



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

*PETROL RAFİNASYONU TANK DİBİ ÇAMURLARINDAN  
TERMOKİMYASAL YÖNTEMLERLE CH<sub>4</sub> VE H<sub>2</sub> ELDESİ*

İrem YEŞİLDAĞ

Prof. Dr.H. Kurtuluş ÖZCAN

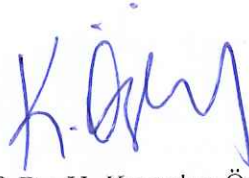
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 09.07.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ



Prof. Dr. H. Kurtuluş Özcan  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Serdar Aydın  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Ali Rıza Dinçer  
Namık Kemal Üniversitesi  
Çorlu Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin FYL-2017-24208 numaralı projesi ile desteklenmiştir. |

## ÖNSÖZ

[Tez çalışmamı hazırlamamda desteğini esirgemeyen, her daim anlayışlı ve bana her konuda yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. H.Kurtuluş ÖZCAN'a, laboratuvar çalışmalarım süresince bana yardımını esirgemeyen Doç. Dr. Atakan ÖNGEN'e ve maddi manevi destekleriyle her daim yanımda olan annem Nazlı YEŞİLDAĞ ile babam Şükrü YEŞİLDAĞ'a ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürü borç bilirim. ]

Temmuz 2019

[İrem YEŞİLDAĞ]



# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
TABLO LİSTESİ.....	xiii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....	xiv
ÖZET .....	xv
SUMMARY .....	xvii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR.....</b>	<b>4</b>
2.1. ATIK KAVRAMI .....	4
2.1.1. Atık Yönetimi .....	5
2.1.2. Sürdürülebilir Atık Yönetimi .....	6
2.1.3. Tehlikeli Atık.....	8
<i>Entegre Tehlikeli Atık Yönetimi .....</i>	<i>8</i>
2.2. HAM PETROL TANK DİBİ ÇAMURLARI .....	9
2.2.1. Tank Dibi Çamuru Kaynakları .....	10
2.2.2. Tank Dibi Çamurlarının Geri Kazanımı .....	11
2.3. TERMOKİMYASAL SÜREÇLER .....	14
2.3.1. Yakma.....	14
2.3.2. Sıvılaştırma.....	15
2.3.3. Piroliz .....	15
<i>Piroliz Ürünleri .....</i>	<i>16</i>
<i>Piroliz Türleri.....</i>	<i>17</i>
<i>Piroliz Ürün Verimi .....</i>	<i>18</i>
<i>Biyokütle Kompozisyonunun Etkisi.....</i>	<i>18</i>
<i>Piroliz Sıcaklığının Etkisi .....</i>	<i>18</i>
<i>Isıtma Hızı Etkisi.....</i>	<i>19</i>
<i>Partikül Boyutunun Etkisi.....</i>	<i>19</i>
2.3.4. Gazlaştırma.....	19
<i>Gazlaştırma Mekanizması .....</i>	<i>20</i>

<i>Gazlaştırıcı Tipleri</i> .....	22
2.4. GAZLAŞTIRMA PROSESİNİN YAKMA İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	24
2.5. LİTERATÜR TARAMASI.....	25
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM</b> .....	<b>29</b>
3.1. ÖRNEKLERİN TANITILMASI VE ÖN İŞLEMLER.....	29
3.2.1. Deneysel Yöntemler .....	30
<i>Nem ve Katı Madde Tayini</i> .....	30
<i>Yanma Kaybı ve Kül Miktarının Tayini</i> .....	31
<i>Numune Miktarlarının Belirlenmesi</i> .....	32
<i>Elementel Analiz</i> .....	33
3.2.2. Gaz Analizleri.....	33
3.2.3. Gaz Ürün Isıl Değer Hesabı .....	34
3.2.4. Reaktör Dizaynı.....	34
3.2.6. Deney Kodlaması .....	36
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>38</b>
4.1. PETROKİMYA TANK DİBİ ÇAMURU VE KURU TAVUK GÜBRESİ KARIŞIMI.....	38
4.1.1. Petrokimya Tank Dibi Çamuru ve Kuru Tavuk Gübresi Karışımı Karakterizasyonu .....	38
4.1.2. Isıtma Hızı .....	39
4.1.3. Numunelerin Karışım Oranlarının Belirlenmesi .....	40
4.2. GAZLAŞTIRMA DENEYLERİ.....	41
4.2.1. Ham Numuneler ile Yürütülen Gazlaştırma Deneyleri .....	41
<i>Petrokimya Tank Dibi Çamuru Gazlaştırma Deneyi</i> .....	41
<i>Kuru Tavuk Gübresi Gazlaştırma Deneyi</i> .....	43
4.2.2. %50 Petrokimya Tank Dibi Çamuru ve %50 Kuru Tavuk Gübresi Karışımı ile Yürütülen Gazlaştırma Deneyleri .....	45
4.2.2. %75 Petrokimya Tank Dibi Çamuru ve %25 Kuru Tavuk gübresi Karışımı ile Yürütülen Gazlaştırma Deneyleri .....	63
4.3. PROSES KOŞULLARININ CH <sub>4</sub> VE H <sub>2</sub> KONSANTRASYONLARI İLE ISIL DEĞERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ.....	75
4.4. KATI VE SIVI ÜRÜNLERİN ANALİZİ.....	78
4.4.1. Gazlaştırma Deneyleri Sıvı ve Katı Ürün Miktarı ile Elementel Analiz Sonuçları .....	78
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ</b> .....	<b>80</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>82</b>

**ÖZGEÇMİŞ.....86**

|



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1: Endüstriyel sistem döngüsü ve atık oluşumu.....	1
Şekil 2.1: Atık yönetimi hiyerarşisi.....	7
Şekil 2.2: Tam kompleks rafineri akış şeması.....	11
Şekil 2.3: Bitkisel atık yağ toplama oranları.....	13
Şekil 2.4: Geri kazanım ürünlerinin oranı.....	13
Şekil 2.5: Gazlaştırma aşamaları.....	20
Şekil 3.1: Ham petrokimya tank dibi çamuru (oily sludge) örneği.....	29
Şekil 3.2: Ham kuru tavuk gübresi örneği.....	30
Şekil 3.3: Ham petrokimya tank dibi çamuru ve ham kuru tavuk gübresi karışım örneği.....	30
Şekil 3.4: Gazlaştırma sonrası elde edilen katı ürün tartımı.....	32
Şekil 3.5: Gazlaştırma sonrası elde edilen sıvı ürün tartımı.....	33
Şekil 3.6: Gazlaştırma sistemi.....	35
Şekil 4.1: Gazlaştırma reaktörüne ait ısıtma hızı grafiği.....	39
Şekil 4.2: Petrokimya Tank Dibi Çamuru İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	41
Şekil 4.3: Petrokimya Tank Dibi Çamuru İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	42
Şekil 4.4: Petrokimya Tank Dibi Çamuru İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Isıl Değer Değişim Grafiği.....	42
Şekil 4.5: Kuru Tavuk Gübresi İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	43
Şekil 4.6: Kuru Tavuk Gübresi İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen	



Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	44
Şekil 4.7: Petrokimya Tank Dibi Çamuru İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait H <sub>2</sub> Konsantrasyonu-Isıl Değer Değişim Grafiği.....	44
Şekil 4.8: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	45
Şekil 4.9: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	46
Şekil 4.10: Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	46
Şekil 4.11: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	47
Şekil 4.12: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	48
Şekil 4.13: Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	48
Şekil 4.14: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	49
Şekil 4.15: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	50
Şekil 4.16: Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	50
Şekil 4.17: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	51
Şekil 4.18: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	52

Şekil 4.19: Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	52
Şekil 4.20: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	53
Şekil 4.21: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	54
Şekil 4.22: Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	54
Şekil 4.23: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	55
Şekil 4.24: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	56
Şekil 4.25: Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	56
Şekil 4.26: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	57
Şekil 4.27: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800 <sup>0</sup> C ve 0,05L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	58
Şekil 4.28: Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	58
Şekil 4.29: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	59
Şekil 4.30: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800 <sup>0</sup> C ve 0,1L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	60
Şekil 4.31: Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	60

Şekil 4.32: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800 <sup>0</sup> C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	61
Şekil 33: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800 <sup>0</sup> C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	62
Şekil 4.34: Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800 <sup>0</sup> C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	62
Şekil 4.35: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	63
Şekil 4.36: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	64
Şekil 4.37: Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	64
Şekil 4.38: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	65
Şekil 4.39: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	66
Şekil 4.40: Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 600 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	66
Şekil 4.41: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	67
Şekil 4.42: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	68
Şekil 4.43: Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	68
Şekil 4.44: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	69

Şekil 4.45: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	70
Şekil 4.46: Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	70
Şekil 4.47: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	71
Şekil 4.48: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	72
Şekil 4.49: Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700 <sup>0</sup> C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	72
Şekil 4.50: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 800 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.....	73
Şekil 4.51: Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 800 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.....	74
Şekil 4.52: Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 800 <sup>0</sup> C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH <sub>4</sub> ve H <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.....	74
Şekil 4.53: Gazlaştırma deneylerin maksimum ısıl değeri.....	75
Şekil 4.54: Gazlaştırma deneylerin CH <sub>4</sub> değeri.....	76
Şekil 4.55: Gazlaştırma deneylerin H <sub>2</sub> değeri.....	77

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

Tablo 2.1: Ülkemizde yer alan tehlikeli atık bertaraf eden tesisler ve kapasitesi.....	9
Tablo 2.2: Tehlikeli atık geri kazanım tesisi sayı ve kapasiteleri ve fiili kullanım değerleri.....	9
Tablo 2.3: Türkiye’deki ham petrol işleme ve depolama kapasiteleri.....	10
Tablo 2.4: Atık önlem ve azaltma uygulamaları/mevcut en iyi teknikler.....	12
Tablo 2.5: Piroliz sınıflandırılması.....	16
Tablo 2.6: Gazlaştırıcı tipleri.....	23
Tablo 2.7: Gazlaştırma ve yakma arasındaki belirgin farklılıklar.....	24
Tablo 3.1: Bazı gazlar için üst ısıl değerler.....	34
Tablo 3.2: Gazlaştırma deneylerinin kodlaması.....	36
Tablo 4.1: Ham numunelerin elementel analizi.....	38
Tablo 4.2: Ham numunelerin kimyasal analizi.....	39
Tablo 4.3: Tank dibi çamuru (%50) – tavuk gübresi (%50) karışımına ait deney grupları.....	40
Tablo 4.4: Tank dibi çamuru (%75) – tavuk gübresi (%25) karışımına ait deney grupları.....	40
Tablo 4.5: Tüm gazlaştırma deneylerinden elde edilen ürün miktarları.....	78
Tablo 4.6: Gazlaştırma deneylerinden elde edilen katı ürün elementel analizi.....	79
Tablo 4.7: Gazlaştırma deneylerinden elde edilen sıvı ürün elementel analizi.....	79

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>CH<sub>4</sub></b>	: Metan
<b>H<sub>2</sub></b>	: Hidrojen
<b>O<sub>2</sub></b>	: Oksijen
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>CO</b>	: Karbonmonoksit

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>ÇSB:</b>	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
<b>AYY:</b>	Atık Yönetimi Yönetmeliği
<b>BSTB:</b>	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı

## ÖZET

### *PETROL RAFİNASYONU TANK DİBİ ÇAMURLARINDAN TERMOKİMYASAL YÖNTEMLERLE CH<sub>4</sub> VE H<sub>2</sub> ELDESİ*

#### YÜKSEK LİSANS TEZİ

İrem YEŞİLDAĞ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr.H. Kurtuluş ÖZCAN

Bu tez çalışmasında termokimyasal yöntemlerle petrokimya endüstrisi tank dibi çamurlarının değerlendirilmesi konusunda çalışılmıştır. Tank dibi çamurları uluslararası literatürde “Oily Sludge” olarak tanımlanmaktadır. Tank dibi çamuru tehlikeli atık sınıfında değerlendirilmektedir. Bu nedenle tank dibi çamurlarının değerlendirilmesi çevre sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, gazlaştırma deneyleri ile CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazları üretilmiştir. Bunun yanında atık minimizasyonu ve geri kazanımın sağlandığı görülmüştür.

Petrokimya tank dibi çamuru ile kuru tavuk gübresi farklı oranlarda karıştırılarak gazlaştırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gazlaştırma deneyleri öncesinde fiziksel ve kimyasal olarak numunelerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Gazlaştırma deneylerinde kuru hava kullanılmıştır. Kuru hava debisi, karışım oranları ve sıcaklık değiştirilerek deney grupları oluşturulmuştur. Gazlaştırma sonrası elde edilen katı ve sıvı ürünlerin elementel analizleri gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen gazlaştırma deneyleri atık minimizasyonu açısından değerlendirildiğinde numunelerde gazlaştırma sonrası kütleli olarak %64-98 aralığında azalış tespit edilmiştir. Elde edilen en yüksek ısı değeri  $3872,85 \text{ kcal/m}^3$  olmakla birlikte bu değere  $700^\circ\text{C}$  ve  $0,05 \text{ L/dk}$  kuru hava debisiyle yürütülen %75 petrokimya tank dibi çamuru-%25 kuru tavuk gübresi karışımı ile yapılan gazlaştırma denemesinde ulaşılmıştır. Elde edilen en yüksek metan ve hidrojen konsantrasyonu hacimsel olarak %31'dir.

Sonuç olarak, petrokimya tank dibi çamuru için gazlaştırmanın uygulanabilir bir yöntem olduğu görülmüştür. Organik bir atık ile desteklenerek yürütüldüğünde elde edilen sonuçlar incelendiğinde enerji geri kazanımı ve bertaraf yöntemi olarak gazlaştırmanın alternatif bir yöntem olarak değerlendirilebileceği görülmüştür. |

[Temmuz 2019, 105] sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Metan, hidrojen, gazlaştırma, petrokimya endüstrisi tank dibi çamuru, geri kazanım



## SUMMARY

### *DERIVATION OF CH<sub>4</sub> AND H<sub>2</sub> FROM PETROLEUM REFINERY OILY SLUDGE BY THERMOCHEMICAL PROCESSES*

**M.Sc. THESIS**

**İrem YEŞİLDAĞ**

**Istanbul University-Cerrahpasa**

**Institute of Graduate Studies**

**Department of Environmental Engineering**

**Supervisor : Prof. Dr. H. Kurtuluş ÖZCAN**

In this thesis, the petrochemical industry sludge was evaluated by thermochemical methods. Tank bottom sludges have been described as “Oily Sludge” in the international literature. Oilysludge is classified as hazardous waste. Therefore, dispose of oilysludge is of great importance for environmental health. In this study, CH<sub>4</sub> and H<sub>2</sub> gases were produced by gasification experiments. In addition, waste minimization and recovery were observed.

Gasification experiments were carried out by mixing oilysludge and dry chicken manure in different ratios. Before gasification experiments, physical and chemical analyzes of samples were performed. Dry air was used in gasification experiments. Experimental groups were obtained by changing dry air flow rate, mixing ratio and temperature. Elemental analysis of solid and liquid products obtained after gasification was performed.

As a result of the gasification tests performed, it is determined that the mass decreases in the range 64-98% after gasification as waste minimization. Although the highest thermal value

obtained was 3872.85 kcal/m<sup>3</sup>, this value was reached in the gasification experiment with a mixture of 75% oilysludge and 25% dry chicken manure with 700°C and 0.05 L /min dry air flow rate. The highest methane and hydrogen concentration obtained is 31% by volume.

As a result, gasification for oilysludge was found to be a viable method. When oilysludge is supported with an organic waste, it is seen that gasification as an energy recovery and disposal method can be considered as an alternative method.

July 2019, 105 pages.

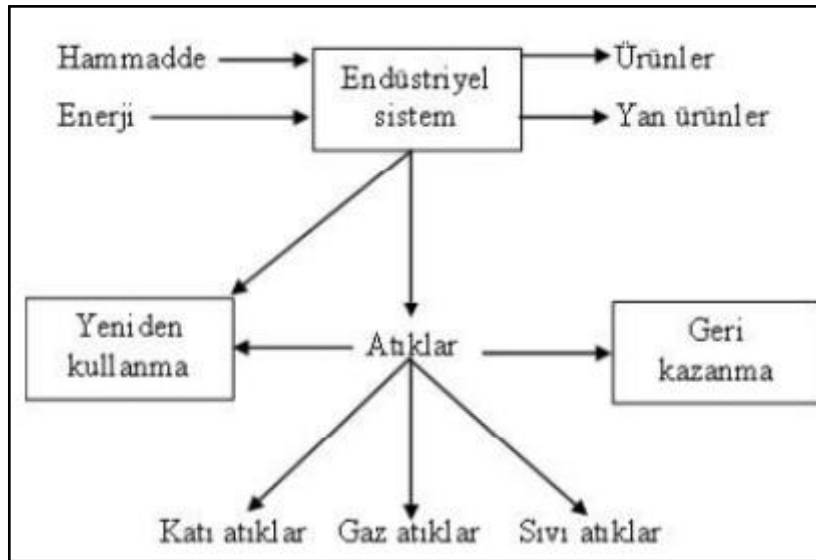
**Keywords:** Methan, hydrogen, gasification, oily sludge, recovery



## 1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artışıyla birlikte teknolojik ve endüstriyel gelişmelerin de etkisiyle oluşan atık miktarı, buna bağlı olarak da atık çeşitliliği ve özellikleri de değişim göstermektedir. Bunun sonucu olarak endüstrinin ilk gelişmeye başladığı anlar dahi atıkların bertarafı ve depolanması her zaman için bir sorun teşkil etmiştir. Buna bağlı olarak tüm canlıların ve çevrenin sağlığı açısından oluşan atıkların kontrol altına alınması ve sürdürülebilirlik çerçevesinde ekonomik bir girdi olarak değerlendirilmesi ülkelerin atık yönetimindeki amaçlarından biri olmuştur.

Üretim ve kullanım faaliyetleri sonucu oluşan, insan ve çevre sağlığına zarar verebilecek doğrudan ya da dolaylı bir şekilde alıcı ortama verilmesi sakıncalı her çeşit madde atık olarak sınıflandırılmaktadır. Atık yönetimi ise her türlü atığın; kaynağında azaltılması, ayrılması, toplanması, ara depolanması, depolanması, geçici depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve bertarafı sonrası kontrol altına alınması işleri olarak tanımlanmaktadır. Entegre atık yönetimi; atık yönetiminin entegre bir şekilde tüm atıklarla birlikte uygulanması işidir. Endüstriyel sistem döngüsü ve atık oluşumu Şekil 1.1'deki gibi şematize edilebilir.



Şekil 1.1: Endüstriyel sistem döngüsü ve atık oluşumu.

Ham petrolün rafinasyonundan kaynaklanan ve uluslararası literatürde “Oily Sludge” olarak tanımlanan “Tank Dibi Çamurları” Atık Yönetimi Yönetmeliği’nde Tehlikeli Atık sınıfına girmektedir (AYY, 2015). Tank dibi çamurlarının kompozisyonu; ham petrol kalitesindeki geniş çeşitlilik, yağ-su ayrımında kullanılan işlemdeki farklılıklar, endüstriyel prosesler boyunca oluşan kaçaqlardan dolayı değişim göstermektedir. Tank dibi çamurunun etkili bir şekilde iyileştirilmesi, tehlikeli doğası ve artan üretim miktarı sebebiyle dünya çapında bir problem haline gelmiştir. Bu nedenle bu atık türünün oluşturacağı çevresel etkilerin en aza indirilmesi amacıyla geri kazanım olanaklarının değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Ülkemizde sanayileşmenin büyümesi ve nüfus artışı ile birlikte enerji gereksinimi artmaktadır. Bu sebeple günümüzde enerji hususunda dışa bağımlılığın azaltılması ve enerjinin sürdürülebilirliğinin sağlanması ve doğal kaynakların korunması enerji verimliliği açısından son derece önemlidir. Bu konuların uygulanabilirliği için kaynakların bilinçli kullanımı, alternatif enerji seçeneklerinden yararlanmak hedeflenmelidir.

Atıklar, uygun teknolojilerle birlikte enerji elde etmek amacı ile tekrar kullanılabilen ve böylece ekonomik anlamda kazanç sağlanmaktadır. 1990’lı yıllardan itibaren dünyanın pek çok ülkesinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan termokimyasal yöntemler bugün en hızlı gelişen enerji teknolojilerinden birisi haline gelmiştir. Gazlaştırma, karbon içeren katı veya sıvı bir malzemenin bir gazlaştırma ajanı ile yanabilir gaz ürünlere termokimyasal dönüşümüdür. Önemli bir geri kazanım prosesi olan, ısıl dönüşüm yöntemlerinden piroliz ve gazlaştırma ile elde edilen sıvı ve gaz ürünlerin doğrudan yakıt olarak kullanılması gibi avantajları vardır. Ayrıca atıklardan, piroliz/gazlaştırma ile elde edilen katı ürün, karbon siyahı olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda atık niteliğinde olan ve çevre sağlığı için tehlike oluşturan materyallerin termokimyasal geri kazanım yöntemleriyle faydalı ürünlere dönüştürülmesi ekolojik ve ekonomik anlamda önem arz etmektedir.

Bu tez kapsamında, tank dibi çamurlarının gazlaştırma prosesiyle değerlendirilerek, CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gibi değerli ürünlerin geri kazanımı araştırılmıştır. Ayrıca tehlikeli atık kategorisinde bulunan bu atık türünün başka atıklarla karıştırılarak gazlaştırma performansları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla tank dibi çamuru belirli oranlarda kuru tavuk gübresiyle karıştırılarak gazlaştırma deneyleri yürütülmüştür. Elde edilen bulgular doğrultusunda çevresel açıdan risk oluşturan ve pahalı bertaraf maliyetleri olan bir atık türünün zararsız hale getirilerek değerli geri kazanım ürünlerinin eldesi araştırılmıştır. CH<sub>4</sub> hidrokarbonların en basit üyesidir ve

petrolün yapısında da bulunur. Ayrıca  $\text{CH}_4$ , doğal gazın ana bileşeni olup doğal gaz ile çalışan cihazların yakma testinde ve çeşitli yakma ünitelerinde yakıt olarak kullanılmaktadır.  $\text{H}_2$  ise ısı ve patlama enerjisi gerektiren işlerde yakıt olarak kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, gazlaştırma çalışmalarını gerçekleştirebilmek üzere petrokimya endüstrisinden tank dibi tortu çamuru ve tavukçuluk endüstrisinden kurutulmuş tavuk gübresi tedarik edilmiştir. Öncelikle her iki atık türü için karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve prosese alınacak numunelerin; nem, kül, yanma kaybı, katı madde, elementel analiz gibi bazı temel elementel ve kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Gazlaştırma deneyleri, laboratuvar ölçekli aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcıda yürütülmüştür. Gazlaştırma yakıtı olarak tank dibi çamuru ve tavuk gübresi çeşitli oranlarda karıştırılarak kullanılmıştır. 600-800 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneyler süresince, sıcaklık değişimi ve gaz kompozisyonunun işlem sıcaklığına bağlı gösterdiği farklılıklar kaydedilmiştir. Deneyler süresince, üretilen sentez gaz bünyesindeki yoğunlaşabilir uçucu bileşikler 2 adet soğutma kolonu yardımıyla sıvı ürün olarak toplanmıştır. Soğutma kolonundan geçen gaz, analiz cihazına yönlendirilmiş ve bünyesindeki  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  ve  $\text{O}_2$  miktarları hacimsel yüzde olarak ölçülmüştür. Deneyler süresince reaktörün orta ve iç bölgesine uzatılan iki adet ısı çifti (termokupl) ile anlık sıcaklık takibi yapılarak sıcaklığa bağlı gaz formundaki değişiklikler tespit edilmiştir. Ayrıca gazlaştırma sonrası elde edilen katı ve sıvı ürünlerin ısı değer, elementel ve kütleli analizleri gerçekleştirilmiştir. |

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. ATIK KAVRAMI

İnsanlar gereksinimlerini karşılamak ve hayatını idame ettirebilmek için bazı kaynakları kullanmak zorundadırlar. Bu kullanımların sonucunda işe yaramayan ve atılan kısımlar atık olarak adlandırılabilir. Aynı zamanda kullanılmış, artık istenmeyen ve çevreye zarar veren her türlü madde atık olarak tanımlanmaktadır (Fakihoğlu, 2011).

Yasal düzenlemelerde ise; üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyali temsil eder (AYY, 2015). Tanımlar ve çeşitli düzenlemelerin sınırlarında insanların tüketimi sonucu oluşan atıklar dışında, endüstriyel atıkların da atık oluşumunda çok önemli bir payı vardır. Oluşan endüstriyel atıklar da evsel atıklarda olduğu gibi atık yönetimine tabidir.

Atık Yönetimi Yönetmeliğine göre atıklar 20 alt gruba ayrılır. Bunlar ise şu şekildedir:

1. Madenlerin Aranması, Çıkarılması, İşletilmesi, Fiziki ve Kimyasal İşleme Tabi Tutulması Sırasında Ortaya Çıkan Atıklar,
2. Tarım, Bahçivanlık, Su Ürünleri, Ormancılık, Avcılık ve Balıkçılık, Gıda Üretimi ve İşlemesi Sonucu Ortaya Çıkan Atıklar,
3. Ahşap İşleme ve Kağıt, Karton, Kağıt Hamuru, Panel (Sunta) ve Mobilya Üretiminden Kaynaklanan Atıklar,
4. Deri, Kürk ve Tekstil Endüstrilerinden Kaynaklanan Atıklar,
5. Petrol Rafinasyonu, Doğal Gaz Safılaştırma ve Kömürün Pirolitik İşlenmesinden Kaynaklanan Atıklar,
6. İnorganik Kimyasal İşlemlerden Kaynaklanan Atıklar,
7. Organik Kimyasal İşlemlerden Kaynaklanan Atıklar,
8. Astarlar (Boyalar, Vernikler ve Vitrifiye Emayeler), Yapışkanlar, Yalıtıcılar ve Baskı Mürekkeplerinin İmalat, Formülasyon Tedarik ve Kullanımından (İFTK) Kaynaklanan Atıklar,
9. Fotoğraf Endüstrisinden Kaynaklanan Atıklar,

10. Isıl İşlemlerden Kaynaklanan Atıklar,
11. Metal ve Diğer Malzemelerin Kimyasal Yüzey İşlemi ve Kaplanması İşlemlerinden Kaynaklanan Atıklar; Demir Dışı Hidrometalurji,
12. Metallerin ve Plastiklerin Fiziki ve Mekanik Yüzey İşlemlerinden ve Şekillendirilmesinden Kaynaklanan Atıklar,
13. Yağ Atıkları ve Sıvı Yakıt Atıkları (Yenilebilir Yağlar, 05 ve 12 Hariç),
14. Atık Organik Çözücüler, Soğutucular ve İtici Gazlar (07 ve 08 Hariç),
15. Atık Ambalajlar ile Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Emiciler, Silme Bezleri, Filtre Malzemeleri ve Koruyucu Giysiler,
16. Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar,
17. İnşaat ve Yıkıntı Atıkları (Kirlenmiş Alanlardan Çıkartılan Hafriyat Dahil),
18. İnsan ve Hayvan Sağlığı ve/veya Bu Konulardaki Araştırmalardan Kaynaklanan Atıklar (Doğrudan Sağlığa İlişkin Olmayan Mutfak ve Restoran Atıkları Hariç)
19. Atık Yönetim Tesislerinden, Tesis Dışı Atıksu Arıtma Tesislerinden ve İnsan Tüketimi ve Endüstriyel Kullanım İçin Su Hazırlama Tesislerinden Kaynaklanan Atıklar,
20. Ayrı Toplanmış Fraksiyonlar Dahil Belediye Atıkları (Evsel Atıklar ve Benzer Ticari, Endüstriyel ve Kurumsal Atıklar) (AYY, 2015).

