

## Linyit Karışımlarının Sabit Yatakta Yanma Davranışı

Melek YILGIN, Neslihan DURANAY, Dursun PEHLİVAN  
Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

### Özet

Bu çalışmada Soma ve Bingöl linyitleri ile karışımlarının uçucu ve char yanma davranışı içerisinde doğal konveksiyonla hava akışı olan sabit yatakta incelendi. Farklı yatak sıcaklıklarında ve karışım oranları için elde edilen yanma verileri linyitler ile karışımlarının tutuşma sürelerinin yanma süreleri ile azaldığı ve örneklerin uçucu yanma hızlarının yanma süreleri ile düzenli bir değişim sergilemediğini gösterdi. Char yanma periyodunda da benzer bir durum görüldü. Linyitler arasında düşük sıcaklıkta (600°C) karbon yanma zamanları üzerinde sinerjik etki tespit edildi. Karışımların yanma artığı miktarının linyitlerin kendi kül miktarlarından hesaplanan orana göre daha fazla olduğu ve karıştırılma oranına bağlı olduğu görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** Linyit, birlikte yakma, sabit yatak

### Abstract

In this work, volatiles and char combustion behaviours of Soma and Bingöl lignite and their blends were investigated in a fixed bed through which air flowed by natural convection. Combustion data obtained for varied bed temperatures and blend compositions has showed that ignition times of lignite and blends decreased with combustion times and volatiles combustion rates of the samples did not correlate well with combustion times. Similar behaviours were observed in char combustion periods. Some synergy was observed between lignite on the carbon combustion times at low temperature (600°C). The amounts of combustion residues of blends were higher than those calculated from individual ash contents of lignite and related to blend compositions.

**Keywords:** Lignite blends, combustion, fixed-bed

### 1. Giriş

Kömür dünyada en bol ve en yaygın dağılmış fosil yakıttır [1]. Uluslar arası enerji ajansı tarafından (IEA) dünyada tahmini olarak 800 milyar ton kömür rezervi bulunduğu belirtilmektedir [2]. Günümüzde kömür karışımlarının kullanılması pülverize kömür yakan elektrik santrallerinde geleneksel bir uygulamadır. Kömürlerin karışım halinde yakılması stratejik, ekonomik, çevresel ve kömürlerin yanma özelliklerinin geliştirilmesi gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır [3]. Bu nedenle kömürlerin karışım halinde kullanımı yakıtın çeşitlendirilmesi, kömür fiyatlarının düşürülmesi yönünden bir fırsattır. Karışım halinde

\*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering Fırat University, 23279, Elazığ TURKEY. E-mail address: myilgin@firat.edu.tr, Phone: +904242370000/5514

kullanılan kömürlerin kükürt dioksit emisyonu, kül ve termal girdi gibi yönlerden yanma davranışı kömürlerin özellikleri ve karışım oranlarının bilinmesi ile çözülebilir [4]. Bununla beraber NOx emisyonu, tutuşma davranışı, yanmamış karbon gibi diğer yönlerden her zaman bireysel kömürlerin davranışından tahmin edilemeyebilir [5-7].

Kömürün ithal edildiği pek çok ülkede kömür tüketiminin artmasına bağlı olarak kömür fiyatındaki artış nedeni ile yakıt tipinin çeşitlendirilmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle elektrik üretiminde düşük ranklı kömürlerin kullanımında artış beklenmektedir. Kömürlerin karışım halinde kullanımı yanma davranışını iyileştirmek, gaz emisyonunu azaltmak, çalışma problemlerini (kül birikimi gibi) azaltmak gibi faydalar sağlayabilir. Ancak kömürlerin karışım halinde kullanılması yanma davranışı bakımından karışımı oluşturan kömürlerin tek başına kullanımı durumundaki davranışı sergileyemeyebilir. Kömür karışımının yakılması sırasında kömürler arasındaki etkileşim istenen veya istenmeyen bir durum olabilir [8]. Aslında elektrik üretimi için kömür karışımları hem çevresel hükümlere uymak hem de yanma davranışını iyileştirmek için farklı kömür tiplerini barındıran esnekliği sağladığından pulverize kömür istasyonlarında rutin bir uygulama olarak kabul edilmiştir. Harmanlama uygulaması ayrıca fiyatları düşürmek, kül birikimini kontrol etmek yakıt esnekliğini arttırmak ve kabul edilebilir kömür aralığını genişletmek amaçlarına yöneliktir.

