



Orijinal Araştırma / Original Research

## ILGIN KÖMÜRLERİNİN TERMOGRAVİMETRİK ANALİZ YÖNTEMİ İLE GAZLAŞMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF GASIFICATION CHARACTERISTICS OF ILGIN COALS BY  
THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS METHOD

İbrahim Çınar<sup>a,\*</sup>, Mustafa Altun<sup>a,\*\*</sup>

<sup>a</sup> Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, KONYA

**Geliş Tarihi / Received** : 09 Şubat / February 2018

**Kabul Tarihi / Accepted** : 20 Nisan / April 2018

### Anahtar Sözcükler:

Kömür,  
Kömür gazlaştırma,  
Kömür gazlaşma hızı,  
Termogravimetrik analiz.

### Keywords:

Coal,  
Coal gasification,  
Coal gasification rate,  
Thermogravimetric analysis.

### ÖZ

Kömür oluşumu itibarıyla heterojen bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı kömürün gazlaşmasını etkileyen birçok etken vardır. Isıl analiz kömürün gazlaşma özelliklerinin belirlenmesinde ve bu etkenlerin kömürün gazlaşma özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesinde en iyi yöntemlerden birisidir. Bu çalışmada Ilgın kömürlerinden alınan numunelerle belirlenen sıcaklıklarda dönüşüm süreleri ve gazlaşma hızları termogravimetrik analiz yöntemiyle belirlenmiş sıcaklığın bu faktörler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ilgın kömürleri 700°C, 750°C, 800°C ve 850°C sıcaklıklarda CO<sub>2</sub> atmosferinde termogravimetrik analiz cihazı kullanılarak gazlaştırılmış dönüşüm oranları ve gazlaşma hızları incelenmiş ve numuneler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Ilgın kömürünün 800°C sıcaklıkta diğer sıcaklıklara göre daha kısa sürede dönüşümünün tamamlandığı görülmüştür.

### ABSTRACT

Coal formation has a heterogeneous structure. Therefore, there are many factors affecting the coal gasification. Thermal analysis in determining the properties of the coal gasification and the effects on characteristics of the coal gasification these factors is one of the best procedure for the evaluation. In this study, the transformation times and gasification rates of the samples taken from the Ilgın coal were determined by thermogravimetric analysis and the effects of temperature on these factors were investigated. Conversion time and gasification rates of Ilgın coals were investigated using thermogravimetric analyzer at 700°C, 750°C, 800°C and 850°C in CO<sub>2</sub> atmosphere and comparisons were made between samples. It was observed that the conversion time of the Ilgın coal at 800°C was shorter than the other temperatures.

\* Sorumlu yazar: [icinar@selcuk.edu.tr](mailto:icinar@selcuk.edu.tr) • <https://orcid.org/0000-0002-3814-7273>

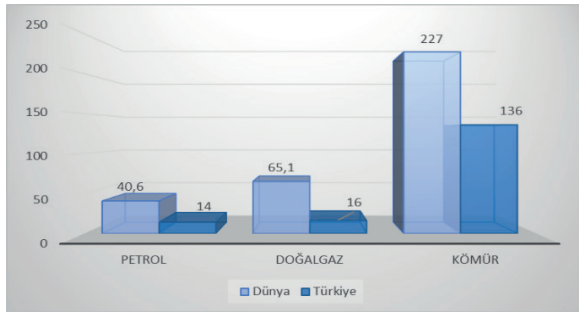
\*\* [altunm@selcuk.edu.tr](mailto:altunm@selcuk.edu.tr)

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 /

Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

## GİRİŞ

Fosil yakıtlar içerisinde dünya petrol kaynaklarının, bu yüzyılın ortalarında tükeneceği öngörülmektedir. Bir diğer fosil yakıt olan kömür rezervleri ise petrol rezervlerine göre çok daha uzun ömürlü olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 1). Kömür; dünyada gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde büyük rezervler halinde bulunduğu için, ucuz olması ve fiyatlarında diğer fosil yakıtlar gibi istikrarsızlık olmadığından, ülkelerin enerji üretiminde yer alan enerji kaynakları arasında önemini korumaktadır.