### **2.1.1. Atık Yönetimi**

Atık yönetimi; atığın oluşumunun önlenmesi, kaynağında azaltılması, yeniden kullanılması, özelliğine ve türüne göre ayrılması, biriktirilmesi, toplanması, geçici depolanması, taşınması, ara depolanması, geri dönüşümü, enerji geri kazanımı dâhil geri kazanılması, bertarafı, bertaraf işlemleri sonrası izlenmesi, kontrolü ve denetimi faaliyetlerini ifade eder (AYY, 2015).

Atıkların, geri dönüşüm ve geri kazanım proseslerinde değerlendirilmeden bertarafı, enerji olarak ciddi kayıplara sebep olmaktadır. Birçok disiplin ile çok yönlü ilişki içerisinde olan sürdürülebilir atık yönetimi; atık önleme, tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanıma yoğunlaşmayı, atık hiyerarşisinde atığın oluşumundan nihai bertarafa kadar bir atık yönetim planı hazırlanmasını zorunlu kılmaktadır (ÇŞB, 2016).

Entegre atık yönetimi, atık yönetimini bir bütün olarak değerlendirdiğini ve bu bütünün elemanlarını birer birer verimlilik ve etkinlik açısından irdelediğini bir kavram olarak kabul ettikten sonra amaç ve hedeflerini tanımlandığı sistemlerdir. Temel amacı; bu sistemin içerisinde oluşan atıkların yok edilmesi işleminin çevreye ve ekonomiye olan etkisinin en aza indirilmesini sağlamaktır (Gündüzalp ve diğ., 2016).

Entegre atık yönetimi aşağıdaki konuları içermektedir:

- Tüm katı atıkları kapsar,
- Tüm katı atık kaynaklarını kapsar,
- Toplama ve geri kazanılabilir atıkların ayrı toplanmasının yanında:
- Geri kazanım: Değerlendirilebilir atıkların geri dönüşümü bu atıkların kaynağında ayrı toplanması ve cinslerine göre sınıflanması gerekmektedir.
- Organik atıkların biyolojik olarak işlenmesi: Bu yöntem organik atıklardan gübre üretilerek depolama sahalarına giden atık miktarını azaltacaktır.
- Yakma: Atıkların yakılması nihai atık miktarını en fazla oranda azaltan ve bununla birlikte enerji üretimi gibi önemli bir geri dönüşü sağlayan bir yöntemdir. Diğer alternatifler arasında en pahalı yöntem olarak bilinmektedir.
- Düzenli Depolama: Atıkların çevreye en az zararı verecek şekilde ve kontrol edilebilir bir yöntem ile uzun süreler depolanmasıdır.

### **2.1.2. Sürdürülebilir Atık Yönetimi**

Atık yönetiminde “Sürdürülebilir Kalkınma/Gelişme” ve “Sürdürülebilir Atık Yönetimi” kavramlarıyla oldukça karşılaşılmaktadır. Sebebi ise çevre ve kalkınma konularının farklı görüşlerle değerlendirilmesi olarak ifade edilebilir. Çevre sorunlarının sınır tanımaz bir özellikte olması ve doğal kaynakların sınırlı olması, sürdürülebilirlik konularını su yüzüne çıkarmış ve çevre sorunlarına çözüm olarak sürdürülebilirlik kavramından çokça söz edilmeye başlanmıştır (Akdoğan ve diğ., 2007).

Sürdürülebilir gelişme; çevre, ekonomi ve yaşam kalitesini içeren konuları bütünleştiren bir yaklaşım olarak ekonomi disiplininde yer almış, zamanla sosyoloji, şehircilik ve yönetim bilimi gibi diğer disiplinlerde de yer alarak tartışılmaya başlanmıştır (Bozlağan, 2002).

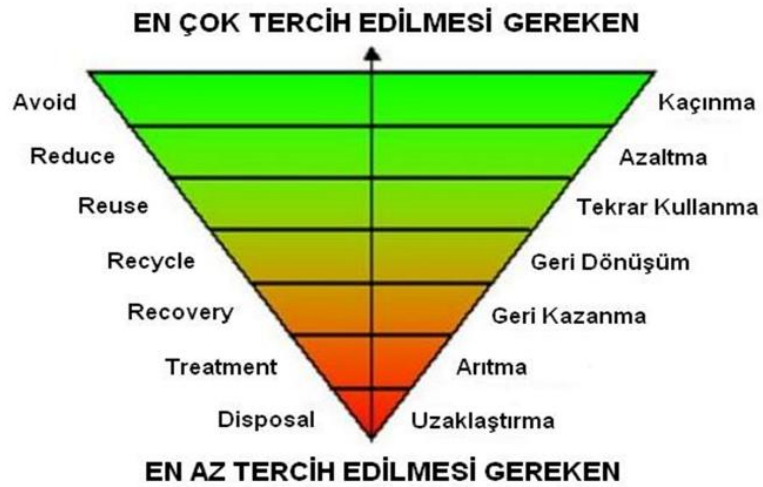


Sürdürülebilirlik; sosyal, ekonomik ve ekolojik sistemlerin ihtiyaç duyduğu unsurların korunmasını ifade eden bir süreçtir. Ayrıca istenilen koşulların süreklilik göstermesidir. Yenilenemeyen kaynakların tüketiminde sınırlamaların olması, tutumlu ve yeniden tüketilebilecek şekilde kullanılabilmesidir (Bozlağan, 2002).

Atık yönetimi, geri kazanım ve kaynakların etkin kullanımına dayanan sürdürülebilir bir süreçtir. Geri kazanımla birlikte hem hammadde hem de üretim maliyetlerinde önemli tasarruflar sağlanmış olmaktadır. Ayrıca termokimyasal yöntemlerle enerji elde etme ve kompost üretimi de sürdürülebilirliği sağlayan yöntemlerdendir (Akdoğan ve diğ., 2007).

Atık yönetiminin temelini oluşturan en önemli ilkelerden bir tanesi “Atık Yönetimi Hiyerarşisi”dir. Bu hiyerarşide öncelik, atığın oluşum aşamasında önlenmesi ve atık miktarının azaltılmasıdır. İkinci sırada oluşan atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve enerji elde etmek amacıyla geri kazanılması vardır. Geri kazanımın mümkün olmadığı durumlarda atıkların çevreye zarar verilmeksizin yakılması ya da güvenli depolanması son tercihlerdendir (Fakihoğlu, 2011).

Günümüzde, katı atık yönetiminin esasları hiyerarşik olarak 7 başlık altında toplanmaktadır. Bu hiyerarşi kapsamında, atık yönetim biçimi olarak ilk başvurulması gereken kısım atık oluşumunu önleme ve kaynağında oluşacak atık miktarını azaltmaktır.



Şekil 2.1: Atık yönetim hiyerarşisi.

Tercih edilecek teknolojik uygulama gerek enerji gerekse çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerin artması nedeniyle piramidin üst kısmına doğru daralmaktadır. Bunlardan başka, uygulamanın yapılacağı bölgeye ait coğrafi konum nedeniyle de teknoloji seçimi farklılık gösterebilmektedir.

### 2.1.3. Tehlikeli Atık

Tehlikeli atık; patlayıcı, parlayıcı, kendiliğinden yanabilir, suyla temasında patlayıcı gazlar çıkaran, oksitleyici organik peroksit içerikli, zehirli aşındırıcı, hava ve suyla temasında toksik gaz bırakan, toksik ve ekotoksik gaz taşıyan ve bakanlıkça tehlikeli atık olduğu onaylanan atıklardır. Tehlikeli atıklar; genellikle sanayi kuruluşlarından, araştırma merkezlerinden, hastanelerden vb. kaynaklanmaktadır (Fakihoğlu, 2011).

Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin eklerinden olan Atık Listesi'nde (EK-4) “\*” işareti ile işaretlenmiş atıklar tehlikeli atıktır. Ek-3/A'da listelenen özelliklerden bir veya daha fazlasına sahip atıklar da tehlikeli atık sınıfında yer alır. Atık listesinde (A) işaretli olanlar Ek-3/B'de yer alan tehlikeli atık konsantrasyonuna bakılmaksızın tehlikeli atık kabul edilmektedir (Ayy, 2015).

### *Entegre Tehlikeli Atık Yönetimi*

- Geçici Depolama: Depolama işlemi için yönetmeliklerce belirlenen koşullar sağlanmalıdır.
- Ambalaj ve Etiketleme: Taşınması ve depolanması işinde yaşanabilecek kazaların bir önlemi olarak gerekli etiketlemeler ve uygun ambalajlar seçilmelidir.
- Atık Analizleri: Taşıma işlemi ve sahada uygulanması gereken analizlerdir.
- Nakliye ve Uygun Yöntemle Bertaraf: Öncelikle lisanslı araçlar ile taşınmalıdır ve yönetmeliklerce belirtilen her şart muhakkak sağlanmalıdır.
- Bertaraf Yöntemi ve Teknolojileri:
  - Ara depolama ve elleçleme tesisleri,
  - Geri kazanım
  - Fiziksel ve kimyasal ön işlem (Sıvı arıtma, sıvı ayırma, solidifikasyon/stabilizasyon, çamur kurutma, RDF)
  - Termal yöntemlerle bertaraf (Döner fırın yakma, gazlaştırma vb. )
  - Düzenli depolama (Saltabaş ve diğ., 2012).

Tablo 2.1 'de ülkemizdeki tehlikeli atık bertaraf tesis ve kapasiteleri ile uygulanan yöntemler verilmiştir.

**Tablo 2.1:** Ülkemizde yer alan tehlikeli atık bertaraf eden tesisler ve kapasiteleri (Küçükgül, 2014).

Tesis	Kapasite	Yöntem
İZAYDAŞ	35 000 ton	Yakma
İskenderun	115 000 m <sup>3</sup>	Depolama
Çimento Fabrikaları	578 000 ton	Yakma
PETKİM-İzmir	17 500 ton	Yakma
TÜPRAŞ	7 750 ton	Yakma

Tablo 2.2'de ise 2007 yılına ait tehlikeli atık geri kazanımı yapan tesis sayısı ve toplam kapasiteleri ile 2006 yılına ait bu tesislerin fiili kullanım kapasiteleri verilmiştir.

**Tablo 2.2:** Tehlikeli atık geri kazanım tesisi sayı ve kapasiteleri ve fiili kullanım değerleri (İlgün, 2010).

Geri Kazanım Kodu	Tesis Sayısı	Toplam Kapasite (ton/yıl)	Fiili Kapasite Kullanım Değerleri (ton/yıl)
R1 (Enerji Geri Kazanımı)	22	527 460	15 480
R2 (Solvent Geri Kazanımı)	3	9 350	2 805
R3 (Solvent Dışı Organik Madde Islahı)	7	17 477	7 865
R4 (Metal ve Bileşiklerin Islahı)	17	113 442	73 837
R5 (Anorganik Madde Islahı)	4	1 955	1 007
R9 (Atık Yağ Rafinasyonu)	11	82 452	-
R11 (R1-R10 İşlem Atıklarının Kullanımı)	3	14 570	5 310
R12 (R1-R11 İşlemlerinden Biri için Değişim)	3	24 415	14 510

## 2.2. HAM PETROL TANK DİBİ ÇAMURLARI

Ham petrol, doğada bulunan ve kahverengiden siyaha değişen renkli yanıcı bir sıvıdır. Ham petroller esas olarak yeryüzünün altındaki tortul kayalarda petrol rezervuarlarında bulunur. Petrolün yüksek sıcaklık ve basınç altında deniz hayvanlarının ve bitkilerin kalıntılarında oluştuğu kabul edilir. Ayrıca kayaç bileşenleri tarafından katalizlenmiş olduğundan da şüphelenilmektedir. Kökeni ne olursa olsun, kaynağı hidrokarbonların karışımı ve farklı miktarlarda kükürt, azot ve oksijen bileşenlerinden oluşmaktadır (Matar ve diğ., 2001).

Ham petrolün bileşimi;

- Hidrokarbonlar
- Hidrokarbon olmayan bileşenler
- Organometalik bileşenler ve inorganik tuzlardır (Matar ve diğ., 2001).

Tank dibi çamurları petrol rafinerilerindeki ayırıştırma kolonları ve tankların temizlenmesi sonucu oluşan dip çamurlarıdır (ÇŞB, 2016). Ülkemizde ham petrol işleyen tesislerin işletme ve depolama kapasiteleri Tablo 2.3'te sunulmuştur.

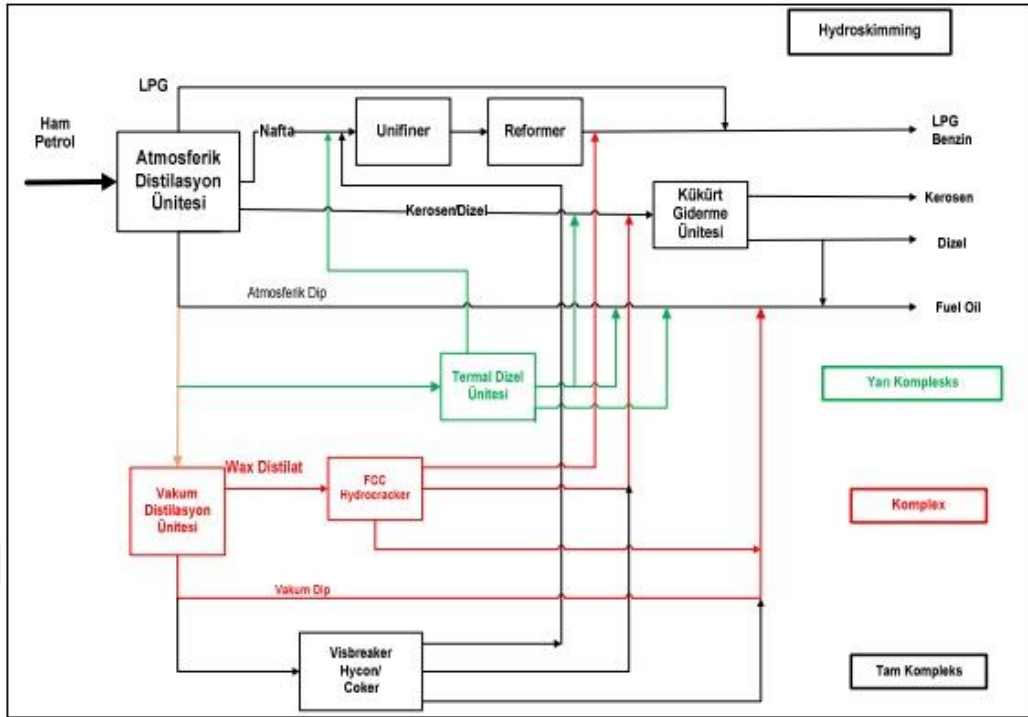
**Tablo 2.3:** Türkiye'deki ham petrol işleme ve depolama kapasiteleri (ÇŞB 2016).

Rafineri	İşleme Kapasitesi (10 <sup>6</sup> ton/yıl)	Depolama Kapasitesi (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
Batman	1,1	0,253
İzmir	11	2,42
İzmit	11	2,91
Kırıkkale	5	1,38

Tank dibi çamurları Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne göre tehlikeli atık olarak sınıflandırılmış olup atık kodu ise 05 01 03\* 'tür.

### 2.2.1. Tank Dibi Çamuru Kaynakları

Tank dibi çamurları rafinasyon proseslerine bakıldığında hemen hemen her prosesten oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu prosesler ise alkilasyon, atmosferik ve vakum distilasyon, baz yağı üretimi, bitüm üretimi, depolama ve taşıma, eterleştirme, hidrojen ile muamele, hidrokraking, izomerizasyon, katalitik kırma, katalitik reformer, koklaştırma, polimerizasyon, ürün işleme, vis kırma ve arıtma tesisidir (ÇŞB, 2016). Tam kompleks rafineri akış şeması Şekil 2.2'deki gibidir.



Şekil 2.2: Tam kompleks rafineri akış şeması (Karadağ, 2008).

### 2.2.2. Tank Dibi Çamurlarının Geri Kazanımı

Tank dibi çamurları ek yakıt olarak kullanılabilir. İnsanoğlunun yararına olacak şekilde üretilen her ürünün çevreye ve canlılara zarar vermeden bertaraf edilmesi ekolojik dengeye destek olmaktadır. Bu amaçla tank dibi çamurları ek yakıt olarak kullanılırsa, hem kontrollü şekilde bertaraf edilmiş hem de enerji sağlanmış olunur. En temel alternatif enerji, tasarruf ile kazanılandır (Ercan ve diğ., 2008).

Tank dibi çamurları uygun teknik ve şartlar altında içeriğine de bağlı olarak tekrar kullanılabilir. Koklaştırma prosesine sahip olan rafinelerde tekrar değerlendirilmesi mümkün olabilir (ÇŞB, 2016). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan tank dibi çamurlarının atık azaltma ve önleme teknikleri Tablo 2.2. de sunulmuştur.

**Tablo 2.4:** Atık önleme ve azaltma uygulamaları/ mevcut en iyi teknikler (ÇŞB, 2016).

Mevcut en iyi teknik		
	Depolama stratejisi oluşturulması (tank sayısının azaltılması)	
Tank Dibi Çamurları	Ön işleme uygulanması Atığın proses içinde yeniden kullanılması (örn. Koklaştırma)	Atık miktarını azaltır
	Depolama tanklarına karıştırıcı konulması	

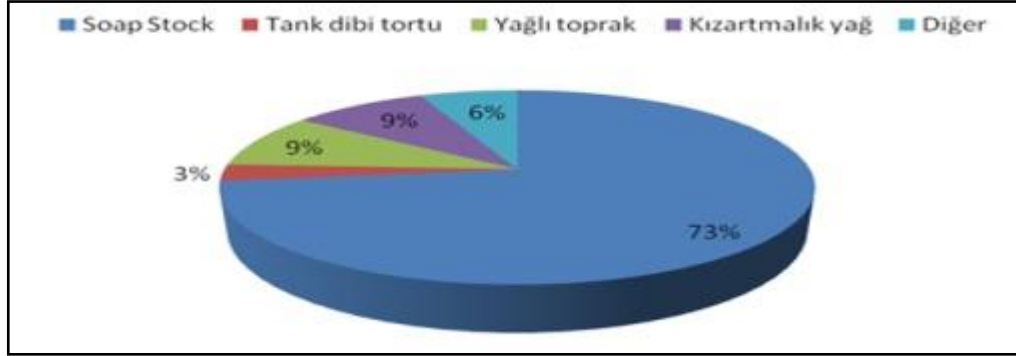
Geri kazanım, tank dibi çamurları için en çok istenen çevresel seçenektir. Çünkü petrol endüstrisinde yağların tekrar değerlendirilmesi geri kazanımı sağlamaktadır. Dahası tank dibi çamurlarının geri kazanımı sayesinde tehlikeli atık hacmi azalır, kontaminasyon önlenir, yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımı azalır (Hu ve diğ., 2013).

Dip çamurları, ek yakıt olarak kullanılabilir. Ağustos 2008 tarihinde Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan listede çimento, kireç ve metalurji sanayinde ek yakıt olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır. Buradaki amaç aşağıdaki maddelerle ifade edilmiştir:

- İnsan sağlığı ve çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesinin önlemek
- Üretim ve taşıma işinin kontrolünü sağlamak
- İthalinin yasaklanmasına ve ihracatının kontrolünü sağlamak
- Yönetiminde teknik ve idari standartları sağlamak
- Oluşumunun kaynağında en aza indirilmesini sağlamak
- Yeterli bertaraf tesisinin kurulmasını sağlamak (Ercan, 2008).

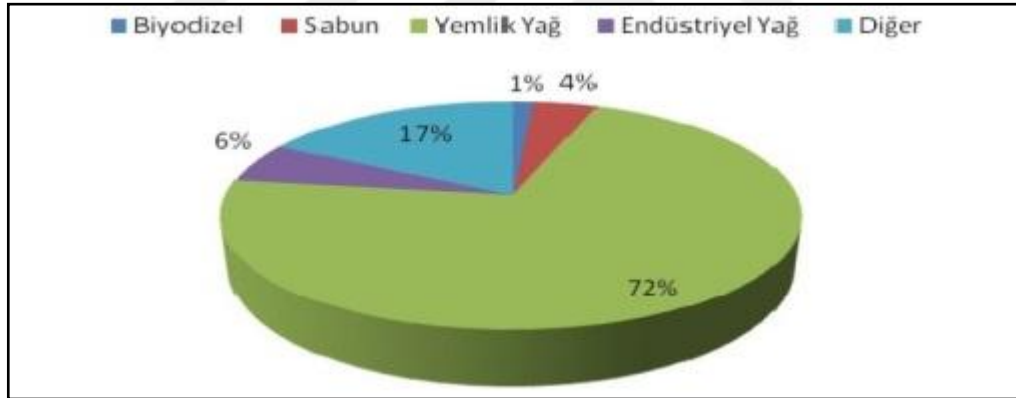
Rafine sanayiden çıkan soap-stock'lar, tank dibi tortuları ve yağlı topraklar bitkisel atık yağ olarak kabul edilmektedir. Ayrıca yüksek kalorifik değere sahip olan bu yağlar, çimento sektöründe enerji geri kazanımı amacı ile kullanılabilir. 2013'te 30 adet bitkisel atık

yağ geri kazanım tesisi lisanslandırılmıştır (Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2014).  
Şekil 2.3'te 2012 yılında ülkemizdeki bitkisel atık yağların toplanma oranları verilmiştir.



Şekil 2.3: Bitkisel atık yağ toplanma oranları (BSTB, 2014).

Şekil 2.4'te 2005-2009 yılları arasındaki geri kazanım ürün yüzdeleri verilmektedir. Bu yıllarda toplanan bitkisel atık yağlar biyodizel üretimi amacı ile toplanmıştır.



Şekil 2.4: Geri kazanım ürünlerinin oranları (BSTB, 2014).

## 2.3. TERMOKİMYASAL SÜREÇLER

### 2.3.1. Yakma

Herhangi bir işleme tabi tutulmadan yakıtın doğrudan yakılması ile enerji edilmesi bilinen en eski yöntemdir. Her türlü yakıt kaynağını yakmak mümkünse de nem oranı arttıkça ısıl değer azalır ve yakma verimi düşer (Öngen, 2011).

Yakma, genel anlamda yakıtların ve atıkların yapısındaki organik bileşenlerin yüksek sıcaklıklarda ve yeterli miktarda oksijenin var olduğu ortamda termal bozundurma işidir. Atıklar heterojen oldukları için, diğer organik maddelere kıyasla atık yakma işlemi daha karmaşıktır (Kar, 2014).

Yakma yönteminin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibidir (Candar, 2011).

Avantajları:

- Yüksek ısıda patolojik atıklar bertaraf edilebilir.
- Hastalık yayan atıklar bütünüyle yok edilir.
- İşlenmiş atık kül halledir.
- Organik atıklar inorganik forma dönüşür.
- Geniş alan gerektirmez.
- Katı atık miktarı büyük oranda azalır.
- Sürekli besleme ve yüksek sirkülasyon ile büyük miktarlar işlenebilir.
- Enerji elde edilebilir.
- Atık miktarı başlangıçtaki miktarının %7-10'a kadar indirilebilir.

Dezavantajları:

- Likit atıklar, klorlu atıklar ve çok miktarda metal içeren atıklar için uygun değildir.
- Hidrojen klorür, dioksin gibi gazlar olmak üzere hava kirliliğine sebep olabilir.



- Yüksek ısıya ulaşmak pahalıdır. Bu nedenle işletmesi zor ve pahalı olan tesisler gerektirir.
- Uygun çalışma ortamı, ancak yetkili personelin varlığı ile mümkündür.
- Mevzuata tabidir.

Yakma; atık bertarafı hiyerarşisinde en son kademedede bulunmasına rağmen, özellikle Avrupa'da 50 yılı aşan bir süredir kullanımı sürmektedir (Saltabaş, 2011).

Yanma için 3 temel şart vardır. Bunlar aşağıdaki gibidir: (Üçgül ve diğ., 2014)

- Reaksiyonu başlatmak ve devamlılığı sağlamak için gerekli minimum sıcaklık,
- Gerekli hava-yakıt karışımını sağlamak için türbülans,
- Yakıtın reaksiyon boyunca yanma için yeteri miktarda bulunması gereken zamandır.

### 2.3.2. Sıvılaştırma

Sıvılaştırma teknolojileri, sıcak, ön işleme tabi tutulmuş besleme gazını alan ve soğutan ve bunları kriyojenik sıcaklıklarda sıvı bir ürüne yoğunlaştıran soğutma çevrimlerine dayanmaktadır (Mokhatab ve diğ., 2013).

Bu yöntemde, yüksek sıcaklık, basınç ve sulu ortamda biyokütleden %40 sıvı, %2-10 gaz ve %5-10 katı ürün elde edilebilir. Ana ürün sıvı olmakla birlikte 8359,6-9553,8 kcal/kg değerli ve düşük oksijenli kararlı yapıya sahiptir. Yan ürün olan gaz hidrojen elde etmek için ya da düşük ısıtma değerine sahip yakıt olarak da kullanılabilir (Üçgül ve diğ., 2014).

### 2.3.3. Piroliz

Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda (inert, indirgen/yükseltgen bir gazın varlığının bulunmadığı) ısı bozundurulmasıyla katı, sıvı ve gaz ürünlere ayrılmasıdır. Piroliz katı yakıtlar için karbonizasyon, sıvı ve gaz yakıtlar için ise piroliz olarak adlandırılır (Üçgül ve diğ., 2014).

Piroliz, biyokütleva atık yakıtlardan enerji kazanımı sağlayan termokimyasal bir yöntemdir. Sıcaklık aralığı 500-1000°C aralığındadır ve yakıtı katı, sıvı ve gaz ürüne dönüştürür. Piroliz, gazlaştırmanın bir parçası olup kabaca iki ana basamağa ayrılır. Bunlar; içerisindeki uçucu

maddelerin uzaklaştırılması (piroliz) ve çar dönüşümüdür (yanma ve gazlaştırma). Piroliz, inorganik maddelerin ayrıştırılmasında kullanışlı değildir (Bhardwaj ve diğ., 2009).

