun herhangi bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Dar tane boyutunda da %30'dan fazla nem içeriğine sahip linyit numuneleri deney sırasında **YASTIK** etkisi göstermiştir.

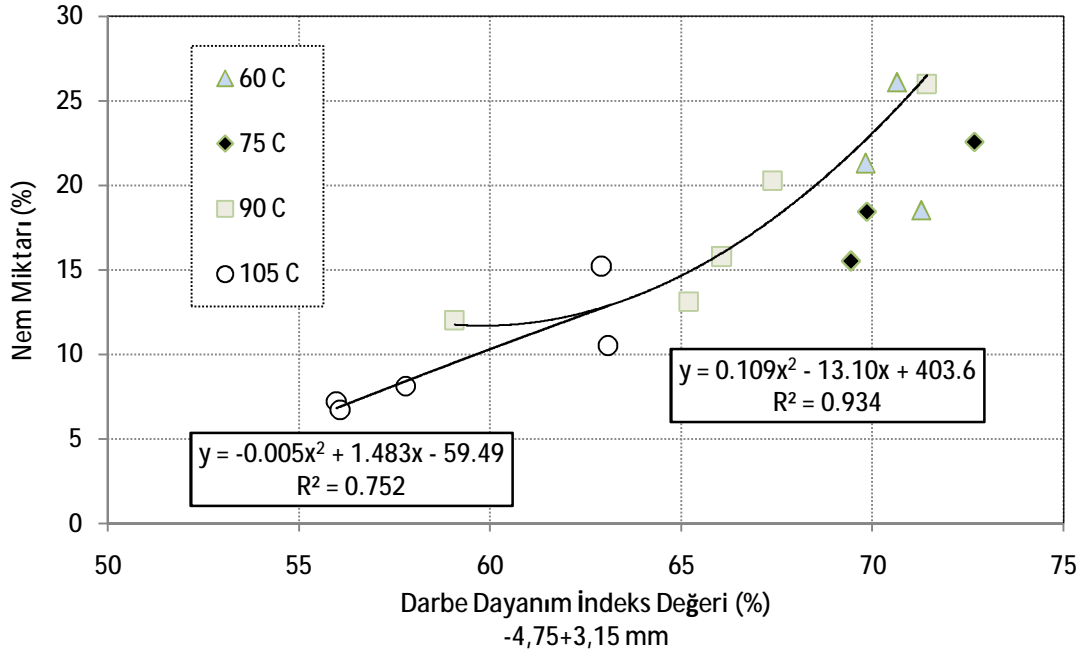
Çizelge 4.7. Farklı nem içeriğine sahip linyit numunelerinin (-4,75+3,15 mm) ISI değerleri

Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Nem (%)	ISI (%)	Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Nem (%)	ISI (%)
60	80	40,00	Yastık	90	80	25,97	71,43
	120	30,70	Yastık		120	20,27	67,39
	160	26,10	70,64		160	15,77	66,07
	200	21,30	69,54		200	13,10	65,21
	240	18,50	71,286		240	12,00	59,08
75	80	37,45	Yastık	105	80	15,20	62,92
	120	28,45	Yastık		120	10,50	63,1
	160	22,56	72,66		160	8,10	57,8
	200	18,45	69,86		200	7,20	55,99
	240	15,50	69,44		240	6,70	56,02

EK-5-6-7-8'de Darbe dayanım indeks deney sonuçları görülmektedir.

Yapılan deneylerden de görüldüğü gibi nem içeriği fazla olduğu zaman darbe dayanım değeri de yüksek çıkmıştır. Nem içeriği düştüğü zaman darbe dayanım değerinin de doğru orantılı olarak düştüğü gözlenmiştir (Şekil 4.5.).

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'den görüldüğü gibi farklı sıcaklıklarda birbirine çok yakın nem içeriğinde numuneler elde edilmiştir. Bu numunelerin darbe dayanım değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde ise kurutma işlemi sırasında sıcaklığın daha etken olduğu bir kez daha görülmüştür. Geniş ve dar tane boyutunda da daha yüksek sıcaklıkta (90°C) ve düşük kurutma süresinde (120 dk) elde edilen numunenin darbe dayanım değeri daha düşük sıcaklık (60°C) ve daha yüksek kurutma süresinde (200 dk) elde edilen darbe dayanım indeks değerinden daha düşük çıkmıştır. Dar tane boyutunda elde edilen ISI değerlerinin geniş tane boyutunda elde edilen ISI değerlerine oranla yaklaşık %5-10 arasında farklılık gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Nem içeriği ile -4,75+3,15mm tane boyutunda elde edilen ISI değeri arasındaki ilişki

4.4. Nem İçeriğinin Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks Değerine Etkisi

HGI değerini belirlemek için yapılan 20 farklı işlemde 0,075 mm'lik elek altı değerleri 1,95 ile 9,07 g arasında değişmektedir. 3.3 numaralı formül kullanılarak elde edilen HGI değerlerinin; 60°C'de 28,15 – 34,34 arasında, 75°C'de 28,45 – 37,04 arasında, 90°C'de 46,86 – 62,50 arasında ve 105°C'de elde edilen HGI değeri 47,00–71,83 arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

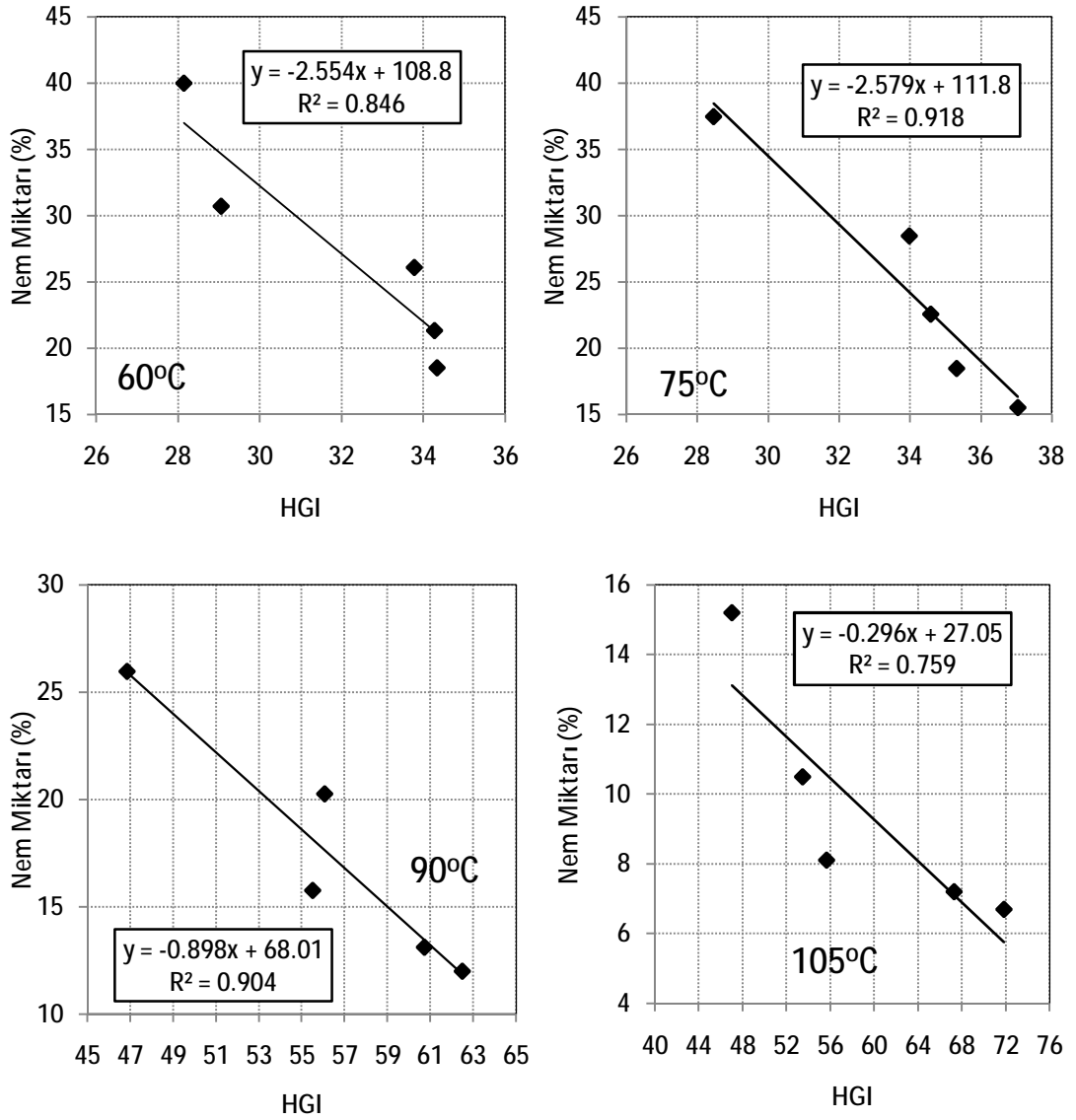
Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi 0,075 mm elek altı değeri arttıkça HGI değerinin yükseldiği ve linyitin öğütülebilirliğe karşı dayanımının azaldığı görülmektedir. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi; düşük sıcaklıkta (60°C ve 75°C) kurutma işlemleriyle elde edilen numunelerin nem içeriği %15'e kadar düşmüş olmasına rağmen numunenin içermiş olduğu kil mineralleri elastik özellik göstermiş ve üzerine uygulanan kuvvet etkisi ile deney aygıtına yapışarak HGI değerleri 28-34 arasında çıkmıştır.

Çizelge 4.8. -0,075 mm elek altı ve kalibrasyon grafiğinden bulunan HGI değerleri

SICAKLIK (°C)	SÜRE (dakika)	Nem İçeriği (%)	-0,075 mm numune miktarı (g)	HGI
60	80	40,00	1,95	28,15
	120	30,70	2,1	29,07
	160	26,10	2,87	33,79
	200	21,30	2,95	34,28
	240	18,50	2,96	34,34
75	80	37,45	2	28,45
	120	28,45	2,9	33,98
	160	22,56	3	34,59
	200	18,45	3,12	35,33
	240	15,50	3,4	37,04
90	80	25,97	5	46,86
	120	20,27	6,5	56,06
	160	15,77	6,41	55,51
	200	13,10	7,26	60,72
	240	12,00	7,55	62,50
105	80	15,20	5,02	47,00
	120	10,50	6,07	53,45
	160	8,10	6,44	55,68
	200	7,20	8,33	67,29
	240	6,70	9,07	71,83

Birbirine yakın nem içeriğindeki numunelerin HGI değerlerinin farklı olmasının nedeni, kurutma işleminde sıcaklığın etkisi olarak belirlenmiştir. Maruz kalınan sıcaklık yükseldikçe kömürün kırılabilirliği artmıştır. Yüksek sıcaklıkta yapılan kurutma işlemi sonucunda elde edilen %20-25 nem içeriğindeki numunelerin HGI değeri 46,86 ile 56,06 arasında değişirken, nem içeriği %20-25 arasında olmasına rağmen daha düşük sıcaklık ve daha uzun süre yapılan kurutma sonucu elde edilen numunelerin HGI değeri 33-34 arasında değişmiştir.

Linyit numuneleri elde edilen HGI değerlerine göre HGI değeri 40'dan az ise AŞIRI SERT 40 ile 60 arasında ise ÇOK SERT, 60 ile 80 arasında ise SERT, 80 ile 100 arasında ise YUMUŞAK, 100 ile 120 arasında ise ÇOK YUMUŞAK olarak sınıflandırılmaktadır (Agus and Waters, 1971). Ancak bu sisteme göre yapılacak olan sınıflandırmanın linyitin hakkında doğru bir bilgi vermeyeceği düşünülmüştür.



Şekil 4.6. Nem içeriği (%) ile HGI değeri arasındaki ilişki

4.5. Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks Değerinden Yararlanılarak İş İndeks Değerinin Belirlenmesi

HGI değeri kullanılarak elde edilen İş İndeks değerleri Çizelge 4.9'da görülmektedir.

Bond (1954)'a göre 3.4 numaralı formül kullanılarak elde edilen iş indeks değeri 10,38 – 16,59 KWh/ton arasında, Bond (1961)'a göre 3.5 numaralı formül kullanılarak elde edilen iş indeks değeri 8,90-20,87 KWh/ton arasında, McIntyre ve

Plitt (1980)'e göre 3.6 numaralı formül kullanılarak elde edilen iş indeks değeri 17,21–44,12 kWh/ton arasında ve Hower ve ark. (1992)'a göre 3.7 numaralı formül kullanılarak elde edilen iş indeks değeri 7,39–11,75 kWh/ton arasında, değişmektedir. Görüldüğü gibi nem içeriği arttıkça linyitin öğütülebilmesi için gerekli olan enerjide artmaktadır.

Çizelge 4.9. Bond iş indeks değerleri

SICAKLIK (°C)	SÜRE (dakika)	Nem İçeriği (%)	HGI	Bond İş İndeksi			
				1992	1954	1961	1980
				Hower	Bond	Bond	McIntyre ve Plitt
60	80	40,00	28,15	11,75	16,59	20,87	44,12
	120	30,70	29,07	11,65	16,32	20,27	42,62
	160	26,10	33,79	11,18	15,14	17,67	36,22
	200	21,30	34,28	11,13	15,03	17,44	35,66
	240	18,50	34,34	11,13	15,02	17,41	35,59
75	80	37,45	28,45	11,71	16,50	20,66	43,61
	120	28,45	33,98	11,16	15,10	17,58	36,01
	160	22,56	34,59	11,10	14,96	17,30	35,32
	200	18,45	35,33	11,03	14,81	16,97	34,52
	240	15,50	37,04	10,86	14,46	16,25	32,80
90	80	25,97	46,86	9,87	12,86	13,12	25,44
	120	20,27	56,06	8,95	11,75	11,15	20,96
	160	15,77	55,51	9,01	11,81	11,25	21,19
	200	13,10	60,72	8,49	11,29	10,37	19,23
	240	12,00	62,50	8,31	11,13	10,10	18,64
105	80	15,20	62,56	8,30	11,13	10,09	18,62
	120	10,50	48,27	9,73	12,67	12,77	24,64
	160	8,10	49,25	9,63	12,54	12,54	24,11
	200	7,20	67,29	7,83	10,73	9,44	17,21
	240	6,70	71,83	7,38	10,38	8,90	16,04

4.6. Nem İçeriğinin Düzeltilmiş Darbe Dayanım İndeks Değerine Etkisi

Geniş (-9,5+3,15 mm) ve dar (-4,75+3,15 mm) tane boyutunda hazırlanan linyit numunelerinden her deneyde 13,11 g kullanılarak düzeltilmiş darbe dayanım değerleri (MISI) belirlenmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10'da görüldüğü gibi nem içeriği %30'dan fazla olduğu durumda ISI değerinin bulunması esnasında yaşanan **YASTIK** problemi MISI değerinin

tespiti sırasında da yaşanmıştır. Linyit numunesi deney aletinin çeperlerine yapışmıştır. Nem içeriği %30'un altında olduğu zaman bir sonuç elde edilebilmiştir.

