

Zorlanmış Konveksiyonun Bazı Kömürlerin Yanmasına Etkisi

Neslihan DURANAY, Dursun PEHLİVAN
*Fırat Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü,
Elazığ-TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 14.01.2000

Özet

Bu çalışmada deneysel bir sabit yatak yakma sisteminde havanın konveksiyon hızının kömürün uçucu madde ve karbonu yanmasına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneylerde Zonguldak Taşkömürü, Cizre ve Tunçbilek Linyitlerinin tutuşma ve yanma sürelerine yatak başlangıç sıcaklığı, kömür cinsi, tane büyüklüğü ve hava hızının etkisi incelenmiştir. Kömür karbonunun yanması için çifte direnç teorisinden hesaplanan karbon yanma süreleri deneysel olarak ölçülenler ile karşılaştırılmış ve böylece kömürün sabit yataktaki yanmasında etkin mekanizmanın ortaya konulmasına çalışılmıştır.

Havanın konveksiyon hızının kömürlerin tutuşması ve uçucu madde yanması periyodunda etkili, ancak karbon yanması periyodunda etkili olmadığı sonucuna varılmıştır. Kömürün yanma mekanizmasına hem difüzyon hem de kimyasal kinetiğin etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kömür, Yanma, Sabit yatak, Konveksiyon.

The Effect of Forced Convection on Coal Combustion

Abstract

The objective of this study is to investigate the effect of the convection rate of air on the volatiles and char combustion rates of coal in a fixed bed system. Experiments were conducted to elucidate the effect of initial bed temperatures, type of coal and particle size and air flow rate through the vertical combustion chamber on the ignition and combustion times of Zonguldak coal, Cizre and Tunçbilek lignite. Experimental char combustion times of coals were compared to those found by computation using double resistance theory, and the active mechanism in the combustion of coal in fixed beds with a variety of air flow rates was supposed.

It was found that convection rate of air had an effect on the ignition and volatiles combustion period of coals, but not on the char combustion periods. It was also concluded that both diffusion and chemical kinetics were important in the char combustion mechanism.

Key Words: Coal, Combustion, Fixed bed, Convection.

Giriş

Günümüzde petrol ve gaz yakıtlar hem endüstriyel hem de evsel kullanım için enerji üretiminde önemli bir yere sahiptir. Kömür yakma sistemleri yüksek işçilik ve bakım masrafı gerektirdiğinden ve yanma ürünlerinin SO_x , NO_x gibi is-

tenmeyen atmosferik kirleticiler içermesinden dolayı kömür genellikle kirli yakıt olarak kabul edilir. Bununla birlikte gelecekte ucuz enerji üretmek için düşük kaliteli yakıtların kullanılması önem kazanacaktır. Son yıllarda kömürü daha yüksek verimle yakan ve daha az kirletici yayan yeni

kömür yakma sistemleri geliştirilmiştir (Bekowitz, 1979). Geliştirilmiş kömür yakma sistemlerinde, sabit yataklarda parça olarak, akışkan yatakta kırılmış halde ve pülverize yakma sistemlerinde 0,2 mm'den küçük kömürler yakılmaktadır. (Ceely ve Daman, 1981; Sherman ve Landry, 1963)

Kömür yanmasında eş zamanlı yürüyen iki olay gözlenmektedir. Bu olaylardan ilki sıcak kömür yatağına giren tanecığın pirolizi ile açığa çıkan uçucu maddenin tane çevresinde yanması, ikincisi ise geriye kalan hemen hemen saf karbon ve külden ibaret artığın (char) oksijenle heterojen reaksiyonudur. Uçucu madde yanma basamağı çok hızlıdır, yanma süresi kömür cinsi, tane büyüklüğü ve sıcaklık şartlarına bağlı olarak mili saniyeden bir kaç dakikaya kadar değişmektedir. Heterojen reaksiyon birinci basamaktaki işlemde daha yavaştır. İkinci basamağın hızı kömür tipi, sıcaklık, basınç, charın durumu ve oksitleyici konsantrasyonu ile değişir.