Pirolizin geleneksel yakmaya göre avantajları ise aşağıdaki gibidir: (Bhardwaj ve diğ., 2009)

- Gaz yakıtlı motorlara bağlı gazlaştırma ve piroliz teknikleri biyokütle aracılığıyla ısıyı ve gücü birlikte üreterek buhar jeneratörü ve standart standart türbin teknolojilerine göre daha yüksek elektrik verimi sağlar. ( %22-37 )
- Üretilen gaz %25-50 aralığında yüksek enerji verimi ile enerji hücrelerinde kullanılabilir. ( Küçük ölçekli biyokütle tesisleri de dahil olmak üzere)
- Yakma prosesinde görülen CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO emisyonları oluşmaz.

Piroliz sınıflandırılması ise Tablo 2.5'teki gibidir.

**Tablo 2.5:** Piroliz sınıflandırılması (Bhardwaj ve diğ., 2009).

Isıtıcı Sistemi	Besleme Yöntemi	Kullanılan Ortamlar
Termal kırma	Sabit yataklı reaktör	Susuz piroliz
Plazma pirolizi	Akışkan yataklı reaktör	Kızgın buhar
Mikrodalga pirolizi	-	Hidrolik kırık
Süperkritik akışkan depolimerizasyonu	-	Vakum piroliz
Ultrasonikdepolimerizasyonu	-	-

### ***Piroliz Ürünleri***

Organik maddelerin pirolizi sonucu gaz, sıvı ve katı ürünler elde edilir.

Gaz ürün: Karbon oksitler, hafif alifatik hidrokarbonlar, hidrojen ve su buharından oluşur. Su buharı nemin buharlaşmasının yanında kimyasal tepkimeler sonucu da oluşabilmektedir. Gaz, yakıt yapısında bulunan bağların kırılması ile oluşur. H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> gibi alifatik hidrokarbonlar, CO<sub>2</sub> ve CO gibi maddeleri oluşturur. H<sub>2</sub>S ve NH<sub>3</sub> gibi istenmeyen, kirletici emisyonların da oluşumu gözlenebilmektedir. Çeşitli çalışmaların sonucu olarak gaz ürünün hacminin bileşenleri ise şu şekildedir; %8-55 CH<sub>4</sub>, %1-43 C<sub>2</sub> ile C<sub>3</sub> hidrokarbonları, %14-67 H<sub>2</sub>, %5-38 CO ve %1-24 CO<sub>2</sub>. Yakıtın %2-26'sı kütlece gaz üründür (Bozkurt, 2011).

Sıvı ürün: Bu ürün, pirolitik yağ ya da katran olarak ifade edilir. Başta sarımsı-turuncu renginde şeffaf olup yapısı reçineye benzerlik göstermektedir. Zamanla ışıkla birlikte rengi siyaha dönmektedir. Sıvının nitelik ve niceliği, C-H-O oranına ve piroliz süresince oluşan yapı taşlarının birleşebilmesine bağlıdır. Kömür için oksijen azaldıkça sıvı oluşumu artmakta olup kömürün karbon içeriği %85-86'ya ulaştığı takdirde sıvı artışı düşüğe geçmektedir (Bozkurt, 2011).

Katı ürün: Karbonca zengin olan katı ürün char olarak isimlendirilmektedir. Elde edilen kömüre göre değişen kükürt ve azot içerikleri gözlenir (Bozkurt, 2011). Katı Ürünler aktif karbon olarak veya çeşitli endüstrilerde hammadde olarak değerlendirilmektedir.

### ***Piroliz Türleri***

Literatür incelendiğinde, yaygın olarak kullanılan üç çeşit piroliz türü vardır (Üçgül, 2010). Bu bölümde piroliz türleri detaylı olarak açıklanmıştır.

#### **a)Torrefaksiyon**

Torrefaksiyon, oksijensiz ortamda piroliz anlamına gelmektedir. Örnek vermek gerekirse odun pirolizi dört bölgeye ayrılmaktadır. İlk bölge 200°C sıcaklık bölgesidir ve CO<sub>2</sub>, su buharı, formik asit ile asetik asit oluşur. İkinci bölge 200-280°C sıcaklık bölgesidir ve su buharı, formik asit, asetik asit, CO ile glikoz oluşur. Üçüncü bölge yoğun bir ekzotermik reaksiyonun ilerlediği bölgedir. Dördüncü bölge, 500°C üzerinde olup reaksiyonların yoğun ilerlediği aşamadır. Bu örnekte torrefaksiyon ikinci bölgedir. Bazı uçucu organiklerin uzaklaştırılmasını ve hemiselüloz fraksiyonunun bozunmasını kapsar. Gazlaştırma gerçekleştirilecek ise gazlaştırma basamağı için enerji yoğunluğunun artırılmasında önemli olacaktır (Üçgül, 2010).

#### **b) Yavaş piroliz**

Yavaş pirolizde, buharın piroliz bölgesinde kalma süresi dakika cinsindedir veya daha uzundur. Bu proses sıvı ürünün elde edilmesinin ana amaç olduğu geleneksel piroliz için kullanılmaz. Yavaş piroliz, esas olarak char (kömür) üretimi için kullanılır ve iki türe ayrılır: karbonizasyon (kömürleşme) ve torrefaksiyon. Torrefaksiyon oldukça düşük ve dar bir sıcaklıkta ilerlerken, karbonizasyon oldukça yüksek ve geniş bir sıcaklıkta ilerlemektedir (Basu, 2013).

### c) Hızlı piroliz

Hızlı pirolizde, buharın piroliz bölgesinde kalma süresi saniye veya milisaniye cinsindedir. Bu tür piroliz esas olarak biyo-yağ ve gaz üretimi için kullanılır ve iki türe ayrılır. Bunlar ani ve ultra hızlı pirolizdir. Hızlı pirolizin ana amacı sıvı veya biyo-yağ üretimi arttırmaktır (Basu, 2013).

#### *Piroliz Ürün Verimi*

Piroliz ürün verimi önemli işletme parametrelerine bağlıdır. Bunlar:

- Isıtma hızı
- Piroliz sıcaklığı
- Reksiyon bölgesinde kalma süresi

Bunun yanında verim; basınca, ortam gaz kompozisyonuna ve katalizör varlığına bağlıdır. Piroliz sıcaklığı ve ısıtma oranının değişimine bağlı olarak katı, sıvı ve gaz ürünlerin verimini değiştirmek mümkündür. Daha uzun kalma süresi ve daha yavaş ısıtmaya göre hızlı ısıtma daha çok uçuculuk ve daha aktif char elde edilmesini sağlar (Basu, 2013).

#### *Biyokütle Kompozisyonunun Etkisi*

Biyokütle kompozisyonunun, özellikle biyokütlenin H/C oranı piroliz verimine önemli bir etkisi vardır. Termogravimetrik bilgilerden elde edilen analizler sonucu bazı seçilmiş biyokütleler için pirolizin başlatılması adına önerilen sıcaklıklar aşağıdaki gibidir (Klass, 1998).

- Hemiselüloz : 150-350°C
- Selüloz : 275-350°C
- Lignin : 250-500°C
- Lateks : 500-620 °C
- Yüksek moleküler ağırlıklı reçine ve yağ : 550-900°C

#### *Piroliz Sıcaklığının Etkisi*

Piroliz boyunca, bir yakıt partikülü ortam sıcaklığından maksimum bir sıcaklığa kadar belirli bir oranda ısıtılır. Buna piroliz sıcaklığı denir. Proses tamamlanana kadar yakıt orada tutulur. Piroliz sıcaklığı ürünün hem verimini hem de kompozisyonunu etkiler. Düşük sıcaklıklarda daha çok miktarda char elde edilirken yüksek sıcaklıklarda daha az miktarda elde edilir.

Bunun sebebi daha yüksek bir ısıtma değerine sahip olan char içindeki sabit karbonlar artarken uçucu bileşiklerin azalmasıdır. Yoğuşturulamayan gazlar ise ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) sıcaklıkla beraber artar (Basu, 2013).

Piroliz sıcaklığına göre elde edilen ürünlerin hem miktarlarında hem de kimyasal yapılarında değişkenlik gözlenir. Buna ek olarak en önemli proses değişkeni piroliz sıcaklığıdır. Sonuç olarak daha az miktarda katı ve daha çok miktarda sıvı ve gaz elde etmek için  $500^\circ\text{C}$  dolaylarında piroliz sıcaklığı uygulanır. Sıvı elde etmek için uygulanan pirolizde sıcaklık  $400-600^\circ\text{C}$  aralığında olmalıdır (Altunbaş, 2015). Özçifçi ve arkadaşlarına göre yavaş piroliz prosesinde yüksek sıvı verimi istendiği taktirde piroliz sıcaklığı  $500-600^\circ\text{C}$  olarak belirlenebilir (Özçifçi, 2013).

#### ***Isıtma Hızı Etkisi***

Isıtma hızı, ürün kompozisyonu ve verimi üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Hızlı ısıtma daha çok uçuculuğa ve bundan dolayı daha çok sıvı elde etmeyi sağlarken yavaş ısıtma daha çok char oluşumuna sebep olur (Basu, 2010).

Fakat ısıtma hızının tek başına piroliz ürünleri üzerindeki etkisi çok etkili değildir. Isıtma hızının etkisi, sıcaklık ve alıkonma süresi ile birlikte incelendiğinde bir anlam ifade etmektedir. Isıtma hızı ve alıkonma sürelerine bakılarak düşük ısıtma hızlarında gerçekleşen piroliz, yavaş piroliz olarak isimlendirilirken yüksek ısıtma hızlarında gerçekleştirilen ise ısıtma hızına bağlı olarak hızlı, ani veya ultra piroliz olarak isimlendirilir (Altunbaş, 2015).

#### ***Partikül Boyutunun Etkisi***

Biyokütlenin şekli, boyutu, fiziksel yapısı ve kompozisyonu oluşacak piroliz ürünlerine etki etmektedir. Daha ince biyokütle partikülleri yoğuşabilen gazlarda daha az kalıntıyı sağlar. Bu durum daha yüksek sıvı verimi sağlar (Basu, 2013). Burada en önemli amaç partikül boyutlarına dikkat edilerek oluşan uçucuların tekrar polimerleşmesini önlemektir (Altunbaş, 2015).

#### **2.3.4. Gazlaştırma**

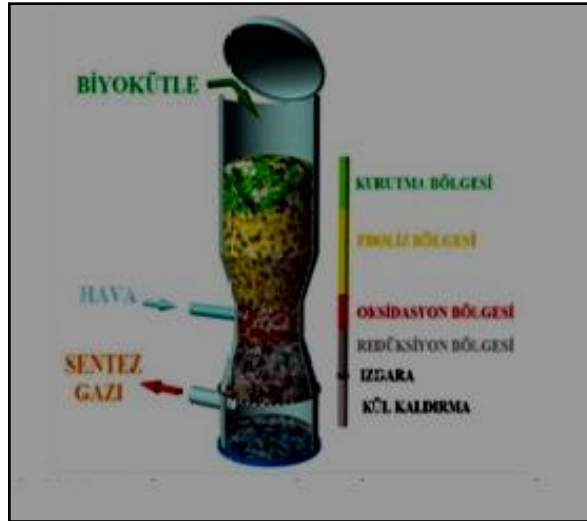
Gazlaştırma, karbonlu yakıtlardan kullanılabilir ısıl değerli gazların üretimidir. Başka bir deyişle yüksek miktarda gaz ürün ve az miktarlarda char ve kül elde edilen ısıl bir işlemdir (Badeau ve diğ., 2009).

Gazlaştırma sonucunda, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, ve kullanılan yakıtı bağı olarak bir takım gaz ürünler elde edilir. Gazlaştırma esnasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan gazlara sentez gaz denir. Elde edilen gazlar ısıl değerlerine bağı olarak enerji elde etmek için çeşitli alanlarda kullanılabilir.

### ***Gazlaştırma Mekanizması***

Organiklerde uygulanan gazlaştırma prosesinde 500°C'de gerçekleşen aşama piroliz aşamasıdır ve ürün olarak katran, gaz ve karbon elde edilir. Sıcaklık 1000°C'ye çıkarıldığında karbon ve su buharı tepkimeye girer. Bu tepkime sonucu dolayısıyla CO ve H<sub>2</sub> elde edilir. Gazlaştırmada göz önünde bulundurulması gereken en önemli parametre nem içeriğidir. Kullanılan numunenin nem içeriği %30'u geçmemesi gerekir. Çünkü %30'u geçen numunelerden elde edilen gaz ürünün ısıl değeri düşük olacaktır (Gölbaşı, 2009). Gazlaştırıcı içerisinde yakıtın gazlaştırılması işleminde dört aşama gerçekleşmektedir (Şekil2.5).Bu aşamalar;

- Isıtma ve kurutma
- Piroliz
- Oksidasyon (Yanma)
- Gazlaştırma (İndirgeme) şeklindedir.



**Şekil 2.5:** Gazlaştırma aşamaları (Demirtaş ve diğ., 2016).

### 1.Kademe: Isıtma ve Kurutma

Isıtma ve kurutma gazlaştırmanın ilk adımıdır. Yakıt ısıtıldıkça içerisindeki nem içeriği buhara dönüşmektedir. Yakıtın içerisindeki nem içeriği %20-50 dolaylarından kuru maddeye yaklaşık 300°C’de dönüşmektedir. Isıtma ve kurutma prosesi yakıtın her bir partikülünün dış yüzeyinden başlayarak merkeze doğru ilerler. Reaktöre sürülen daha büyük partiküller, partiküllerin yüzeylerinden merkezine ilerlemesi gereken gazlaştırmanın birinci kademesinin gerçekleşmesini geciktirir (Brown ve diğ., 2011).

### 2.Kademe: Piroliz

Piroliz, organiklerin oksijensiz ortamda (inert, indirgen/yükseltgen bir gazın varlığının bulunmadığı) ısı bozundurulmasıyla katı, sıvı ve gaz ürünlere ayrılmasıdır (Üçgül ve diğ., 2014). Piroliz aşaması yaklaşık olarak 300-700°C arasında gerçekleşmektedir. Piroliz sonunda yüksek moleküllü biyokütle daha düşük moleküllere ve CO ‘e dönüşür.

### 3.Kademe: Oksidasyon

Bu kademe karbon ve hidrojenin okside olduğu ekzotermik reaksiyonların gerçekleştiği basamaktır.

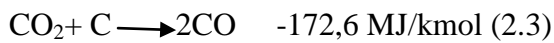


Bu aşamada karbondioksit ve su buharı oluşmaktadır ve aynı zamanda gazlaştırma reaksiyonları genellikle endotermik iken bu kademe ekzotermik reaksiyonları kapsamaktadır (Basu, 2010).

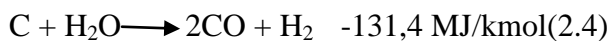
### 4.Kademe: Gazlaştırma

Oksijenin azalması ya da tükenmesiyle gazlaştırma basamağı gerçekleşmeye başlamaktadır. Reaksiyonlar birkaç basamaktan oluşmaktadır:

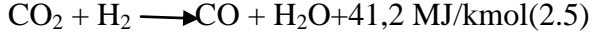
Boudouard reaksiyonu



Su-gaz reaksiyonu



Su kaydırma reaksiyonu



Metan Üretim reaksiyonu



### ***Gazlaştırıcı Tipleri***

Gazlaştırma prosesinde verim ve elde edilen gaz konsantrasyonları gibi faktörler için kullanılan gazlaştırıcı tipi doğru seçilerek istenilen sonuçların elde edilmesi sağlanılabilmektedir. Bununla birlikte gazlaştırıcı tiplerinde kullanılacak olan numunelerin bazı karakteristik özellikleri de elde edilmek istenen sonuçlar için göz önünde bulundurulmalıdır. Bu ve bunun gibi gereksinimler, bazı koşullar ve yakıt gereksinimleri gibi konular, gazlaştırıcı tipi seçilirken mutlaka dikkate alınmalıdır. Tablo 2.6 'da gazlaştırıcı tiplerine ait açıklamalı bir sunum hazırlanmıştır.



**Tablo 2.6:** Gazlaştırıcı tipleri (Roos, 2010).

Gazlaştırıcı Tipi	Ölçek	Tipik sıcaklıklar		Yakıt gereksinimleri		Verim	Gaz Kons.	Diğer notlar
		Reaksiyon	İşletme	Nem içeriği, %	Esneklik			
Aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı	5 kWth-2 MWth	1000°C	800°C	<%20	Yakıt değişimine daha az toleranslı Tek tip parçacık boyutu gerektirir Büyük partiküller	Çok iyi	Oldukça düşük tar ve ortalama partikül	Kontrol edilmesi kolay, düşük sıcaklıkta çar üretimi, düşük veri eldesi, yüksek bakım maliyeti
Yukarı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı	<10 MWth	1000°C	250°C	%50-55	Yakıt değişimine daha çok toleranslı	Mükemmel	Oldukça yüksek tar miktarı, düşük partikül miktarı ve yüksek metan	Kontrol edilmesi kolay, daha yüksek nem içeriği ile çalışabilir, düşük veri eldesi
Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırıcı	<25 MWth	850°C	800°C	<%5- 10	Yüksek kül besleme stoklarını tolere edebilir ve küçük parçacık boyutu gerektirir	İyi	Ortalama tar, oldukça yüksek partikül	Daha çok veri eldesi, daha düşük çar miktarı, sirkülasyonlu yataktan daha kolay
Sirkülasyonlu akışkan yataklı gazlaştırıcı	Birkaç MWth-100 MWth	850°C	850°C	<%5-10	Yüksek kül besleme stoklarını tolere edebilir. Küçük parçacık boyutu gerektirir	Çok iyi	Düşük tar, yüksek partikül	Daha çok veri eldesi, daha düşük çar miktarı, mükemmel yakıt esnekliği, kabarcıklı akışkan yatağa göre daha küçük boyutlu
Dolaylı Isıtmalı Buhar Gazlaştırma	Geniş ölçek	850°C	800°C	Esnek	Partikül boyutunu sınıflandırmaya, peletlemeye veya kurutmaya gerek yoktur	Mükemmel	Yüksek metan verimi	Oldukça yüksek veri eldesi, daha az emisyon, yüksek maliyet

## 2.4. GAZLAŞTIRMA PROSESİNİN YAKMA İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo 2.7' te gazlaştırma prosesi ve klasik yakma yönteminin karşılaştırılması yapılmıştır.

**Tablo 2.7:** Gazlaştırma ve yakma arasındaki belirgin farklılıklar (Kar, 2014).

Termal İşlemler	Klasik Yakma	Gazlaştırma
Proses Özellikleri	Yakıtın CO <sub>2</sub> ve H <sub>2</sub> O'ya maksimum dönüşümünü sağlamak üzere tasarlanmıştır	Yakıtın CO ve H <sub>2</sub> 'ye maksimum dönüşümünü sağlamak üzere tasarlanmıştır.
	Yüksek miktarda hava/oksijen kullanımı	Kısıtlı miktarda hava/oksijen kullanımı
	Oldukça yükseltgeyici ortam	İndirgeyici ortam
	Kül ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda çalıştırılır. Yakıttaki mineral madde, taban ve uçucu küle dönüşür.	Kül ergime sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda çalışılır. Mineral maddeler camsı cürufa ve ince toz maddeye dönüşür (Çar(char)).
Gaz Temizleme	Atmosferik basınçta temizleme	Yüksek basınçta temizleme
	Temizlenen gaz atmosfere verilir.	Sentetik gaz kimyasal madde ya da enerji üretimi için arıtılır, atık gaz (yakma gazı) da arıtmadan sonra atmosfere verilir.
	Atık beslemedeki kükürt, SO <sub>x</sub> 'e dönüşür ve atık gazla ayrılır.	Atık beslemedeki kükürt H <sub>2</sub> S'e dönüşür, katı formda elementel kükürt ya da sülfirik asit yan ürünü olarak geri kazanılır

## 2.5. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde gazlaştırma ve piroliz ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu bölümde petrokimya tesisi tank dibi çamurlarının termokimyasal yöntemlerle değerlendirilmesine dair literatür incelenmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

Xu ve diğ. (2014), yaptıkları bir çalışmada, petrokimya tank dibi çamurunun kömür ile gazlaştırılarak berterafına yönelik yeni bir yol önermiştir. Çalışmada, öncelikle tank dibi çamurunun su bileşeni, uçucu hidrokarbon bileşeni (fırında 105°C), katı bileşeni (kül fırınında 550°C ve 30 dakika boyunca) ve uçucu olmayan hidrokarbon bileşeni belirlenmiştir. Kömür-tank dibi çamur bulamacı hazırlamak için farklı yollarla tank dibi çamuru kömür-su bulamacına eklenmiştir. Azami katı yükleri bulamaç hazırlama yöntemine bağlı olarak değiştirilmiştir. Kömürle karıştırılan tank dibi çamuru ağırlıkça %10 oranında olduğunda kömür-tank dibi çamur bulamacının maksimum katı yükünün % 62,2'den % 64'e yükseldiği görülmüştür.

Qin ve diğ. (2015) çalışmalarında, akışkan yataklı reaktörde piroliz ile düşük sıcaklıklarda tank dibi çamurundan enerji geri kazanımını araştırmışlardır. İç çapı 0,4 m ve dikey uzunluğu 1,2 m olan akışkan yataklı bir reaktör kullanılmıştır. Sistem; paslanmaz çelik reaktör, yoğunlaştırılmış yağ ve suyu ayırmak için soğutma sistemi ve gaz ölçüm cihazları için bir gaz temizleme/kurutma sisteminden oluşmaktadır. Deney sıcaklıkları 400, 450, 500, 550 ve 600°C'dir. İnert bir atmosfer ortamını sağlamak için 1 L/dakika ve 30 dakika boyunca reaktöre azot gazı beslenmiştir. Sisteme 2 g/dakika tank dibi çamuru beslenmiştir. Piroliz sonrası bir gaz analizörü ile CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, and O<sub>2</sub> gazlarının kalorifik değerleri ve konsantrasyonları kaydedilmiştir. 500°C 'de %59.2 maksimum yağ verimi ve %19 minimum enerji kaybına erişilmiştir. Üretilen yağ, gaz ve katı kalıntılar için enerji miktarı sırasıyla 20,8, 6,32, ve 0,83 kcal/kg'dür.

Hu ve diğ. (2013), çalışmalarında petrol endüstrisi tank dibi çamurunun çevreye etkisi, karakterizasyonu ve kaynağı, tank dibi çamuru ile mücadele için mevcut arıtma yöntemlerini özetlemek, bu metodların avantaj ve limitlerini tartışmak, kaynak, geri dönüşüm ve atık bertaraf standartlarını karşılamak için gelecekteki gelişim potansiyellerini araştırmışlardır. Çalışmada çamur arıtma metodları içerisinde yağ geri kazanımında pirolizin önemi vurgulanmıştır. Bu konuda daha önce yapılan çalışmalara atıfta bulunulmuş ve enerji geri

kazanımı, hidrokarbon eldesi, piroliz sonrası elde edilen sıvı kalıntıların dizel yakıtlı motorlarda yakıt olarak kullanılabilmesi ve bu şekilde faydalanılabileceğine değinilmiştir.

Chen (2016) yaptığı bir çalışmada, granüler aktif karbonun katalizör olarak kullanıldığı yakıtlar için ham petrol depolama tankı çamurunun katalitik mikrodalga pirolizini araştırmıştır. Bu çalışmanın ana amacı; aktif karbonun çeşitli yükleme seviyelerinde ürün verimine etkisini ve tank dibi çamurunun mikrodalga pirolizinden oluşan ürünlerin kimyasal kompozisyonunu araştırmaktır. Hammadde karakterizasyonu için, karbon, hidrojen, azot ve kükürt elementel analizleri, nem, kül ve uçucu madde tayinleri yapılmıştır. Online Gasboard-3100 gaz analizörü ile CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, and O<sub>2</sub> gazlarının kalorifik değerleri ve konsantrasyonları kaydedilmiştir. Mikrodalga piroliz sistemi 1 kW, 2,45 GHz mikrodalga boşluğu, sıcaklık ölçümü için bir termokupl prob, silindirik kuvars cam reaktör, azot kaynağı, cam kondansatör, ürün toplayıcı ve veri toplama sisteminden oluşmaktadır. Pirolizden önce oksijensiz ortamı sağlamak için 15 dakika boyunca 1000 mL/dakika azot gazı ile beslenmiştir. Her deney için yaklaşık olarak 10 g tank dibi çamuru kullanılmıştır. Aktif karbonun kuvars reaktöre yükleme dozu %5-15'tir. Tank dibi çamurunun ısınma oranı ve mikrodalga piroliz ürünlerinin verimi aktif karbonun tank dibi çamuruna olan oranına bağlı olduğu bulunmuştur. Bu tekniğin avantajları ise; tank dibi çamurunun berterafında, enerji, zaman ve maliyet tüketiminde önemli bir azalmanın elde edilmesidir.

Wang ve diğ. (2015), yaptıkları bir çalışmada tank dibi çamurunun geri kazanımını arttırmak için, borsal bir fırın reaktöründe, Fe ihtiva eden moleküler bir katalizör kullanılarak tank dibi çamuru üzerinde reaksiyonlar gerçekleştirmişlerdir. Petrol geri kazanım oranı, başlangıç fazındaki katalitik artış ile artmış ve sahnenin arkasında ise azalmıştır. Yüksek sıcaklık, daha çok yağ üretimini desteklemiştir. Moleküler elek katalizörünün çamura optimum oranı 0,035 bulunmuştur.

Zhou ve diğ. (2015), yaptıkları bir çalışmada tank dibi çamurunun miktarını susuzlaştırma ile minimize etmişlerdir. Polialüminyum klorür ve biyokütle kombinasyonunun katkı maddesi olarak kullanıldığı, yağlı çamurun susuzlaştırma performansının iyileştirilmesi ve 723°K'lik piroliz yağının verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. En iyi faz susuzlaştırma performansı, 30-40 dk'lık topaklanma süresinde 313-323°K'de ağırlıkça % 0,5 kayısı kabuğundan elde edilirken, piroliz yağının en yüksek geri kazanım yüzdesi (% 33,54), ağırlıkça% 1 ceviz kabuğundan elde edilmiştir.

Conesa ve diğ. (2014), yaptıkları bir çalışmada bir yağ rafinerisinin atık su arıtma tesisinden elde edilen çamurun pirolizi, yarı uçucu maddenin yoğunlaştırılması için bir sistemle donatılmış bir pilot tesis reaktöründe incelenmiştir. Çalışma 350, 400, 470 ve 530°C 'de azot atmosferinde yürütülmüştür. Bu çalışmanın ana amacı farklı sıcaklıklarda pilot tesis ekipmanıyla rafineri çamurunun pirolizini incelemektir. Elde edilen tüm ürünlerin (gaz, sıvı ve çar) analizi, üretilen çarın ve ana bileşenlerinin analizinin termogravimetrik bir çalışması ile sunulmuştur. İncelenen sıcaklık aralığında, gaz fraksiyonunun bileşimi önemli ölçüde değişmemiştir. Sıvılarda, hafif hidrokarbon verimi sıcaklık arttıkça artarken, aromatik bileşikler azalmıştır.