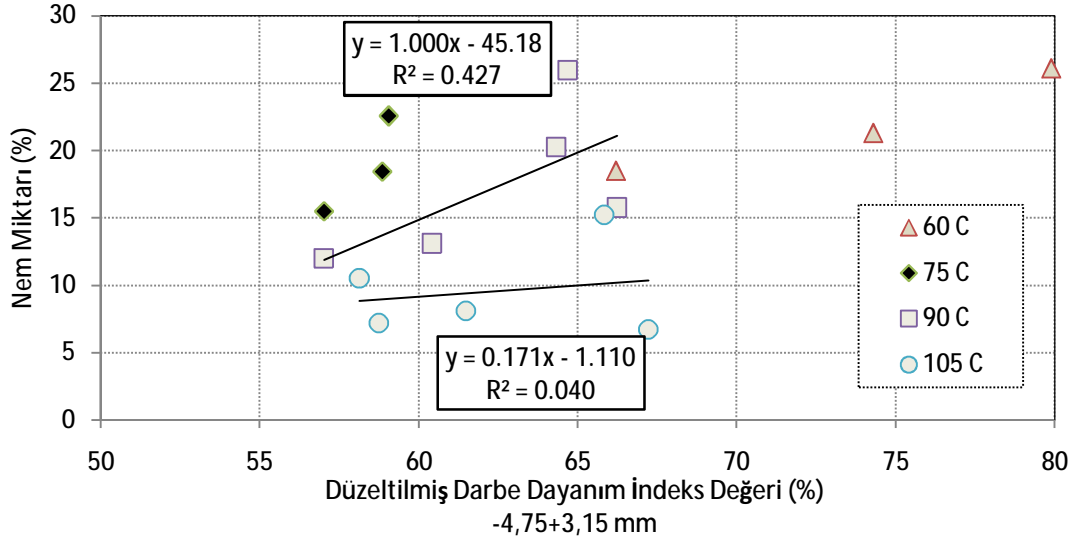
Çizelge 4.10. Farklı nem içeriğindeki linyit numunelerinin -9,5+3,15 mm ve -4,75+3,15 mm tane boyutunda elde edilen MISI değerleri

Sıcaklık ve Kurutma süresi		Tane Boyutu (mm)		Nem (%)
		-9.5+3.15 mm	-4,75+3,15 mm	
60 C	80 dakika	Yastık	Yastık	40
	120 dakika	Yastık	Yastık	30,7
	160 dakika	87,52	79,89	26,1
	200 dakika	83,56	75,1	21,3
	240 dakika	71,79	66,21	18,5
75 C	80 dakika	Yastık	Yastık	37,45
	120 dakika	Yastık	Yastık	28,45
	160 dakika	66,61	59,06	22,56
	200 dakika	54,31	58,87	18,45
	240 dakika	58,35	57,04	15,5
90 C	80 dakika	73,71	64,7	25,97
	120 dakika	68,13	64,34	20,27
	160 dakika	67,56	66,24	15,77
	200 dakika	58,43	60,43	13,1
	240 dakika	59,91	57,04	12
105 C	80 dakika	67,76	65,85	15,2
	120 dakika	64,84	58,15	10,5
	160 dakika	59,54	61,5	8,1
	200 dakika	58,01	58,76	7,2
	240 dakika	54,34	67,24	6,7

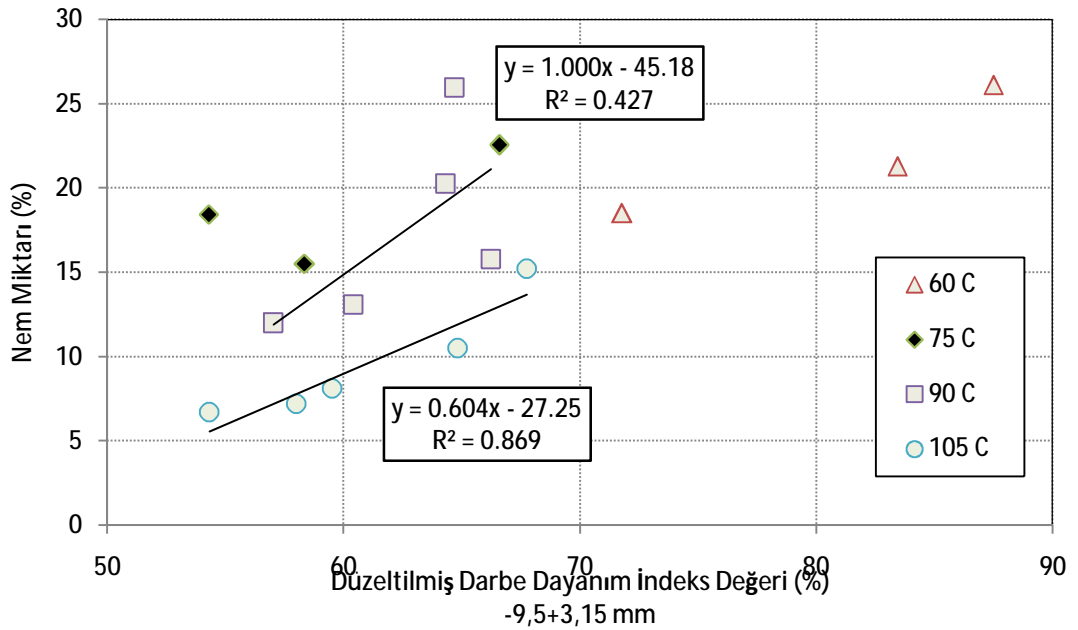
EK-9-10-11-12'de Düzeltilmiş darbe dayanım indeks deney sonuçları görülmektedir.

Farklı nem içeriğindeki numunelerin MISI değerlerini belirlemek için yapılan deneylerde, nem içeriği ile MISI arasındaki ilişkinin çok düşük olduğu elde edilen korelasyon katsayılarından anlaşılmıştır. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi nem içeriği ile -4,75+3,15 mm tane boyutunda MISI değeri ile nem içeriği arasındaki korelasyon katsayısı 90°C'de 0,427 ve 105°C'de 0,040 olarak bulunmuştur. Düşük sıcaklıklarda yapılan deneylerde elde edilen veri sayısı az olduğu için (üç) nem içeriği ile arasındaki korelasyon ilişkisinin güvenilir sonuç vermeyeceği düşünülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde linyit numunelerinin

kırılabilirliğinin artmasına rağmen MISI değerleri ile nem içerikleri arasında bir ilişki kurulamamıştır. -9,5+3,15 mm tane boyutunda MISI değeri ile nem içeriği arasındaki korelasyon katsayısı ise 90°C'de 0,427 ve 105°C'de 0,869 olarak bulunmuştur (Şekil 4.8).



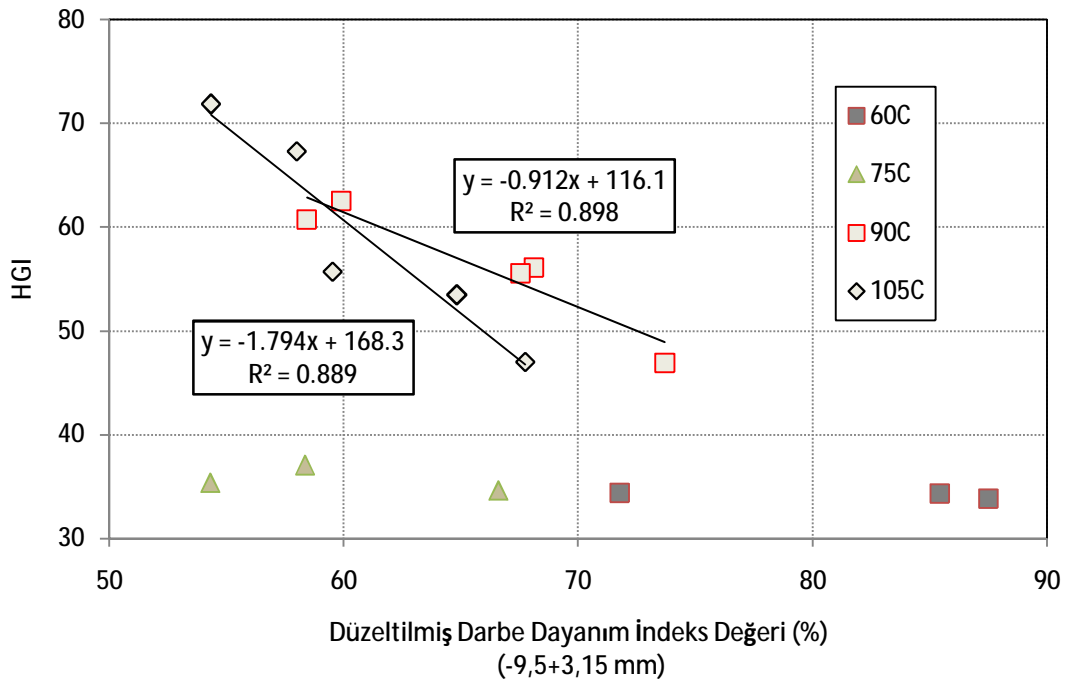
Şekil 4.7 Nem içeriği ile -4,75+3,15 mm tane boyutunda elde edilen MISI değeri arasındaki ilişki



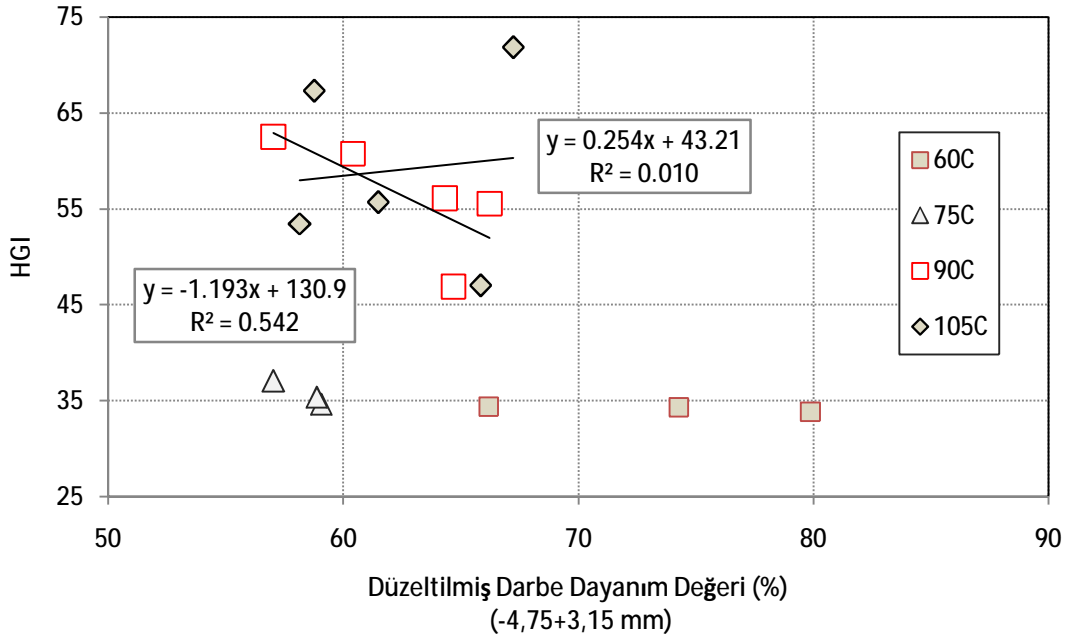
Şekil 4.8. Nem içeriği ile -9,5+3,15 mm tane boyutunda elde edilen MISI değeri arasındaki ilişki

Yapılan önceki çalışmalarda MISI değerini belirlemek için yapılan deneyde kullanılan 13,11 g numuneden elde edilen düzeltilmiş darbe dayanım indeks değeri ile HGI değeri arasındaki korelasyon katsayısının yüksek çıktığı bilinmektedir (Ural, 1999). Bu nedenle elde edilen aynı nem içeriğindeki MISI değerleri ile HGI değerlerinin arasındaki ilişkiye bakılmıştır (Şekil 4.9-4.10).

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi geniş tane boyutunda elde edilen MISI değerleri ile HGI değerleri arasında anlamlı yönde parabolik bir ilişki belirlenmiştir (90°C'de $R^2=0,898$, 105°C'de $R^2=0,889$). Ancak, Şekil 4.10'da ise dar tane boyutunda elde edilen MISI değerleri ile HGI değerleri arasında bir ilişki kurulamamıştır. Dar tane boyutunda 13,11 g numune kullanılarak yapılan MISI deneylerinin linyitin dayanımı hakkında güvenilir bir sonuç vermediği belirlenmiştir. Bu nedenle, 13,11 g yanı sıra 4,37 g., 8,74 g., 26,21 g., 52,41 g ve 65,51 g. ağırlığında numuneler kullanılarak MISI değerleri bulunmuştur.



Şekil 4.9. HGI ile -9,5+3,15 mm tane boyutunda elde edilen MISI değeri arasındaki ilişki



Şekil 4.10.HGI ile -4,75+3,15mm tane boyutunda elde edilen MISI değeri arasındaki ilişki

Elde edilen sonuçlar HGI değerleri ile MISI değerleri karşılaştırılarak Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de görülen korelasyon katsayıları elde edilmiştir.

Çizelge 4.11. HGI ile MISI değerleri (-9,5+3,15 mm) arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları

Deneylerde Kullanılan Numune Miktarı (g)	Korelasyon Katsayıları	
	90°C	105°C
4,37	0,529	0,947
8,74	0,982	0,882
26,21	0,067	0,755
39,31	0,289	0,604
52,41	0,836	0,320
65,51	0,970	0,497

EK – 13’de -9,5+3,15 mm tane aralığında farklı numune miktarları kullanılarak elde edilen MISI değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi deneylerde kullanılan numune miktarlarına göre elde edilen korelasyon katsayıları incelendiğinde 4,37 g ve 8,74 g numune kullanılarak yapılan deney sonuçlarının korelasyonlarının yüksek olduğu belirlenmiştir. EK 13’deki MISI değerleri incelendiğinde ise; 4,37 g numune kullanılarak yapılan deneylerde nem içeriğinin bir öneminin olmadığı ve elde edilen MISI değerlerinin %33,89-59,77 arasında değiştiği belirlenmiştir. 8,74 g numune kullanılarak yapılan deneylerde ise korelasyon katsayılarının yüksek çıkmasına rağmen nem içeriği ile MISI değeri arasındaki ilişki düşük çıkmıştır. 26,21 g, 39,31 g, 52,41 g ve 65,51 g numune kullanılarak yapılan deneyler ise elde edilen korelasyon katsayıları ise oldukça değişken çıkmıştır.