Kömür yakıcıların dizaynında char ve uçucu maddelerin yanma hızı ve sürelerine ihtiyaç duyulur. Şimdiye kadar uçucu madde ayrılması ve karbon yanması üzerine pek çok çalışma yapılmıştır (Essenhig, 1981; Smooth ve Smith, 1985). Kömürün sabit yatakta yakılması üzerine yapılan en son çalışmalarda, oluşan atmosferik kirleticilerin giderilmesi (Richard ve arkadaşları, 1994), yakma sisteminin matematiksel olarak modellenmesi üzerinde durulmuştur. Gaz ve katının ters akımla hareket ettiği bir sabit yatak yanma sisteminde hava hızının dolayısıyla konveksiyonun yanma üzerine etkisini inceleyen herhangi bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bundan dolayı yapılan çalışmada kömürün uçucu maddesinin ve karbonunun yanmasına konveksiyonun etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Tunçbilek ve Cizre Linyitleri ile Zonguldak Taşkömürünün tutuşma zamanları ve yanma zamanlarına yatak başlangıç sıcaklığı, kömür cinsi, tane büyüklüğü ve hava hızının etkisi incelenmiştir.

Karbon (Char) yanma kinetiği

Uçucu madde ayrılması ve yanmasından sonra geriye kalan m kütleli, ρ_c yoğunluklu ve d_p çaplı küresel bir char tanesinin çifte direnç teorisine göre yanma hızı aşağıdaki denklemle verilmektedir (Chakraborty ve Howard, 1981).

$$-\frac{dm}{dt} = 2\Phi\pi d_p^2 \left(\frac{1}{k_g} + \frac{1}{k_s} \right) C_g \quad (1)$$

Burada C_g gaz akımı içerisindeki O_2 konsant-

rasyonu, kg ve ks sırasıyla kütle transfer katsayısı ve birinci merteye yüzey reaksiyonu hız sabiti, Φ ise mekanizma faktörüdür. Yukarıdaki denklemde $m = (\pi/6)d_p^3\rho_c$ yazılarak yüzey reaksiyonu ürününün CO_2 olduğu ve yanma sırasında karbon yoğunluğunun değişmediği varsayıp, mekanizma faktörü 1 alınrsa kömür karbonu çapının zamanla değişimi aşağıdaki şekli alır.

$$-\frac{d(d_p)}{dt} = \frac{24C_g}{\rho_c} \left(\frac{1}{k_g} + \frac{1}{k_s} \right) \quad (2)$$

Kömür karbonunun yanma sürelerinin hesaplanmasında denklem (2) kullanıldı.

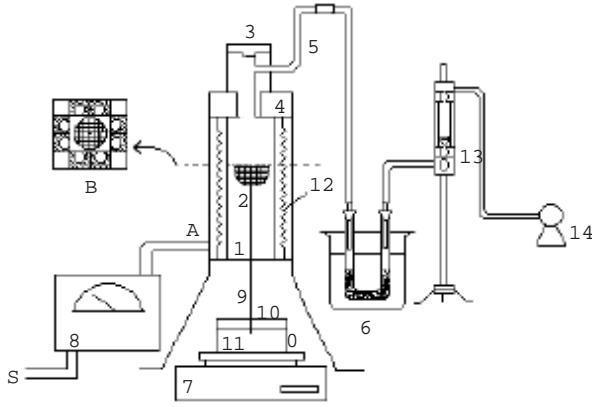
Deneyel Çalışma

Tek kömür tanelerinin laboratuvar ölçekli sabit yatakta yanmasına, yatak başlangıç sıcaklığı, kömür cinsi, tane büyüklüğü ve hava hızının etkisi incelenmiştir. Elde edilen deneysel veriler (üç deneyin ortalaması) bilgisayar programı ile hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır.

Zonguldak Taşkömürü Zonguldak ili Amasra bölgesi maden ocağından, Cizre ve Tunçbilek Linyitleri Elazığ ili odun ambarından temin edilip; ortalama 500, 1000 ve 1500 (± 10) mg dolaylarında ağırlığa sahip örnekler hazırlandı. Kullanılan kömürlerin kısa analizleri Tablo 1'de verilmiştir.

Laboratuvar ölçekli sabit yatak sistemi Şekil 1'de görüldüğü gibi, ısıtmayı sağlamak için içinden direnç telleri geçirilmiş refrakter tuğlalarla kaplı 42 mm kare kesitli dikey bir kamaradan ibarettir. Kamaranın üzeri 14 mm çaplı boru takılmış refrakter kapakla kapatılmıştır. 2 mm çapında 250 mm uzunluğundaki çelik çubuğun ucuna takılmış olan 33 mm çapındaki paslanmaz çelikten yapılmış elek sepet kamaranın içine dikey olarak bir destek yardımıyla yerleştirilmiştir. Destegin üzerine ise kamara içinde meydana gelen olayları görebilmek için ayna yerleştirilmiştir. Destek üstten kefeli bir terazi üzerine oturtularak yanan tanenin ağırlık kaybı izlenmiştir.