Çeşitli kömürlerin yanma ve tutuşma gibi termal karakteristikleri için geçmişte termal analizi içeren araştırmalar yürütülmüştür [9-11]. Ayrıca Termal analizi içeren araştırmalar laboratuvar ve pilot ölçekli cihazlar ile mevcut kömürler ve bunların karışımları arasında etkileşimi değerlendirmek için yürütülmüştür. Çünkü kömür karışımlarının yalnızca termal analizi üzerine dayanan yanma davranışını tanımlamak oldukça zordur. Literatürde laboratuvar ve pilot ölçekli sistemlerde kömür karışımlarının alev kararlılığı, yanma hızı ve tutuşma davranışının incelendiği çalışmalar vardır [1].

Türkiye’ de elektrik enerjisi önemli ölçüde yüksek kül ve kükürt içerikli linyitlere dayalıdır. Bundan dolayı linyitlerin karışım halinde yakılmaları halinde nasıl davranacakları önemlidir. Sunulan bu çalışmada laboratuvar ölçekli sabit yatak yakma sisteminde Bingöl linyiti ile Soma linyitinin ve karışımlarının yanma davranışı incelenmiştir.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Örneklerin Hazırlanması ve Analizler**

Çalışmada kullanılan kül içeriği yüksek Bingöl linyiti (BL) Bingöl’ün Karlıova ilçesindeki kömür sahasından kül içeriği düşük Soma linyiti (SL) ise Türkiye Kömür İşletmesinden (TKİ) temin edildi. Linyit örnekleri havanda küçük parçalar haline getirildikten sonra elendi ve -100 mesh’ lik tane boyutu kısa analiz (uçucu madde ve kül), -8+16 mesh tane boyutu ise yakma deneylerinde kullanıldı.

Linyit örnekleri ve bunlardan hazırlanan karışımların uçucu madde ve kül içerikleri ASTM standartlarına göre, elementsel analizleri ise LECO 932 CHNS cihazı ile belirlendi. Yakma

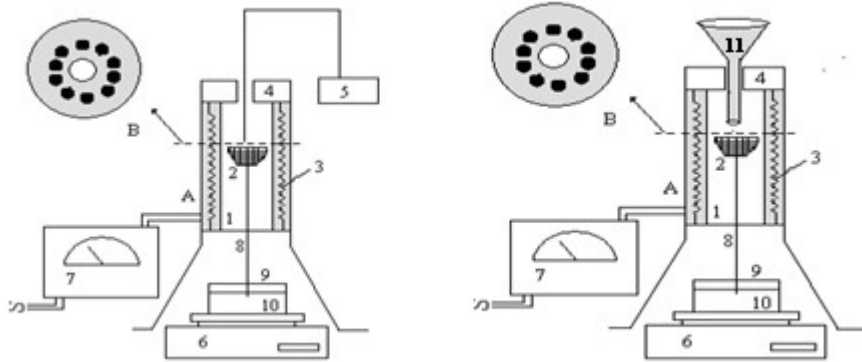
deneyleri için linyit örneklerinden (-8+16 mesh tane boyutuna sahip) %20, %40, %60 ve %80 Soma linyiti bileşimli karışımlar hazırlandı.