HGI ile dar tane boyutunda (-4,75+3,15 mm) ve farklı miktarlardaki numunelerden elde edilen düzeltilmiş darbe dayanım değerleri arasındaki korelasyon katsayıları oldukça düşük çıkmıştır (Çizelge4.12).Geniş tane boyutundaki gibi 4,37 g malzeme kullanılarak elde edilen MISI değeri ile HGI arasında anlamlı bir ilişki çıkmış ve korelasyon katsayıları yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.12. HGI ile MISI değerleri (-4,75+3,15 mm) arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları

Deneylerde Kullanılan Numune Miktarı (g)	Korelasyon Katsayıları	
	90°C	105°C
4,37	0,512	0,889
8,74	0,068	0,352
26,21	0,081	0,061
39,31	0,254	0,175
52,41	0,918	0,116
65,51	0,711	0,078

EK – 14’de-4,75+3,15 tane aralığında farklı numune miktarları kullanılarak elde edilen MISI değerleri görülmektedir

4.7. Nem İçeriğinin Öğütme İşlemine Etkisi

Farklı nem içeriğindeki 20 numune aynı öğütme şartlarında öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.13’de öğütme işleminde uygulanan değerler görülmektedir.

Çizelge 4.13. Öğütme şartları

Öğütme süresi:	30 dk
Değirmen Dönüş Hızı:	66 dev/dk
Malzeme miktarı:	500 g
Bilya Hacmi:	%40
Tane İriliği:	-3,15+1 mm

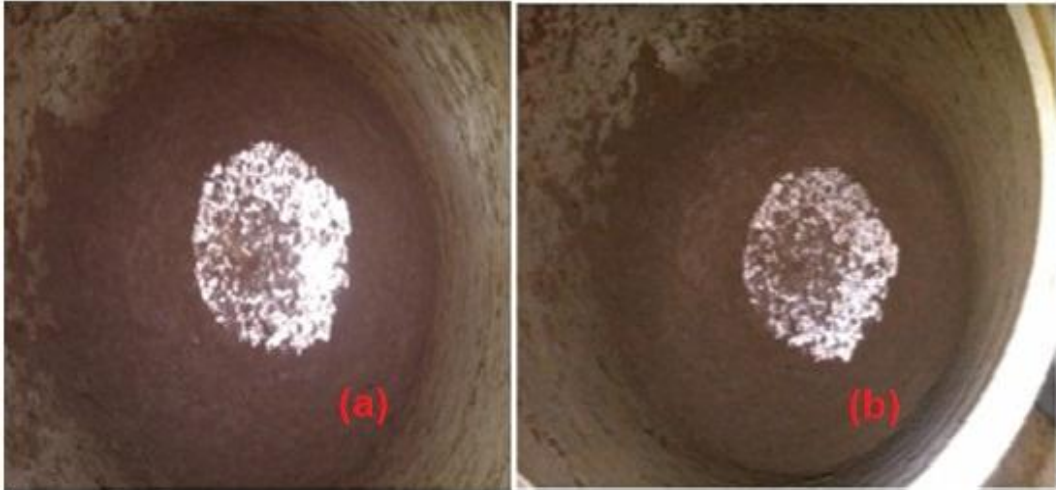
Nem içeriği %30 ve üzerinde olan numunelere uygulanan öğütme işlemi verimli olmamıştır. Linyit tanecikleri değirmenin çeperlerine yapışarak topaklanmış ve -3,15+1 mm tane boyutunda değirmen haznesine beslenen linyit numunelerinin boyutu birbirine yapışarak daha da büyümüştür (Şekil 4.11-4.13).



Şekil 4.11 (a) Nem içeriği %30’dan fazla olan kömür numunesinin öğütülmesi sonucu öğütücü haznenin görüntüsü (b) Nem içeriği %30’dan fazla olan kömür numunesinin öğütülmesi sonucu öğütücü haznenin görüntüsü

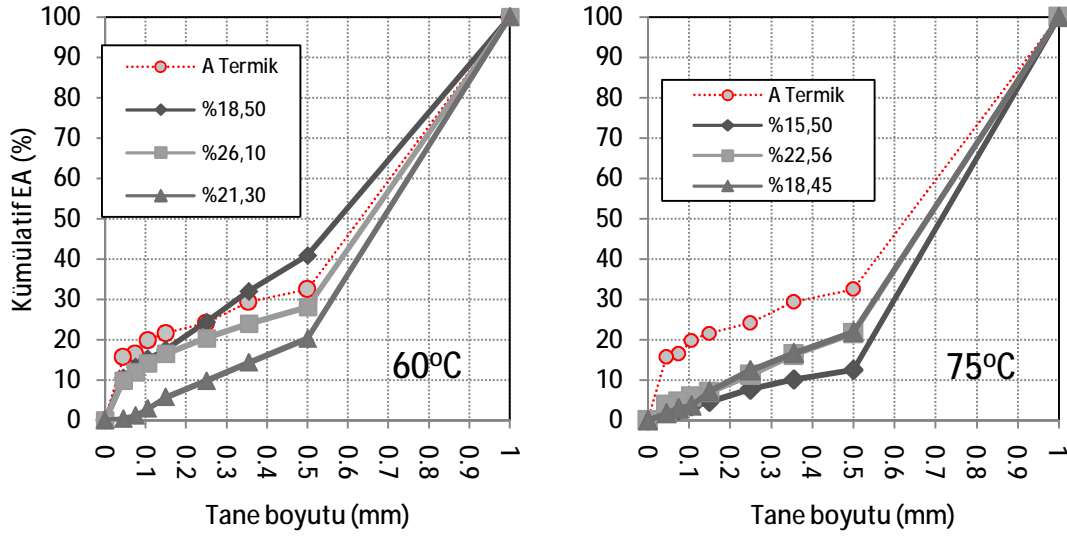


Şekil 4.12 (a) Öğütme işlemi sonucunda +1 mm elek üstü kömür numuneleri
(b) öğütücü haznenin görüntüsü



Şekil 4.13.(a) Nem içeriği %30'dan fazla olan kömür numunesinin öğütülmesi sonucu öğütücü haznenin görünümü (b) Nem içeriği %30'dan fazla olan kömür numunesinin öğütülmesi sonucu öğütücü haznenin görüntüsü

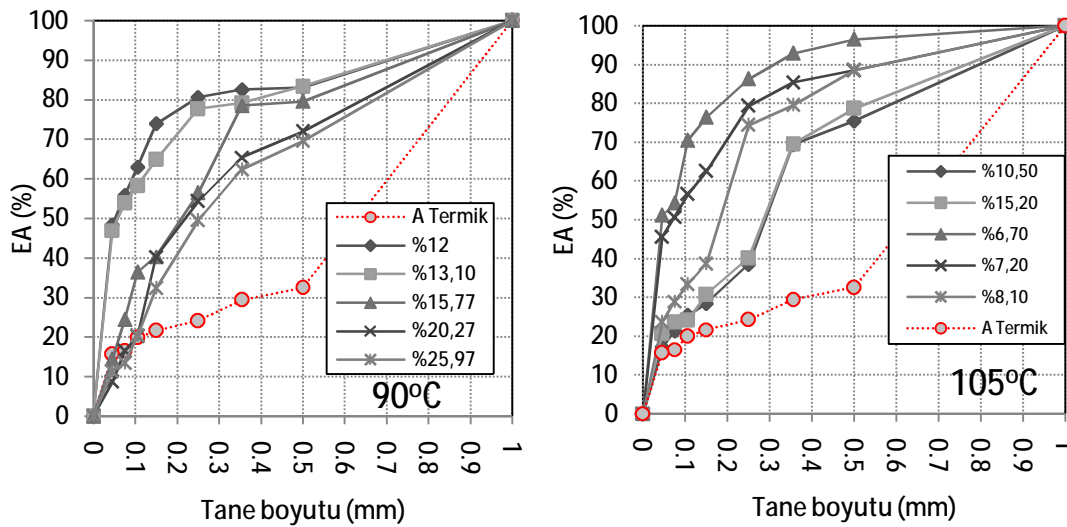
Numunelerin nem içeriği %30'un altına indiği zaman öğütme işlemlerinde bir sonuç elde edilebilmiştir. Öğütme işlemleri sonucunda, yaş elek analizi yapılarak numunelerin EA değerleri belirlenmiş ve EA grafiklerinden yararlanılarak d_{80} değerleri bulunmuştur. Özellikle düşük sıcaklıklarda (60°C ve 75°C) yapılan öğütme işlemleri sonucu elde edilen d_{80} değeri ile mevcut santrale beslenen linyitin d_{80} değeri birbirine çok yakın çıkmıştır (Şekil 4.14-4.15).



Şekil 4.14. Farklı nem içeriğindeki linyit numunelerine yapılan öğütme işlemi sonrası EA değerleri (60°C ve 75°C)

Şekil 4.14'de görüldüğü gibi 60°C sıcaklıkta yapılan kurutma işlemleri ile nem içeriği %30'un altına indiğinde yapılan öğütme işlemleri sonucunda elde edilen d_{80} değeri 0,84–0,87 mm arasında değişmektedir.

75°C sıcaklıkta yapılan kurutma işlemlerinde de nem içeriği %30'un altına indiğinde bir sonuç elde edilebilmiştir. Elde edilen d_{80} değerleri 0,81-0,85 mm arasında değişmektedir.



Şekil 4.15. Farklı nem içeriğindeki kömür numunelerine yapılan öğütme işlemi sonrası EA değerleri (90°C ve 105°C)

90°C’de yapılan kurutma işlemleri sonucu elde edilen yeni nem içeriğindeki linyit numunelerine yapılan öğütme işlemleri sonucunda elde edilen d_{80} değerleri 0,24–0,68 mm arasında değişmektedir. Nem içeriği %20’in altına indiğinde kömürün öğütülebilirliğe karşı dayanımının daha da azaldığı yapılan öğütme işlemi neticesinde daha iyi belirlenmiştir.

Nem içeriği %20’un üzerinde olduğu zaman yapılan öğütme işlemleri neticesinde elde edilen d_{80} değerleri ile mevcut santrale beslenen linyitin d_{80} değeri birbirine çok yakındır. Nem içeriği %15’in altına indiğinde d_{80} değeri 0,24-0,4 mm arasında değiştiği belirlenmiştir.

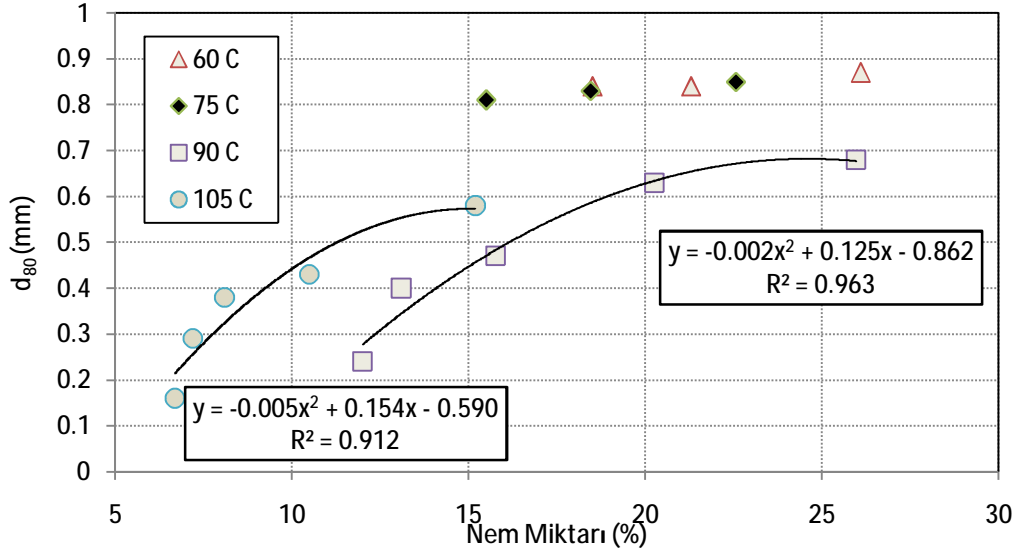
105°C’de yapılan kurutma işlemleri sonucu elde edilen yeni nem içeriğindeki linyit numunelerine yapılan öğütme işlemi sonucunda elde edilen d_{80} değerleri 0,16–0,58 mm arasında değişmektedir. Şekil 4.14 ve 4.15’den yararlanılarak elde edilen d_{80} değerleri Çizelge 4.14’deki gibidir.

Çizelge 4.14.Farklı nem içeriğindeki linyit numunelerinin öğütme işlemi sonucunda elde edilen d_{80} değerleri

Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Nem (%)	d_{80} (mm)	Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Nem (%)	d_{80} (mm)
60	80	40,00	Yastık	90	80	25,97	0,68
	120	30,70	Yastık		120	20,27	0,63
	160	26,10	0,87		160	15,77	0,47
	200	21,30	0,84		200	13,10	0,4
	240	18,50	0,84		240	12,00	0,24
75	80	37,45	Yastık	105	80	15,20	0,58
	120	28,45	Yastık		120	10,50	0,43
	160	22,56	0,85		160	8,10	0,38
	200	18,45	0,83		200	7,20	0,29
	240	15,50	0,81		240	6,70	0,16

EK –15-16-17-18’de öğütme işlemi sonrası elek altı ve elek üstü değerleri görülmektedir

Sonuç olarak, yapılan kurutma işlemlerinde uygulanan sıcaklığın artması ile linyit numunelerinin kırılabilirliğinin arttığı ve öğütme işlemleri sonucunda elde edilen d_{80} değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.16).