Kamara içerisinden hava refrakter kapak (4) üzerindeki çelik besleme borusuna takılmış olan S şeklindeki metal boru yardımıyla vakum pompasıyla çekilmek suretiyle geçirilmektedir. Sistemden çıkan baca gazı pompaya ulaşmadan önce araya yerleştirilen su ile soğutulan tuzaktan geçirilerek kurumu tutulduktan sonra rotametre ile hızı belirlenmiştir.



Şekil 1. Sabit yatak sistemi : A) Dikey görünüş; B) Kolonun dik kesiti ;1. Refrakter tuğla;2. Sepet ; 3. Besleme kapağı; 4. Refrakter kapak; 5. Baca gazı çıkış borusu; 6. Tuzak; 7. Terazi; 8. Voltajdeğiştirici; 9. Sepet çubuğu; 10. Ayna; 11. Destek; 12. Direnç teli; 13. Rotametre; 14. Vakum pompası.

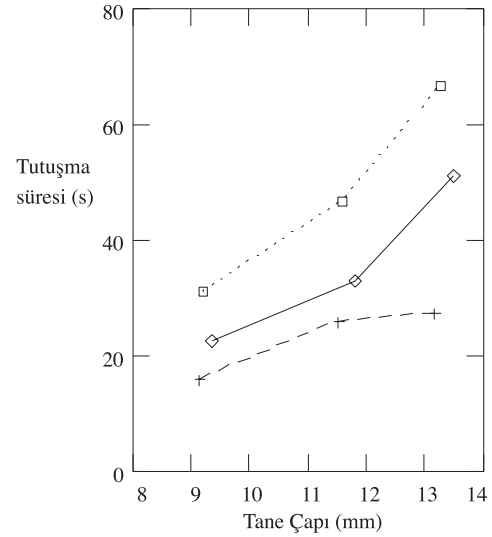
Yakma sistemi hazırlandıktan sonra varyak yardımı ile ısıtılmıştır. İstenilen başlangıç sıcaklığına ± 10 °C duyarlılıkla ulaşıldığında kömür taneciği kamara üzerindeki refrakter kapak üzerine yerleştirilmiş olan besleme borusundan sepete düşürülmüştür. İlk andaki ağırlık tayin edilmiştir. Alev görününceye kadar geçen süre yani tutuşma süresi ($\pm 1-5$ s), akkor haline gelme süresi ($\pm 1,5-15$ s), sönme süresi ($\pm 3-17,5$ s) ve yanma esnasındaki ağırlık değişimi kamara altına yerleştirilen terazi ve ayna yardımıyla kaydedilmiştir. Alev görünmesi ile alev söndükten sonra kömürün kor haline gelmesi için geçen süre boyunca 15 sn'de, kor halinden sönmeye kadar geçen süre boyunca da 30 sn'de bir ağırlık değişimi kaydedilmiştir. Deneyler farklı sıcaklıklar, farklı hava akış hızları ve farklı büyüklükteki kömür taneleri için tekrarlanmıştır. Daha sonra karbon yanma zamanları deneylerin yapıldığı şartlar için teorik olarak hesaplanmıştır.

Sonuçlar ve Tartışma

Zonguldak Taşkömürü, Tunçbilek Linyiti ve

Cizre Linyiti için tutuşma zamanlarının tane büyüklüğü, kamara başlangıç sıcaklığı ve hava hızı ile değişimi Şekil 2 ve 3'de görülmektedir.

Kömürden uçucu madde salınması olayı termal bir parçalanma prosesidir. Sıcaklık yükseldikçe bu proses daha hızlı cereyan edecektir. Yapılan çalışmada kömür tanesi sabit sıcaklıktaki kamaraya atılmakta ve başlangıçta kararsız hal ısınmaya maruz kalmaktadır. Herhangi bir andaki ortalama tane sıcaklığı böyle bir ısınma sürecinde tane büyüklüğü ile azalır. Tanelerin çevresinde yanıcı hava-uçucu madde karışımı oluşması için geçen zaman iri tanelerde daha fazla olur. Tane büyüklüğü arttıkça tutuşma süresinin artması bundan dolayıdır. Üç kömürün uçucu madde içeriklerinin çok farklı olması nedeniyle, tutuşma zamanları arasındaki farkın başlıca nedeni nem içeriklerinin farklı olmasıdır. Bu durumda nem içeriğinin artmasıyla tutuşma zamanının geciktiği dikkati çekmektedir.