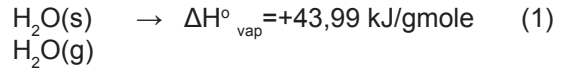
Şekil 1. Fosil rezervlerin ömrü (Kömür Çalışma Grubu, 2007)

Kömürün düşük maliyeti ve geniş kömür rezervlerinin sağlamış olduğu avantajlar ile ekonomik gelişmeye katkısının uzun süreli olacağı öngörülmektedir. Fakat kömürden enerji üretimi sırasında doğanın olumsuz yönde etkilenmesi bu alandaki en büyük sorun teşkil eden konulardandır. Geleneksel enerji üretim yöntemleriyle kömürden enerji üretimi sırasında çevreye salınan sülfür ve azot oksit gazları asit yağmurlarına, karbondioksit iklim değişikliğine, yanma sonucu kalan artıklar ise atık depolama sorunlarına neden olmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırmak veya bu sorunların etkisini azaltmak için temiz kömür teknolojileri alanında yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan birisi de kömür gazlaştırma alanındaki çalışmalardır ve kömür gazlaştırma çalışmaları temiz kömür teknolojileri alanında ilk sırada yer alan çalışmalardandır (Aranda vd., 2016, Jayaraman vd., 2015, Hou vd., 2012).

## 1. KÖMÜR GAZLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

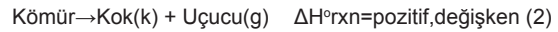
Kömür gazlaştırma; kömürün doğrudan yakılması yerine, termokimyasal bir yöntemle, CO, H<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> gibi gaz bileşenlerine dönüştürülme işlemidir.

Kömür gazlaştırma süreci, kömürün gazlaştırıcıya girip, içeriğindeki nemin buharlaşması ile başlar (Eşitlik 1).



Bu safha kimyasal reaksiyonları tanımlamak için kullanılacak formatta yazılmıştır. Suyun buharlaşması, özellikle yüksek nemli, düşük dereceli kömür gazlaştırıldığında veya kömür su ile birlikte reaktöre beslendiğinde tüm gazlaştırma termodinamiği üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Bitümlü kömürlerde ise kuru besleme gazlaştırıcıyla gazlaştırıldıklarında, kömürdeki suyun buharlaşmasının gazlaştırma termodinamiği üzerinde etkisi düşük dereceli kömürlere nispeten daha azdır (Bell vd., 2011).

Buharlaşmadan sonraki adım piroliz safhasıdır. Eşitlik (2)'de karmaşık ve değişken bir reaksiyon serisinin basit hali verilmiştir.



320°C'den yüksek sıcaklıklarda, karbon-karbon bağları ve karbon-oksijen, nitrojen, sülfür veya organik bileşiklerin yapısı bozulur. Reaksiyonun başlangıcında kararsız moleküler yapılar oluşur. Bu yapılar daha sonra pirolizleşebilir veya daha kararlı bileşikler oluşturmak için reaksiyona girerler. Ortam soğutulduğunda, gazlar, kömür katranı şeklindeki sıvılar veya is şeklindeki katılardan meydana gelen pirolitik ürünler oluşacaktır (Bell vd., 2011).

Gazlaştırma sürecinde, yakıtın piroliz ve gazlaşma özelliklerini anlamak; reaktör performansını tahmin etmek ve pilot tesisleri optimize etmekte yararlıdır. Bu yüzden pilot ölçekli çalışmalar yapılmadan önce yakıtların termogravimetri davranışları incelenir.

Saha vd. (2013), yüksek kül içeren Hindistan linyitinin özelliklerinin ve operasyonel koşulların 900 ve 1000°C sıcaklık aralığında gazlaşma reaktivitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Piroliz aşamasında sıcaklığın artması kömür reaktivitesinin azalmasına neden olmuştur. Gazlaşma sıcaklığının artması ise kömür yüzey alanını arttırdığını, buna bağlı olarak kömür reaktivitesini de arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Huo vd. (2014), testere tozu ve pirinç samanından üretilmiş iki biyokütle çarısı, Neimeng linyiti, Shenfu bitümlü kömürü and Zunyi antrasiti ve Sinopec Shanghai Gaoqiao şirketinin petrokoklarının CO<sub>2</sub> gazlaştırma kinetiklerini TGA ile incelemişlerdir. Çalışmanın sonunda, nispeten daha düşük boyutlu car parçacıklarının (<46 µm) daha yüksek reaktiviteye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Zuo vd. (2015), TGA ile 1:3, 1:1, ve 3:1 oranlarında karıştırılmış biyokütle çarısı ile kömür çarısının 900, 950 ve 1000°C sıcaklıklarda CO<sub>2</sub> atmosferinde gazlaşma özelliklerini incelemişlerdir. Rastgele gözenek modeli kullanılarak belirlenen biyokütle çarısının ve kömür çarısının gazlaştırma aktivasyon enerjisi sırasıyla 126,7 kJ/mol ve 210,2 kJ/mol olarak bulunmuştur.