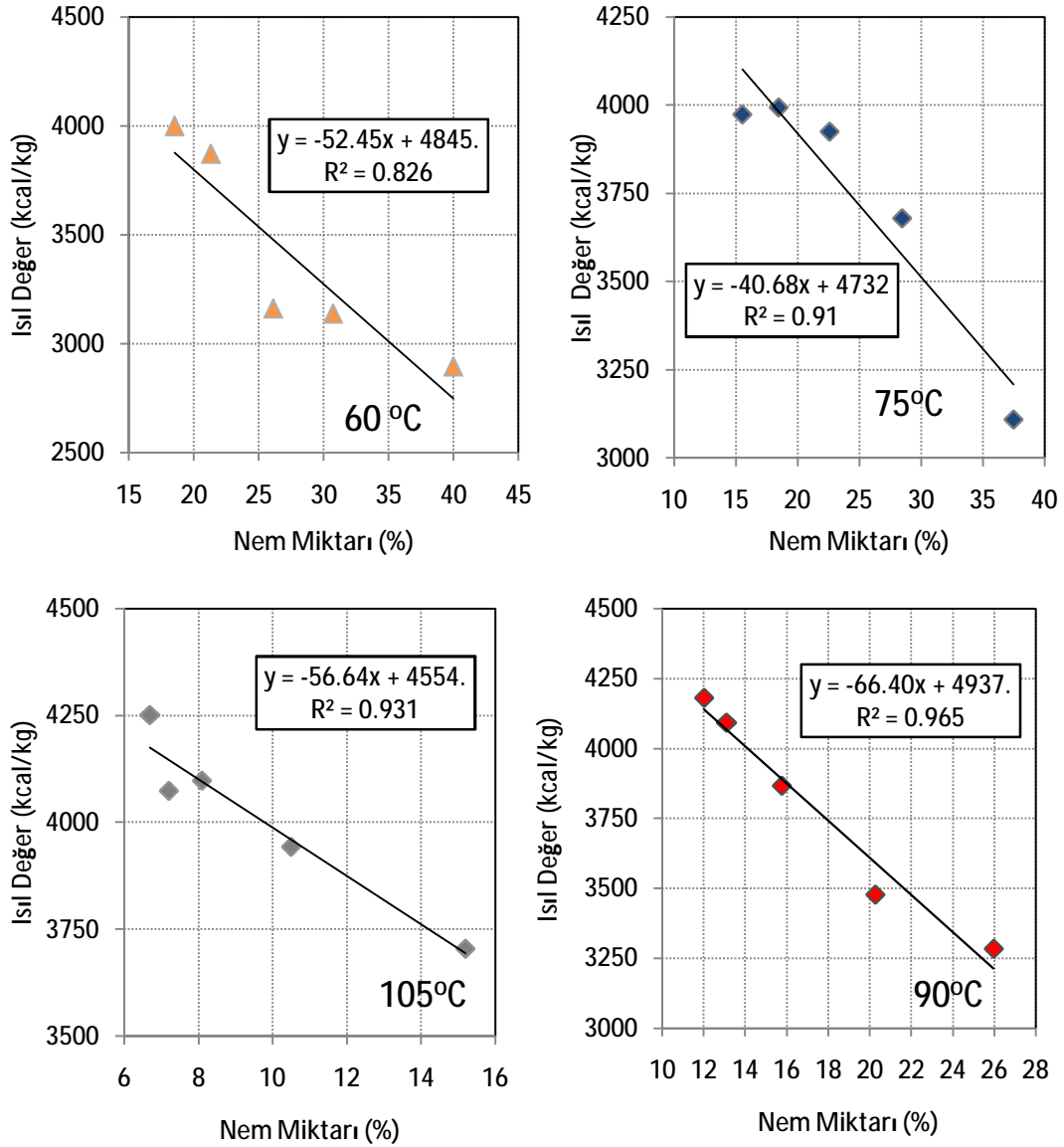
Şekil 4.16. Nem içeriği ile öğütme işlemi sonucunda elde edilen d₈₀ değeri arasındaki ilişki

4.8. Nem İçeriğinin Linyitin Isıl Değerine Etkisi

Kurutma işlemi sonucu yeni nem içeriğindeki linyit numunelerinin ısıl değer analizleri yapılmış ve elde edilen ısıl değerler Çizelge 4.15'deki gibi bulunmuştur. Görüldüğü gibi nem içeriği düştükçe linyitin ısıl değeri yükselmiştir (Şekil 4.17-4.18).

Çizelge 4.15. Farklı nem içeriğindeki kömür numunelerinin ısıl değerleri

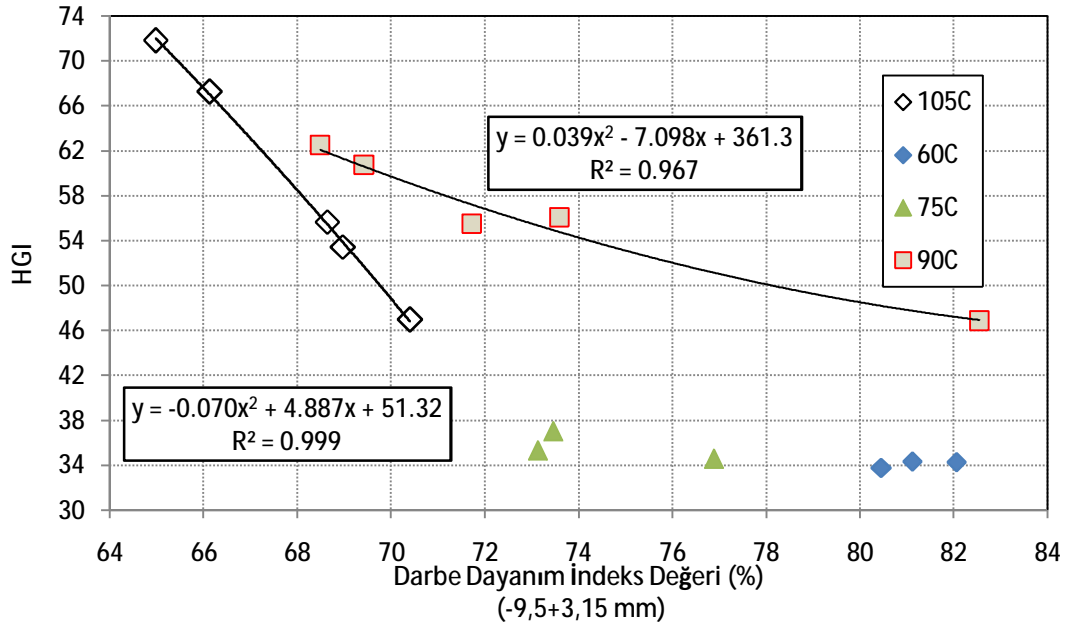
Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Nem (%)	Kalori (kcal/kg)	Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Nem (%)	Kalori (kcal/kg)
60	80	40,00	2896,00	90	80	25,97	3285,00
	120	30,70	3137,00		120	20,27	3678,00
	160	26,10	3162,00		160	15,77	3867,00
	200	21,30	3370,00		200	13,10	4093,00
	240	18,50	3398,00		240	12,00	4181,00
75	80	37,45	3109,00	105	80	15,20	3705,00
	120	28,45	3280,00		120	10,50	3943,00
	160	22,56	3325,00		160	8,10	4098,00
	200	18,45	3393,00		200	7,20	4074,00
	240	15,50	3473,00		240	6,70	4251,00



Şekil 4.17. Nem içeriği ile ısı değeri arasındaki ilişki

4.8. Deneysel Sonuçları Arasındaki Korelasyon İlişkileri

Deneysel çalışmalar sonucunda, kömürün öğütülebilirliği ile dayanım indeks değerleri ve d_{80} değeri arasında anlamlı ilişkiler kurulmuştur. HGI değerinin düşük olduğu noktalarda ISI değerinin %72–82 arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 4.18).

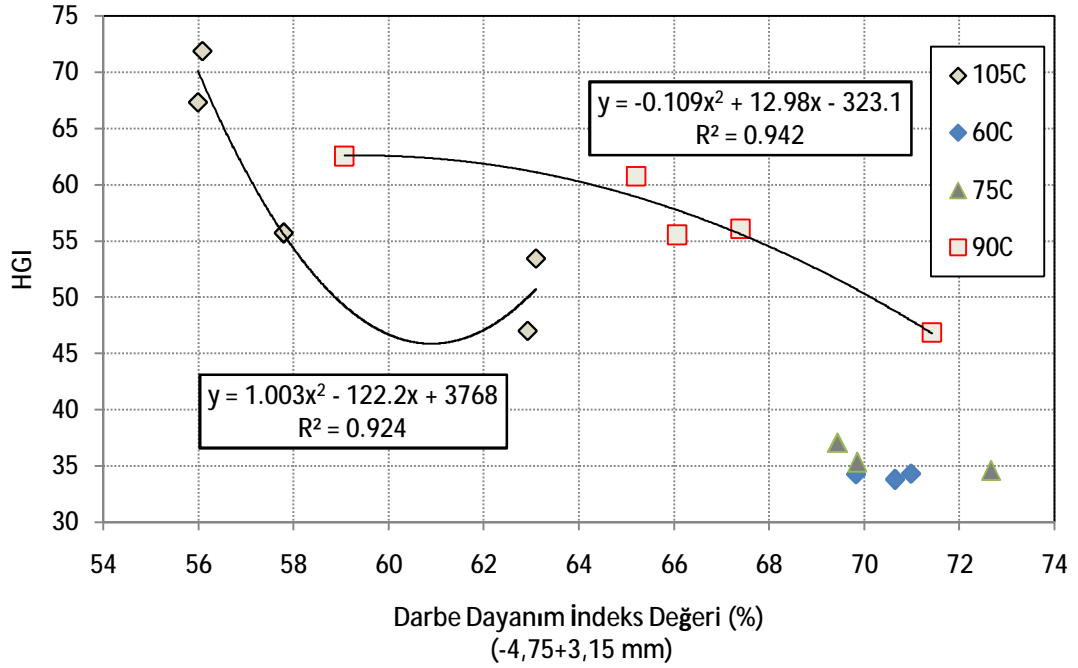


Şekil 4.18. HGI ile -9,5+3,15 mm tane boyutunda elde edilen ISI değeri arasındaki ilişki

Şekil 4.18’de görüldüğü gibi yüksek sıcaklıkta elde edilen HGI değerleri ile geniş tane boyutundaki numunelerin ISI değerleri arasında yüksek korelasyon katsayısı elde edilmiştir (90°C’de $R^2=0,967$, 105°C’de $R^2=0,999$).

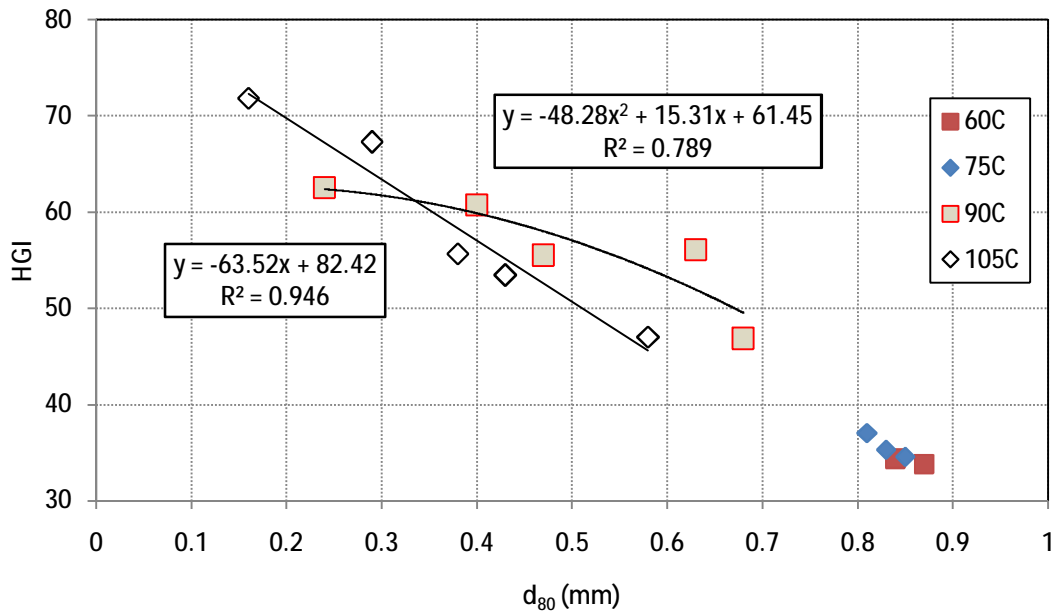
Şekil 4.19’da HGI ile dar tane boyutunda elde edilen ISI değerleri arasındaki ilişki görülmektedir. HGI değerinin düşük olduğu noktalarda ISI değeri %68–72 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Uygulanan sıcaklık arttıkça linyit numunelerinin kırılabilirliği artarak öğütülebilirlik ve dayanım değerleri düşmüştür. Görüldüğü gibi yüksek sıcaklıkta elde edilen HGI değerleri ile dar tane boyutundaki numunelerin ISI değerleri arasında yüksek korelasyon katsayısı elde edilmiştir (90°C’de $R^2=0,942$, 105°C’de $R^2=0,924$).



Şekil 4.19. HGI ile -4,75+3,15 mm tane boyutunda elde edilen ISI değeri arasındaki ilişki

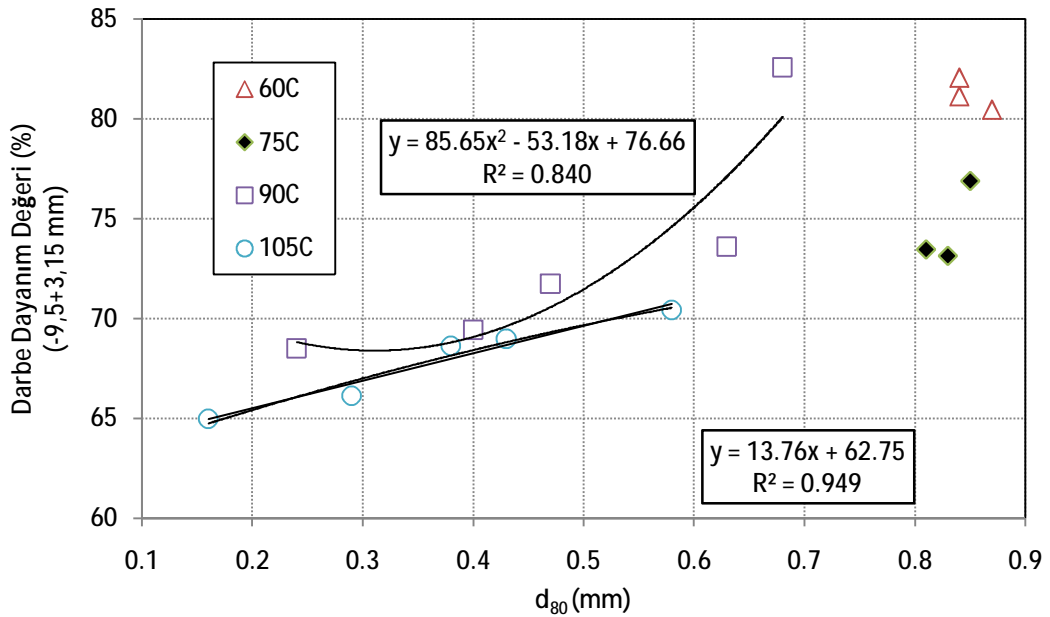
Düşük sıcaklıkta yapılan kurutma işlemlerinde numunelerin içermiş olduğu kil minerallerinin öğütülebilirlik deneylerinde elastik özellik gösterdiği ve öğütülebilirliği zorlaştırdığı Şekil 4.20’de görülmektedir.