Chiang ve diğ. (2001), yaptıkları bir çalışmada, petrokimya endüstrisi biyolojik çamurunu, pirolitik katı kalıntı (çar) bileşimi ve gözenek büyüklüğü dağılımını araştırmak üzere piroliz etmişlerdir. Sonuçlar, pirolitik sıcaklığın artmasından sonra karbon, azot ve hidrojen konsantrasyonlarının azalabileceğini göstermiştir. Önceden kurutulmuş kırk gram çamur çeşitli pirolitik sıcaklıklarda pirolize edildiğinde, gaz fazından sıvı faza transferlerin kalıntısı %49'dan %70'e ve %8,3'den %16,5'e %21,2'den %36'ya çıkmıştır. Optimum pirolitik sıcaklık ve zamanı 800°C' de 30 dakika ve 900°C'de 10 dakika olarak belirlemişlerdir. Çalışmada temel olarak elementel kompozisyon ve çamurun pirolitik kalıntısının gözenek büyüklüğü dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Piroliz sıcaklık aralığı 400-900°C arasında belirlenmiştir.

Gonzalez ve diğ. (2019), yaptıkları çalışmada ham petrol rafinerilerinden kaynaklanan atıklardan biri olan tank dibi çamurlarının termokimyasal dönüşümünü incelemişlerdir. Çalışmanın amacı tank dibi çamurundan gazlaştırma ile sentez gaz elde etmek ve enerji geri kazanımını incelemektir. Çalışma simülasyon olarak yürütülmüştür. Ajan olarak buhar ve hava kullanılmıştır. Sonuç olarak ise termokimyasal dönüşüm ile tank dibi çamurundan elde edilen enerjiye entropide bir artış eşlik eder ve enerjinin korunmasına rağmen kalitesi düşmüştür bu nedenle daha az işe yarar işler üretilebilmektedir. Ayrıca simülasyondan elde edilen sonuçlardan bir diğeri ise buhar oranı arttıkça üretilen alt ısıl değer azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Molto ve diğ. (2013), yaptıkları çalışmadaki amaçları petrol rafinelerinden kaynaklanan tank dibi çamurlarını da içeren atık suların çamurlarının piroliz ve gazlaştırılmasıyla (farklı debi ve farklı sıcaklık oranları ile) maksimum CO ve H<sub>2</sub> gazı elde etmektir. Gazlaştırmada ajan olarak

hava kullanılmıştır. Çalışmada iki çeşit çamur kullanılmıştır: fizikokimyasal çamur ve biyolojik çamur. Çamurlarda oldukça yüksek hidrokarbon miktarı beklenmiştir. Fakat fizikokimyasal adımdan sonra organik miktarı azalmıştır. Kalan hidrokarbon biyolojik reaktöre beslenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; oksijenin varlığı, hidrojen üretimini azaltırken, CO içeriğinde de bir azalmaya sebep olmuştur. Öte yandan, daha yüksek bir ısıtma hızı, hidrojen üretiminin azalmasına neden olmuş ve metan ile karbondioksit üretimini kolaylaştırmıştır. Oksijen ile temas süresi, reaktör konfigürasyonunun paralelden karşı akım akışına değiştirilmesiyle analiz edildiğinde; bu temas süresi arttığıa hidrojen üretiminin maksimum olduğu gösterilmiştir. |



### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. ÖRNEKLERİN TANITILMASI VE ÖN İŞLEMLER

Bu tez kapsamında, gazlaştırma çalışmalarında kullanılmak üzere petrokimya endüstrisinden tank dibi tortu çamuru, tavukçuluk endüstrisinden kurutulmuş tavuk gübresi tedarik edilmiştir. Gazlaştırma çalışmalarında kullanılan, petrokimya endüstrisi tank dibi çamurları herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan doğrudan reaktöre beslenmiştir. Ham petrolün rafinasyonundan kaynaklanan ve uluslararası literatürde “Oily Sludge” olarak tanımlanan “tank dibi çamurları” Atık Yönetimi Yönetmeliği’ne göre tehlikeli atık sınıfına girmektedir. Bu nitelikteki atıkların atık kodu ise ‘05 01 03\*’ olarak belirlenmiştir. Tank dibi çamurlarının kompozisyonu; ham petrol kalitesindeki geniş çeşitlilik, yağ-su ayırımında kullanılan işlemdeki farklılıklar, endüstriyel prosesler boyunca oluşan kaçaklardan dolayı değişim göstermektedir. Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te tez kapsamında kullanılan numuneler ve numunelerden elde edilen karışım örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Ham petrokimya tank dibi çamuru (oilysludge) örneği.



**Şekil 3.2:** Ham kuru tavuk gübresi örneği.



**Şekil 3.3:** Ham petrokimya tank dibi çamuru ve ham kuru tavuk gübresi karışımı örneği.

### 3.2.1. Deneysel Yöntemler

#### *Nem ve Katı Madde Tayini*

Deneysel çalışmalarda kullanılan atıkların ilk olarak nem tayini yapılmıştır. Numuneler  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de tutulan etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur (SM 2540 B). Nem tayini işlemi esnasında bir saat camı üzerine yeterli miktarda analiz numunesi ( $\pm 0.05$  g duyarlılıkta) tartılıp konmuş ve sonra sabit tartıma kadar numuneler kurutulmuştur.

Numunenin yüzde nem içeriği aşağıdaki (3.1) no'lu eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$\% \text{ Nem} = (X_0 - X_1) / X_0 * 100 \quad (3.1)$$



Burada;

$X_0$ = Başlangıç deney numunesi, g

$X_1$ = Kurutulmuş deney numunesi, g

Katı madde tayini için gerekli numuneler  $103\pm 2^\circ\text{C}$ 'de tutulan etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur (SM 2540 B).  $1.00\pm 0.05$  g olacak şekilde tartılan numuneler saat camına konarak sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Girdinin yüzde katı madde tayini (3.2) nolu eşitlikte gösterilmiştir.

$$\% \text{ Katı madde} = X_1/X_0 * 100 \quad (3.2)$$

Burada;

$X_0$ = Başlangıç deney numunesi, g

$X_1$ = Kurutulmuş deney numunesi, g

#### ***Yanma Kaybı ve Kül Miktarının Tayini***

Yanma kaybı tayini için gerekli atık örnekleri  $525\pm 25^\circ\text{C}$ 'de kül fırınında, sabit tartıma gelene kadar yakılmıştır (SM 2540 E). Numuneler yeterli miktarda tartılıp porselen bir kroze konmuş ve kül fırınında yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ara tartımlarından sonra sabit tartıma gelene kadar kroze kalan kül göz önüne alınarak yanma kaybı (3.3) nolu eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Yanma Kaybı} = (X_0 - X_1)/X_0 * 100 \quad (3.3)$$

Burada;

$X_0$ = Başlangıç deney numunesi, g

$X_1$ = Kurutulmuş deney numunesi, g

Kül tayini için atıklar  $525\pm 25^\circ\text{C}$ 'de kül fırınında, sabit tartıma gelene kadar yakılmıştır (SM 2540 E). Numunelerden yeterli miktarda tartılıp, porselen bir kroze konmuş ve kül fırınında yakma işlemine tabi tutulmuştur. Ara tartımlardan sonra sabit tartıma gelene kadar kroze kalan kül göz önüne alınarak yüzde kül içeriği (3.4) nolu eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ K\u00fcl} = (X_1/X_0)*100 \quad (3.4)$$

Burada;

$X_0$ = Başlangıç deney numunesi, g

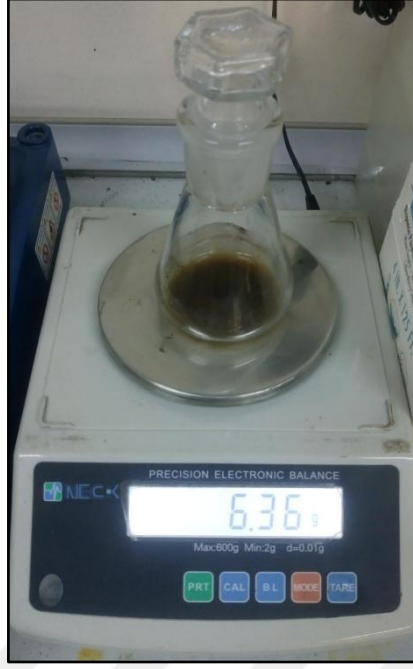
$X_1$ = Kurutulmuş deney numunesi, g

#### ***Numune Miktarlarının Belirlenmesi***

Gazlaştırma işlemi \u00f6ncesinde hassas terazi ile numuneler tartılarak reakt\u00f6r i\u00e7erisine titanyum kap ile yerleştirilmiştir. Gazlaştırma sonrasında ise yine hassas terazi vasıtası ile elde edilen katı ve sıvı \u00fcr\u00fcn miktarları belirlenmiştir. Gazlaştırma deneylerinden elde edilen katı ve sıvı \u00fcr\u00fcnlerin belirlenmesi i\u00e7in yapılan tartımlara ait \u00f6rnekler Şekil 3.4. ve Şekil 3.5 de verilmiştir.



**Şekil 3.4:** Gazlaştırma sonrası elde edilen katı \u00fcr\u00fcn\u00fcn tartımı.



**Şekil 3.5:** Gazlaştırma sonrası elde edilen sıvı ürünün tartımı.

### ***Elementel Analiz***

Çalışmada kullanılan örneklerin ve deneysel sonuçlardan elde edilen ürünlerin içeriğinde bulunan karbon, hidrojen, azot ve kükürt elementlerinin belirlenmesi amacıyla elementel analiz uygulanmıştır. Analizlerde İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarı bünyesindeki Thermo-Flash 2000 CHN-S elementel analiz cihazı kullanılmıştır. Yaklaşık 2 mg olarak tartılan numuneler, 950-1000°C arasındaki sıcaklıkta yakılarak element yüzdeleri enstrümental olarak tayin edilmiştir. Bu cihazda taşıyıcı gaz olarak helyum, yakıcı gaz olarak ise oksijen kullanılmıştır.

### **3.2.2. Gaz Analizleri**

Bu tez çalışmasında ana amaç gazlaştırma ile  $CH_4$  ile  $H_2$  gazı elde etmek olduğu için elde edilen gaz ürünlerin tespiti amacıyla yapılan tüm deneylerde hacimsel yüzde olarak gaz ölçümleri takip edilmiştir.

Elde edilen gaz ürünlerin ölçümleri İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'nda yer alan ABB marka AO2020 model gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile gazlaştırma sonucu elde edilen sentez gaz ürünler ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$  ve  $O_2$ ) anlık ölçülerek elde edilen değerler cihaz ile birlikte yüklenmiş olan yazılım ile bilgisayara kaydedilmiştir.

### 3.2.3. Gaz Ürün Isıl Değer Hesabı

Elde edilen sentez gaz ürünlerinin ısı değerlerinin hesaplanabilmesi için öncelikle gazların üst ısı değerlerinin bilinmesi gereklidir. Aşağıda Tablo 3.1’de verilen referans değerlerle, gaz karışımının kalorifik değerini hesaplamak mümkündür.

**Tablo 3.1:** Bazı gazlar için üst ısı değerler (Bossel, 2003).

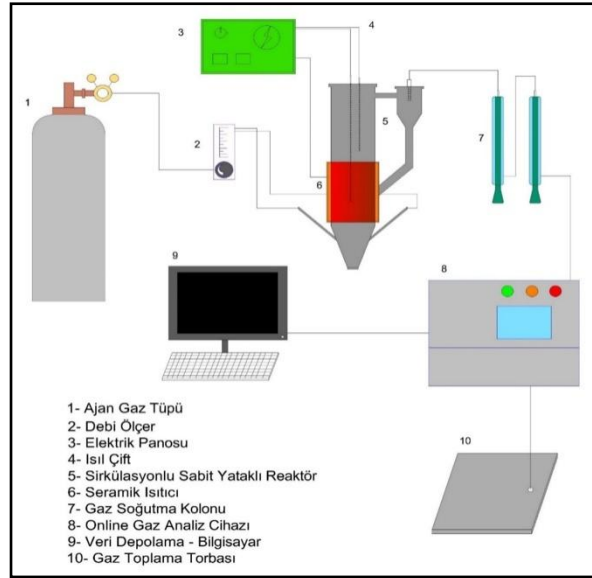
Gaz	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	MJ/kg	MJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	kcal/kg
CO	1,25	10,1	13,6	3019	2415
CH <sub>4</sub>	0,714	55,5	39,8	9470	13263
H <sub>2</sub>	0,089	141,8	12,8	3025	33989

Sentez gazların ısı değerlerinin hesaplanması için sentez gaz karışımı içerisindeki hacimsel yüzdesinin bilinmesi gerekmektedir. Karışım içerisindeki hacimsel yüzdesinden yola çıkarak üst ısı değeri vasıtası ile oran orantı yöntemi kullanılarak sentez gaza ait ısı değeri hesaplanabilmektedir. (Özcan ve diğ., 2016; Öngen ve diğ., 2014)

### 3.2.4. Reaktör Dizaynı

Gazlaştırma deneylerinde İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan siklon ünitesiyle sirkülasyonun sağlandığı, 7 cm iç çapında, yukarı akışlı ve sabit yataklı çelik reaktör kullanılmıştır. Reaktör ile kurulan sistemin ısınma hızı sabittir ve istenilen işletme şartlarına göre kontrolü sağlanabilmektedir. Gazlaştırma deneyleri sırasında reaktör içerisine debisi deney gruplarına göre değişen oranlarda kuru hava geçirilmiştir. Gaz kaçaqlarının önlenmesi için reaktör ve reaktör kapağı arasında saf grafit ve grafit kurşun sarmal contalar kullanılmaktadır.

Reaktörün iki adet gaz giriş hattı bulunmaktadır. Girişlerden birisi azot gazı diğeri ise kuru hava ya da saf oksijen gazları içindir. Elde edilen sentez gazların tahliye edilebilmesi için reaktör kapağında bir adet çıkış hattı bulunmaktadır. Deneyler sırasında reaktör içi sıcaklığını takip etmek amacıyla ısı çifti kullanılmaktadır. Reaktörün kapağında yer alan yuvalara yerleştirilen ısı çiftlerinden biri merkez sıcaklığını ölçerken diğeri ise üst bölgedeki sıcaklığı ölçmektedir. Çalışma düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 3.6 da sunulmuştur.



**Şekil 3.6:**Gazlaştırma sistemi

Reaktör içerisinde oluşan yoğunlaşabilir uçucu organiklerin sentez gaz karışımından uzaklaştırılması için iki adet soğutma kolunu bulunmaktadır. Soğutma kolonundan geçerek yoğunlaşan uçucu organikler kolonlara yerleştirilen erlenlerde toplanmaktadır. Soğutma kolonlarından geçen sentez gaz ise içeriğinin belirlenebilmesi için gaz analiz cihazına yönlendirilmektedir. Sentez gaz ile hareket eden partikül maddelerin ve yoğunlaşmamış gaz ile ilerleyen uçucu organiklerin tutulabilmesi amacı ile gazın analiz cihazına girmeden önceki bölgesine bir adet seramik ve iki adet mikro fiber filtre uygulanmıştır.

### 3.2.6. Deney Kodlaması

Yürütülen deneyler için hazırlanan kodlama tablosu Tablo 3.2'deki gibidir.

**Tablo 3.2:** Gazlaştırma deneylerinin kodlaması.

Proses	Açıklama
$G_{700/0,05}N_P$	Ham petrokimya tank dibi çamuru 0,05 L/dk kuru hava 700°C gazlaştırma
$G_{700/0,05}N_T$	Kuru tavuk gübresi 0,05 L/dk kuru hava 700°C gazlaştırma
$G_{600/0,05}N_{50}$	%50 kuru tavuk gübresi-%50 petrokimya tank dibi çamuru 0,05 L/dk kuru hava 600°C gazlaştırma
$G_{600/0,1}N_{50}$	%50 kuru tavuk gübresi-%50 petrokimya tank dibi çamuru 0,1 L/dk kuru hava 600°C gazlaştırma
$G_{600/0,2}N_{50}$	%50 kuru tavuk gübresi-%50 petrokimya tank dibi çamuru 0,2 L/dk kuru hava 600°C gazlaştırma
$G_{700/0,05}N_{50}$	%50 kuru tavuk gübresi-%50 petrokimya tank dibi çamuru 0,05 L/dk kuru hava 700°C gazlaştırma
$G_{700/0,1}N_{50}$	%50 kuru tavuk gübresi-%50 petrokimya tank dibi çamuru 0,1 L/dk kuru hava 700°C gazlaştırma
$G_{700/0,2}N_{50}$	%50 kuru tavuk gübresi-%50 petrokimya tank dibi çamuru 0,2 L/dk kuru hava 700°C gazlaştırma
$G_{800/0,05}N_{50}$	%50 kuru tavuk gübresi-%50 petrokimya tank dibi çamuru 0,05 L/dk kuru hava 800°C gazlaştırma
$G_{800/0,1}N_{50}$	%50 kuru tavuk gübresi-%50 petrokimya tank dibi çamuru 0,1 L/dk kuru hava 800°C gazlaştırma
$G_{800/0,2}N_{50}$	%50 kuru tavuk gübresi-%50 petrokimya tank dibi çamuru 0,2 L/dk kuru hava 800°C gazlaştırma
$G_{600/0,05}N_{75}$	%25 kuru tavuk gübresi-%75 petrokimya tank dibi çamuru 0,05/dk kuru hava 600°C gazlaştırma
$G_{600/0,1}N_{75}$	%25 kuru tavuk gübresi-%75 petrokimya tank dibi çamuru 0,1/dk kuru hava 600°C gazlaştırma

$G_{700/0,05}N_{75}$  %25 kuru tavuk gübresi-%75 petrokimya tank dibi çamuru 0,05/dk kuru hava 700°C gazlaştırma

$G_{700/0,1}N_{75}$  %25 kuru tavuk gübresi-%75 petrokimya tank dibi çamuru 0,1/dk kuru hava 700°C gazlaştırma

$G_{700/0,2}N_{75}$  %25 kuru tavuk gübresi-%75 petrokimya tank dibi çamuru 0,2/dk kuru hava 700°C gazlaştırma

$G_{800/0,05}N_{75}$  %25 kuru tavuk gübresi-%75 petrokimya tank dibi çamuru 0,05/dk kuru hava 800°C gazlaştırma

---

## 4. BULGULAR

### 4.1. PETROKİMYA TANK DİBİ ÇAMURU VE KURU TAVUK GÜBRESİ KARIŞIMI

#### 4.1.1. Petrokimya Tank Dibi Çamuru ve Kuru Tavuk Gübresi Karışımı Karakterizasyonu

Ham numunelere ait elementel analiz Tablo 4.1’de sunulmuştur.

**Tablo 4.1:** Ham numunelerin elementel analizi.

Deney Adı	Elementel Analiz					
	Numune	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)
Ham petrokimya çamuru		43,51	5,33	-	-	51,16
Petrokimya çamuru(Guo ve diğ., 2019)		45,01	7,05	4,05	-	22,10
Kuru tavuk gübresi		35,21	4,67	4,19	0,30	55,63
Tavuk gübresi (Lee ve diğ., 2017)		44,70	-	24,30	0,10	23,90
Tavuk gübresi (Singh ve diğ., 2018)		21,12	-	5,52	-	-
Tavuk gübresi (Tanczuk ve diğ., 2019)		39,67	4,72	5,49	0,40	34,12

Numuneler için nem, kül, yanma kaybı ve katı madde analizleri yapılmış olup ilgili formüller ile hesaplamaları yapılmıştır. Numunelere ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.2’de sunulmuştur.



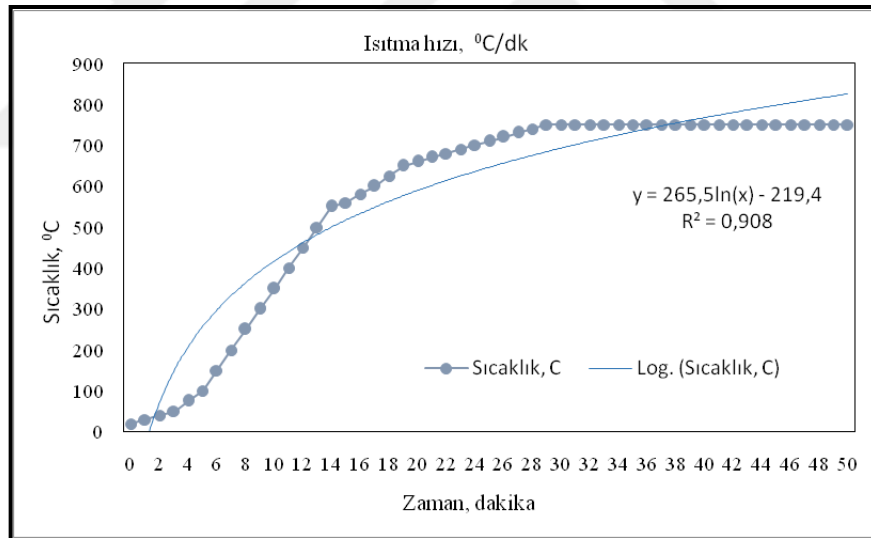
**Tablo 4.2:** Ham numunelerin kimyasal analizi.

Numune	Nem (%)	Kül (%)	Yanma kaybı (%)	Katı madde (%)
Ham petrokimya çamuru	15,53	4,97	95,03	84,47
Kuru tavuk gübresi	10	27,72	72,28	93,2

#### 4.1.2. Isıtma Hızı

Isıtma hızı, laboratuvar şartları gözetildiğinde istenildiği gibi kontrol edilmiştir. Gazlaştırma deneyleri sırasında kullanılan seramik rezistans ile ulaşılmak istenen sıcaklıklara ulaşılmıştır.

Gazlaştırma çalışmalarına ön hazırlık olarak denemeler gerçekleştirilmiş ve elde edilen reaktör ısınma hızı Şekil 4.1' de sunulmuştur.

**Şekil 4.1:** Gazlaştırma reaktörüne ait ısınma hızı grafiği

#### 4.1.3. Numunelerin Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Deneyleerde kullanılan karışımlara karar verilirken farklı sıcaklarda yürütülen gruplarda farklı oranlarda karıştırıldığında elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel olarak miktarları gözletilmiştir. Bu gruplar ise Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te sunulmuştur.

**Tablo 4.3:** Tank dibi çamuru (%50) - Tavuk gübresi (%50) karışımına ait deney grupları.

<b>%50 Tank dibi çamuru - %50 Tavuk gübresi (30g)</b>	
<b>Kuru hava debi (L/dk)</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>
0,05	600
	700
	800
0,1	600
	700
	800
0,2	600
	700
	800

**Tablo 4.4:** Tank dibi çamuru (%75) - Tavuk gübresi (%25) karışımına ait deney grupları.

<b>%75 Tank dibi çamuru - %25 Tavuk gübresi (30g)</b>	
<b>Kuru hava debi (L/dk)</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>
0,05	600
	700
	800
0,1	600
	700
	800
0,2	600
	700
	800

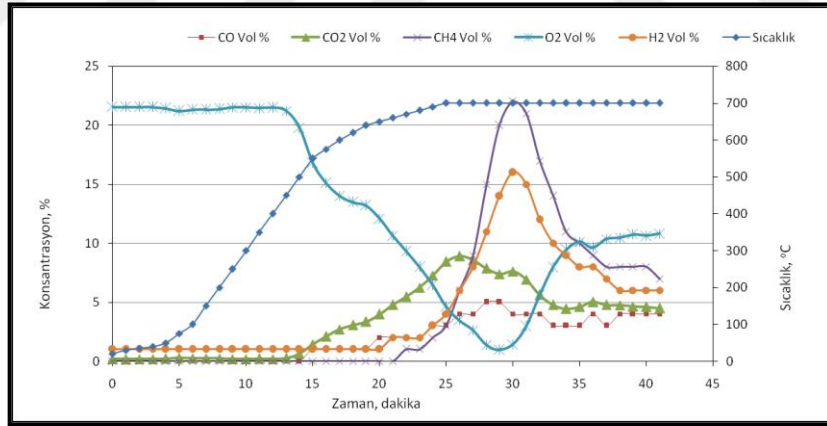
## 4.2. GAZLAŞTIRMA DENEYLERİ

Petrokimya tank dibi çamurunun gazlaştırılması, kuru hava kullanılarak 600°C, 700°C ve 800 °C ' de yürütülen denemelerle gerçekleştirilmiştir. Gazlaştırma deneylerinde 0,05; 0,1 ve 0,2 L/dk debileri ile yürütülmüştür. Her bir sıcaklık için belirlenen bu üç debi ile setler düzenlenmiştir. Burada gerçekleştirilen deneylerde elde edilen ısıl değerler, üretilen sentez gazların konsantrasyonları, sentez gazların karşılaştırmaları ve sıcaklıkla değişimleri gibi çeşitli grafiklerle değerlendirilmeye çalışılmıştır. Yürütülen deneyler ham numunelerle gerçekleştirildiği gibi aynı zamanda daha önce belirtilen karışımlardan oluşmaktadır.

### 4.2.1.Ham Numuneler ile Yürütülen Gazlaştırma Deneyleri

#### *Petrokimya Tank Dibi Çamuru Gazlaştırma Deneyi*

Şekil 4.2'de gerçekleştirilmiş olan deney 700°C ve 0,05 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> değeri 30. dakikada sırasıyla % 22 ve % 16 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir.

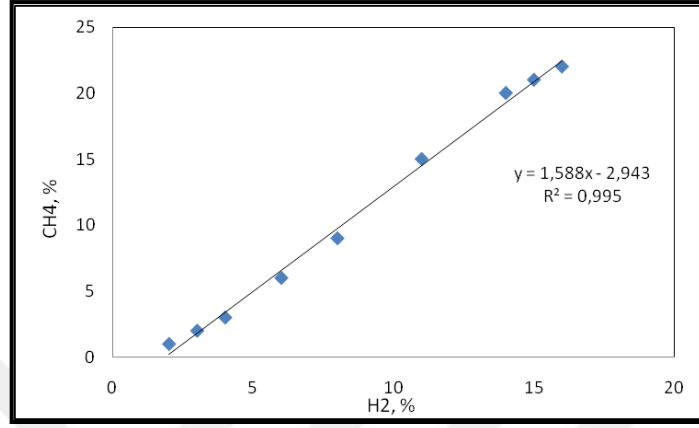


**Şekil 4.2:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru İle 700°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

Şekil 4.3 incelendiğinde beklendiği gibi gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte Boudouard reaksiyonuyla başlayan ve metan üretimiyle biten reaksiyonlar sonucuyla konsantrasyonlarının yükseldiği gözlemlenmiştir.