Wang vd. (2015), yeni tasarlanmış bir kuvarz tüp reaktöründe düşük miktarda oksijen varlığında ve oksijen yokluğunda, buhar miktarının Çin Shengli kahverengi kömürünün gazlaştırma davranışına etkilerini araştırmışlardır. Buhar yoğunluğundaki değişimin reaksiyon sıcaklıklarına ve oksijenin varlığına bağlı olarak kömür dönüşümünde önemli bir etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Jayaraman ve Gokalp (2015), 60, 800 µm ve 3 mm boyutlarındaki yüksek küllü Hindistan ve Türk kömürlerinin 850, 900 ve 950°C sıcaklıklarında TGA ve MS cihazlarıyla gazlaşma davranışlarını ve değişik reaksiyon bölgelerindeki uçucuların oluşumunu incelemişlerdir. 750°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kömür parçacıkları buharla reaksiyona girmeye başlayıp CO<sub>2</sub>, CO ve H<sub>2</sub> ürettiğini ve 950°C civarında gazlaştırma reaksiyonlarının tamamlandığını gözlemlemişler. Yüksek sıcaklıklarda tane boyutunun etkisinin çok fazla olmadığını belirtmişlerdir.

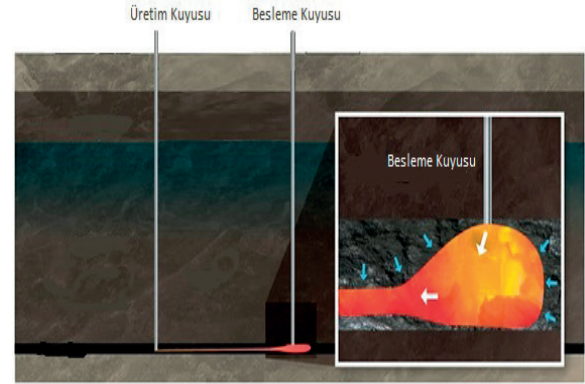
Kömür gazlaştırma yöntemlerini; kömürü yer yüzeyine çıkarmadan bulunmuş olduğu kaynaktan yani yerinde gazlaştırma ve yerüstüne çıkartılan kömürü özel dizayn edilmiş gazlaştırıcılarda gazlaştırma olarak ikiye ayırabiliriz.

### 1.1. Yeraltı kömür gazlaştırma yöntemleri

1800'lü yıllarda William Siemens ve Dimitri Mendeleev tarafından kömürü yeraltında gazlaştırma önerileri ileri sürülmüştür. 1930'larda Sovyetler Birliği'nde yoğun araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır. 1960'larda Sovyetler Birliği 5 adet aktif yer altı kömür gazlaştırma tesisine sahiptir.

Yeraltı kömür gazlaştırma girişimleri 1960'lar da Amerika'da, 1980'lerde Çin'de ve 1990'larda Avustralya Yeni Zelanda ve Avrupa'da başladı (Burton vd., 2007; Shafirovich ve Varma, 2009).

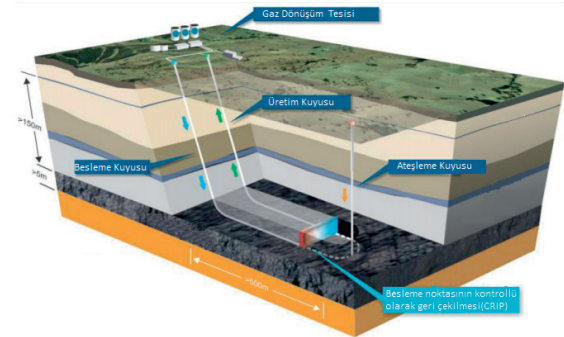
Bağlantılı dikey kuyu yöntemi ile kömür dikey kuyulardan birinden ateşlenir ve diğer kuyudan hava gönderilerek yanma cephesinin havaya doğru hareket etmesi sağlanır (geri yanma). Şekil 2'de ateşlemeden sonra gazlaştırmanın gerçekleştiği temsili resim verilmiştir.



Şekil 2. Bağlantılı dikey kuyu yöntemi ile gazlaştırma

Bu yöntem genellikle sıg ve geçirgenliği yüksek kömür damarlarına uygulanmaktadır. Özbekistan, Güney Afrika, Çin ve Yeni Zelanda'daki projelerde bu yöntem kullanılmıştır (Blinderman vd., 2008; Mostade, 2011).

Besleme noktasının kontrollü olarak geri çekilmesi yöntemi ile, yönlü damar delme yöntemi kullanılarak yatay kömür damarı boyunca açılan kuyunun sonunda başlatılır. Bu yöntemde enjeksiyon noktasının konumu hassas bir şekilde kontrol edilebilir ve kömür damarı boyunca geriye çekilebilir. Şekil 3'de besleme noktasının kontrollü olarak geri çekilmesi gösterilmiştir.