## 2.2. Yakma Deneyleri

Yakma işlemleri 89 mm çapında 121 mm yüksekliğinde içinden direnç telleri geçirilmiş refrakter malzeme bulunan silindirik kesitli dikey bir kamarada yürütüldü. Fırın içerisindeki 35 mm çapındaki kamara içerisine 30 mm çapında paslanmaz çelikten yapılmış elek sepet 250 mm uzunluğundaki çelik çubuğun ucuna takılmış olarak bir destek üzerine sabitlendi. Sepet ve destek yanma sırasındaki ağırlık değişimlerinin kaydedilmesi amacı ile terazi üzerine yerleştirildi. Fırının ısıtılması değişik voltaj transformatörü yardımı ile sağlandı. Çalışmanın yürütüldüğü sabit yatak yakma sistemi Şekil 1’de verilmektedir.

Yakma deneylerinde ön ısıtılmış fırın içerisindeki sepet üzerine yaklaşık 1 gr örnek besleme hunisinden döküldüğü anda kronometre çalıştırıldı. Örneğin uçucu madde çıkışı sırasındaki tutuşma yani alev görünme ve alev sönme olayları sepet üzerine yerleştirilmiş olan ayna yardımı ile gözlemlendiği anda bu yanma olaylarına ait süreler kaydedildi. Yanma sırasında tanelerin ağırlığı her 10 saniyede bir kaydedildi. Ham örneklerin (%100 BL ve %100 SL) ve karışımların (%20, %40, %60 ve %80 SL bileşimli) yanma davranışları 600, 700 ve 800°C sıcaklıklarda incelendi. Yanma hız verileri her bir örneğin belirtilen sıcaklıklarda en az iki defa yakılması ile elde edildi. Yakma işlemi sonunda sepet üzerindeki artık miktarı belirlendi.

Uçucu madde ve karbon yanma hızları yanma sırasında kaydedilen ağırlık değişimi eğrilerinin ortalama eğimleri ve başlangıç miktarlarından  $R=(1/W_0)(dW/dt)_{ort}$  eşitliği kullanılarak hesaplandı. Burada  $W_0$  örneğin uçucu madde veya sabit karbon miktarını temsil etmektedir.



**Şekil 1.** Sabit yatak yakma sistemi: A) dikey kesit; B) yatay kesit; 1.Refrakter tuğla; 2.Sepet; 3.Direnç teli; 4.Refrakter kapak, 5.Termoçift 6.Terazi; 7. Gerilim değiştirici; 8. Sepet çubuğu; 9. Ayna; 10.Destek; 11: Örnek besleme hunisi

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

Bingöl (BL) ve Soma (SL) linyitleri ile bunlardan hazırlanan karışımların kısa analiz sonuçları ve ham linyit örneklerinin elementsel bileşimleri Tablo 1'de verilmektedir. Tabloda parantez içerisinde verilen değerler ham linyit örneklerine göre teorik olarak belirlenen ya da beklenen değerleri ifade etmektedir. Karışımların deneysel olarak belirlenen uçucu madde ve kül içeriklerinin ham linyitler (%100 BL ve %100 SL) arasında olduğu ancak %60 ve %80 Soma linyiti içeren karışımların kül içeriklerinin beklenen değerlerden farklı olduğu görülmektedir. Bu, karışımdaki Bingöl linyiti külünün etkisi olarak değerlendirilebilir.

Ham linyitler ile karışımların 600°C' deki yanma sırasında ağırlıklarının zamanla değişimi Şekil 2'de verilmektedir. Grafikte uçucu madde ayrılma ve karbon yanma bölgesi olarak belirgin iki farklı bölge bulunmaktadır. Karışımların bu sıcaklıkta yanma davranışlarının ham linyitler arasında olduğu ve karışım içerisindeki Soma linyiti veya Bingöl linyitinin oranı arttıkça yanma eğrilerinin ham linyit örneklerine yaklaştığı grafikten görülmektedir.