Şekil 4.20. HGI ve öğütme işlemi sonucunda elde edilen d_{80} değeri arasındaki ilişki

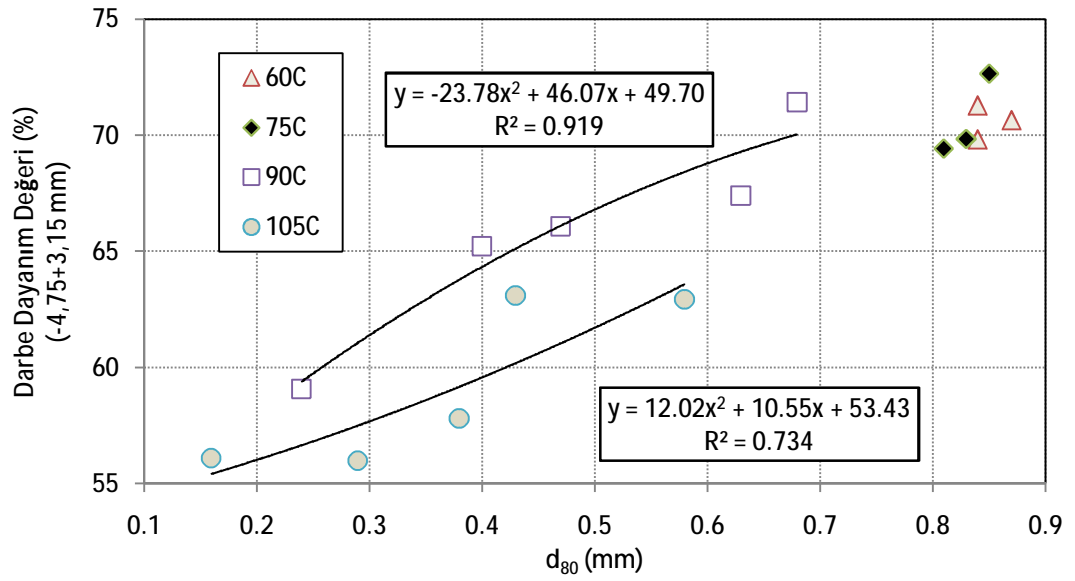
HGI değerinin düşük olduğu noktalarda d_{80} değerinin 0,8-0,9 mm arasında değiştiği görülmüştür. HGI değerinin yükselmesi ile birlikte d_{80} değerinin düştüğü ve linyitin öğütülebilirliğinin kolaylaştığı belirlenmiştir (90°C 'de $R^2=0,789$, 105°C 'de $R^2=0,946$).

Şekil 4.21'de görüldüğü gibi öğütme sonucu elde edilen d_{80} değeri ile geniş tane boyutundaki linyit numunesinden elde edilen ISI değerleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir (90°C 'de $R^2=0,840$, 105°C 'de $R^2=0,949$).



Şekil 4.21. d_{80} ile -9,5+3,15 mm tane boyutunda elde edilen ISI değeri arasındaki ilişki

Şekil 4.22'de d_{80} değerleri ile dar tane boyutundaki linyit numunelerinden elde edilen ISI değerleri arasındaki ilişki karşılaştırıldığında, geniş tane boyutuna göre daha yüksek bir korelasyon katsayısı elde edilmiş ve aralarındaki ilişki daha anlamlı çıkmıştır (90°C 'de $R^2=0,919$, 105°C 'de $R^2=0,734$).



Şekil 4.22. d_{80} ile -4,75+3,15 mm tane boyutunda elde edilen ISI değeri arasındaki ilişki

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile, Afşin-Elbistan termik santralinde yakılan linyitin nem içeriğinin öğütülebilirliğe olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Ø Havada yapılan 7 günlük kurutma işleminde üç farklı tane boyutunda da (-16+9,5 mm, -9,5+3,15 mm, -3,15+1 mm) kömürün nem içeriği %25'e inmiştir. Belirlenen tane boyutlarının havada kurutma işlemine herhangi bir etkisi gözlenmemiştir.

Ø Farklı tane boyutundaki linyit örnekleri için etüvde yapılan kurutma işlemlerinden elde edilen sonuçlara göre; tane boyutunun nem kaybına net bir etkisi gözlenmezken sıcaklık ve süre ile doğru orantılı olarak nem miktarında azalma olmuştur.

Ø -9,5+3,15mm tane boyutundaki numunelere etüvde yapılan kurutma işlemleri iki kez tekrarlanarak iki değişkenli varyans analizi tekniği uygulanmış ve sonuç olarak linyitin nemini kaybetmesi işleminde sıcaklığın kurutma süresine göre daha etken bir parametre olduğu belirlenmiştir.

Ø HGI deneyi dışında ISI, MISI deneyleri sırasında nem içeriği %30'ın üzerinde olan linyit numuneleri deney sırasında **YASTIK** etkisi göstermiştir ve bu nedenle herhangi bir sonuç alınamamıştır. Öğütme deneyleri sırasında da bilyelere ve değirmen çepelerine yapışarak topaklaşmış ve öğütme işlemi gerçekleşmemiştir.

Ø Linyitin dayanımının azalmasında sıcaklığın etkisi elde edilen sonuçlardan da anlaşılmıştır. Örnek olarak; 90°C – 120 dakika (%20,27) ile elde edilen ISI değeri **%73,59** iken 75°C – 160 dakika (%22,56) ve 60°C – 200 dakika (%21,30) ile elde edilen ISI değerleri sırasıyla **%76,89 ve %81,12** olarak bulunmuştur. Maruz kalınan sıcaklık yükseldikçe linyitin kırılma dayanımının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca birbirine yakın nem içeriğindeki linyit numunelerinin HGI ve d_{80} değerleri de birbirinden farklı çıkmıştır.

Ø Geniş ve dar tane boyutunda yapılan ISI deneylerinde elde edilen sonuçların linyitin dayanımı hakkında güvenilir bilgi verdiği belirlenirken (Su ve ark, 2010) deneyler sonuçları arasında yapılan korelasyon sonuçlarına göre; -4,75+3,15 mm

tane aralığında yapılan darbe dayanım deneylerinin linyitin dayanımı hakkında daha doğru sonuç verdiği belirlenmiştir (Ural, 1999).

Ø Düşük ranklı linyitlerde nem içeriği değiştiği zaman HGI değerinin de değiştiği bilinmektedir (Mitchell, 2005; Vecchi and Moore, 1978; Azahari, 1990; Doğan ve ark, 1984; Stnadish ve ark, 1993). Yapılan HGI deneylerinde; nem miktarı azaldıkça HGI değerinin yükselerek linyit öğütülebilirliğe karşı dayanımının azaldığı ve elde edilen HGI değerlerinin 28,15 ile 71,83 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Ø Nem içeriği yüksek linyit numunelerinin kullanıldığı HGI deneylerinde, numuneler elastik özellik göstermiş ve HGI değerleri yüksek çıkmıştır.

Ø HGI değerleri ile d_{80} değerlerinden yararlanılarak yapılan sınıflandırma sistemine göre; HGI değerleri 28 ile 40 arasında olanlar AŞIRI ZOR ÖĞÜTÜLEBİLİR, 40 ile 60 arasında olanlar ZOR ÖĞÜTÜLEBİLİR ve 60 ile 80 arasında olanlar ise KOLAY ÖĞÜTÜLEBİLİR olarak sınıflandırılmıştır.

Ø Nem miktarının azalması ile birlikte linyitin öğütülebilmesi için harcanacak olan enerjinin azalacağı HGI değerleri kullanılarak belirlenen iş indeks değerlerinden anlaşılmıştır. Linyitin iş indeksini belirlemek için daha önce yapılan çalışmalar (Deniz ve ark, 1996) ile HGI değerinden yararlanılarak elde edilen iş indeks değerleri kıyaslandığında; McIntrye ve Plitt (1980)'in önermiş olduğu formülün diğer araştırmacıların önerdiği formüllere göre daha güvenilir sonuç vermiş olduğu belirlenmiştir.

Ø Afşin-Elbistan termik santrali dizayn parametrelerine göre değirmene beslenen kömürün HGI değerinin 53 ile 66 arasında olması gerektiği, bu değerlerin altında yada üstünde olması durumunda yakma kazanlarında problem oluştuğu bilinmektedir(Ural ve Onur, 2000;TEK, 1990). Tasarım parametrelerine göre; düşük sıcaklıkta yapılan kurutma işlemi sonucunda elde edilen farklı nem içeriğindeki linyitlerin HGI değerleri istenilen aralığın dışında kalmıştır. 90°C'de farklı sürelerde elde edilen HGI değerleri (kurutma süresi 80 dakika hariç) tasarım parametrelerine uymuştur.

Ø Afşin-Elbistan linyitlerinin dayanımının belirlenmesi için standartlaştırılan MISI deneyi daha önceki çalışmaların (Ural, 1999; Kadıköylü, 2005) aksine linyitin dayanımı hakkında olumlu bir sonuç vermediği belirlenmiştir. Geniş tane boyutunda

elde edilen ve 13,11 g kullanılarak elde edilen MISI değerleri ile HGI arasındaki korelasyon katsayısı yüksek çıkmasına rağmen (90°C’de $R^2=0,895$, 105°C’de $R^2=0,889$) dar tane boyutunda elde edilen korelasyon katsayısı oldukça düşük çıkmıştır (90°C’de $R^2=0,010$, 105°C’de $R^2=0,542$). 13,11 g yanı sıra 4,37 g, 8,74 g, 26,21 g, 39,31 g, 52,41 g, 65,51 g ve farklı tane boyutunda kullanılan numuneler kullanılarak elde edilen MISI değerlerinin HGI ile korelasyonu oldukça değişken çıkmıştır. Bunun nedeni, MISI deneyinde linyit tanecikleri üzerine düşürülen çekicinin ağırlığı ve düşüş sayısı olarak tahmin edilmektedir. Deneyde kullanılan numune miktarı az iken uygulanan kuvvet birim hacimde linyit numunesine fazla geldiğinden numuneler yastıklaşmış ve MISI değerleri çok büyük çıkmıştır. Deneyde kullanılan numune miktarı arttırıldığında ise taneler birbirlerine kenetlenerek yapışmış ve dayanımı yüksek çıkmıştır.

Ø Nem içeriği %30’ın altında olan linyit numunelerinin öğütme işlemleri sonucunda elde edilen d_{80} değerlerinin 0,16-0,87 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Uygulanan sıcaklığın yükselmesi ile birlikte numunelerin kırılabilirliği artmış ve d_{80} değerleri düşmüştür. Mevcut termik santrale beslenen kömürün d_{80} değeri 0,85 mm’dir.

Ø Nem içeriğinin azalması ile doğru orantılı olarak kömürün ısı değeri yükselmiştir. Nem içeriği %56’dan %6,7’e inerken ısı değeri ise 1700 kcal/kg’dan 4251 kcal/kg’a yükselmiştir. Böylelikle, nem miktarının azalması ile termik santrale beslenecek olan linyit miktarının azalması sağlanacak ve daha az linyit ile aynı miktarda enerji elde edilebilecektir (Bullinger ve Sarunac, 2010).

Ø Yüksek sıcaklık ve kurutma sürelerinde (90°C–105°C) yapılan kurutma işlemi ile kömürün kırılabilirliği artarak daha az enerji kullanılarak kömürün çok ince boyutlara öğütülebileceği belirlenmiştir. Linyitin çok ince boyuta indirilmesi ile azalan cürüflaşma problemini daha da azaltmak için yapılacak flotasyon çalışmaları için hazırlanacak numunenin kurutma şartları belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- ABRAHAMSON, D.E., 1989. Global Warming; The Issue, Impacts, Responses. The Challenge of global Warming, Island Press, Washington D.C.
- ACARP Report, 1998. The Hardgrove Grindability index. ISSUE No 5 February
- AGUS, F. and WATERS, P.L., 1971, Determination of the Grindability of Coal, Shale and Other Minerals, by a Modified Hardgrove Machine Method, Fuel, 50, p. 405 – 431
- AKBULUT, İ., AKSOY, T., ÇAĞLAN, D., ÖLMEZ, T., 2007. Afşin-Elbistan Kışlaköy Açık Kömür İşletmesi Şev Stabilitesi Çalışması. MTA, Rapor, Ankara, s.130.
- AKÇIN, N. A., ve BAŞ, N. 1990. Asma İşlemesi Kömür Damarlarının Darbe Dayanım İndeks (I.S.I) Değerleri ve Kazılabilirlik Ölçütü”, Türkiye 7. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB Maden Müh. Odası Zonguldak Şubesi, sh.17-34, Mayıs Zonguldak
- ARSLAN, V. 2009. Enerji Kaynaklarında Güvenilirlik ve Kömürün Yeri, İzmir Kent Sempozyumu
- ASLAN, H., 1996. Kömüre Dayalı Termik Santrallerinde Verim ve Kapasite Kullanım Oranı Düşüklüğünün Nedenleri ve Bunların Yükseltmeleri için Alınması Gerekli Tedbirler, Türkiye Enerji Sempozyumu, s. 143-159
- ASTM D-3174 – 04, 2010. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal.
- ASTM D3175 – 07, 2007. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke, Annual book of ASTM Standarts.
- ASTM D3302 / D3302M – 10, 2010. Standard Test Method for Total Moisture in Coal, Annual book of ASTM Standarts.
- ASTM D-409-93a, 1993. Standart Test Method of Grindability of Coal by The Hardgrove Machine Method. Annual book of ASTM Standarts, 05.05:203-210.
- ATEŞOK, G. 2004. Kömür Hazırlama ve Teknolojisi, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayını, İstanbul