Şekil 3. Besleme noktasının kontrollü olarak geri çekilmesi yöntemi (CarbonEnergy, 2014)

## 1.2. Kömürün yerüstünde gazlaştırılması

Kömür, yeraltından yer yüzeyine çıkartıldıktan sonra özel dizayn edilmiş gazlaştırıcılarda gazlaştırılabilir. Bu gazlaştırma sistemlerini kömür özelliklerine göre değerlendirirsek endüstride yaygın olarak kullanılan:

- Sabit yataklı kömür gazlaştırma
- Akışkan yataklı kömür gazlaştırma
- Sürüklemeli yataklı gazlaştırma sistemleri olarak üç şekilde yapılabilmektedir (Tarakçıoğlu, 2015; Phillips, 2006).

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada; tüvenan olarak ocaktan alınan kömür numuneleri kırıcı ve değirmende boyut küçültme işlemine tabi tutulduktan sonra elde edilen -212 mikron boyutundaki numunelerin farklı deney koşullarında, termogravimetrik analiz cihazı ile CO<sub>2</sub> gazı atmosferi ortamında gazlaşma özellikleri incelenmiştir. Numuneler üzerinde yapılan CO<sub>2</sub> gazlaştırma deneylerinde, 100°C/dk sabit ısıtma hızıyla son sıcaklık olan 700, 750, 800, 850°C'ye kadar ısıtılmıştır. Son sıcaklık değerlerine ulaşan numuneler bu sıcaklıklarda izotermal koşullarda CO<sub>2</sub> atmosferi altında 60 dakikalık süreç boyunca gazlaşma özellikleri incelenmeye çalışılmıştır (Altun, 2017).

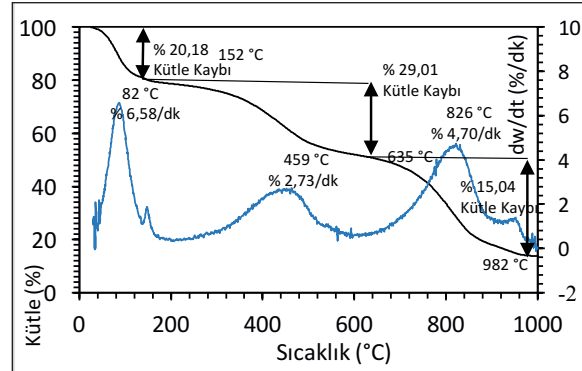
Kömür dönüşüm proseslerinin daha iyi anlaşılabilmesi için kömürün kalorisi ve kısa analiz sonuçlarından elde edilebilen uçucu madde miktarı, bünyesindeki sabit karbon, kül ve nem içerik değerleri tespit edilmiş ve Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Ilgın kömürü (tüvenan) kısa analiz ve ısıl değerleri

	Nem (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Kül Miktarı (%)	Isıl Değer ((cal/g)
Ilgın	32,56	31,45	14,62	21,37	3034

Ilgın kömürünün CO<sub>2</sub> atmosferinde 25°C'den 1000°C'ye kadar olan tepkime bölgeleri, tepkime bölgelerindeki kütle kayıpları, maksimum kütle kayıp oranları, pik sıcaklıkları TG/DTG eğrileri oluşturularak belirlenmiştir. TG eğrisindeki

eğim değişiklikleri, DTG eğrisinde oluşan piklerle uyumlu olduğu ve birbirini desteklediği gözlemlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Ilgın kömürünün CO<sub>2</sub> atmosferinde 20°C/dk ısıtma hızıyla 25°C'den 1000°C'ye kadar olan TG/DTG eğrileri