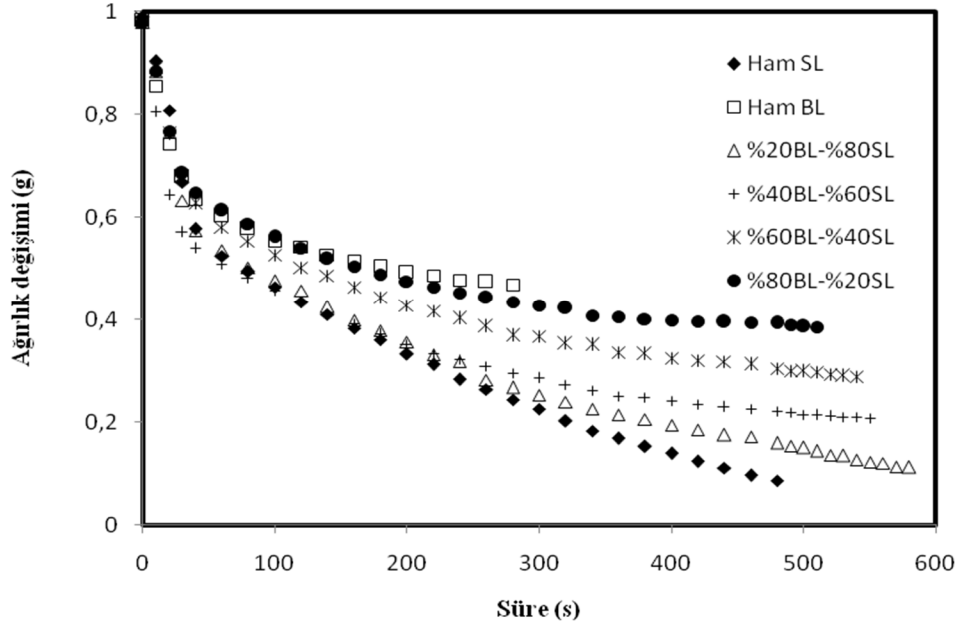
**Tablo 1.** Soma ve Bingöl Linyitleri ile bunlardan hazırlanan karışımların analizleri (+: Farktan belirlendi.)

*Proximate analiz:*

Numune	% (Uçucu Madde+Nem)	% Kül	% Sabit Karbon+
BL (%100)	30,0	50,5	19,5
%80 BL-%20 SL	33,0 (32,9)	40,6 (41,7)	26,4
%60 BL-%40 SL	35,4 (35,9)	31,0 (32,9)	33,6
%40 BL-%60 SL	39,4 (38,8)	21,2 (24,0)	39,4
%20 BL-%80 SL	41,8 (41,8)	11,6 (15,2)	46,6
SL (%100)	44,7	6,4	48,9

*Elementsel analiz:*

	% C	% H	%N	%S	% O+
SL (%100)	65.8	4.5	0.8	1.1	27.8
BL (%100)	30.1	3.2	0.8	1.3	64.6



Şekil 2. Ham linyitler ile karışımların 600°C'de yanma sırasındaki ağırlık değişimleri