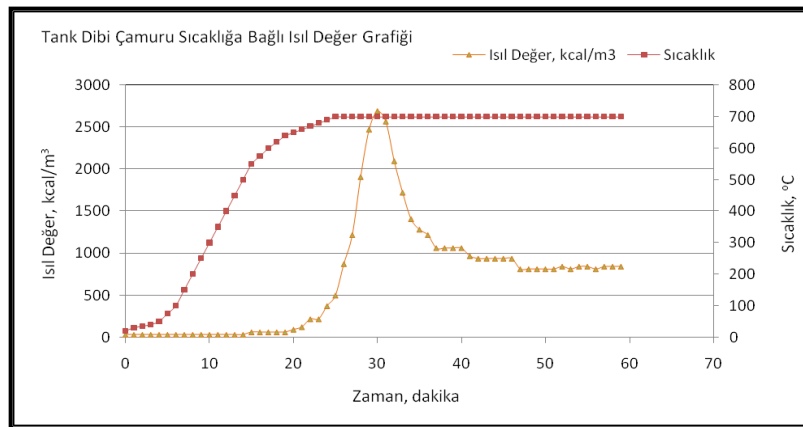
CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma prosesinin kademelerinin sıcaklıkla birlikte ilerlemesi ve

dördüncü kademe olan indirgenme basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı zaman aralığının, deneyin yürütülmesi planlanan sıcaklık olan 700°C 'ye ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.3:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru İle 700°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.

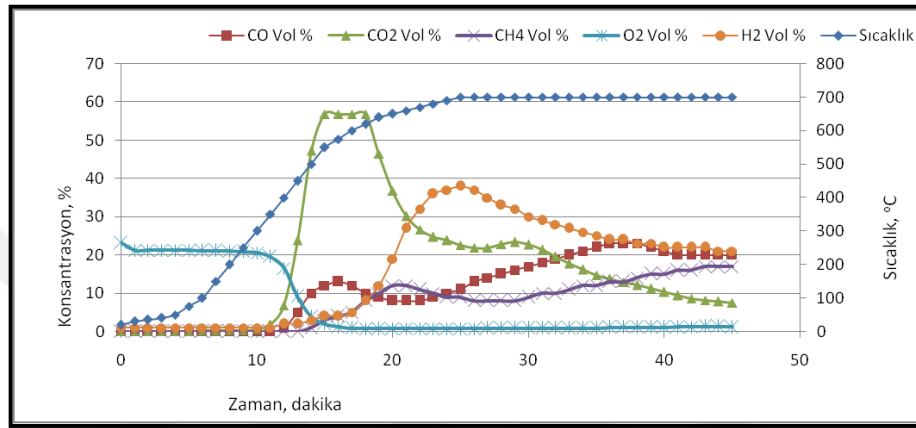
Şekil 4.4 sunulan ısıl değerlerin CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda ulaşılan maksimum ısıl değer 2688,2 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.4:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru İle 700°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Isıl Değer Değişim Grafiği.

### ***Kuru Tavuk Gübresi Gazlaştırma Deneyi***

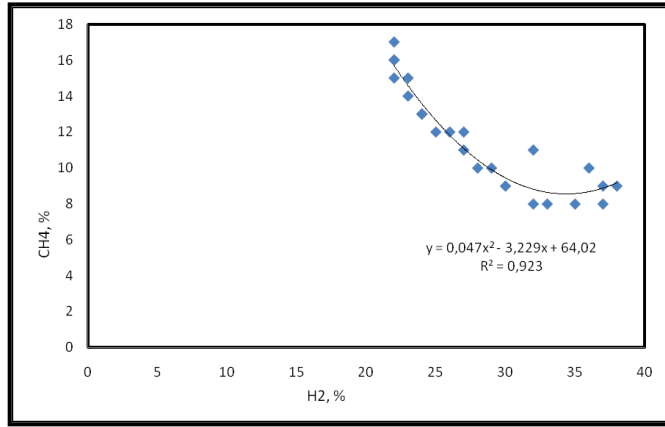
Şekil 4.5'te gösterilen olan deney 700°C ve 0,05 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 28. dakikada %12 ve H<sub>2</sub> 23. dakikada %17 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir. Boudouard reaksiyonu ile oluşan CO<sub>2</sub> indirgenerek CO oluşumunu sağlamıştır.



**Şekil 4.5:** Kuru Tavuk Gübresi İle 700°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

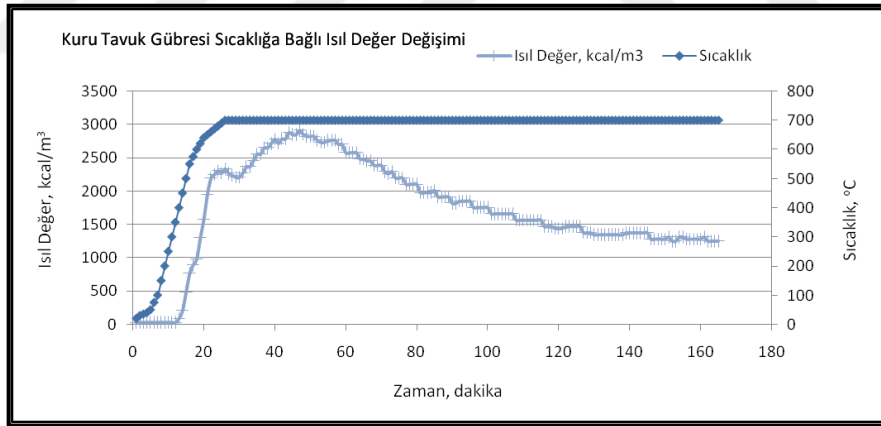
Şekil 4.6 incelendiğinde beklendiği gibi gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte Boudouard reaksiyonuyla başlayan ve metan üretimiyle biten reaksiyonlar sonucuyla konsantrasyonlarının yükseldiği gözlemlenmiştir.

CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan indirgenme basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an 700°C 'ye ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.6:** Kuru Tavuk Gübresi İle 700°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği

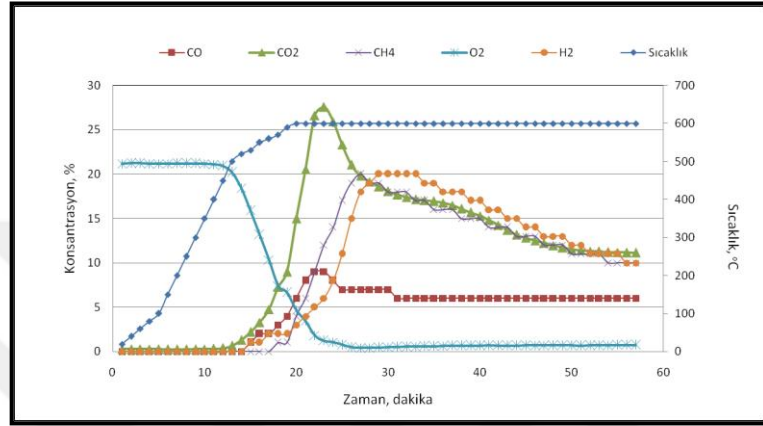
Şekil 4.7 incelendiğinde ısıl değer CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer 2913,46 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.7:** Kuru Tavuk Gübresi İle 700°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait H<sub>2</sub> Konsantrasyonu-Isıl Değer Değişim Grafiği.

#### 4.2.2.%50 Petrokimya Tank Dibi Çamuru ve %50 Kuru Tavuk Gübresi Karışımı ile Yürütülen Gazlaştırma Deneyleri

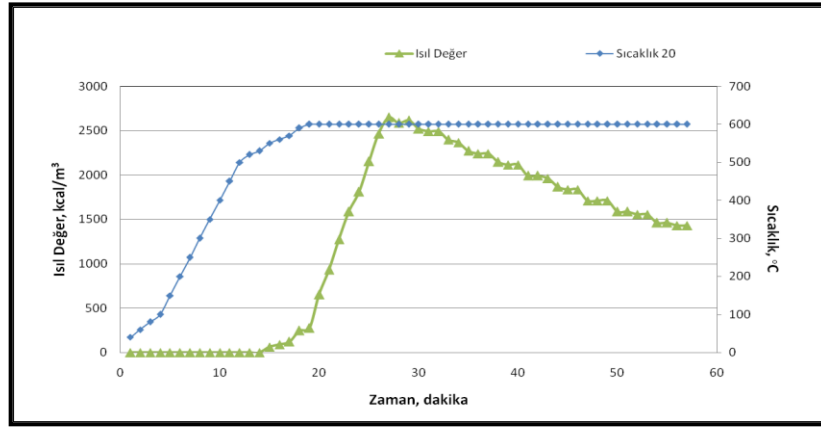
Şekil 4.8’de elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 27. dakikada %20 ve H<sub>2</sub> 29. dakikada %20 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir.



**Şekil 4.8:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

Şekil 4.9 petrokimya tank dibi çamuru (%50)-kuru tavuk gübresi (%50) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 600°C ve kuru hava debisi ise 0,05 L/dk'dır.

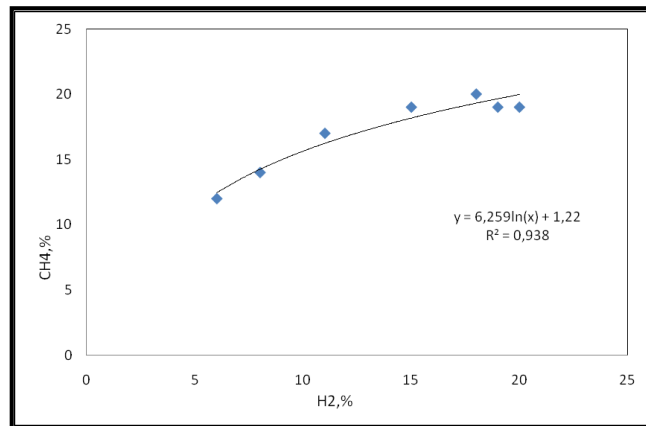
Isıl değer CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer 2649,83 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.9:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

Şekil 4.10 incelendiğinde beklendiği gibi gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte Boudouard reaksiyonuyla başlayan ve metan üretimiyle biten reaksiyonlar sonucuyla konsantrasyonlarının yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir.

CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an 600°C 'ye yaklaşılana ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.

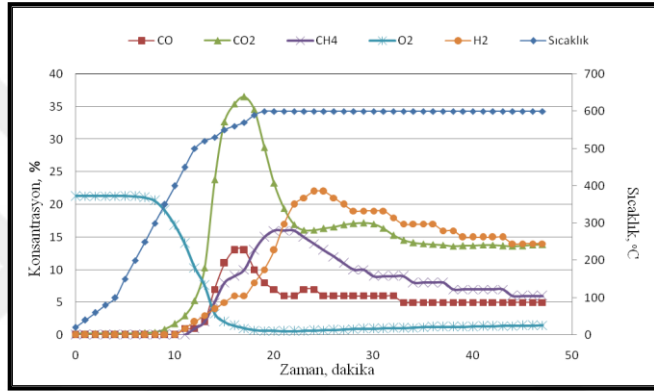


**Şekil 4.10:** Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.



Şekil 4.11’de elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 20. dakikada %16 ve H<sub>2</sub> 23. dakikada %21 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir.

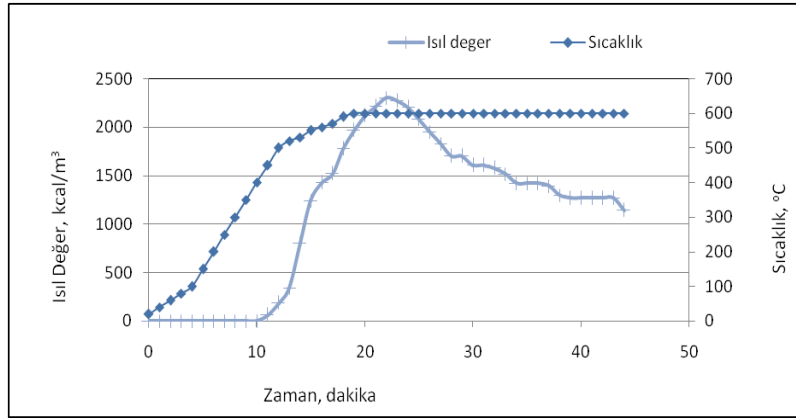
Şekil 4.11 incelendiğinde beklendiği gibi gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte Boudouard reaksiyonuyla başlayan ve metan üretimiyle biten reaksiyonlar sonucuyla konsantrasyonlarının yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir. Pik değerler gazlaştırma için seçilen sıcaklıkta elde edilmiş olduğu saptanmıştır.



**Şekil 4.11:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600°C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

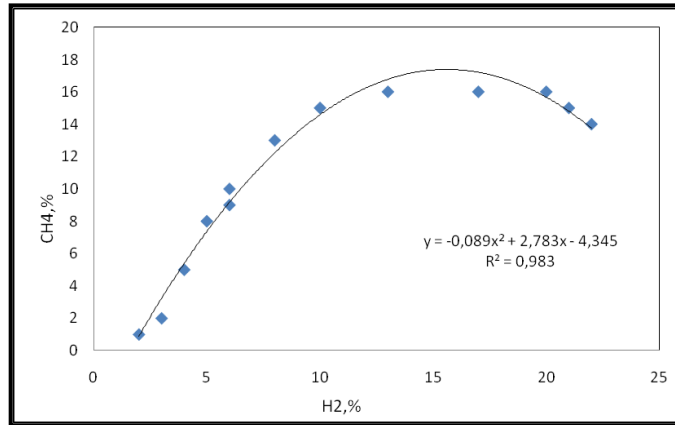
Şekil 4.12 verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%50)-kuru tavuk gübresi (%50) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 600°C ve kuru hava debisi ise 0,1 L/dk'dır

Şekil 4.12 incelendiğinde ısı değerinin CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısı değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısı değer 2301 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.12:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600°C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

Şekil 4.13 incelendiğinde  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma süreci boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an 600°C 'ye yaklaşılana ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir. İstenilen sıcaklığa ulaşıldıktan sonra devam eden gazlaştırma sürecinde konsantrasyonların azaldığı tespit edilmiştir.

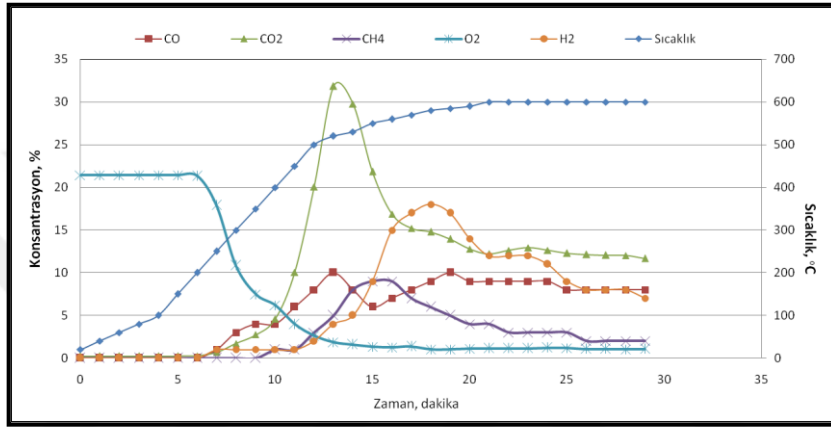


**Şekil 4.13:** Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600°C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.

Şekil 4.14'de gerçekleştirilmiş olan deney 600°C ve 0,2 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre  $\text{CH}_4$  15. dakikada %9 ve  $\text{H}_2$  18. dakikada %18 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının

başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir. Gazlaştırma basamağında başlayan reaksiyonlar ile oluşan CO<sub>2</sub> indirgenerek CO oluşumunu sağlamıştır.

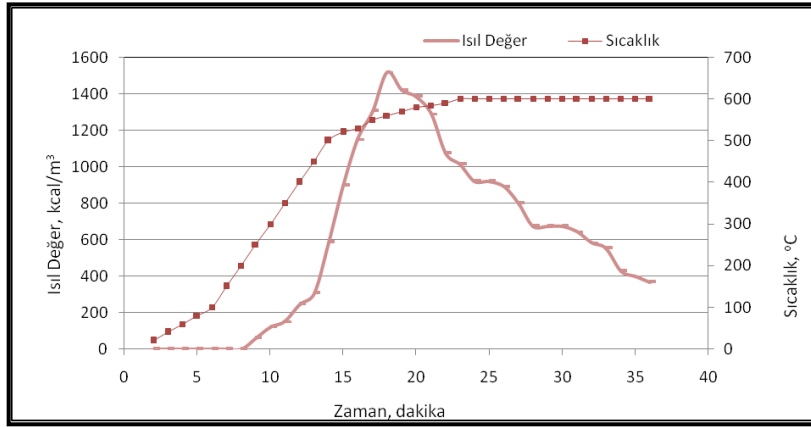
Ayrıca şekil 4.14 incelendiğinde beklendiği gibi gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte konsantrasyonların yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafik incelenerek belirlenmiştir. Pik değerler gazlaştırma için seçilen sıcaklık civarında elde edilmiş olduğu saptanmıştır.



**Şekil 4.14:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600°C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

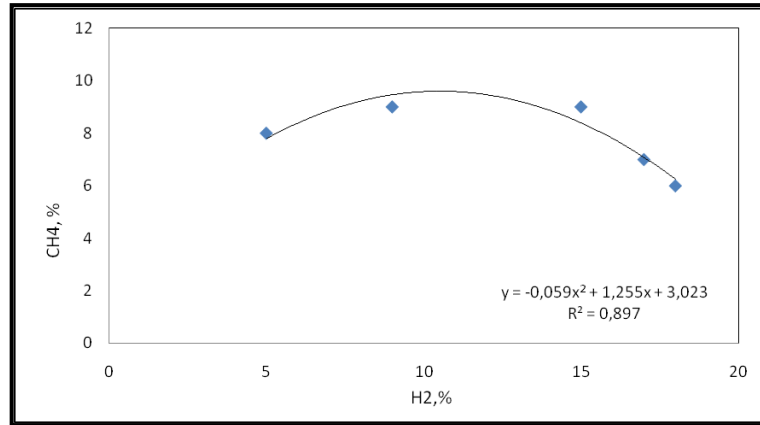
Şekil 4.15 verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%50)-kuru tavuk gübresi (%50) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 600°C ve kuru hava debisi ise 0,2 L/dk'dır

Isıl değer CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer 1517,38 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.15:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600°C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

Şekil 4.16 incelendiğinde CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an 600°C 'ye yaklaşılana ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir. İstenilen sıcaklığa ulaşıldıktan sonra devam eden gazlaştırma prosesinde konsantrasyonların azaldığı tespit edilmiştir.

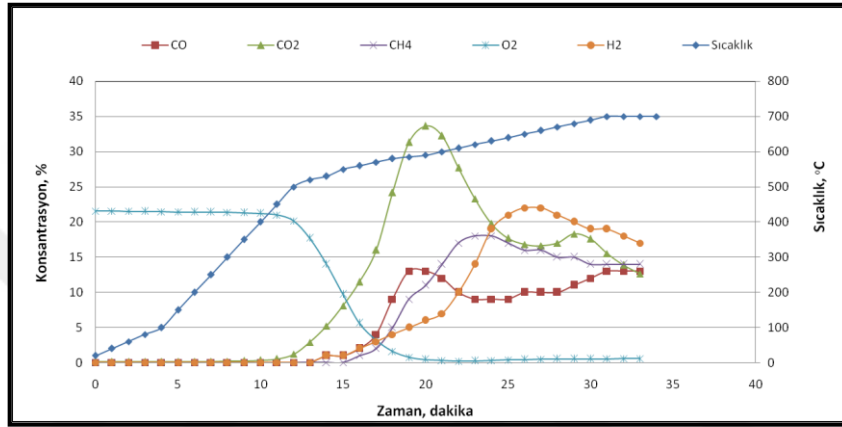


**Şekil 4.16:** Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 600°C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.

Şekil 4.17'de gerçekleştirilmiş olan deney 700°C ve 0,05 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 23. dakikada %18 ve H<sub>2</sub> 26. dakikada %22 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının

başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir. Gazlaştırma basamağında başlayan reaksiyonlar ile oluşan CO<sub>2</sub> indirgenerek CO oluşumunu sağlamıştır.

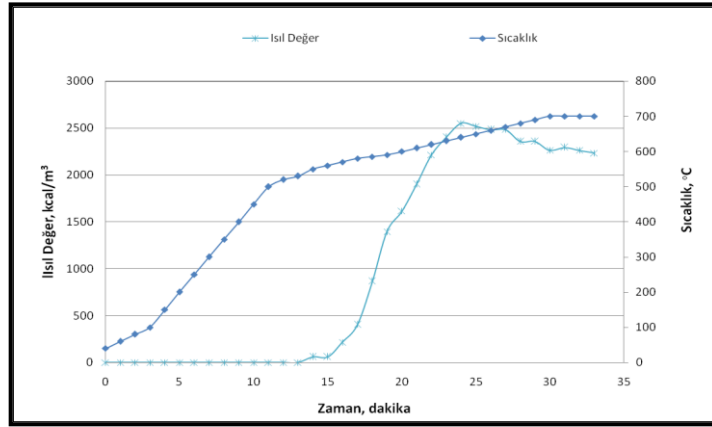
Şekil 4.17 incelendiğinde beklendiği gibi gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte konsantrasyonların yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir. Pik değerlerin gazlaştırma için seçilen sıcaklık civarında elde edilmiş olduğu saptanmıştır.



**Şekil 4.17:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

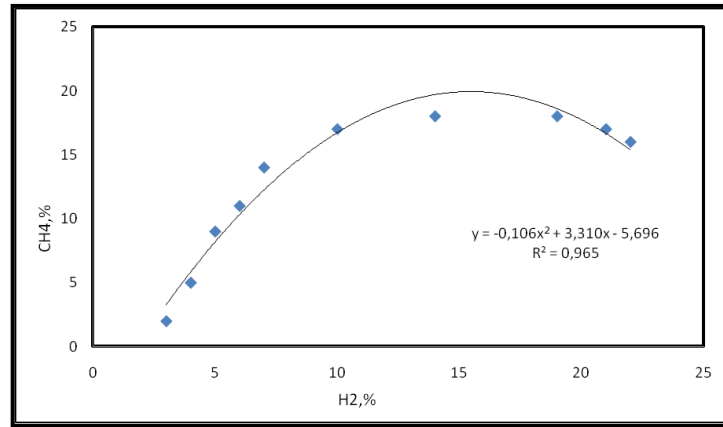
Şekil 4.18 verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%50)-kuru tavuk gübresi (%50) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 700°C ve kuru hava debisi ise 0,05 L/dk'dır.

Isıl değerlerin CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer 2551,10 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.18:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

Şekil 4.19 incelendiğinde CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an 700°C 'ye yaklaşılana ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.

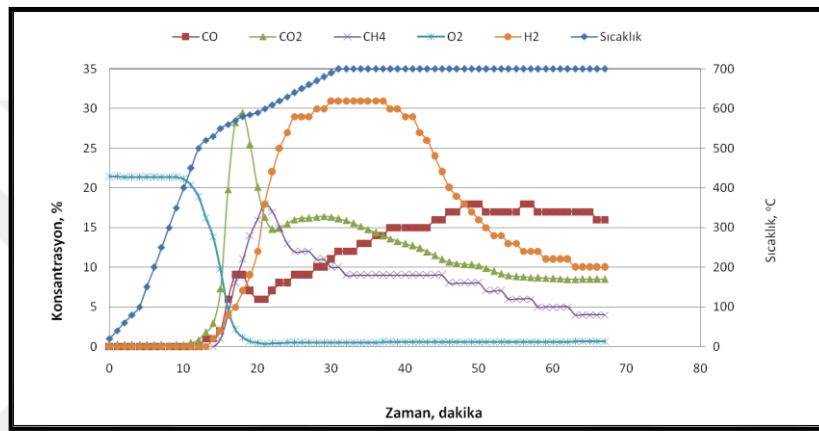


**Şekil 4.19:** Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.

Şekil 4.20'de gerçekleştirilmiş olan deney 700°C ve 0,1 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 21. dakikada %18 ve H<sub>2</sub> 30. dakikada %31 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının

başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir. Gazlaştırma basamağında başlayan reaksiyonlar ile oluşan CO<sub>2</sub> indirgenerek CO oluşumunu sağlamıştır.

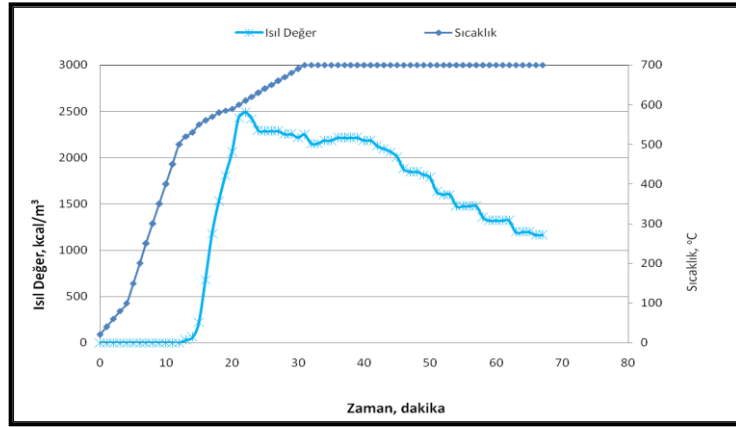
Şekil 4.20 incelendiğinde beklendiği gibi gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte Boudouard reaksiyonu ile başlayan ve CH<sub>4</sub> üretimiyle biten reaksiyonlar sonucuyla konsantrasyonlarının yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir. Pik değerler gazlaştırma için seçilen sıcaklık civarında elde edilmiş olduğu saptanmıştır.



**Şekil 4.20:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700°C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

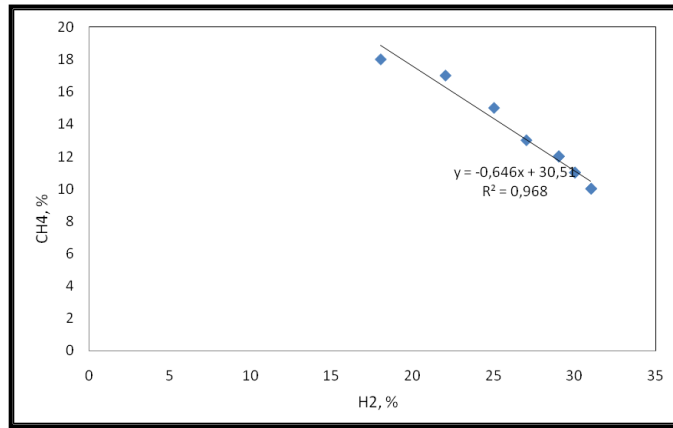
Şekil 4.21 verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%50)-kuru tavuk gübresi (%50) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 700°C ve kuru hava debisi ise 0,1 L/dk'dır.

Isıl değer CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer 2487 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.21:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700°C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

Şekil 4.22 incelendiğinde CO, CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an 700°C 'ye yaklaşılana ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.