Ilgın kömürü için çizilen TG/DTG eğrilerinden şu sonuçlar çıkartılmıştır; birinci bölgede %20,18'lik ilk kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bu bölgedeki kütle kaybı, nem miktarı ve uçucu madde miktarının bir kısmını teşkil etmektedir. DTG eğrisinde 138°C ile 162°C sıcaklık aralığında gerçekleşen pik noktası nem kaybının bitiş bölgesi ile uçucu maddelerin kömürün yapısından uzaklaşmaya başladığı bölgenin kesişme alanlarıdır. Bu kesişme bölgedeki kütle kayıp miktarı çok az olduğundan ve reaksiyon bölgeleri arasında zaman gecikmesi olmadığı için buradaki kütle kayıp miktarı birinci bölgede değerlendirilmiştir. Birinci bölgede maksimum kütle kayıp oranı %6,58/dk olarak 82°C sıcaklıkta gerçekleşmiş ve 82°C'lik sıcaklık bu bölgenin pik sıcaklığı olarak belirlenmiştir. 152°C ile 635°C sıcaklık aralığında yer alan ikinci bölgede ise uçucu maddeler kömürden uzaklaşmış %29,01'lik kütle kaybı meydana gelmiştir. Birinci bölgede maksimum kütle kayıp oranı %6,58/dk iken ikinci bölgede maksimum kütle kayıp oranının % 2,73/dk değerine düştüğü ve pik sıcaklığının 439°C olduğu tespit edilmiştir. 635°C ile 982°C sıcaklık aralığında yer alan üçüncü bölgede ise kömürün yapısındaki karbonların gazlaşma reaksiyonlarının gerçekleştiği bölge olarak tayin edilmiştir. Bu bölgede %15,04'lük kütle kaybı gözlemlenmiş, maksimum kütle kayıp oranı %4,70 ve pik sıcaklığı 826°C olarak tespit edilmiştir.

Kömür gazlaştırma sırasında elde edilen sonuçların tek bir aşamada değerlendirilmesi karışık

ve anlam açısından olumsuz sonuçlara neden olacaktır. Bu durumundan dolayı ve deneysel koşulların gerçekçi bir şekilde karşılaştırılıp değerlendirilebilmesi için karbon dönüşüm oranı (Eşitlik 3) ve dönüşüm hızı (Eşitlik 4) her bir deney için hesaplanmıştır.

Karbon dönüşüm oranı:

$$X = \frac{W_i W_t}{W_i W_s} \quad (3)$$

= Karbon dönüşüm oranı

$W_i$  = Piroлиз sonrası, gazlaşma başlangıcındaki numune ağırlığı

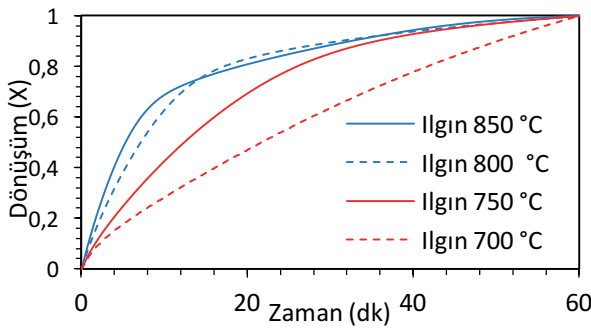
$W_t$  = Numunenin t anındaki ağırlığı

$W_s$  = Gazlaşma aşamasından sonra kalan ağırlık

Dönüşüm hızı (Gazlaşma hızı):

$$r = \frac{dx}{dt} \quad (4)$$

TGA cihazıyla Ilgın kömürü,  $CO_2$  atmosferinde  $100^\circ C/dk$  ısıtma hızıyla  $25^\circ C$ 'den  $700^\circ C$ ,  $750^\circ C$ ,  $800^\circ C$  ve  $850^\circ C$ 'ye kadar ısıtıldıktan sonra bu sabit sıcaklıklarda ayrı ayrı yapılan deneylerle 60 dakikalık süre zarfında meydana gelen gazlaşma özellikleri incelenmiştir. Elde edilen veriler aracılığıyla dönüşüm grafikleri oluşturulmuş ve numunelerin %50 ve %80'inin dönüşümlerinin tamamlanma süreleri her bir sıcaklık için ayrı ayrı belirlenip karşılaştırmaları yapılmıştır. Şekil 5'de Ilgın kömürüne ait 4 farklı sıcaklıktaki dönüşüm-zaman eğrileri tek bir grafikte karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

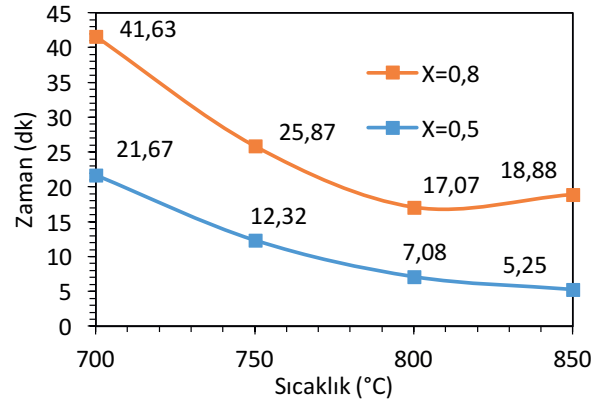


Şekil 5. Ilgın kömürünün farklı sıcaklıklardaki zamana bağlı dönüşüm oranları

%80 dönüşüm oranından sonra özellikle  $750^\circ C$ ,  $800^\circ C$  ve  $850^\circ C$  sıcaklıktaki dönüşüm

oranlarının birbirlerine yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiş ve bu durum değerlendirilmeye alınmamıştır. Çünkü daha yüksek dönüşümde, daha hafif kömür numunelerindeki ölçüm belirsizliğinin artmasından dolayı parametre değerlendirilmesinde diğer araştırmacılar tarafından uygulanan  $0 \leq X \leq 0,8$  arasındaki reaksiyon verileri oranı kullanılmıştır (Zou vd., 2007; Malekshahian ve Hill, 2011).