- AZAHARI, H.L., 1990. The Effect of Moisture Content of Grindability of Indonesian Coals. University of Wollangang (Australia), 311p.
- BARBİR, F., VEZİROĞLU, T.N., 1992. Assessment of Environmental Damage by Fossil Fuels. Clean Utilization of Coal, NATO ASI Series, Series:C, Mathematical and Physical Sciences, Vol 370, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- BARTON, W. A.; CONDIE, D. J.; LYNCH, L. J., 1994. Coal grindability: relationships with coal composition and structure, Proceedings of the 6th Australian Coal Science Conference, p. 55-64.
- BAŞARAN, M., 2010. Kömürlü Santrallerde Rehabilitasyon, ICCI 2010, 12-14 Mayıs 2010, WOW Convention Centre, Istanbul
- BAYKAN, A. R., 2004. Türkiye Çevre Atlası. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Bşk., Ankara.
- BİÇER, M., 2009. Elektrik Üretim Tesislerinde Yatırımlar ve Özelleştirmeler, Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü
- BİLGİN, N., AKGUN, I. ve SHAHRIAR, K. 1988. Amasra Karbonifer Havzasındaki Damarların Mekanik Dayanımı Açısından Sınıflandırılması, Türkiye 6. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 23-27 Mayıs 1988, s. 411 – 425.
- BİLGİN, Y., ERSÖZ, F. ve KARACA, K., 1982. Kahramanmaraş Elbistan D.I. sektörü Linyit Kömürü Fizibilite Araştırması, MTA Raporu, Derleme No. 7216, Cilt 2 Rezerv, Ankara (Yayınlanmamış)
- BOND, F.C., 1954. Crushing and Grinding Calculations, CIM Bulletin Vol. 47, No 507, p. 466 -472
- BOND, F.C., 1961. Crushing and Grinding Calculations, Part I, Br. Chem. Eng. Vol 6 No 6 p. 378 – 385.
- BULLINGER, C., and SARUNAC, N., 2010. Lignite Fuel Enhancement, Final Technical Report, July 9, 2004 to March 31, 2010. DOE Award Number : DE-FC26-04NT41763, June 29, 2010. Great River Energy.
- BULLINGER, C., NESSI M., SARUNAC, N. and LEVY, K., 2002. Coal Drying Improves Performance and Reduces Emissions, Presented at the 27th

- International Technical Conference on Coal Utilization and Fuel systems,
Cleanwater, Florida, March 4-7-,
- BULLINGER, C., and SARUNAC, N., 2006. Lignite Fuel Enhancement Final
Technical Report: Phase 1, DOE Award Number: DE-CF26-04NT41763,
November.
- CALVERT, S., ENGLUND, H.M., 1984. Handbook of Air Pollution Technology. A
Wiley-Interscience Publication, pp 65-97.
- CANKAYA, F. 2005. Afşin-Elbistan (B) Açık İşletmesinde Optimum Ocak
Sınırlarının Belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Yüksek Lisans Tezi, s. 58
- CASSEL, H.M. and LIEBMAN, I. 1959. The Cooperative Mechanism in the Ignition
of Dust Dispersions, Combustion and Flame, 3,46
- CİCİOĞLU, E., 2001. Çöllolar Kışlaköy (Afşin-Elbistan) Linyitlerinin Jeokimyasal
Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara
- DEUTSCH B., 1975. Afşin Elbistan İntegrated Project Wearing Guarantee For
Pulverizers (yayınlanmamış)
- DOĞAN, Z. M., HOŞTEN, Ç. ve BAŞOL, A. 1984. Kömür Rutubetinin
Türkiye’deki Bazı Linyitlerin Öğütülebilirliğine Etkisi, Türkiye 4. Kömür
Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 251 – 259.
- DUNXI, Y., PEISHENG, Li; XUOXIN, S.; YOUHUI, X., 2005. “Prediction Of
Grindability With Multivariable Regression And Neural Network In
Chinese coal,” Fuel, v. 84, no. 18, Dec. p. 2384-2388.
- DAĞISTAN, H., 2009. Dünyada ve Türkiye’de Kömürden Yararlanma Durumu,
MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, Sayı : 8, Temmuz – s : 5-8.
- DEK TMK, 2010. “Temiz Kömür Teknolojileri”, Temiz Kömür Teknolojileri
Çalışma Grubu,
- DENİZ, V.; BALTA, G. ve YAMIK, A., 1996. “The Interrelationships Between
Bond Grindability of Coals and Impact Strength Index (I.S.I.), Point
Load Index (Is) and Friability Index (FD), Changing Scopes in Minera
Processing, Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 829 0

- DİRESKENELİ, H 2008. Elektrik Üretim Sistemlerinde Enerji Verimliliği, Enerji Verimliliği Konferansı, Bilkent Oteli, Ankara,
- DPT, 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu
- EVANS, I. and POMEROY, C.D., 1966. The Strength, Fracture and Workability of Coal. Pergamon, Oxford, 277 pp.
- ELEVLİ, S. ve DEMİRCİ, A. 2004. Bazı Kömür Özelliklerinin Termik Santral Verimliliği ve Kömür Fiyatları Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 02-04 Haziran 2004 Zonguldak, Türkiye
- EUB-AGS, 2005. An Investigation of the Grindability of Alberta Sub-Bituminous Coals, Alberta Energy Utilities Board-Alberta Geological Survey
- FISCHER, G.L. and NATUSCH, D.F.S., 1978. Size Dependence of the Physical and Chemical Properties of Coal Fly Ash. Anal. Mtd. Coal Prod., 3: 489-541.
- GHOSAL A, ROY, L. C., BOSE, R.N. and LAHIRI, A. 1958. Grindability of Indian Coals, Journal of the Institute of Fuel, 31 p. 50-5
- GÖKMEN, V., MEMİKOĞLU, O., DAĞLI, M., ÖZ, D., TUNCALI, E. 1993. Türkiye Linyit Envanteri. MTA, Ankara, s. 269-272.
- GRAY, R. J.; PATALSKY, R. M., 1990. Relationship of the Hardgrove Grindability Index to Petrographic Composition, Proceedings of the Conference - International Coal Testing Conference, 8th p. 38-45.
- GÜRSOY, E. ÖZCAN, K., YÜCEL, A.R., 1981. K.Maraş Elbistan D1 Sektörü Kömür Yatağı Jeoloji Raporu. MTA Raporu, Ankara.
- HARRISON, P. C., ROWSON, N. A., 1996. The Effect of Heat Treatment on the Grindability of Coals, IChemE Research Event, v. 1, p. 268-270.
- HARRISON, P. C., ROWSON, N. A., 1997. The Effect of Microwave and Conventional Heat Treatment on the Comminution of Coal, IChemE Research Event, v. 1, p. 33-36
- HOWER, J.C, GRAESE, A.M., and KLAPHEKE, J.G. 1987. Influence of Microlithotype Composition on Hardgrove Grindability for Selected

- Eastern Kentucky Coals, International Journal of Coal Geology p. 227 – 244.
- HOWER, J.C., BARTON, L.S. and MOSHEIR, S.O. 1992. Application of the Hardgrove Grindability Index in Carbonate Characterization, Minerals and Metallurgical Processing, August, p. 146 – 150
- HUMPHERYS, K.K. and LAWRENCE, W. F 1967. Getting The Most Out of Your Proximate Analysis, Coal Preparation (Thunderbird Enterprises), 3(1), p.12-18
- <http://www.enerji.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 25.08.2010
- <http://www.ssto.org.tr/>, Erişim Tarihi: 01.11.2010
- KADIKÖYLÜ, Ş. 2005. Bazı Türk Kömürlerinde Mineral Madde Miktarının Belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Proje No: MMF. 2004.YL.36, Yüksek Lisans Tezi, Adana, s.55
- KAHRAMAN, S. 2001. Evaluation of Simple Methods for Assessing the Uniaxial Compressive Strength of Rock. Intl. J. Rock Mech. & Mining Sci. 38:981–994
- KARATEPE, N., YAVUZ, R., MERİÇBOYU, A.E., ÖZTÜRK, M., 1998b. Kömürün Yakılmasından Kaynaklanan Kirleticiler ve Emisyon Değerleri. Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. 1998, İstanbul.
- KARTHIKEYAN, M., JOSHUA, V., KUMA, M., and HOE, C.S. 2008. Factors Affecting Quality of Dried Low-Rank Coals, Drying Technology 26: p 1601-1611
- KESKİN, M.T., ve ÜNLÜ, H. 2010. Türkiye’de Enerji ve Verimliliğin Durumu ve Yerel Yönetimlerin Rolü, Heinrich Böll Stiftung Derneği
- KESKİN, T. 2010. Enerji Sektörü: Mevcut Durum Değerlendirme Raporu, Türkiye’nin İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı’nın Geliştirilmesi Projesi.
- KOÇAK, Ç., KÜRKÇÜ, S. N., YILMAZ, S. 2003. Afşin-Elbistan Linyit Havzasının Yeniden Değerlendirilmesi ve Linyit Kaynakları Arasındaki Yeri. 24-27 Eylül 2003, Türkiye 9. Enerji Kongresi, İstanbul.

- LAER, V.L., 2010. When Will We Run Out Of Fossil Fuels?, <http://www.science20.com/> Erişim Tarihi: 24.04.2011
- LEVY, E. , 2005. Use of Coal Drying to Reduce Water Consumed in Pulverized Coal Power Plants, DOE Award Number DE-FC26-03NT41729, Quarterly Report for the Period Energy Research Center, Leigh University, Usa.
- LI,P., XIONG, Y., YU, D. and SUN, X., 2005. Prediction of Grindability With Multivariable Regression and Neural network in Chinese Coal, Fuel, 84(18), p. 2384-2388
- LJUBOMIR, N. 1973. Influence of The Physical and Chemical Properties of Yugoslavian Coal on its Grindability, Institute Heat Technology, Mineral Institute, Belgrade, Yugoslavia. Braunkohle (Duesseldorf) 25(6), p. 165-74. (Journal written in German)
- LYTLE, J., CHOI, N. and PRISBREY, K. 1992. Influence of Preheating on Grindability of Coal, International Journal of Mineral Processing, p.107-112
- MASTERS, G.M., 1991. Introduction to Environmental Engineering and Science. pp. 270-294, Prentice-Hall International Inc., London.
- MCINTYRE, A. and PLITT, L.R., 1980. The Interrelationship Between Bond and Hardgrove Grindabilities, CIM Bulletin, June 1980, s. 149 – 155.
- MERT, B.A., 2010. Afşin – Elbistan Kömür Havzasındaki Madencilik Faaliyetlerinde Coğrafi Bilgi sistemleri ile Küresel Konumlama Sistemlerinin Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Proje No: 2007D5, Doktora Tezi, Adana, s.207
- MITCHELL G.D., 2005. Coal and Organic Petrology Laboratories, The Pennsylvania State University, Coal Utilization in the Steel Industry
- MILLER, B.G., 2005. Coal Energy Systems, Elsevier Academic Press, ISBN : 0-12-497451-1

- MERİÇBOYU, A.E., BEKER, Ü.G., KÜÇÜKBAYRAK, S., 1998. Kömürün Kullanımını Belirleyen Önemli özellikleri. Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, İstanbul.
- MMO, 2010. Türkiye’de Termik Santraller, Mart, Yayın No: Makine Mühendisleri Odası, MMO/2010/526.
- OKI, T., TANAKA, J. and HARADA, T., 1996. Cause of Coal Grindability. Correlation of Coal Rank, Maceral Composition, Hardness, and Brittleness, *Atsuryoku Gijutsu*, v. 34, no. 1, Jan. 25, p. 37-42.
- OTTO GOLD, 1969. Lignite Deposit of Afsin-Elbistan Feasibility Report. Vol 1, Köln, p.123
- ÖZENSOY, E., 1982. Teknolojik ve Bilimsel Araştırmalarda Modern Deney Tasarımcılığı ve Optimizasyon Yöntemleri, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, Eğitim serisi No. 24, Ankara
- ÖZER, Ü. ve ÇABUK, E., 2006. Bond İş İndeksi ve Kaya Parametreleri Arasındaki İlişki, *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C.20.s.1 ss. 43 – 49
- PAINTER, D.E., 1974. Air Pollution Technology. Pitt. Technical Institute, Greenville, reston Publishing Company, pp. 258-259.
- PADGETT, P. L. and HOWER, J. C., 1997. Hardgrove Grindability Study of Powder River Basin and Appalachian Coal Components in a Midwestern Power Station Blend,” *Minerals and Metallurgical Processing*, v. 14, no. 3, Aug. p. 45-49.
- PROTODYAKANOV, E. I., 1950. Determination of Coal Strength at Mines. *Ugol* 25:20–24.
- RUBIERA, F., ARENILLAS, A., FUENTE, E., MILES, N.and PIS, J.J., 1999. Effect of The Grinding Behaviour of Coal Blends on Coal Utilization for Combustion, *Powder Technology*, v. 105, no. 1, p 351-356.
- RAO, B.V. and GOPALAKRISHNA, S.J., 2009. Hardgrove Grindability Index Prediction Using support Vector Regression, *International Journal Mineral Processing*, p. 55-59
- SAWYER, R.F., 1971. Combustion Generated Air Pollution. Sarkman, E.S., Ed., Plenum Press, New York.