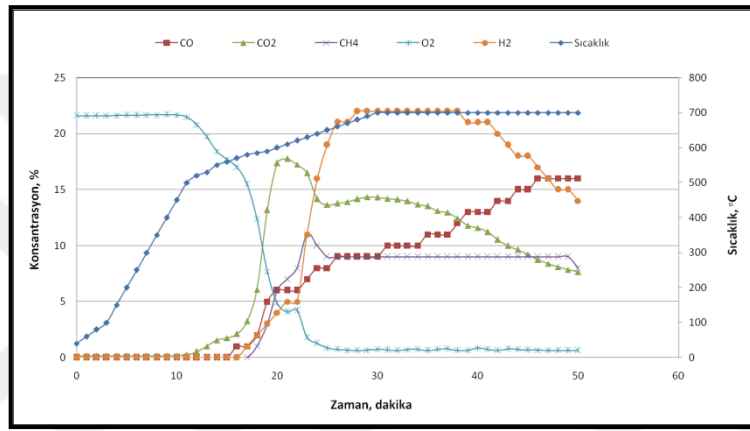


**Şekil 4.22:** Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700°C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.

Şekil 4.23'de gerçekleştirilmiş olan deney 700°C ve 0,2 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 23. dakikada %11 ve H<sub>2</sub> 28. dakikada %22 ile maksimum değerine ulaşmıştır.



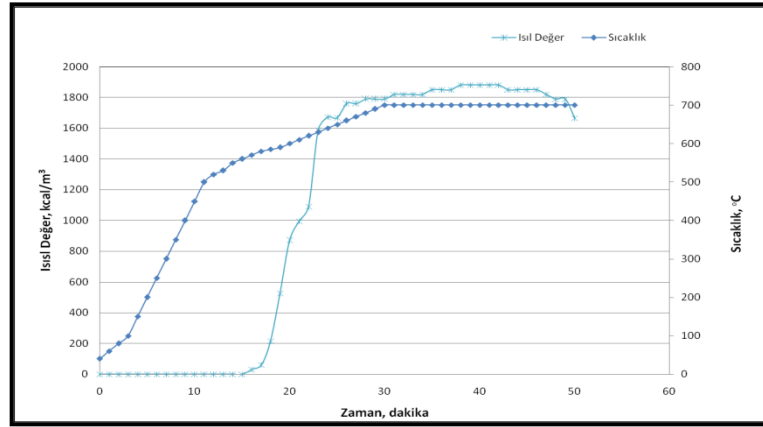
Şekil 4.23 incelendiğinde beklendiği gibi gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte Boudouard reaksiyonuyla başlayan ve  $\text{CH}_4$  üretimiyle biten reaksiyonlar sonucuyla konsantrasyonlarının yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir. Pik değerler gazlaştırma için seçilen sıcaklık civarında elde edilmiş olduğu saptanmıştır. Gazlaştırma basamağına geçildiğinde  $\text{H}_2$  su-gaz reaksiyonuyla artar ve su kaydırma reaksiyonuna geçildiğinde azalmaya başlar ve CO konsantrasyonu artmaya başlamaktadır. Metan üretim reaksiyonu başladığı andan itibaren  $\text{CH}_4$  konsantrasyonu artmaktadır.



**Şekil 4.23:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700°C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

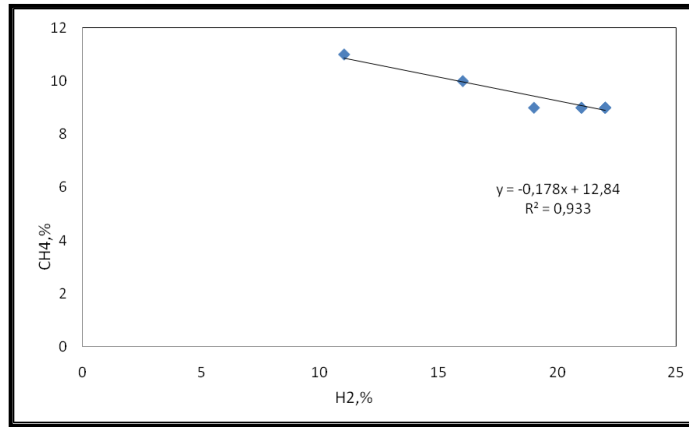
Şekil 4.24 verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%50)-kuru tavuk gübresi (%50) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 700°C ve kuru hava debisi ise 0,2 L/dk'dır.

Isıl değer CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer 1880,10 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.24:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700°C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

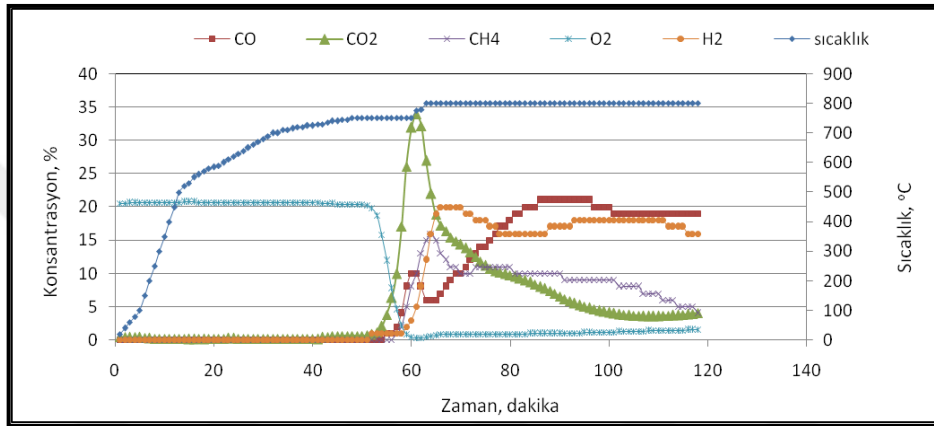
Şekil 4.25 incelendiğinde CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an 700°C 'ye yaklaşılana ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.25:** Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 700°C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.

Şekil 4.26'de gerçekleştirilmiş olan deney 800°C ve 0,05 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 64. dakikada %16 ve H<sub>2</sub> 66. dakikada %20 ile maksimum değerine ulaşmıştır.

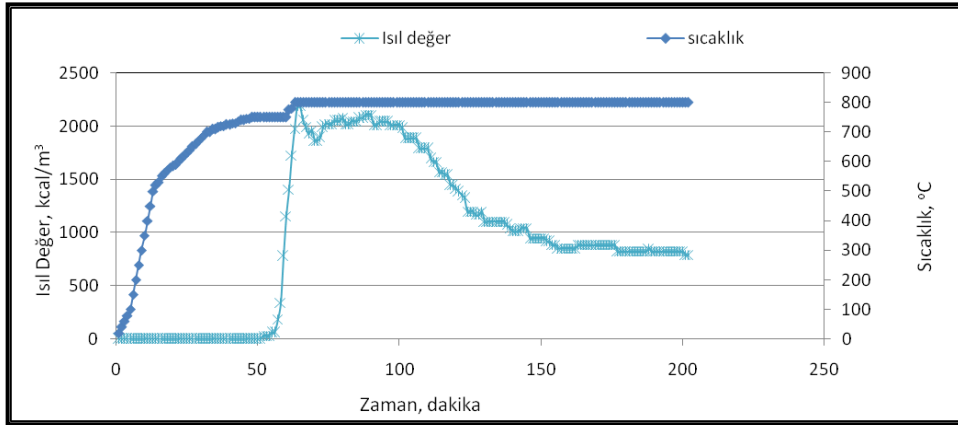
Şekil 4.26 incelendiğinde gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte konsantrasyonların yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir. Pik değerler gazlaştırma için seçilen sıcaklık civarında elde edilmiş olduğu saptanmıştır. Gazlaştırma basamağına geçildiğinde H<sub>2</sub> su-gaz reaksiyonuyla artar ve su kaydırma reaksiyonuna geçildiğinde azalmaya başlamaktadır. Su kaydırma metan üretimi reaksiyonları ile CH<sub>4</sub> ve CO konsantrasyonu artmaya başlamaktadır.



**Şekil 4.26:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

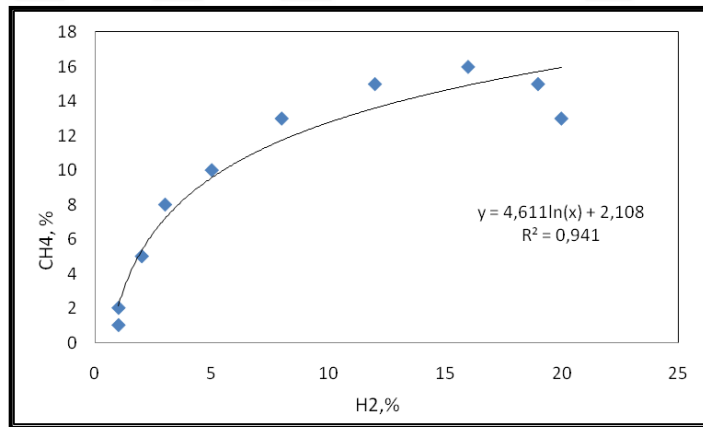
Şekil 4.27 verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%50)-kuru tavuk gübresi (%50) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 800°C ve kuru hava debisi ise 0,05 L/dk'dır.

Isıl değer CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer 2192,40 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.27:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800°C ve 0,05L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

Şekil 4.28 incelendiğinde CO, CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an 800°C 'ye yaklaşılana ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.

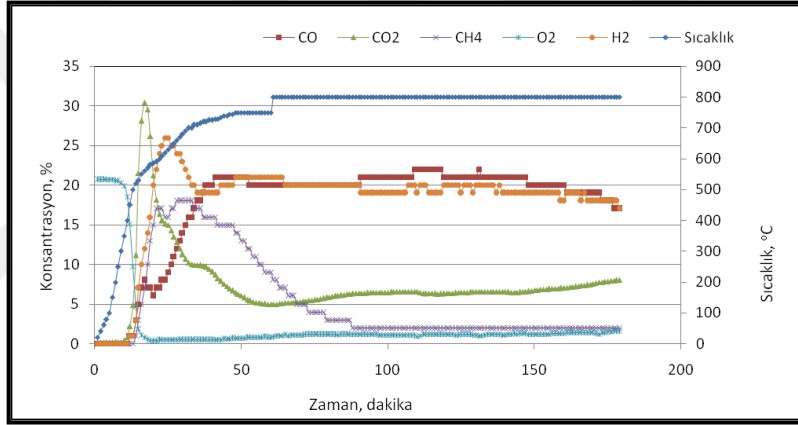


**Şekil 4.28:** Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.

Şekil 4.29'da gerçekleştirilmiş olan deney 800°C ve 0,1 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 28. dakikada %18 ve H<sub>2</sub> 24. dakikada %26 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir.

İndirgenme basamağında başlayan reaksiyonlar ile oluşan  $\text{CO}_2$  indirgenerek CO ve  $\text{CH}_4$  oluşumunu sağlamıştır.

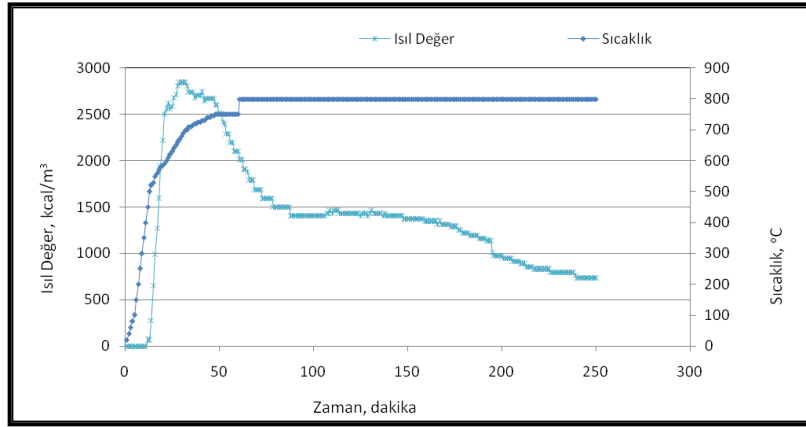
Şekil 4.29 incelendiğinde gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte Boudouard reaksiyonuyla başlayan ve metan üretimiyle biten reaksiyonlar sonucunda konsantrasyonların yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir. Pik değerler gazlaştırma için seçilen sıcaklık civarında elde edilmiş olduğu saptanmıştır. Gazlaştırma basamağına geçildiğinde  $\text{H}_2$  su-gaz reaksiyonuyla artar ve su kaydırma reaksiyonuna geçildiğinde azalmaya başlamaktadır. Su kaydırma ve metan üretimi reaksiyonları ile  $\text{CH}_4$  ve CO konsantrasyonu artmaya başlamaktadır.



**Şekil 4.29:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800°C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

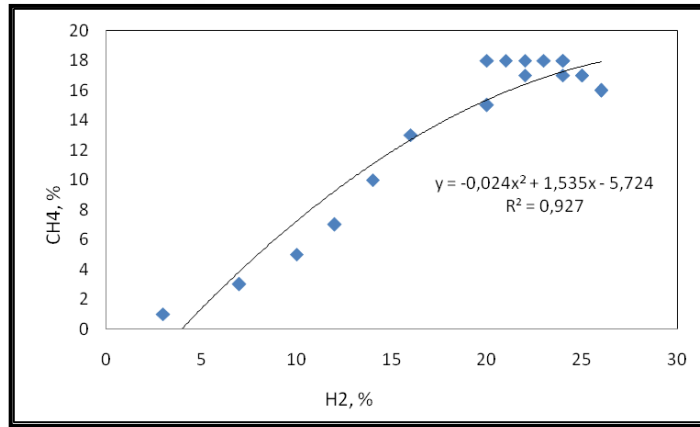
Şekil 4.30 verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%50)-kuru tavuk gübresi (%50) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 800°C ve kuru hava debisi ise 0,1 L/dk'dır.

Isıl değer CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer 2838 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.30:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800°C ve 0,1L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

Şekil 4.31 incelendiğinde CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an 800°C 'ye yaklaşılana ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.

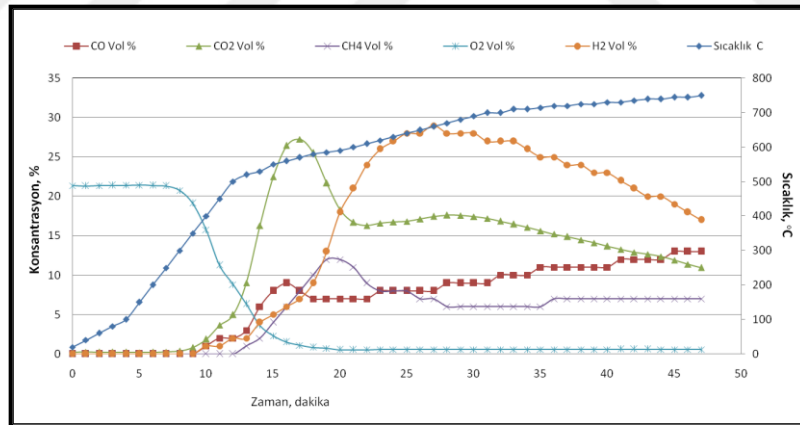


**Şekil 4.31:** Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle 800°C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.

Şekil 4.32'de gerçekleştirilmiş olan deney 800°C ve 0,2 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 19. dakikada %12 ve H<sub>2</sub> 27. dakikada %29 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir.

İndirgenme basamağında başlayan reaksiyonlar ile oluşan  $\text{CO}_2$  indirgenerek  $\text{CO}$  ve  $\text{CH}_4$  oluşumunu sağlamıştır. Her ne kadar sıcaklık daha önceki denemelere göre daha yüksek olsa da artırılan kuru hava debisinin etkisiyle yaklaşık  $500^\circ\text{C}$  civarında artmaya başlayan  $\text{CH}_4$  konsantrasyonu gazlaştırma basamağında gerçekleşmesi beklenen oksijen miktarının azalması ya da tükenmesi olayı artırılan kuru hava debisi nedeniyle gerçekleşemediği öngörülmektedir. Bu nedenle diğer denemelerde ulaşılan  $\text{CH}_4$  konsantrasyonlarına ulaşamamıştır.

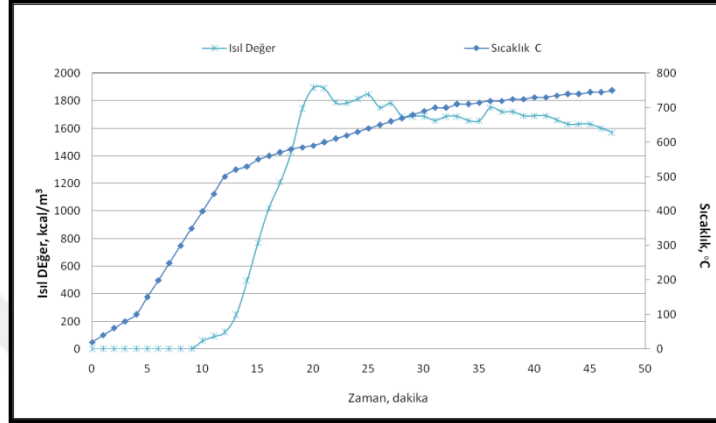
Şekil 4.32 incelendiğinde gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte Boudouard reaksiyonu ile başlayan ve metan üretimiyle biten reaksiyonlar sonucunda konsantrasyonların yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir. Pik değerler gazlaştırma için seçilen sıcaklık civarında elde edilmiş olduğu saptanmıştır. Gazlaştırma basamağına geçildiğinde  $\text{H}_2$  su-gaz reaksiyonu ile artar ve su kaydırma reaksiyonuna geçildiğinde azalmaya başlamaktadır. Su kaydırma ve metan üretimi reaksiyonları ile  $\text{CH}_4$  ve  $\text{CO}$  konsantrasyonu artmaya başlamaktadır.



**Şekil 4.32:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle  $800^\circ\text{C}$  ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

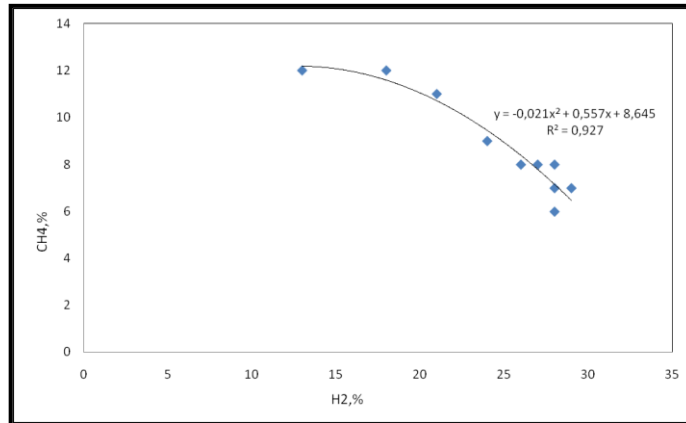
Şekil 4.33'te verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%50)-kuru tavuk gübresi (%50) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık  $800^\circ\text{C}$  ve kuru hava debisi ise 0,2 L/dk'dır.

Şekil 4.33 incelendiğinde ısıl değer  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer  $1892,20 \text{ kcal/m}^3$  olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.33:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle  $800^\circ\text{C}$  ve  $0,2 \text{ L/dk}$  Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

Şekil 4.34 incelendiğinde  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma süreci boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an  $800^\circ\text{C}$  'ye yaklaşılana ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.



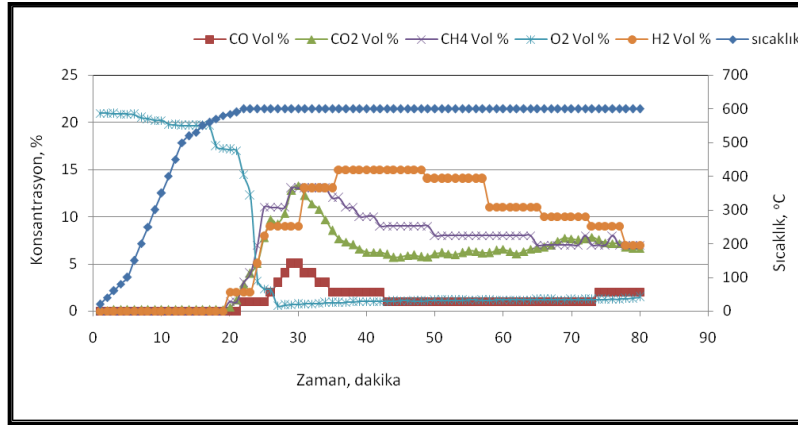
**Şekil 4.34:** Tank Dibi Çamuru (%50)-Kuru Tavuk Gübresi (%50) Karışımı İle  $800^\circ\text{C}$  ve  $0,2 \text{ L/dk}$  Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.



#### 4.2.2.%75 Petrokimya Tank Dibi Çamuru ve %25 Kuru Tavuk gübresi Karışımı ile Yürütülen Gazlaştırma Deneyleri

Şekil 4.35’de gerçekleştirilmiş olan deney 600°C ve 0,05 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 29. dakikada %13 ve H<sub>2</sub> 36. dakikada %15 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir. İndirgenme basamağında başlayan reaksiyonlar ile oluşan CO<sub>2</sub> indirgenerek CO ve CH<sub>4</sub> oluşumunu sağlamıştır.

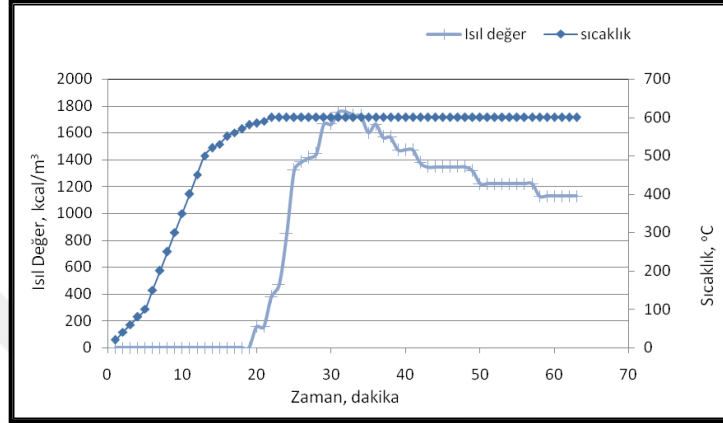
Şekil 4.35 incelendiğinde gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte Boudouard reaksiyonuyla başlayan ve metan üretimiyle biten reaksiyonlar sonucunda konsantrasyonların yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir. Pik değerler gazlaştırma için seçilen sıcaklık civarında elde edilmiş olduğu saptanmıştır. Gazlaştırma basamağına geçildiğinde H<sub>2</sub> su-gaz reaksiyonuyla artar ve su kaydırma reaksiyonuna geçildiğinde azalmaya başlamaktadır. Su kaydırma ve metan üretimi reaksiyonları ile CH<sub>4</sub> ve CO konsantrasyonu artmaya başlamaktadır.



**Şekil 4.35:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 600°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

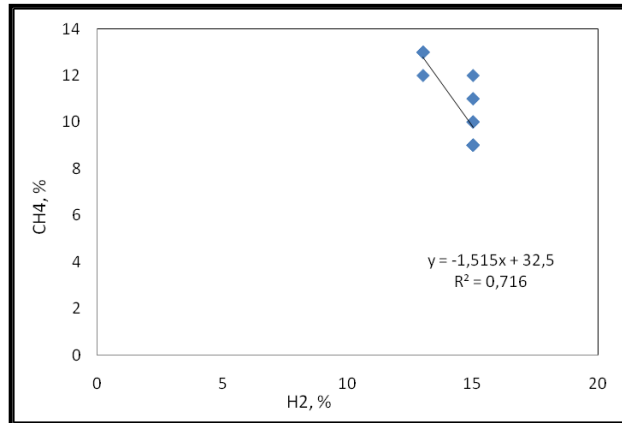
Şekil 4.36 verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%75)-kuru tavuk gübresi (%25) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 600°C ve kuru hava debisi ise 0,05 L/dk'dır.

Isıl değerin  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer  $1754,90 \text{ kcal/m}^3$  olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.36:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle  $600^\circ\text{C}$  ve  $0,05 \text{ L/dk}$  Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

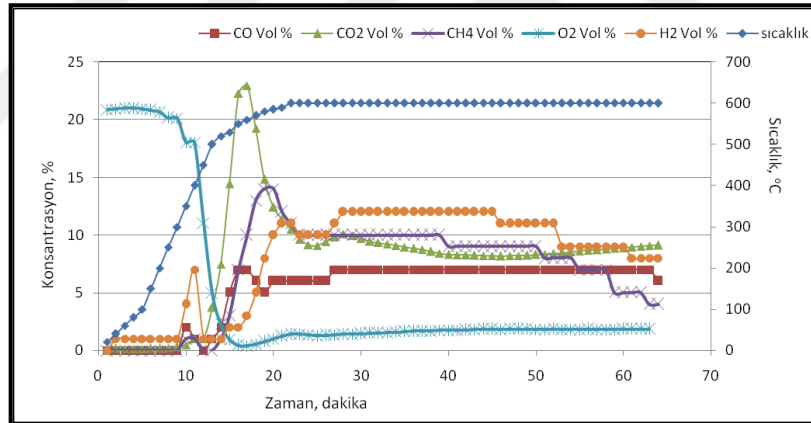
Şekil 4.37 incelendiğinde  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma süreci boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an  $600^\circ\text{C}$  'ye yaklaşılana ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.37:** Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle  $600^\circ\text{C}$  ve  $0,05 \text{ L/dk}$  Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği

Şekil 4.38’de gerçekleştirilmiş olan deney 600°C ve 0,1 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 19. dakikada %14 ve H<sub>2</sub> 28. dakikada %12 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir. İndirgenme basamağında başlayan reaksiyonlar ile oluşan CO<sub>2</sub> indirgenerek CO ve CH<sub>4</sub> oluşumunu sağlamıştır.

Şekil 4.38 incelendiğinde gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte konsantrasyonların yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir. Pik değerler gazlaştırma için seçilen sıcaklık civarında elde edilmiş olduğu saptanmıştır. Gazlaştırma basamağına geçildiğinde H<sub>2</sub> su-gaz reaksiyonuyla artar ve su kaydırma reaksiyonuna geçildiğinde azalmaya başlamaktadır. Su kaydırma ve metan üretimi reaksiyonları ile CH<sub>4</sub> ve CO konsantrasyonu artmaya başlamaktadır.

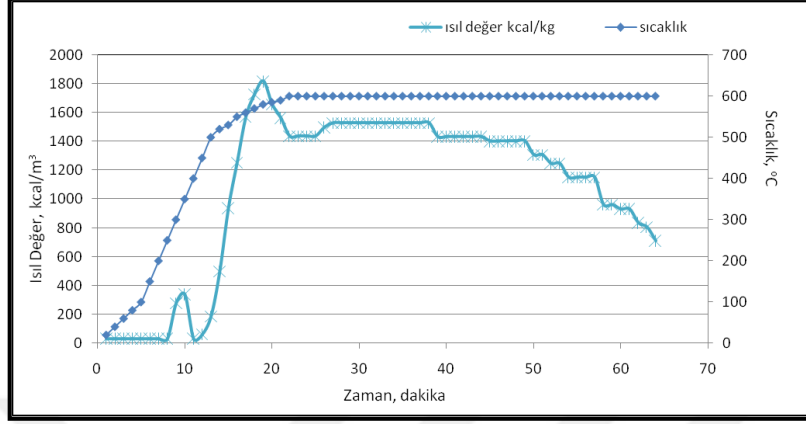


**Şekil 4.38:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 600°C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

Şekil 4.39 verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%75)-kuru tavuk gübresi (%25) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 600°C ve kuru hava debisi ise 0,1 L/dk'dır.