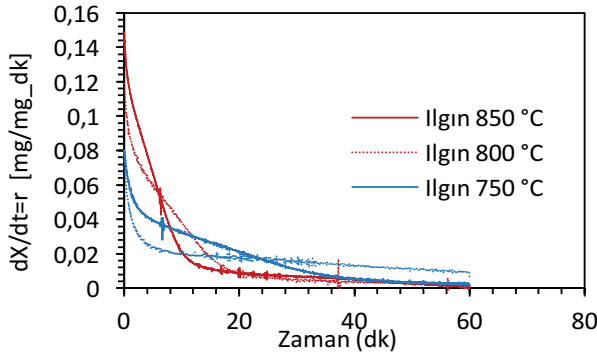
Şekil 6'da Ilgın kömürünün 4 farklı sıcaklıktaki %50 ve %80 dönüşümün tamamlandığı süreler verilmiştir.  $700^\circ C$  sıcaklıktaki %50 dönüşüm 21,67 dakikada tamamlanırken  $750^\circ C$  sıcaklıkta bu sürenin 12,32 dakika,  $800^\circ C$  sıcaklıkta 7,08 dakika ve  $850^\circ C$  sıcaklıkta 5,25 dakika olduğu, sıcaklık arttıkça sürenin azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde  $700^\circ C$  sıcaklıktaki %80 dönüşüm 41,63 dakikada tamamlanırken  $750^\circ C$  sıcaklıkta bu sürenin 25,87 dakika,  $800^\circ C$  sıcaklıkta 17,07 dakika ve  $850^\circ C$  sıcaklıkta 18,88 dakika olduğu,  $850^\circ C$ 'ye kadar sıcaklık arttıkça sürenin azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Ilgın kömürünün 4 farklı sıcaklıktaki %50 ve %80 dönüşümlerinin tamamlanmış olduğu süreler

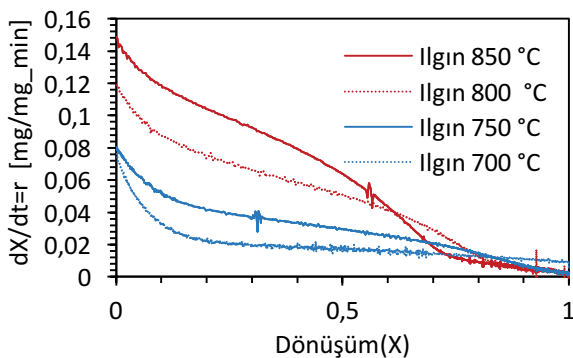
Şekil 7'de Ilgın kömürüne ait 4 farklı sıcaklıktaki zamana bağlı gazlaşma hızı ( $r=dX/dt$ ) grafiği verilmiştir. Bu grafikten  $850^\circ C$  sıcaklıktaki en yüksek gazlaşma hızının  $0,1478 \text{ mg/mg\_dk}$ ,  $800^\circ C$  sıcaklıkta  $0,1179 \text{ mg/mg\_dk}$ ,  $750^\circ C$  sıcaklıkta  $0,0763 \text{ mg/mg\_dk}$ ,  $700^\circ C$  sıcaklıkta  $0,0753 \text{ mg/mg\_dk}$  oldukları ve en yüksek gazlaşma hızlarının  $t=0$  anında gözlemlendiği ve bu gazlaşma hızlarının sıcaklık arttıkça arttığı görülmüştür. Daha sonra  $850^\circ C$  sıcaklıktaki ilk andaki  $0,1478 \text{ mg/mg\_dk}$  olan gazlaşma hızının  $0,01 \text{ mg/mg\_dk}$  değerinin altına düşmesi 15 dakika sürmüştür,  $800^\circ C$