Linyitler ve karışımlarının 600, 700 ve 800°C'de uçucu madde ve karbon yanma periyodunda bulunan hız ve zaman değerleri Tablo 2' de verilmektedir. Ham linyitlerin uçucu madde yanma sürelerinin 600°C'de düşük olması ve diğer yakma sıcaklıklarında beklediği gibi azalmaması düşük sıcaklıkta uçucu bileşenlerin taneleri tamamen terk etmediğini göstermektedir. Karışımların uçucu madde yanma sürelerinin karışımı oluşturan ham linyitler arasında olduğu görülmektedir. Ancak %40 SL içeren karışımın 600°C'de %60 SL içeren karışımın ise 800°C'de farklı davranış sergilediği söylenebilir. Karışımların hesaplanan uçucu madde yanma hızları genel olarak her bir karışım tek başına ele alındığında sıcaklık ile artarken uçucu madde yanma süreleri ile uçucu madde yanma hızları arasında ilişki olmadığı ve karışım içerisindeki linyit oranlarına göre düzenli bir değişim sergilemediği görülmektedir. Ham linyitler ile karışımların farklı sıcaklıklardaki tutuşma zamanları Tablo 3' de görülmektedir. Linyit tanelerinin ısınma hızındaki artışın bir sonucu olarak yanma sıcaklığı ile tutuşma süreleri kısalmaktadır. Bingöl linyitinin tutuşma süresinin Soma linyitinden düşük olması bu linyitin turbaya yakın olmasından kaynaklanabilir. Tablo 1'de görüldüğü gibi sabit karbon oranı oldukça düşüktür. Tutuşma zamanlarının genel olarak karışımı oluşturan ham linyitler arasında olduğu görülmektedir. Tutuşma, tanelerin çevresindeki uçucu madde oranı yeterli hale geldiğinde gerçekleşmektedir. Bu yüzden, alevin görünmesinden önce veya kaybolmasından sonra da uçucu madde çıkışı olduğu için hızlarla sürelerin tam olarak ilişkilendirilmesi zordur.

**Tablo 2.** Soma ve Bingöl linyitleri karışımlarının 600°C' deki uçucu madde ve karbon yanma hızları

Örnek	Sıcaklık (°C)	Uçucu madde yanma süresi (s)	Uçucu Madde Yanma Hızı (s <sup>-1</sup> )*10 <sup>2</sup>	Karbon yanma süresi (s)	Karbon Yanma Hızı (s <sup>-1</sup> )*10 <sup>3</sup>	Artık (%)
BL (%100)		16	3,3	346	2,8	51,3
%80 BL-%20 SL		14	2,1	513	1,8	40,6
%60 BL-%40 SL	600	18	2,6	596	1,4	30,4
%40 BL-%60 SL		16	2,8	623	1,3	22,4
%20 BL-%80 SL		15	2,5	700	1,3	13,4
SL (%100)		14	2,0	433	2,0	7,4
BL (%100)		27	3,0	304	1,7	49,4
%80 BL-%20 SL		24	2,8	462	1,8	39,1
%60 BL-%40 SL	700	27	2,7	542	1,5	31,5
%40 BL-%60 SL		22	2,6	609	1,5	21,5
%20 BL-%80 SL		22	2,7	673	1,4	13,4
SL (%100)		20	2,7	720	2,5	7,1
BL (%100)		24	3,5	261	2,8	48,7
%80 BL-%20 SL		24	3,3	378	2,4	39,2
%60 BL-%40 SL	800	24	3,7	478	1,9	31,5
%40 BL-%60 SL		26	3,1	538	1,6	21,4
%20 BL-%80 SL		23	3,5	565	1,6	14,4
SL (%100)		19	3,4	565	3,0	6,9

Bingöl linyitinin karbon yanma süresinin Soma linyitinden düşük olması Tablo 1' de görüldüğü gibi karbon içeriğinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Karışımların 600°C'deki karbon yanma sürelerinin ham linyitlerden yüksek olduğu ve düşük sıcaklıkta bu iki yakıtın etkileştiği düşünülebilir. Ham linyitlerin karbon yanma sürelerinin bu sıcaklıkta düşük olması bu linyitlerin karışım halinde tamamen farklı bir yakıt gibi davrandığını göstermektedir. Burada yüksek orandaki Bingöl linyiti külünün karışımdaki Soma linyiti karbonu yanmasını engellemesi nedeniyle karbon sıcaklığının diğer iki sıcaklığa göre daha düşük kalması olasılığı vardır. Ancak

700 ve 800°C' de karışımların karbon yanma süreleri beklendiği gibi ham linyitler arasındadır. Bu durum yüksek sıcaklıklarda Bingöl linyiti külünün etkisinin azaldığına işaret etmektedir. Şekil 2' de yanma sırasındaki ağırlık değişiminden de bu durum görülebilir. Yanma sonucu geriye kalan artık miktarlarının genel olarak Tablo 1'deki kül oranları ile karşılaştırıldığında ham linyit ve karışımlar için beklenen artık miktarlarına yakın olduğu ve farkların deneysel hata sınırları içerisinde kaldığı görülmektedir.