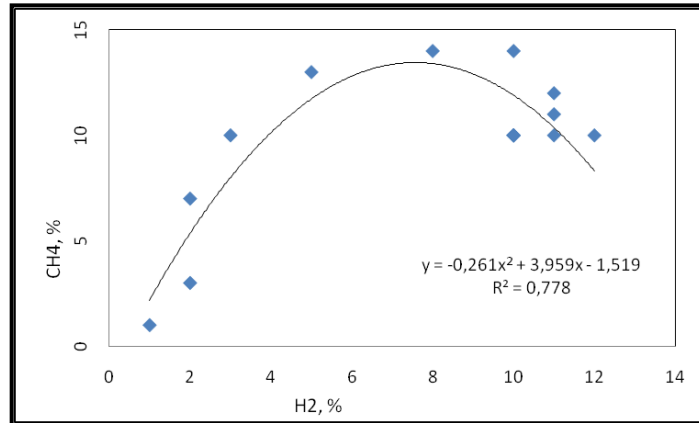
Isıl değer CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte

sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer  $1819 \text{ kcal/m}^3$  olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.39:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle  $600^{\circ}\text{C}$  ve  $0,1 \text{ L/dk}$  Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

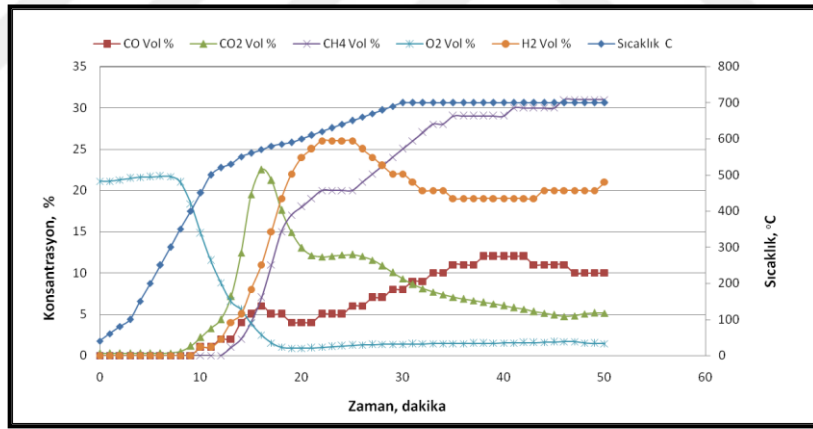
Şekil 4.40 incelendiğinde  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an  $600^{\circ}\text{C}$  'ye yaklaşılan ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.40:** Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle  $600^{\circ}\text{C}$  ve  $0,1 \text{ L/dk}$  Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.

Şekil 4.41’de gerçekleştirilmiş olan deney 700°C ve 0,05 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 46. dakikada %31 ve H<sub>2</sub> 22. dakikada %26 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir. İndirgenme basamağında başlayan reaksiyonlar ile oluşan CO<sub>2</sub> indirgenerek CO ve CH<sub>4</sub> oluşumunu sağlamıştır.

Şekil 4.41 incelendiğinde gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte Boudouard reaksiyonuyla başlayan ve metan üretimiyle biten reaksiyonlar sonucunda konsantrasyonların yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir. Pik değerler gazlaştırma için seçilen sıcaklık civarında elde edilmiş olduğu saptanmıştır. Gazlaştırma basamağına geçildiğinde H<sub>2</sub> su-gaz reaksiyonuyla artar ve su kaydırma reaksiyonuna geçildiğinde azalmaya başlamaktadır. Su kaydırma ve metan üretimi reaksiyonları ile CH<sub>4</sub> ve CO konsantrasyonu artmaya başlamaktadır.

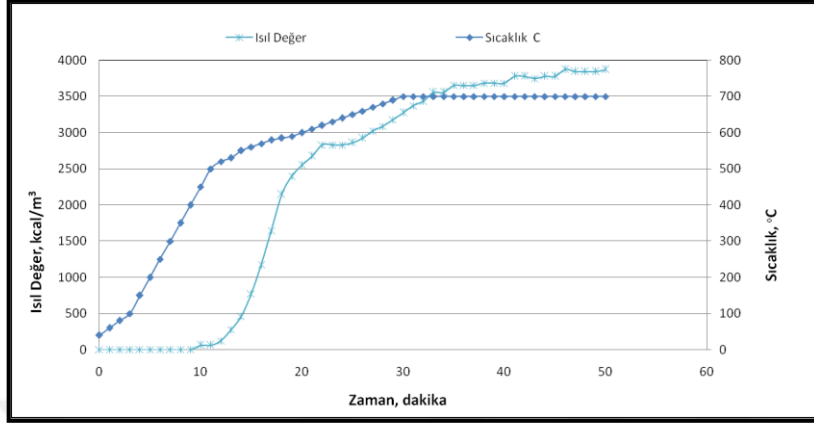


**Şekil 4.41:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

Şekil 4.42 verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%75)-kuru tavuk gübresi (%25) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 700°C ve kuru hava debisi ise 0,05 L/dk'dır.

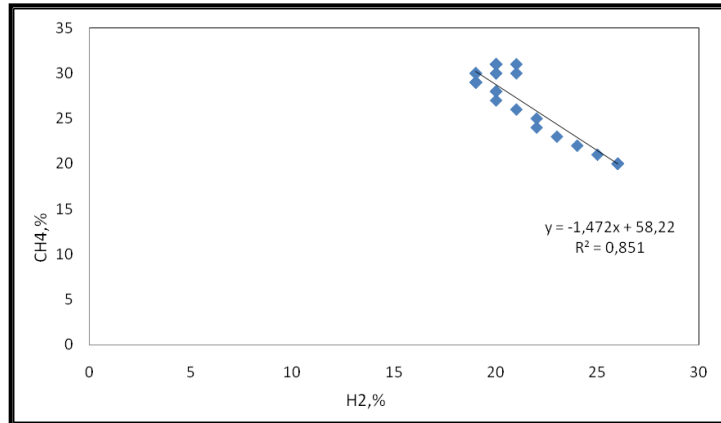
Isıl değerlerin CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte

sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer  $3872,85 \text{ kcal/m}^3$  olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.42:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle  $700^{\circ}\text{C}$  ve  $0,05 \text{ L/dk}$  Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

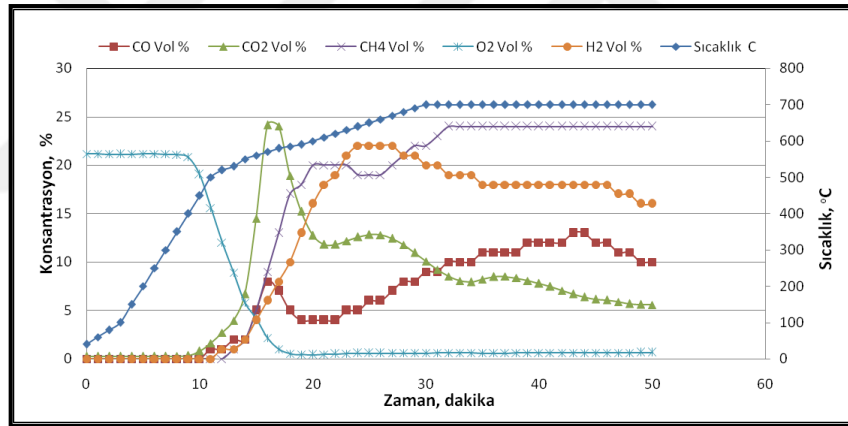
Şekil 4.43 incelendiğinde  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma süreci boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an  $700^{\circ}\text{C}$  'ye yaklaşılan ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.43:** Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle  $700^{\circ}\text{C}$  ve  $0,05 \text{ L/dk}$  Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.

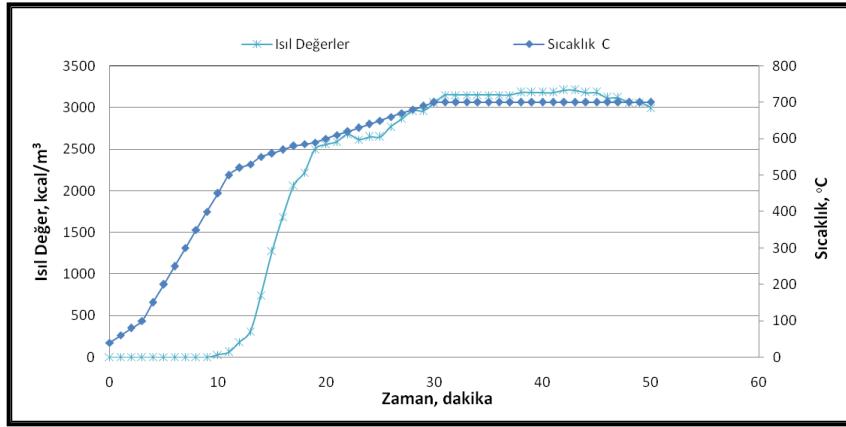
Şekil 4.44'de gerçekleştirilmiş olan deney 700°C ve 0,1 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 32. dakikada %24 ve H<sub>2</sub> 24. dakikada %22 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir. İndirgenme basamağında başlayan reaksiyonlar ile oluşan CO<sub>2</sub> indirgenerek CO ve CH<sub>4</sub> oluşumunu sağlamıştır.

Şekil 4.44 gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte konsantrasyonların yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir. Pik değerler gazlaştırma için seçilen sıcaklık civarında elde edilmiş olduğu saptanmıştır. Gazlaştırma basamağına geçildiğinde H<sub>2</sub> su-gaz reaksiyonuyla artar ve su kaydırma reaksiyonuna geçildiğinde azalmaya başlamaktadır. Su kaydırma ve metan üretimi reaksiyonları ile CH<sub>4</sub> ve CO konsantrasyonu artmaya başlamaktadır.



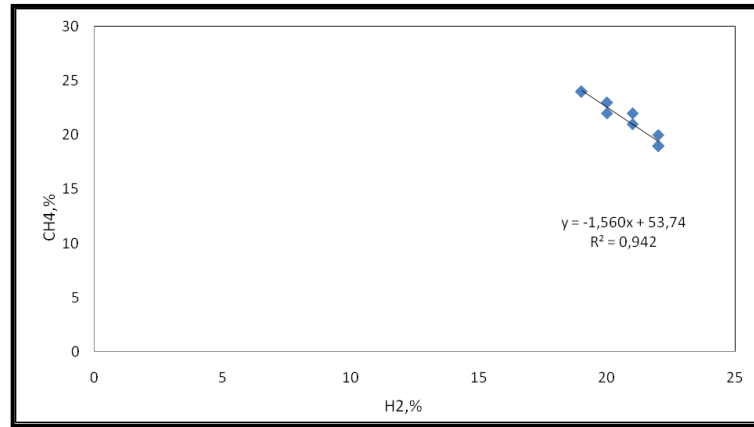
**Şekil 4.44:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700°C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

Şekil 4.45'de verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%75)-kuru tavuk gübresi (%25) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 700°C ve kuru hava debisi ise 0,1 L/dk'dır. Isıl değer CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer 3209,80 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.45:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700°C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

Şekil 4.46 incelendiğinde CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an 700°C 'ye yaklaşılana ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.



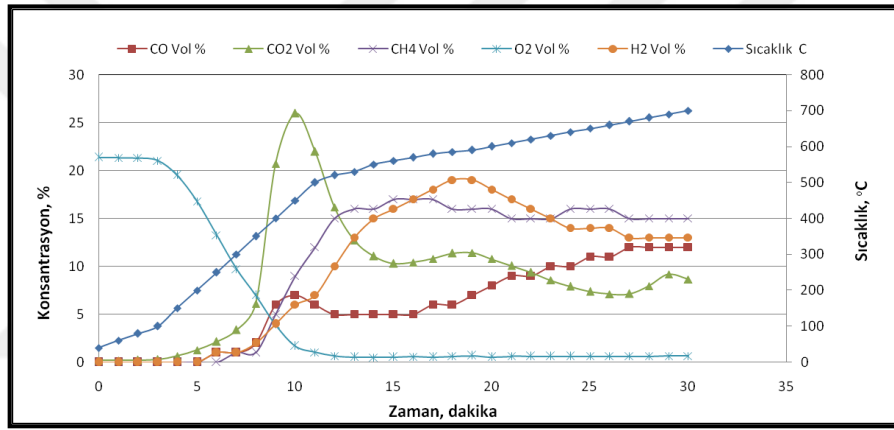
**Şekil 4.46:** Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700°C ve 0,1 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.

Şekil 4.47'de gerçekleştirilmiş olan deney 700°C ve 0,2 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 15. dakikada %17 ve H<sub>2</sub> 18. dakikada %19 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir.



İndirgenme basamağında başlayan reaksiyonlar ile oluşan CO<sub>2</sub> indirgenerek CO ve CH<sub>4</sub> oluşumunu sağlamıştır.

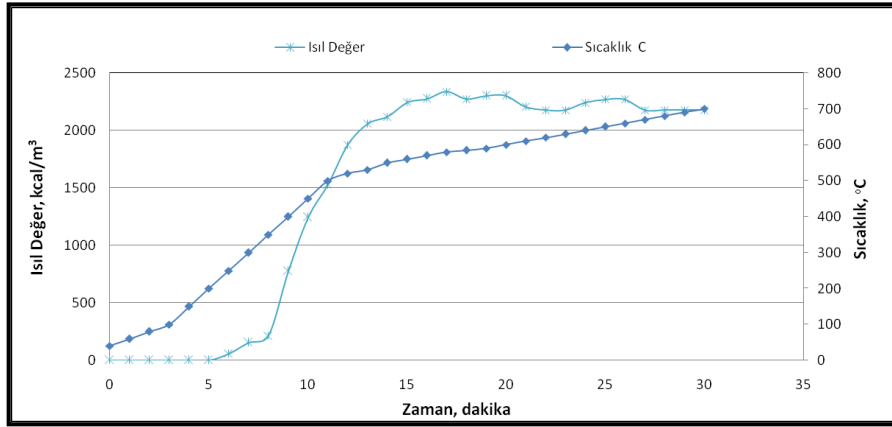
Şekil 4.47 incelendiğinde gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte konsantrasyonların yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir. Pik değerler gazlaştırma için seçilen sıcaklık civarında elde edilmiş olduğu saptanmıştır. Gazlaştırma basamağına geçildiğinde H<sub>2</sub> su-gaz reaksiyonuyla artar ve su kaydırma reaksiyonuna geçildiğinde azalmaya başlamaktadır. Su kaydırma ve metan üretimi reaksiyonları ile CH<sub>4</sub> ve CO konsantrasyonu artmaya başlamaktadır.



**Şekil 4.47:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700°C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

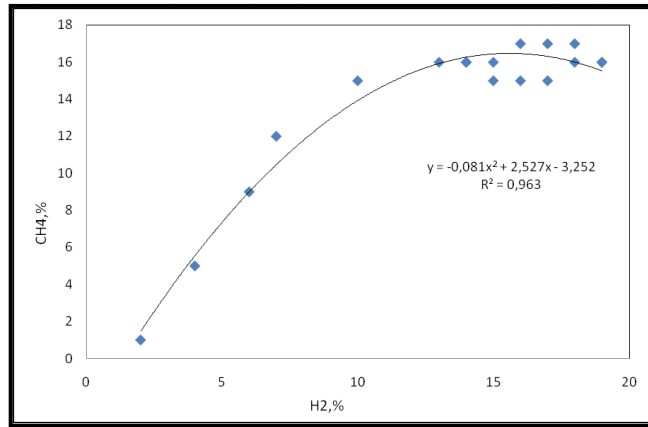
Şekil 4.48'de verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%75)-kuru tavuk gübresi (%25) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 700°C ve kuru hava debisi ise 0,2 L/dk'dır.

Isıl değer CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısıl değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısıl değer 2335,54 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.48:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700°C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafığı.

Şekil 4.49 incelendiğinde CO, CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an 700°C 'ye yaklaşılana ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.

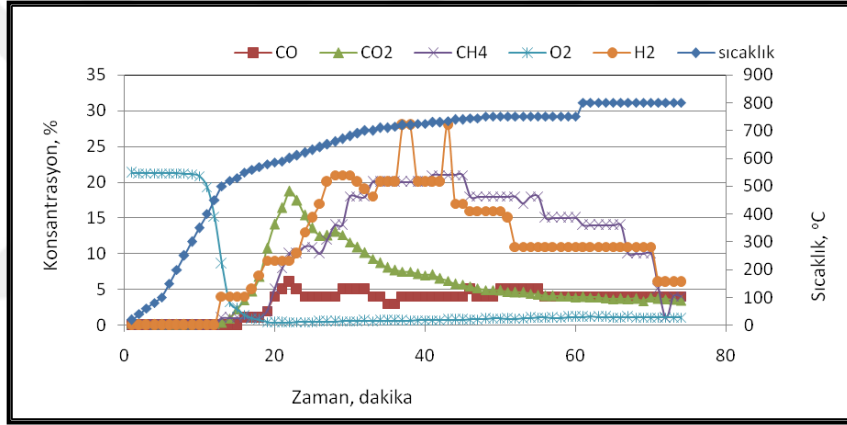


**Şekil 4.49:** Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 700°C ve 0,2 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafığı.

Şekil 4.50'de gerçekleştirilmiş olan deney 800°C ve 0,05 L/dk kuru hava debisi ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre CH<sub>4</sub> 41. dakikada %21 ve H<sub>2</sub> 37. dakikada %28 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Sıcaklığın artışıyla yanma veya kısmi yanma reaksiyonlarının başlayıp oksijenin tükenmeye başlamasıyla CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmiştir. İndirgenme

basamağında başlayan reaksiyonlar ile oluşan CO<sub>2</sub> indirgenerek CO ve CH<sub>4</sub> oluşumunu sağlamıştır.

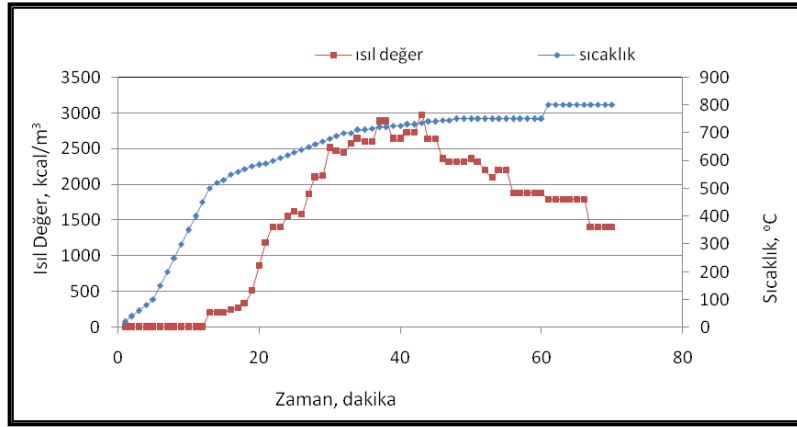
Şekil 4.50 incelendiğinde gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın yükselmesiyle birlikte Boudouard reaksiyonuyla başlayan ve metan üretimiyle biten reaksiyonlar sonucunda konsantrasyonların yükseldiği gözlemlenmiştir. Gaz konsantrasyonlarının aynı sıcaklık aralığında arttığı grafikler incelenerek belirlenmiştir. Pik değerler gazlaştırma için seçilen sıcaklık civarında elde edilmiş olduğu saptanmıştır. Gazlaştırma basamağına geçildiğinde H<sub>2</sub> su-gaz reaksiyonuyla artar ve su kaydırma reaksiyonuna geçildiğinde azalmaya başlamaktadır. Su kaydırma ve metan üretimi reaksiyonları ile CH<sub>4</sub> ve CO konsantrasyonu artmaya başlamaktadır.



**Şekil 4.50:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 800°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait Gaz Konsantrasyonlarının Sıcaklığa Bağlı Değişim Grafiği.

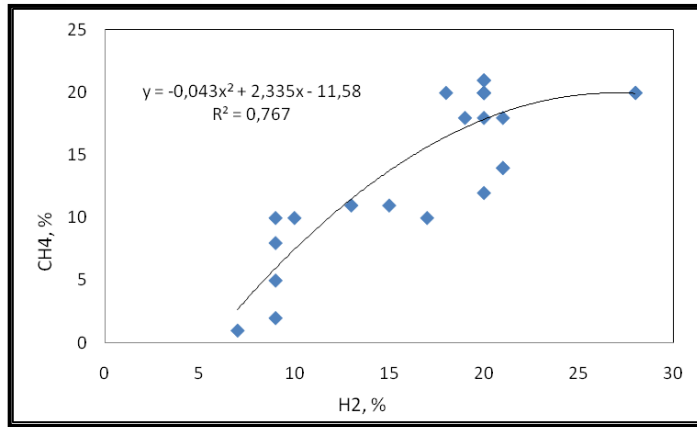
Şekil 4.51'de verilen grafik ham petrokimya tank dibi çamuru (%75)-kuru tavuk gübresi (%25) karışımı gazlaştırmasına aittir. Bu deneyde numune miktarı 30 g, sıcaklık 800°C ve kuru hava debisi ise 0,05 L/dk'dır.

Şekil 4.51 incelendiğinde ısı değerinin CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi elde edilen CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının hacimsel yüzdelerinin artmasıyla birlikte sentez gaz karışımının toplam ısı değerine katkılarının artması olarak açıklanabilir. Bu deney sonunda maksimum ısı değeri 2974 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.51:** Petrokimya Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 800°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesi Sıcaklığa Bağlı Isıl Değer Grafiği.

Şekil 4.52 incelendiğinde CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gaz konsantrasyonlarının aynı zaman aralıklarında artmaya başladığı söylenebilir. Bunun sebebi ise gazlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte dördüncü kademe olan gazlaştırma basamağı olduğu öngörülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyonların artmaya başladığı an 800°C 'ye yaklaşılana ve ulaşılan zaman aralığına denk geldiği gözlemlenmiştir.

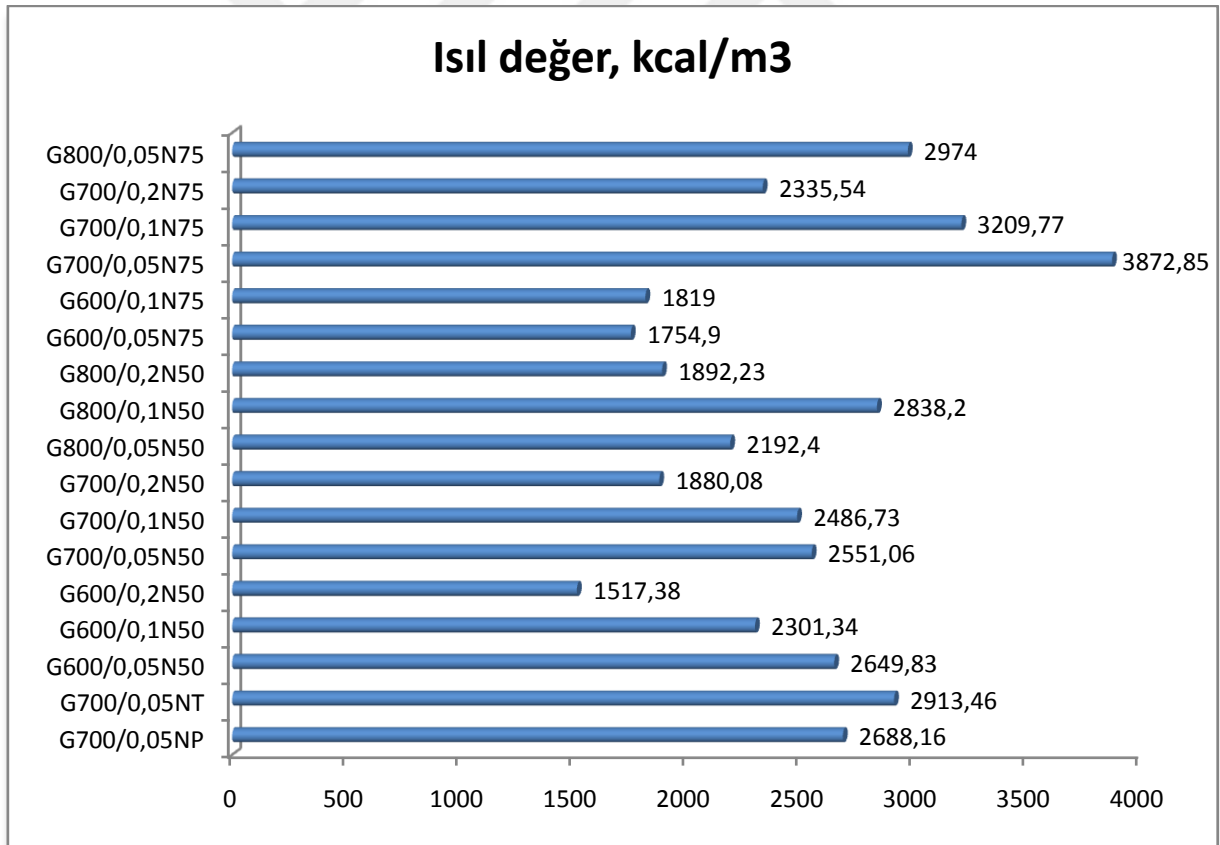


**Şekil 4.52:** Tank Dibi Çamuru (%75)-Kuru Tavuk Gübresi (%25) Karışımı İle 800°C ve 0,05 L/dk Kuru Havada Gerçekleştirilen Gazlaştırma Prosesine Ait CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Kıyas Grafiği.