sıcaklıktaki ilk andaki 0,1179 mg/mg<sub>dk</sub> olan gazlaşma hızının 0,01 mg/mg<sub>dk</sub> değerinin altına düşmesi 19 dakika sürmüştür. Bu sürelerden sonra yaklaşık 40 dakikalık süre zarfında bu iki sıcaklık değeri için gazlaşma hızlarında çok az miktarda azalma görülmüştür. 750°C sıcaklıkta ise gazlaşma hızının 0,01 mg/mg<sub>dk</sub> değerinin altına düşmesi 30. dakikadan sonra gözlemlenmiştir. 700°C sıcaklıktaki gazlaşma hızının ise 8. dakikalarda 0,02 mg/mg<sub>dk</sub> değerlerine düştüğü bundan sonra ise gazlaşma hızının yatay bir seyir gösterdiği grafikten net bir şekilde gözlemlenmektedir. 700°C sıcaklıktaki gazlaşma hızının diğer sıcaklıklara göre daha düşük olması sıcaklığın düşük olmasına bağlı bir durumdur.



Şekil 7. Ilgın kömürünün 4 farklı sıcaklıktaki zamana bağlı gazlaşma hızı ( $r=dX/dt$ )

Şekil 8'de Ilgın kömürüne ait 4 farklı sıcaklıktaki dönüşüm oranı-gazlaşma hızı ( $r=dX/dt$ ) grafiği verilmiştir. Bu grafik; dönüşüm oranlarına göre dönüşüm hızlarındaki değişimin incelenmesi için elde edilmiştir.



Şekil 8. Ilgın kömürünün 4 farklı sıcaklıktaki Dönüşüm(X)-Gazlaşma hızı ( $r=dX/dt$ ) grafiği

## SONUÇLAR

Kömür gazlaştırma, kompleks bir yapıya sahip olan kömürün belli koşullar altında termokimyasal süreçten geçirilmesi ile yapısındaki karbonun CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> gibi ısıl değere sahip gazlara dönüştürme işlemidir. Elde edilen ürün gazlarından elektrik enerjisi üretimi, sıvı yakıtlar üretilmesi ve endüstride kullanılan çeşitli kimyasallara dönüştürülmesi mümkündür.

Bu çalışmada CO<sub>2</sub> atmosferinde Ilgın kömürlerinin farklı sıcaklıklarda gazlaşma özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. CO<sub>2</sub> atmosferinde ve belirlenen sabit sıcaklıklarda termogravimetrik analiz cihazında gazlaştırılan kömürlerin karbon dönüşüm ve gazlaşma hızı gibi özellikleri incelenmiştir.

Ilgın kömürü için dönüşüm oranının ilk 14 dakika süre zarfında 850°C'de en yüksek değerlerde olduğu, 14. dakikada 800°C ve 850°C sıcaklıktaki dönüşüm oranları birbirlerine eşitlendiği ve bundan sonraki süre zarfında her iki sıcaklık için birbirlerine yakın dönüşüm değerleri gözlemlenmiştir. 700°C ve 750°C sıcaklıklar için ise bu iki sıcaklıktaki dönüşüm oranlarının 800°C ve 850°C sıcaklıktaki dönüşüm oranlarına göre daha düşük dönüşüm değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. 700°C sıcaklıktaki dönüşüm oranından yüksek olduğu ve aralarında büyük bir farkın olduğu görülmektedir.

Ancak 850°C sıcaklıkta %80 dönüşüm süresinin 18,88 dakika olduğu, 800°C sıcaklıktaki dönüşüm oranının 17,07 dakika olduğu, sıcaklığın 800°C'den 850 °C'ye çıkmasına rağmen sürenin azalmadığı hatta bir miktar arttığı görülmüştür. Bu durum Ilgın kömürünün çok düşük ranklı olmasından dolayı 800°C'den yüksek sıcaklıklarda gazlaştırma için uygun olmadığı ya da bu sıcaklıklardan yüksek gazlaştırma sıcaklıklarının ekstra maliyet getirmesi olarak yorumlanabilir.

Gazlaşma hızları %60'lık dönüşüm tamamlanmaya kadar 850°C sıcaklıkta en yüksek olduğu ve sıcaklığın azalmasıyla birlikte gazlaşma hızlarının da azaldığı gözlemlenmiştir. 850°C ve 800°C sıcaklıklarda %15'lik dönüşüm tamamlanmaya kadar hızlarda sert düşüşler gözlemlenmiş %15 ve %60'lık dönüşümün tamamlandığı aralıkta ise hızlarda %0 - %15 dönüşüm aralığına göre daha

yavaş düşüşler gözlemlenmiştir. 700°C ve 750°C sıcaklıklarda başlangıçtaki gazlaşma hızlarına göre %0 - %15 dönüşüm aralığında sert bir düşüş gözlemlenmiş ve özellikle %20 dönüşüm tamamlandıktan sonra gazlaşma hızları (sabit) eğrileri neredeyse yatay olarak seyretmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasını maddi olarak destekleyen Selçuk Üniversitesi Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Altun, M., 2017. Bazı Kömürlerin Termogravimetrik Analiz Yöntemi ile Gazlaşma Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Aranda, G., Grootjes, A. J., van der Meijden, C. M., van der Drift, A., Gupta, D. F., Sonde, R. R., Poojari, S., Mitra, C. B., 2016. Conversion of High-ash Coal under Steam and CO<sub>2</sub> Gasification Conditions, *Fuel Processing Technology*, 141, 16-30.