**Tablo 3.** Ham linyit örnekleri ve bunlardan hazırlanan karışımların tutuşma zamanları (s)

Örnek	600	700	800
BL (%100)	17	8	5
%80 BL-%20 SL	18	10	4
%60 BL-%40 SL	22	9	3
%40 BL-%60 SL	19	14	4
%20 BL-%80 SL	24	16	4
SL (%100)	23	14	6

## Sonuçlar

Soma linyiti ile Bingöl linyitinden hazırlanan karışımlarının 600, 700 ve 800 °C'de sabit yatakta yakılması sonucu elde edilen bulgulardan aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

- Karışımların uçucu madde yanma süresi ve hızlarının karıştırılma oranlarına bağlı olmadığı görüldü.
- Uçucu madde yanma hızı ile uçucu madde yanma süresi arasında bir ilişki olmadığı belirlendi.
- Linyit karışımlarının düşük sıcaklıklarda biri birini etkilediği ve farklı bir yakıt gibi davrandığı sonucuna varıldı.
- Karbon yanma süreleri ile karbon yanma hızları arasında bir ilişki olmadığı tespit edildi.

## Kaynaklar

- [1] Fau'ndez J, Arias B, Rubiera F, Arenillas A, Garcí'a X, Gordon A L, Pis J J. Ignition characteristics of coal blends in an entrained flow furnace. *Fuel*2007;86:2076–2080.
- [2] BP Statistical Review of World Energy, June, 2010; p. 32.
- [3] Su S, Pohl J H, Holcombe D, Hart J A. Techniques to determine ignition, flame stability and burnout of blended coals in pf power station boilers. *Prog EnergCombust*2001;27:75–98.
- [4] Hass J, Tamura M, Weber R. Characterisation of coal blends for pulverized fuel combustion. *Fuel*2001;80:1317–1323.
- [5] Rubiera F, Arenillas A, Arias B, Pis JJ. Modification of combustion behaviour and NO emissions by coal blending. *FuelProcessTechnol*2002;111:77–78.
- [6] Backreedy R I, Jones J M, Ma L, Pourkashanian M, Williams A, Arenillas A, . Arias B, Pis J J, Rubiera F. Prediction of unburned carbon and NOx in a tangentially fired power station using single coals and blends. *Fuel*2005;84: 2196–2203
- [7] Barroso J, Ballester J, Ferrer LM, Jimenez S. Study of coal ash deposition in an entrained flow reactor: Influence of coal type, blend composition and operating conditions. *Fuelprocesstechnol*2006;87:737–752
- [8] Moon C, Sung Y, Ahn S , Kim T, Choi G, Kim D. Thermochemical and combustion behaviors of coals of different ranks and their blends for pulverized-coal combustion. *Applthermeng*2013; 54:111-119.
- [9] Chen Y, Mori S, Pan W P. Estimating the combustibility of various coals by TG-DTA. *Energ fuel*1995; 9:71-74.
- [10] Arenillas A, Rubiera F, Arias B, Pis J J, Faundez J M, Gordon A L, Garcia X A. A TG/DTA study on the effect of coal blending on ignition behavior. *JThermAnalCalorim*2004; 76 ;603-614.
- [11] Levendis Y A, Joshi K, Khatami R, Sarofim A F. Combustion behavior in air of single particles from three different coal ranks and from sugarcane bagasse. *CombustFlame*2011; 157:452-465.