- SENGUPTA, A.N., 2001. An Assessment of Grindability Index of Coal, Fuel Processing Technology, p. 1-10
- SEVİM, H., NASUF, E., ve KUZU, C., 1998. Kömür Atıklarının Depolanması. Kural,O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, İstanbul
- SHEN, T.T., 1980. The Environmental Impact of Conventional Fossil Fuel Sourcess Energy and the Environment İnteractions, Theodore L.; Buonicore, A.J., Eds., Vol 1, Chapter 2, CRC Press Inc., Florida
- STNADISH, N., YU, A. B. and AZAHARI, H. L., 1993. Grindability of Indonesian coals, Publications of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 3/93(XVIII International Mineral Processing Congress, 1993, Vol.5), p. 1347-56
- SU, O. 2003. Kömürün Dayanım Özellikleri ile Öğütülebilirliği Arasındaki İlişkilerin Araştırılması, Zonguldak Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi,
- SU, O., TOROĞLU, I. ve AKÇIN, N.A., 2004. Kömürün Öğütülebilirliği ile Dayanım ve İndeks Özellikleri Arasındaki İlişkiler, Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 02-04 Haziran 2004, Zonguldak, s. 77 – 86.
- SU, O., TOROĞLU,I., and AKÇIN, N.A., 2010. An Evulation of the Impact Strength Index a a Criterion of Grindability, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 32: 17, p. 1671 — 1678
- TEK, 1990. Afşin-Elbistan Termik Santrali 2. Kazanında Yapılan Özel Testler (Yayınlanmamış), Afşin, s.17.
- TEK, 1993. Afşin-Elbistan Termik Santrali Öğütme ve Yakma Çevrimi Çalışma Prensibi, Ankara (Yayınlanmamış)
- TEK, 1993. Afşin-Elbistan Termik Santrali Brifing Raporu, Elbistan (Yayınlanmamış)
- TICHANEK, F., 2008. Contribution to Determination of Coal Grindability using Hardgrove Method, GeoScience Engineering, Vol. LIV (2008), No.1, p. 27-32, ISSN 1802-5420
- TİRYAKİ, B., ATASOY, K., YAŞITLI, N.E., EYÜBOĞLU, A.S., ve AYDIN, M.Z., 2001.“Studies in the Relationships between Hardgrove Grindability and

- Some Rock Index Tests on Çayırhan Coals, 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey – IMCED 2001, ISBN 975-395-417-4
- TOSHIHIKO, M. 1966. Grindability of Coal. Effect of Crystalline Mineral Matter in Coal on The Grindability, Hokkaido Ind. Res. Inst., Sapporo, Japan. Nenryo Kyokaishi, 45(476), p.843-50.
- TRIMBLE, A.,S, and HOWER, J.C.,2003. Studies of the Relationship Between Coal Petrology and Grinding Properties, International Journal of Coal Geology p. 253-260.
- TSE 3536, 1980. Kömürün Öğütülebilirliğinin Hardgrove Yöntemiyle Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 711 ISO 562, 2002. Taş Kömürü ve Kok - Uçucu Madde Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 438 ISO 331, 2002. Kömür- Analiz Numunesinde Rutubet Tayini- Doğrudan Gravimetrik Metot, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TÜRKMENOĞLU, M. 2010. Uçucu Küllerin Liç Karakteristiklerinin ve Çevreye Etkilerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Proje No : MMF2006D4, Doktora Tezi, Adana, s. 161.
- URAL, S. 1999. Afşin-Elbistan Linyitlerinin Sınıflandırılarak Termik Santralin Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Proje No: FBE. 96.97, Doktora Tezi, Adana, s.140.
- URAL, S., ve ONUR, A.H., 2000. Afşin - Elbistan Linyitlerinin Termik Santralin Performansı Üzerindeki Etkileri. Türkiye 12. Kontur Kongresi Bildiriler Kitabı, 23-26 May2000, Zonguldak-Kdz. Ereğli, Türkiye, s-278-286.
- URAL, S., and AKYILDIZ, M., 2004. Studies of the Relationship Between Mineral Matter and Grinding Properties for Low-Rank Coals, International Journal of Coal Geology, p. 81-84
- VECCI, S.J. and MOORE, G.F., 1978. Determine Coal Grindability. Power, vol. 122, no. 3. Babcock Wilcox Co. Lynchburg

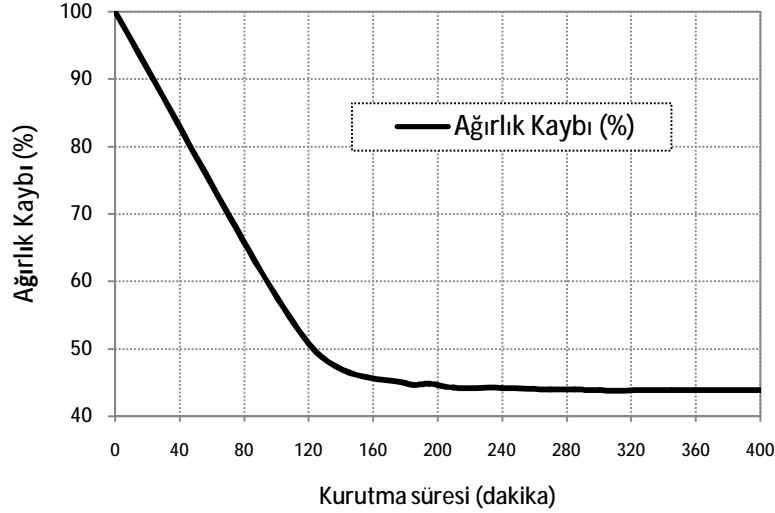
- VULTHALURU, H.B., BROOKE, R.J., ZHANG, D.K. and YAN, H.M., 2003.
Effect of Moisture and Coal Blending on Hardgrove Grindability Index
of Western Australian Coal, Fuel Processing Technology, 81, 67-76
- WILLS, B.A. 1985. "Mineral Processing Technology", Pergamon Press, Third
Edition, p. 207
- YÖRÜKOĞLU, M., 1991. Afşin-Elbistan Projesi ve TKİ Kurumu AELİ
Müessesesinde Madencilik Çalışmaları. Madencilik Dergisi, Eylül 1991,
Sayı No:3,Ankara, s.13-29.
- YUSUFOĞLU, H., BEDİ, Y., USTA, D., ÖZKAN, M.K., BEYAZPİRİNÇ, M. ve
YILDIZ, H., 2005. Afşin Elbistan Neojen Havzasının Tektonik Evrimi,
Doğu Toroslar. 58. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Ankara, s
264-265.

ÖZGEÇMİŞ

16.10.1986 tarihinde Manisa'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Manisa'da tamamladı. 2003 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü'nden 2007 yılında mezun oldu. Aynı yıl, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cevher Hazırlama Anabilim dalında yüksek lisansa başladı. 2009 yılında Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başlaması nedeniyle yüksek lisans eğitimine Çukurova Üniversitesi'nde devam etmektedir.

EKLER

EK-1 Kurutma sürelerinin belirlenmesi için yapılan ön deney sonucu



EK – 2 Varyans Analizi Tekniğine Göre Deney Tasarımı

Sıcaklık (°C)	T=60	T=75	T=90	T=105	
süre : 80	39	37,48	28,32	15,32	
Nem İçeriği	41,00	37,42	23,62	15,08	
varyans	2,00	0,00	11,05	0,03	29,66
süre: 120	30,73	28,59	18,43	9,56	
Nem İçeriği	30,67	28,30	22,10	11,44	
varyans	0,00	0,04	6,73	1,77	22,48
süre : 160	25,23	22,96	18,45	8,53	
Nem İçeriği	27,05	22,16	13,08	7,66	
varyans	1,7	0,3	14,4	0,4	18,14
süre : 200	22,52	18,05	13,56	6,95	
Nem İçeriği	20,15	18,8	12,70	7,45	
varyans	2,8	0,3	0,4	0,1	15,03
süre : 240	18,56	15,43	11,56	6,4	
Nem İçeriği	18,44	15,57	12,44	7,00	
varyans	0,01	0,01	0,39	0,18	13,18
	27,34	24,48	17,43	9,54	19,70

EK – 3 ANOVA Analizi Tablosunun Hesaplanması

Varyans kaynakları;

$$SS_a = 4*2 [(29,66-19,70)^2 + (22,48-19,70)^2 + (18,14-19,70)^2 + (15,03-19,70)^2 + (13,18-19,70)^2] = 1389,26$$

$$SS_b = 5*2 [(27,34-19,70)^2 + (24,48-19,70)^2 + (17,43-19,70)^2 + (9,54-19,70)^2] = 1895,59$$

$$SS_r = (39,00-41,00)^2 + (40,00-41,00)^2 + (37,48-37,45)^2 + (37,42-37,75)^2 + \dots + (6,40-6,70)^2 + (7,00-6,70)^2 = 42,59$$

$$SS_t = (39,00-19,70)^2 + (41-19,70)^2 + \dots + (6,40-19,70)^2 + (7,00-19,70)^2 = 3482,96$$

$$SS_{ab} = SS_t - (SS_a + SS_b + SS_r)$$

$$SS_{ab} = 3482,96 - (1389,26 + 1895,59 + 42,59) = 155,51$$

Serbestlik derecesi;

$$\text{Süre için ; } (a-1) \hat{=} (5-1) : 4$$

$$\text{Sıcaklık için ; } (b-1) \hat{=} (4-1) : 3$$

$$\text{Süre ve sıcaklık için ; } (a-1)*(b-1) \hat{=} 4*3 = 12$$

$$\text{Hata için; } ab*(n-1) \hat{=} 5*4*(2-1) = 20$$

$$\text{Toplam için ; } a*b*n-1 \hat{=} 4*5*2-1 = 39$$

F (hesap) ; aşağıdaki formül ile bulunmuştur.

$$F(\text{hesap}) = (\text{Varyans Kaynağı Değeri}) / (\text{serbestlik derecesi} * \text{deneysel hata})$$

F(tablo) ; serbestlik derecesi tablosu değerlerinden elde edilmiştir.

EK-4 Cochran Eş Varyanslık tablosu ($\mu = 0,05$)

k \ n	2	3	4
2	0,9985	0,975	0,9392
3	0,9669	0,8709	0,7977
4	0,9065	0,7679	0,6841
5	0,8412	0,6838	0,5981
6	0,7808	0,6161	0,5321
7	0,7271	0,5612	0,48
8	0,6798	0,5157	0,4377
9	0,6385	0,4775	0,391
10	0,602	0,445	0,3584
12	0,541	0,3924	0,3311
15	0,4709	0,3346	0,288
20 →	0,3894	0,2705	0,1921
24	0,3434	0,2354	0,1656
30	0,2929	0,198	0,1377
40	0,237	0,1576	0,1082
60	0,1737	0,1131	0,0765
120	0,0998	0,0632	0,0419
∞	0	0	0

EK-5. 60 °C için Darbe Dayanım İndeks Değerleri (-9,5+3,15 mm ve -4,75+3,15 mm Tane Aralığı)

Tane Aralığı (mm)	60 °C 160 dk		60 °C 200 dk		60 °C 240 dk	
	-9.15+3.15 mm	-4.75+3.15 mm	Tane Aralığı (mm)	-9.15+3.15 mm	Tane Aralığı (mm)	-9.15+3.15 mm
1	80,45	70,83	1	81,34	1	82,56
2	80,30	71,05	2	78,56	2	79,65
3	79,03	72,30	3	79,56	3	83,45
4	82,01	70,01	4	84,32	4	77,65
5	80,50	69,03	5	86,53	5	82,3
ortalama	80,46	70,64	ortalama	82,062	ortalama	81,122
standart sapma	1,06	1,22	standart sapma	3,32	standart sapma	2,40
min	79,03	69,03	min	78,56	min	77,65
max	82,01	72,30	max	86,53	max	83,45

EK -6. 75 °C için Darbe Dayanım Değerleri (-9,5+3,15 mm ve -4,75+3,15 mm Tane Aralığı)

Tane Aralığı (mm)	75 c 160 dk		75 c 200 dk		75 c 240 dk	
	-9.15+3.15 mm	-4.75+3.15 mm	Tane Aralığı (mm)	-9.15+3.15 mm	Tane Aralığı (mm)	-9.15+3.15 mm
1	78,54	72,34	1	74,34	1	76,53
2	70,343	69,75	2	70,23	2	73,46
3	79,5	71,34	3	74,343	3	75,34
4	79,65	74,56	4	76,43	4	69,65
5	76,4	75,32	5	70,34	5	72,34
ortalama	76,8866	72,662	ortalama	73,1366	ortalama	73,464
standart sapma	3,88121924	2,29120492	standart sapma	2,73949590	standart sapma	2,68000559
min	70,343	69,75	min	70,23	min	69,65
max	79,65	75,32	max	76,43	max	76,53

EK – 7 90 °C için Darbe dayanım indeks değerleri (-9,5+3,15 mm ve -4,75+3,15 mm Tane Aralığı)

Elek Aralığı	80 dk		120 dk		160dk	
	-9.15+3.15mm	-4,75+3,15 mm	Elek Aralığı	-9.15+3.15 mm	Elek Aralığı	-9.15+3.15 mm
1	80,94	70,75	1	73,44	1	67,11
2	81,38	70,60	2	76,50	2	73,45
3	83,43	73,78	3	72,44	3	72,42
4	83,50	70,98	4	72,45	4	73,02
5	83,50	71,02	5	73,12	5	70,01
<u>Ort.</u>	82,55	71,43	<u>Ort.</u>	73,59	<u>Ort.</u>	71,72
<u>Std. sapma</u>	1,28	1,33	<u>Std. sapma</u>	1,68	<u>Std. sapma</u>	1,74
<u>min</u>	80,94	70,60	<u>min</u>	72,44	<u>min</u>	66,65
<u>max</u>	83,50	73,78	<u>max</u>	76,50	<u>max</u>	73,45
Elek Aralığı	200 dk		240dk		Elek Aralığı	-4,75+3,15 mm
	-9.15+3.15 mm	-4,75+3,15 mm	Elek Aralığı	-9.15+3.15 mm		
1	69,75	69,56	1	68,02		59,50
2	70,23	64,34	2	70,08		58,70
3	65,34	63,23	3	67,03		60,01
4	71,23	64,56	4	68,14		58,15
5	70,56	64,35	5	69,16		59,03
<u>Ort.</u>	69,42	65,21	<u>Ort.</u>	68,49		59,08
<u>Std. sapma</u>	2,34	2,49	<u>Std. sapma</u>	1,17		0,72
<u>min</u>	65,34	63,23	<u>min</u>	67,03		58,15
<u>max</u>	71,23	69,56	<u>max</u>	70,08		60,01

EK- 8 105 °C için Darbe Dayanım Değerleri (-9,5+3,15 mm ve -4,75+3,15 mm Tane Aralığı)

80 dk		120 dk			160 dk		
Elek Aralığı	-9,15+3,15 mm	-4,75+3,15 mm	Elek Aralığı	-9,15+3,15 mm	-4,75+3,15 mm	Elek Aralığı	-9,15+3,15 mm
1	68,78	59,05	1	68,15	59,90	1	69,24
2	75,34	65,40	2	67,91	61,10	2	67,87
3	73,40	66,05	3	70,71	64,30	3	68,05
4	66,60	58,70	4	70,69	62,80	4	68,98
5	67,90	65,40	5	67,40	67,40	5	69,02
ortalama	70,40	62,92	ortalama	68,97	63,10	ortalama	68,63
standart sapma	3,77	3,70	standart sapma	1,60	2,93	standart sapma	0,62
min	66,60	58,70	min	67,40	59,90	min	67,87
max	75,34	66,05	max	70,71	67,40	max	69,24
200 dk		240 dk					
Elek Aralığı	-9,15+3,15 mm	-4,75+3,15 mm	Elek Aralığı	-9,15+3,15 mm	-4,75+3,15 mm	Elek Aralığı	-9,15+3,15 mm
1	65,34	54,56	1	69,05	56,43		
2	68,76	50,34	2	60,00	56,54		
3	64,56	58,75	3	68,30	58,70		
4	64,56	56,54	4	64,30	56,54		
5	67,43	59,76	5	63,23	52,25		
ortalama	66,13	55,99	ortalama	64,98	56,09		
standart sapma	1,88	3,75	standart sapma	3,74	2,35		
min	64,56	50,34	min	60,00	52,25		
max	68,76	59,76	max	69,05	58,70		