Bell, D. A., Towler, B. F., Fan, M., 2011. Chapter 3 - Gasification Fundamentals, In: *Coal Gasification and its Applications*, Eds, Boston: William Andrew Publishing, p. 35-71.

Blinderman, M. S., Saulov, D. N., Klimenko, A. Y., 2008. Forward and Reverse Combustion Linking in Underground Coal Gasification, *Energy*, 33 (3), 446-454.

Burton, E., Friedmann, J., Upadhye, R., 2007. *Best Practices in Underground Coal Gasification*, Lawrence Livermore National Laboratory California.

CarbonEnergy, 2014. Commercialising Underground Coal Gasification, [http://www.carbonenergy.com.au/irm/PDF/2021\\_0/EdisonInvestmentResearchCarbonEnergy](http://www.carbonenergy.com.au/irm/PDF/2021_0/EdisonInvestmentResearchCarbonEnergy): [11 Mart 2017].

Malekshahian, M., Hill, J. M., 2011. Kinetic Analysis of CO<sub>2</sub> Gasification of Petroleum Coke at High Pressures, *Energy & Fuels*, 25 (9), 4043-4048.

Hou, A., Wang, Z., Song, W., Lin, W., 2012. Thermogravimetric Analysis on Gasification Reactivity of Hailar Lignite, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 109 (1), 337-343.

Huo, W., Zhou, Z., Chen, X., Dai, Z., Yu, G., 2014. Study on CO<sub>2</sub> Gasification Reactivity and Physi-

cal Characteristics of Biomass, Petroleum Coke and Coal Chars, *Bioresource Technology*, 159, 143-149.

Jayaraman, K., Gokalp, I., 2015. Thermogravimetric and Evolved Gas Analyses of High Ash Indian and Turkish Coal Pyrolysis and Gasification, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 121 (2), 919-927.

Jayaraman, K., Gokalp, I., Bonifaci, E., Merlo, N., 2015. Kinetics of Steam and CO<sub>2</sub> Gasification of High Ash Coal-char Produced under Various Heating Rates, *Fuel*, 154, 370-379.

Kömür Çalışma Grubu, 2007. Kömür Çalışma Grubu Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Ankara.

Mostade, M., 2011. Underground Coal Gasification: Looking ahead to Commercialisation. Belgium, Most Coal Engineering SPRL: 1-12.

Phillips, J., 2006. Different Types of Gasifiers and their Integration with Gas Turbines, *The Gas Turbine handbook*, 1.

Saha, S., Sahu, G., Dutta, S., Chavan, P., Sinha, A., Sharma, B., Sharma, T., 2013. Studies on CO<sub>2</sub> Gasification Reactivity of High Ash Indian Coal, *Int. J. Emerging Technol. Adv. Eng.*, 3, 29-33.

Shafirovich, E., Varma, A., 2009. Underground Coal Gasification: A Brief Review of Current Status, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48 (17), 7865-7875.

Tarakçıoğlu, A., 2015. Bazı Türk Linyitlerinin Akışkan Yatak Gazlaştırıcıda Gazlaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 14-15.

Wang, Y. G., Chen, X. J., Yang, S. S., He, X., Chen, Z. D., Zhang, S., 2015. Effect of Steam Concentration on Char Reactivity and Structure in the Presence/Absence of Oxygen using Shengli Brown Coal, *Fuel Processing Technology*, 135, 174-179.

Zou, J. H., Zhou, Z. J., Wang, F. C., Zhang, W., Dai, Z. H., Liu, H. F., Yu, Z. H., 2007. Modeling Reaction Kinetics of Petroleum Coke Gasification with CO<sub>2</sub>, *Chemical Engineering and Processing*, 46 (7), 630-636.

Zuo, H., Geng, W., Zhang, J., Wang, G., 2015. Comparison of Kinetic Models for Isothermal CO<sub>2</sub> Gasification of Coal Char-Biomass Char Blended Char, *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 22 (4), 363-370.