### 4.3.PROSES KOŞULLARININ CH<sub>4</sub> VE H<sub>2</sub> KONSANTRASYONLARI İLE ISIL DEĞERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

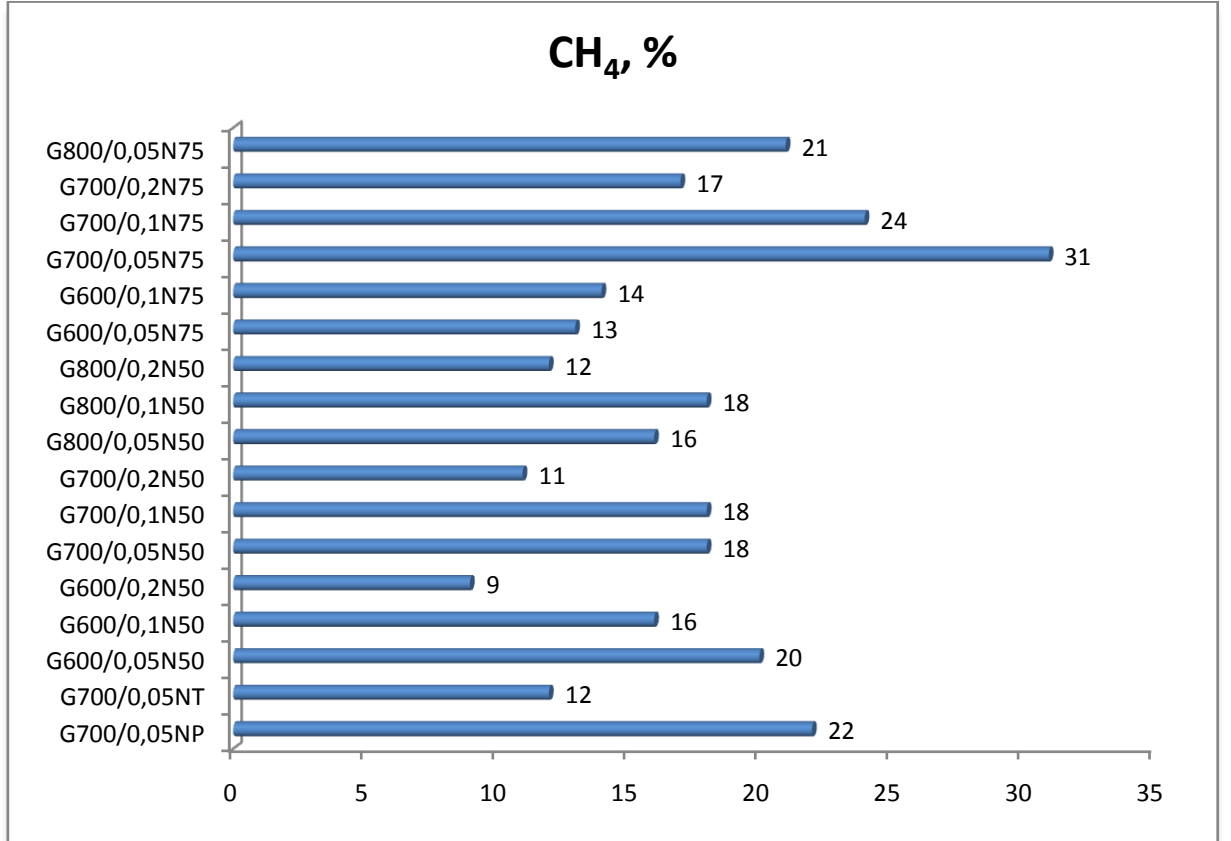
Bu başlıkta , yürütülen gazlaştırma deneylerinden elde edilen CH<sub>4</sub> , H<sub>2</sub> gazı ve hesaplanan ısı değerlerin karşılaştırmaları yapılmıştır. Bunlar Şekil 4.53, Şekil 4.54 ve Şekil 4.55'te sunulmuştur.

Şekil 4.53 incelendiğinde tüm denemeler sonucunda elde edilen en yüksek ısı değere 700°C, 0,05 L/dk kuru hava debisi ile yürütülen %75 petrokimya tank dibi çamuru-%25 kuru tavuk gübresi karışımı ile ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu değer 3872,85 kcal/m<sup>3</sup>'tür ve hidrojenin gazının birim hacminin ısı değerinden daha yüksek bir enerji içeriğine sahiptir. Sonuçların 1517,38 ile 3872,85 kcal/m<sup>3</sup> aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



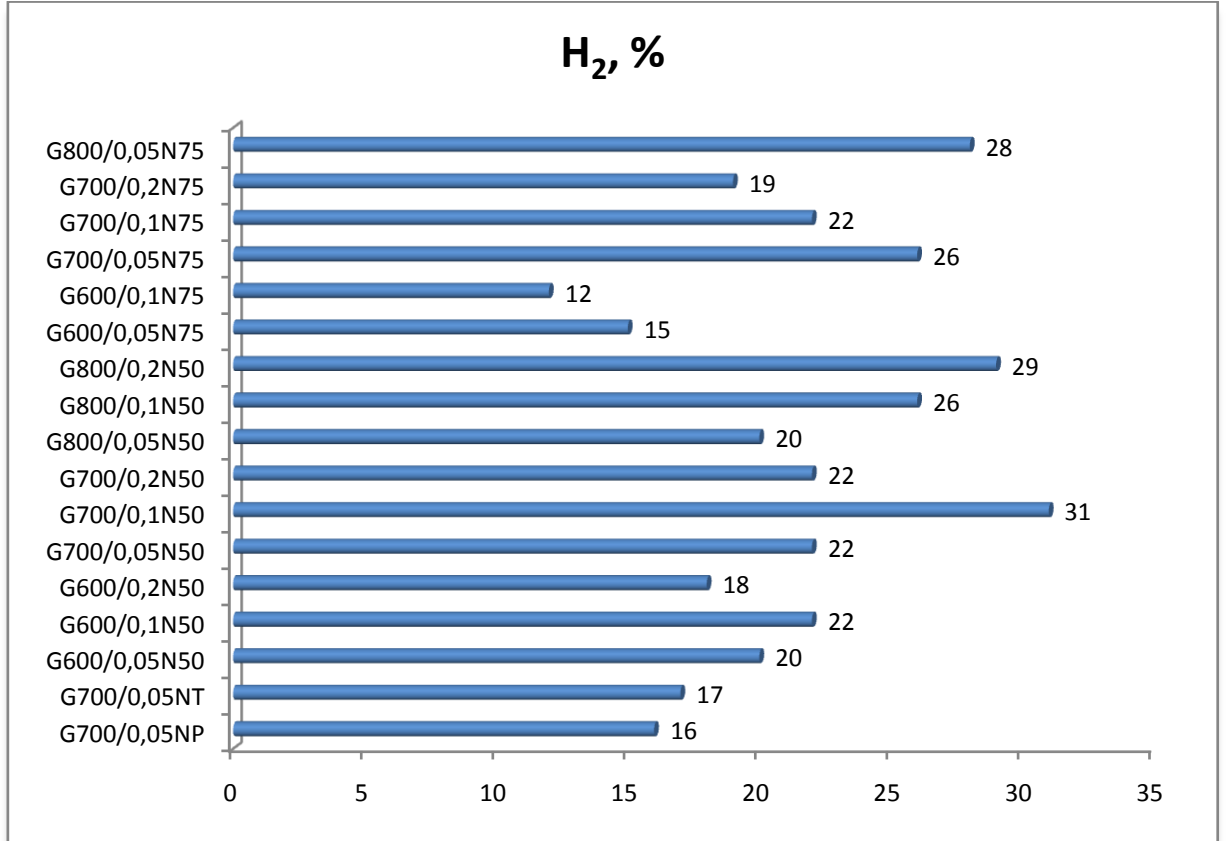
Şekil 4.53: Gazlaştırma deneylerin maksimum ısı değeri.

Şekil 4.54 incelendiğinde tüm denemeler sonucunda elde edilen en yüksek CH<sub>4</sub> değeri 700°C , 0,05 L/dk kuru hava debisi ile yürütülen %75 petrokimya tank dibi çamuru-%25 kuru tavuk gübresi karışımı ile ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu değer %31'dir ve tüm denemeler incelendiğinde CH<sub>4</sub> değerinin %9 ile %31 arasında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.54: Gazlaştırma deneylerin CH<sub>4</sub> değerleri.

Şekil 4.55 incelendiğinde tüm denemeler sonucunda elde edilen en yüksek  $H_2$  değeri  $700^{\circ}C$  ,  $0,1$  L/dk kuru hava debisi ile yürütülen %50 petrokimya tank dibi çamuru-%50 kuru tavuk gübresi karışımı ile ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu değer %31'dir ve tüm denemeler incelendiğinde  $H_2$  değerinin %12 ile %31 arasında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.55: Gazlaştırma deneylerin  $H_2$  değerleri.

#### 4.4. KATI VE SIVI ÜRÜNLERİN ANALİZİ

##### 4.4.1. Gazlaştırma Deneyleri Sıvı ve Katı Ürün Miktarı ile Elementel Analiz Sonuçları

Yapılan tüm gazlaştırma deneylerinden elde edilen ürünlerin miktarları Tablo 4.5 'de verilmiştir.

**Tablo 4.5:** Tüm gazlaştırma deneylerinden elde edilen ürün miktarları.

Deneyler	Başlangıç(g)	Sıvı Ürün(g)	Katı ürün(g)	Gaz ürün(g)	Gazlaştırma(%)
G <sub>700/0,05</sub> N <sub>P</sub>	25	0,24	5,91	18,85	75,4
G <sub>700/0,05</sub> N <sub>T</sub>	25	6,36	8,54	10,1	40,4
G <sub>600/0,05</sub> N <sub>50</sub>	30	3,86	7,17	18,97	63,2
G <sub>600/0,1</sub> N <sub>50</sub>	30	4,86	6,95	18,19	60,6
G <sub>600/0,2</sub> N <sub>50</sub>	30	6,46	6,06	17,48	58,3
G <sub>700/0,05</sub> N <sub>50</sub>	30	10,36	10,78	8,86	29,5
G <sub>700/0,1</sub> N <sub>50</sub>	30	3,19	5,17	21,64	72,1
G <sub>700/0,2</sub> N <sub>50</sub>	30	1,89	4,96	23,15	77,2
G <sub>800/0,05</sub> N <sub>50</sub>	30	3,25	6,16	20,59	68,6
G <sub>800/0,1</sub> N <sub>50</sub>	30	7,43	3,64	18,93	63,1
G <sub>800/0,2</sub> N <sub>50</sub>	30	7,44	7,44	15,12	50,4
G <sub>600/0,05</sub> N <sub>75</sub>	30	2,83	3,99	23,18	77,3
G <sub>600/0,1</sub> N <sub>75</sub>	30	6,53	3,24	20,23	67,4
G <sub>700/0,05</sub> N <sub>75</sub>	30	1,87	3,01	25,12	83,7
G <sub>700/0,1</sub> N <sub>75</sub>	30	3,24	3,28	23,48	78,3
G <sub>700/0,2</sub> N <sub>75</sub>	30	8,55	3,18	18,27	60,9
G <sub>800/0,05</sub> N <sub>75</sub>	30	0,67	0,67	28,66	95,5

Tablo 4.5 incelendiğinde en yüksek gazlaştırma yüzdesi %95,5 ile 800<sup>0</sup>C, 0,05 L/dk kuru hava debisi, %75 tank dibi çamuru ve %25 kuru tavuk gübresi karışımı ile elde edildiği tespit edilmiştir.



Gazlaştırma deneyleri sonunda elde edilen katı ve sıvı ürünlerin elementel analizi yapılmış olup Tablo 4.6 ve Tablo 4.7 ' de sonuçlar sunulmuştur.

**Tablo 4.6:** Gazlaştırma deneylerinden elde edilen katı ürün elementel analizi.

<b>Deneyle</b>	<b>N (%)</b>	<b>C (%)</b>	<b>H (%)</b>	<b>S (%)</b>
G <sub>700/0,05</sub> N <sub>P</sub>	-	13,51	0,33	-
G <sub>700/0,05</sub> N <sub>T</sub>	5,19	35,21	4,67	0,3
G <sub>600/0,05</sub> N <sub>50</sub>	11,92	36,21	4,89	11,71
G <sub>600/0,1</sub> N <sub>50</sub>	5,43	37	2,67	0
G <sub>600/0,2</sub> N <sub>50</sub>	10,04	20,73	5,6	11,68
G <sub>700/0,05</sub> N <sub>50</sub>	6,32	11,56	6,32	19,58
G <sub>700/0,2</sub> N <sub>50</sub>	5,84	22,8	4,8	0
G <sub>600/0,05</sub> N <sub>75</sub>	11,92	36,21	4,89	11,71
G <sub>600/0,1</sub> N <sub>75</sub>	7,86	36	6,38	13,85
G <sub>700/0,05</sub> N <sub>75</sub>	9,16	29,98	6,27	11,51
G <sub>700/0,1</sub> N <sub>75</sub>	8,59	49,21	15,98	13,09
G <sub>700/0,2</sub> N <sub>75</sub>	11,27	87,46	6,33	12,43
G <sub>800/0,05</sub> N <sub>75</sub>	6,32	21,56	6,32	19,58

**Tablo 4.7:** Gazlaştırma deneylerinden elde edilen sıvı ürün elementel analizi.

<b>Deneyle</b>	<b>N (%)</b>	<b>C (%)</b>	<b>H (%)</b>	<b>S (%)</b>
G <sub>600/0,05</sub> N <sub>50</sub>	6,3	7,28	7,05	8,15
G <sub>600/0,1</sub> N <sub>50</sub>	5,68	5,02	10,05	9,92
G <sub>600/0,2</sub> N <sub>50</sub>	5,64	11,65	12,2	11,79
G <sub>700/0,05</sub> N <sub>50</sub>	3,19	4,48	7,89	13,77
G <sub>700/0,1</sub> N <sub>50</sub>	4,17	6,33	10,51	14,11
G <sub>700/0,2</sub> N <sub>50</sub>	9,72	9,94	10,97	5,19
G <sub>800/0,2</sub> N <sub>50</sub>	4,48	5,49	7,87	7,82
G <sub>700/0,05</sub> N <sub>75</sub>	6,27	8,11	8,97	8,25
G <sub>700/0,1</sub> N <sub>75</sub>	6,64	10,9	11,86	7,03
G <sub>700/0,2</sub> N <sub>75</sub>	4,46	5,69	9,87	17,82

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, tehlike atık sınıfına giren petrokimya tank dibi çamurunun tavuk gübresi ile belli oranlarda olan karışımlarının termokimyasal olarak birlikte değerlendirilebildiği araştırılmış olup atık yönetimi ele alındığında atık minimizasyonu ve enerji geri kazanımına yönelik sonuçlar elde edilmiştir.

Yürütülen tüm deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen çıkarımlar aşağıdaki gibidir:

- Petrokimya tank dibi çamuru ve kuru tavuk gübresi ile sağlanan karışımlarda sentez gazlardan yola çıkılarak hesaplanan ısı değerler karışım oranlarına göre değişkenlik göstermiştir. Kuru tavuk gübresinin karışıma katkısı hidrojen bazında olurken petrokimya tank dibi çamurunun karışıma katkısı metan konsantrasyonu üzerinden olmuştur.
- Gazlaştırma prosesi, atık minimizasyonu açısından değerlendirilirse numunelerde gazlaştırma sonrası kütleli olarak %64-98 aralığında azalış tespit edilmiştir.
- Elde edilen en yüksek ısı değeri  $3872,85 \text{ kcal/m}^3$  olmakla birlikte bu değere  $700^\circ\text{C}$  ve  $0,05 \text{ L/dk}$  kuru hava debisiyle yürütülen %75 petrokimya tank dibi çamuru-%25 kuru tavuk gübresi karışımı ile yapılan gazlaştırma denemesinde ulaşılmıştır.
- Gazlaştırma deneylerinde kullanılan kuru hava debisi ile gaz konsantrasyonları arasında ters orantılı bir ilişki olduğu “Bulgular” başlığı altında verilen grafiklerden tespit edilmiştir. Sebebi ise kuru hava debisi arttırıldıkça gerçekleşmesi beklenen reaksiyonların yanma reaksiyonlarına dönmesi olarak öngörülmüştür. Buradan yola çıkılarak yanma ürünü olan  $\text{CO}_2$  konsantrasyonları arttığı tespit edilmiştir. Bu durum  $\text{CH}_4$  ve  $\text{H}_2$  üretimini düşürürken aynı zamanda ısı değerini de düşmesine sebep olmuştur. Özellikle gazlaştırma safhası için oksijenin azalması veya tükenmesi gerektiği için bu durum ayrıca dikkate alınması gereken bir unsur olarak belirtilmelidir.

- Elde edilen en yüksek CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> konsantrasyonu hacimsel olarak %31'dir. Tez aşamasından önce yapılan literatür araştırmasında daha yüksek değerlerin elde edildiği görülmüş olup bunun sebebi ise kullanılan reaktör tipi ve gazlaştırma prosesini etkileyen faktörler olduğu çıkarımı yapılmıştır. Fakat elde edilen maksimum değerler uygulanan şartlara rağmen tatmin edici olmuştur.
- Yaygın olarak kullanılan yakıtlar incelendiğinde ( doğal gaz: 8250 kcal/m<sup>3</sup>, hidrojen ortalama 3000 kcal/m<sup>3</sup> vb.) elde edilen en yüksek ısıl değer göz önünde bulundurulduğunda bu atıkların kullanılması takdirde tatmin edici bir geri dönüş alınabilecektir. Ayrıca 30 g karışımdan (700°C ve 0,05 L/dk kuru hava debisiyle yürütülen %75 petrokimya tank dibi çamuru-%25 kuru tavuk gübresi) hidrojen gazının ısıl değerinden daha yüksek bir ısıl değer elde edildiği daha önce de ifade edilmiştir (3872,85 kcal/m<sup>3</sup>).

Nihai sonuç olarak, tercih edilen tehlikeli atık türü için gazlaştırmanın uygulanabilir bir yöntem olduğu görülmüştür. Özellikle farklı bir organik atık ile desteklenerek yürütüldüğünde elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda enerji geri kazanımı ve bertaraf yöntemi olarak gazlaştırmanın alternatif bir yöntem olarak değerlendirilmesi önerilmektedir. |

## KAYNAKLAR

- Akdoğan, A., 2007, Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi Ve Belediyelerde Yöneticilerin Katı Atık Yönetimiyle İlgili Tutum Ve Düşüncelerinin Analizine Yönelik Bir Araştırma, *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(1), 39-69.
- Altunbaş, O. 2015, *Pelemir Bitkisinin Pirolyzi*, Yüksek Lisans, Selçuk Üniversitesi.
- Badeau, J,P ve Levi, A., 2009, *Biomass Gasification: Chemistry, Processes And Applications*.
- Basu, P., 2010, *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction : Practical Design and Theory*, Elsevier Science & Technology.
- Basu, P., 2013, *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction : Practical Design and Theory*, Elsevier Science & Technology, ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/istanbul-ebooks/detail.action?docID=1319046>.
- Bhardwaj, S., 2009, *Pyrolysis, Pyrolysis: Types, Processes*, In: Donahue, W, 6, Nova Science Publishers, Inc, ISBN: 978-1-60741-669-2, 117-130.
- Bossel, U., 2003, *Well-to-Wheel Studies, Heating Values, and the Energy Conservation Principle*, European Fuel Cell Forum, 29 Kasım 2003 İsviçre.
- Bozkurt, P., 2011, *Atık Lastik-Kömür Karışımlarının Pirolyz Ve Kritik Üstü Ekstraksiyonla Değerli Ürünlere Dönüştürülmesi*, Doktora, Ankara Üniversitesi.
- Bozlağan, R., 2002, *Sürdürülebilir Gelişme Düşüncesine Giriş, Çağdaş Yerel Yönetimler*, 11(1), 56-72.
- Brown, RC., 2011, *Thermochemical Processing of Biomass : Conversion into Fuels, Chemicals and Power*, John Wiley & Sons, Incorporated, Hoboken. Available from: ProQuest Ebook Central. [14 Mart 2019].
- Candar, G., 2003, *Atık Yönetimi Uygulamasında Adım Adım, 3. Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon Kongresi*, 2003 Samsun, <http://www.das.org.tr/kitaplar/kitap2003>, [14 Nisan 2019]
- Chen Y., 2016, *Microwave pyrolysis of oilysludge with activated carbon*, *Environmental Technology*, 37:24, 3139-3145, DOI: 10.1080/09593330.2016.1178333
- Chiang H., Chao C., Chang C., Wang C., Chiang P., 2001, *Residue Characteristics And Pore Development Of Petrochemical Industry Sludge Pyrolysis*, *Water Research*, Volume 35, Issue 18, December 2001, Pages 4331-4338, ISSN 0043-1354, [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00159-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00159-2).
- Conesa J., Moltó J., Ariza J., Ariza M., García-Barneto A., 2014, *Study of the thermal decomposition of petrochemical sludge in a pilot plant reactor*, *Journal of Analytical and*

*Applied Pyrolysis*, Volume 107, May 2014, Pages 101-106, ISSN 0165-2370, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2014.02.009>.

Demirtaş, C., 2016, Gazifikasyon Yöntemiyle Sentez Gazı Üretimi Ve Gaz Yakma Sistemlerinde Kullanımı, *International Journal of Nuclear and Radiation Science and Technology*, 1(2), 14-19.

Ercan, Ö., 2008, Atıkların Ek Yakıt Olarak Kullanılması Ve Hava Kirliliğine Etkisi, Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, 22-25 Ekim 2008 Hatay.

Fakihoğlu, E., 2011, *İstanbul'da Ambalaj Atıkları Geri Dönüşüm Uygulamalarının Maliyet Analizi*, Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi.

González A., Lora E., Palacio J., Syngas production from oil sludge gasification and its potential use in power generation systems: An energy and exergy analysis, *Energy*, Volume 169, 2019, Pages 1175-1190, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.087>.

Gölbaşı, Ş., 2009, *Biyokütlelerin Termal Bozunma Süreçlerindeki Gaz Ürünlerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Gündüzalp, A., 2016, Atık Çeşitleri, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm Ve Tüketici: Çankaya Belediyesi ve Semt Tüketicileri Örneği, *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*.

<http://merihticaret.com.tr/metan-gazi.php>, [14 Nisan 2019]

<http://teknikbilimlermyo.istanbul.edu.tr/basimyayin/wp-content/uploads/2016/12/At%C4%B1k-Y%C3%B6netimi-Ders-Notu-2.pdf>, [14 Nisan 2019]

<http://www.eokulbilgi.com/metan-gazinin-kullanim-alanlari/>, [14 Nisan 2019]

<http://www.gaz.gen.tr/metan-gazi.html>, [14 Nisan 2019]

Hu G., 2013, Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: A review, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 261, 15 October 2013, Pages 470-490, ISSN 0304-3894, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.07.069>.

Hu, G., 2013, Recent Development In The Treatment Of Oily Sludge From Petroleum Industry: A Review, *Journal of Hazardous Materials*, 261, 470-490.

İlgün. A., 2010, *Katı Atık Yönetimi Ve Ters Lojistik*, Yüksek Lisans, Namık Kemal Üniversitesi.

Kar, Y., 2014, *Atıkların Gazifikasyonunu Yapan Bir Tesiste; Endüstriyel Arıtma Çamurlarının Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans, Namık Kemal Üniversitesi.

Klass, D., 1998, Thermal Conversion: Pyrolysis and Liquefaction, Biomass for Renewable Energy, *Fuels, and Chemicals*, 8, Academic Press, USA.

Küçükgül. E., 2014, İzmir’de Tehlikeli Atıkların Yönetimi, Mevcut Durum, Sorunlar ve Çözüm Önerileri, TMMOB İzmir Kent Sempozyumu, 379-390.

Matar, S., 2001, Chemistry Of Petrochemical Processes, Gulf Professional Publishing is an imprint of Butterworth-Heinemann, USA, ISBN: 0-88415-315-0.

Mokhatab, S., 2013, Handbook of Liquefied Natural Gas, Elsevier Science & Technology, ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/istanbul-ebooks/detail.action?docID=1511054>.

Moltó J., Barneto A., Ariza J., Conesa J., 2013, Gas production during the pyrolysis and gasification of biological and physico-chemical sludges from oil refinery, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 103, 2013, Pages 167-172, ISSN 0165-2370, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.09.012>.

Öngen A., Özcan H.K., Arayıcı S., 2013, An Evaluation Of Tannery Industry Wastewater Treatment Sludge Gasification By Artificial Neural Network Modeling, *Journal Of Hazardous Materials*, 3, 361-366.

Öngen, A., 2011, *Endüstriyel Atıklardan Gazlaştırma İle Sentez Gaz Üretimi*, Doktora, İstanbul Üniversitesi.

Özcan H.K., Öngen A., Pangaliyev Y., 2016, An Experimental Study of Recoverable Products from Waste Tire Pyrolysis, *Global Nest Journal*, 3, 582-590.

Özçifçi, A., 2013, Mobilya Endüstrisi Atıklarından Katalitik Piroliz Yöntemi İle Biyoyakıt Üretimi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(3), 473-479.

Qin L., Han J., He X., Zhan Y., Yu F., 2015, Recovery of energy and iron from oily sludge pyrolysis in a fluidized bed reactor, *Journal of Environmental Management*, Volume 154, 1 May 2015, Pages 177-182, ISSN 0301-4797, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.02.030>.

Roos, C., 2010, Clean Heat and Power Using Biomass Gasification for Industrial and Agricultural Projects, Washington State University Extension Energy Program, U.S. Department of Energy, Alaska Energy Authority, Idaho Office of Energy Resources, Montana Department of Environmental Quality Energy Program, and Oregon Department of Energy.

Saltabaş, F., 2010, Evsel Atık Termal Bertaraf Yöntemleri Ve İstanbul’a Uygulanabilirliği, *Sigma*, 3, 109-116.

Saltabaş, F., 2012, Tehlikeli Atık Yönetimi ve Bertaraf Teknolojileri, Tehlikeli Atık Yönetimi Eğitimi, İstanbul Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme A.Ş., İSTAÇ.

T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2014, Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi Ve Eylem Planı, sanayi Genel Müdürlüğü.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015, *Atık Yönetimi Yönetmeliği*, Ankara, Türkiye.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016, *Atık Yönetimi Eylem Planı*, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016, Endüstriyel Atıkların Sektörel Yönetimi Kapsamında Atık Üretim Faktörlerinin Belirlenmesi Ve Sektör Kılavuzlarının Hazırlanması, Petrol Rafinasyonu, ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü.

Üçgül. İ., 2010, Biyokütle Teknolojisi, *Yekarum Dergi*, 1(1), 3-11.

Üçgül. İ., 2014, Tekstil Atıklarının Piroliz ile Değerlendirilmesi, *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, 4 (2), 40-46.

Wang, H.,2015, The Catalytic Effect of Modified Bentonite on the Pyrolysis of Oily Sludge, *Petroleum Science and Technology*, 33:13-14,1388-1394, DOI: 10.1080/10916466.2015.1062778

Xu M., Zhang J., Liu H., Zhao H., Li W., 2014,The resource utilization of oilysludge by co-gasification with coal, *Fuel*, Volume 126, 15 June 2014, Pages 55-61, ISSN 0016-2361, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.02.048>.

Zhou X., Jia H., Fan D., Qu C., Jiang Y., 2015, The Positive Effects of Biomass Materials as Additives on Dehydration Performance and the Pyrolysis System of Oily Sludge, *Petroleum Science and Technology*, 33:21-22, 1829-1836, DOI:10.1080/10916466.2015.1028646

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	İrem Yeşildağ
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	07.03.1992
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	05052036082
E-Posta Adresi	iremyesildag.yl@gmail.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Yıldız Teknik Üniversitesi
Fakülte	İnşaat Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Çevre Mühendisliği



**Makale ve Bildiriler**

||

|