EK – 9 60 °C için Düzeltilmiş Darbe Dayanım Değerleri (-9,5+3,15 mm ve -4,75+3,15 mm Tane Aralığı)

Tane Aralığı (mm)	160 dk		200 dk		240 dk			
	-9,5+3,15mm	-4,75+3,15 mm	Tane Aralığı (mm)	9,5+3,15mm	-4,75+3,15 mm	Tane Aralığı (mm)	9,5+3,15mm	-4,75+3,15 mm
1	88,70	82,44	1	88,87	74,56	1	72,44	74,35
2	87,79	80,23	2	80,76	70,34	2	66,87	61,30
3	87,02	77,25	3	77,65	76,50	3	71,37	65,99
4	90,08	79,39	4	79,86	78,65	4	74,58	64,30
5	83,97	80,15	5	90,67	75,45	5	73,66	65,11
Ort.	87,52	79,89	Ort.	83,56	75,10	Ort.	71,79	66,21
Std. sapma	2,28	1,86	Std. sapma	5,81	3,07	Std. sapma	3,00	4,88
min	83,97	77,25	min	77,65	70,34	min	66,87	61,30
max	90,08	82,44	max	90,67	78,65	max	74,58	74,35

EK – 10 75 °C için Düzeltilmiş Darbe Dayanım Değerleri (-9,5+3,15 mm ve -4,75+3,15 mm Tane Aralığı)

Tane Aralığı (mm)	160 dk		200 dk		240 dk			
	-9,5+3,15mm	-4,75+3,15 mm	Tane Aralığı (mm)	9,5+3,15mm	-4,75+3,15 mm	Tane Aralığı (mm)	9,5+3,15mm	-4,75+3,15 mm
1	66,49	61,83	1	52,34	59,87	1	56,56	57,25
2	67,94	61,76	2	60,65	56,78	2	61,07	58,02
3	68,85	58,78	3	50,45	58,76	3	58,78	56,64
4	64,89	57,18	4	50,65	58,76	4	58,02	55,04
5	64,89	55,73	5	56,78	58,88	5	57,33	58,24
Ort.	66,61	59,05	Ort.	54,17	58,61	Ort.	58,35	57,04
Std. sapma	1,79	2,72	Std. sapma	4,43	1,12	Std. sapma	1,73	1,29
min	64,89	55,73	min	50,45	56,78	min	56,56	55,04
max	68,85	61,83	max	60,65	59,87	max	61,07	58,24

EK – 11 90 °C için Düzeltilmiş Darbe Dayanım Değerleri (-9,5+3,15 mm ve -4,75+3,15 mm Tane Aralığı

80 dk		120 dk		160 dk	
Tane Aralığı (mm)	-4,75+3,15 mm	Tane Aralığı (mm)	-9,5+3,15mm	Tane Aralığı (mm)	-4,75+3,15 mm
1	78,03	1	69,24	1	68,70
2	72,46	2	66,11	2	68,09
3	74,14	3	68,78	3	66,03
4	73,23	4	66,08	4	66,41
5	70,40	5	70,46	5	68,55
Ort.	73,65	Ort.	68,13	Ort.	67,56
Std. sapma	2,81	Std. sapma	1,96	Std. sapma	1,25
min	70,40	min	66,08	min	66,03
max	78,03	max	70,46	max	68,70
200 dk		240 dk			
Tane Aralığı (mm)	-4,75+3,15 mm	Tane Aralığı (mm)	-9,5+3,15mm	Tane Aralığı (mm)	-4,75+3,15 mm
1	56,76	1	60,08	1	60,99
2	57,86	2	56,11	2	56,11
3	59,76	3	57,71	3	53,51
4	54,57	4	68,17	4	53,36
5	62,34	5	57,48	5	61,22
Ort.	58,26	Ort.	59,91	Ort.	57,04
Std. sapma	2,95	Std. sapma	4,83	Std. sapma	3,87
min	54,57	min	56,11	min	53,36
max	62,34	max	68,17	max	61,22

EK – 12 105 °C için Düzeltilmiş Darbe Dayanım Değerleri (-9,5+3,15 mm ve -4,75+3,15 mm Tane Aralığı

105 °C 80 dk		105 °C 120 dk		105 °C 160 dk	
Tane Aralığı (mm)	- 9,5+3,15mm -4,75+3,15 mm	Tane Aralığı (mm)	- 9,5+3,15mm -4,75+3,15 mm	Tane Aralığı (mm)	- 9,5+3,15mm -4,75+3,15 mm
1	69,69	1	67,89	1	65,88
2	70,53	2	62,09	2	57,51
3	68,78	3	62,01	3	66,03
4	68,70	4	70,56	4	61,15
5	61,07	5	61,40	5	73,66
Ort.	67,76	Ort.	64,79	Ort.	64,85
Std. sapma	3,81	Std. sapma	4,16	Std. sapma	6,08
min	61,07	min	62,01	min	57,51
max	70,53	max	70,56	max	73,66
105 °C 80 dk		105 °C 120 dk		105 °C 160 dk	
Tane Aralığı (mm)	- 9,5+3,15mm -4,75+3,15 mm	Tane Aralığı (mm)	- 9,5+3,15mm -4,75+3,15 mm	Tane Aralığı (mm)	- 9,5+3,15mm -4,75+3,15 mm
1	59,65	1	59,45	1	64,89
2	55,45	2	52,65	2	68,32
3	59,65	3	53,34	3	65,42
4	56,78	4	53,43	4	68,85
5	50,67	5	55,45	5	68,70
Ort.	56,44	Ort.	54,86	Ort.	67,24
Std. sapma	3,71	Std. sapma	2,77	Std. sapma	1,92
min	50,67	min	52,65	min	64,89
max	59,65	max	59,45	max	68,85

EK – 13 -9,5+3,15 mm tane aralığında farklı numune miktarları kullanılarak elde edilen MİSİ değerleri

Sıcaklık °C	Kurutma süreleri (dakika)	Nem içeriği(%)	MİSİ(%) 4,37 g	MİSİ(%) 8,74 g	MİSİ(%) 26,21 g	MİSİ(%) 39,31 g	MİSİ(%) 52,41 g	MİSİ(%) 65,51g
60°C	80	47,24	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık
	120	43,5	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık
	160	37,2	59,77	77,37	93,26	92,82	91,18	91,29
	200	36,54	57,65	67,65	81,23	86,23	83,21	90,23
	240	35,01	56,08	57,76	77,99	83,49	85,58	85,85
75°C	80	46,38	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık
	120	42,34	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık
	160	35,96	58,35	57,48	69,88	78,85	80,12	92,43
	200	34,55	50,65	54,32	65,43	79,65	80,23	90,12
	240	34,1	49,02	50,46	74,48	77,67	84,91	93,23
90°C	80	40,83	51,72	68,64	73,88	83,01	88,79	88,68
	120	38,2	48,56	53,46	73,24	76,02	80,68	82,34
	160	31,7	54,60	56,38	67,80	79,22	82,26	81,55
	200	23,43	45,43	49,53	72,12	78,54	81,23	79,34
	240	20,7	36,89	47,25	78,07	80,02	80,29	78,79
105°C	80	35,95	52,04	57,64	73,45	71,73	78,33	91,23
	120	31,6	49,2	56,27	72,16	79,46	83,22	93,3
	160	23,87	49,70	57,73	73,23	77,16	80,25	82,09
	200	18,59	35,43	53,23	75,43	77,65	79,43	80,12
	240	13,05	33,89	52,34	76,15	82,68	85,83	83,73

EK – 14 -4,75+3,15 mm tane aralığında farklı numune miktarları kullanılarak elde edilen MİSİ değerleri

Sıcaklık °C	kurutma süreleri (dakika)	Nem içeriği(%)	MİSİ(%) 4,37 g	MİSİ(%) 8,74 g	MİSİ(%) 26,21 g	MİSİ(%) 39,31 g	MİSİ(%) 52,41 g	MİSİ(%) 65,51g
60°C	80	47,24	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık
	120	43,5	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık
	160	37,2	60,27	66,8	91,84	92,7	87,17	83,85
	200	36,54	59,64	65,43	89,53	76,54	79,65	85,04
	240	35,01	54,83	59,18	76,53	78,66	86,24	83,32
75°C	80	46,38	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık
	120	42,34	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık	Yastık
	160	35,96	43,71	58,24	76,89	79,91	79	81,52
	200	34,55	47,65	56,43	75,65	80,23	80,43	90,43
	240	34,1	53,87	48,31	72,89	76,60	84,39	88,65
90°C	80	40,83	47,14	58,42	74,28	80,37	85,98	86,42
	120	38,2	46,73	52,31	70,52	72,88	79,80	77,57
	160	31,7	51,04	56,04	70,87	77,55	80,97	79,84
	200	23,43	38,65	47,54	69,76	67,43	79,76	80,65
	240	20,7	30,76	47,39	74,40	78,50	78,21	76,15
105°C	80	35,95	46,86	49,82	66,78	72,01	77,10	75,18
	120	31,6	39,91	56,66	72,87	79,77	82,23	84,9
	160	23,87	42,79	55,85	69,57	70,93	76,17	77,49
	200	18,59	33,45	54,24	65,43	75,43	75,43	76,43
	240	13,05	34,09	57,23	70,64	78,00	84,65	83,09

EK – 15 60 °C sıcaklıkta yapılan öğütme işlemi sonucundaki EA – EÜ değerleri

Elek Aralığı (mm)	60 °C 160 dakika		60 °C 200 dakika		60 °C 240 dakika	
	EA (%)	EÜ (%)	EA (%)	EÜ (%)	EA (%)	EÜ (%)
-1+0,5	100,00	71,89	100,00	79,75	100,00	59,13
-0,5+0,355	28,11	76,01	20,25	85,70	40,87	67,99
-0,355+0,25	23,99	79,56	14,30	90,20	32,01	75,63
-0,25+0,150	20,44	83,52	9,80	94,28	24,37	82,47
-0,150+0,106	16,48	85,87	5,72	97,13	17,53	84,72
-0,106+0,075	14,13	88,10	2,87	98,87	15,28	86,75
-0,075+0,045	11,90	90,16	1,13	99,67	13,25	89,50
-0,045	9,84	100,00	0,33	100,00	10,50	100,00

EK – 16 75 °C sıcaklıkta yapılan öğütme işlemi sonucundaki EA – EÜ değerleri

Elek Aralığı (mm)	75 °C 160 dakika		75 °C 200 dakika		75 °C 240 dakika	
	EA (%)	EÜ (%)	EA (%)	EÜ (%)	EA (%)	EÜ (%)
-1+0,5	100,00	78,47	100,00	78,12	100,00	87,42
-0,5+0,355	21,53	83,74	21,88	83,38	12,58	89,83
-0,355+0,25	16,26	88,74	16,62	87,70	10,17	92,33
-0,25+0,150	11,26	93,04	12,30	92,87	7,67	95,47
-0,150+0,106	6,96	94,09	7,13	96,32	4,53	96,59
-0,106+0,075	5,91	95,36	3,68	97,08	3,41	97,43
-0,075+0,045	4,64	96,18	2,92	98,32	2,57	98,13
-0,045	3,82	100,00	1,68	100,00	1,87	100,00

EK – 17 90 °C sıcaklıkta yapılan öğütme işlemi sonucundaki EA – EÜ değerleri

Elek Aralığı (mm)	90 °C 80 dakika		90 °C 120 dakika		90 °C 160 dakika	
	EA (%)	EÜ (%)	EA (%)	EÜ (%)	EA (%)	EÜ (%)
+0,5	100,00	30,44	100,00	28,00	100,00	20,44
-0,5+0,355	69,56	37,68	72,00	34,57	79,56	21,44
-0,355+0,25	62,32	50,55	65,43	45,66	78,56	43,55
-0,25+0,150	49,45	67,68	54,34	59,66	56,45	59,66
-0,150+0,106	32,32	79,66	40,34	79,77	40,34	63,66
-0,106+0,075	20,34	86,63	20,23	83,57	36,34	75,66
-0,075+0,045	13,37	88,67	16,43	91,31	24,34	85,59
-0,045	11,33	100,00	8,69	100,00	14,41	100,00
Elek Aralığı (mm)	90 °C 200 dakika		90 °C 240 dakika			
	EA (%)	EÜ (%)	EA (%)	EÜ (%)		
+0,5	100,00	16,62	100,00	16,93		
-0,5+0,355	83,38	20,82	83,07	17,40		
-0,355+0,25	79,18	22,33	82,60	19,40		
-0,25+0,150	77,67	35,13	80,60	26,07		
-0,150+0,106	64,87	41,71	73,93	37,03		
-0,106+0,075	58,29	46,10	62,97	44,21		
-0,075+0,045	53,90	53,01	55,79	51,60		
-0,045	46,99	100,00	48,40	100,00		

EK – 18 105 °C sıcaklıkta yapılan öğütme işlemi sonucundaki EA – EÜ değerleri

Elek Aralığı (mm)	105°C 80 dakika		105 °C 120 dakika		105 °C 160 dakika	
	EA (%)	EÜ (%)	EA (%)	EÜ (%)	EA (%)	EÜ (%)
+0,5	78,65	30,55	100,00	24,55	100	11,44
-0,5+0,355	69,45	59,90	75,45	30,66	88,56	20,55
-0,355+0,25	40,10	69,33	69,34	61,54	79,45	25,66
-0,25+0,150	30,67	75,93	38,46	71,66	74,34	61,41
-0,150+0,106	24,07	76,46	28,34	74,68	38,5896	66,749
-0,106+0,075	23,54	79,44	25,32	78,72	33,2513	71,095
-0,075+0,045	20,56	100,00	21,28	82,94	28,9053	76,425
-0,045	20,56	100,00	17,06	100,00	23,5752	100
Elek Aralığı (mm)	105 °C 200 dakika		105 °C 240 dakika			
	EA (%)	EÜ (%)	EA (%)	EÜ (%)		
+0,5	100,00	11,55	100,00	3,55		
-0,5+0,355	88,45	14,66	96,45	7,14		
-0,355+0,25	85,34	20,66	92,86	13,73		
-0,25+0,150	79,34	37,49	86,27	23,66		
-0,150+0,106	62,51	43,47	76,34	29,55		
-0,106+0,075	56,53	49,32	70,45	45,77		
-0,075+0,045	50,68	54,44	54,23	48,95		
-0,045	45,56	100,00	51,05	100,00		