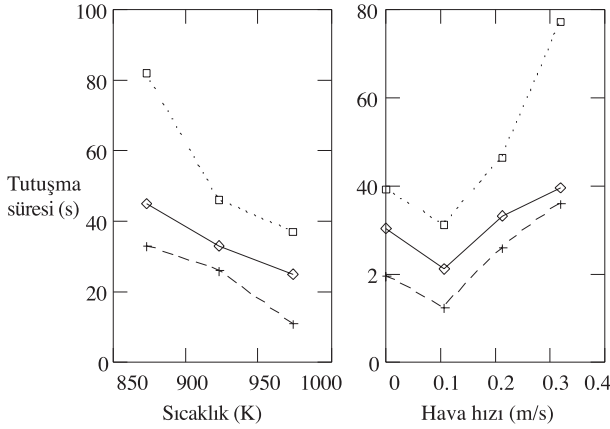
Şekil 2. Kömürlerin 650 °C'deki tutuşma sürelerinin tane büyüklüğü ile değişimi. ($U = 0,212$ m/s, ◇ Zonguldak Taşkömürü, □ Tunçbilek Linyiti, + Cizre Linyiti)

Tablo 1. Deneyde kullanılan kömürlerin kısa analizi.

KÖMÜR	Tunçbilek Linyiti	Cizre Linyiti	Zonguldak Taşkömürü
% Nem	7,80	1,00	3,68
% Kül	13,60	36,85	11,65
% Uçucu madde	33,75	32,68	35,60
% Sabit karbon	44,80	28,20	49,10

Şekil 3'de görülen tutuşma süresinin sıcaklıkla azalması da benzer bir nedenle izah edilebilir. Sıcaklık yükseldikçe uçucu madde tutuşma konsantrasyonuna daha hızlı ulaşılır.

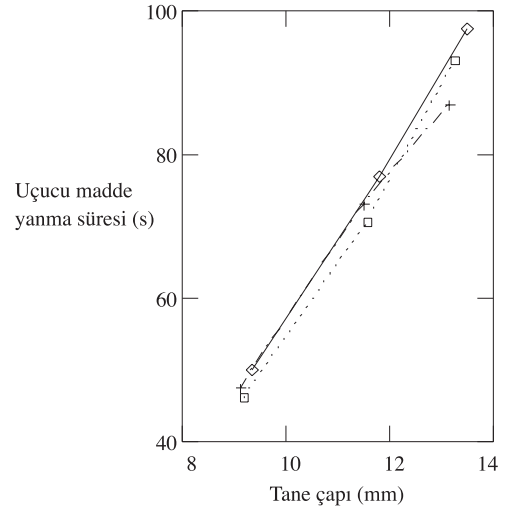
Tutuşma zamanının hava hızı ile değişimini de gösteren Şekil 3'de artan hava hızı ile tutuşma zamanının önce düştüğü sonra arttığı görülmektedir. Sistemde hava ısınarak doğal konveksiyonla yukarı doğru hareket etmektedir. Bu nedenle grafikteki sıfır noktası gerçekte doğal konveksiyonlu bir sistem için elde edilen tutuşma sürelerine karşılık gelmektedir. Fakat yapılan deneyde havanın ilk hızı doğal konveksiyon sonucu oluşan hızdan daha düşük olduğunda dolayı önce bir düşüş görülmesi mantıklıdır. Çünkü ortamdan sürüklenen uçucu madde miktarı düşüktür. Hava hızı arttıkça uçucu maddenin tane çevresindeki kritik tutuşma konsantrasyonuna daha uzun sürede ulaşılmaktadır.



Şekil 3. Kömürlerin tutuşma sürelerinin kamara başlangıç sıcaklığı ve hava hızı ile değişimi. ($D_p = 11,60 \pm 0,20$ mm, ◇ Zonguldak Taşkömürü, □ Tunçbilek Linyiti, + Cizre Linyiti)

Şekil 4 ve 5'de her üç kömürün uçucu madde yanma zamanlarının tane çapı sıcaklık ve hava hızı ile değişimi görülmektedir. Artan tane büyüklüğüne bağlı olarak uçucu madde miktarı da artacaktır. Tane büyüklüğündeki artış tane çevresindeki basıncın artışıyla benzer etkiye sahiptir. Büyüklük arttıkça uçucu maddenin katı matris içinden çıkışını zorlaştırıp, uçucu maddenin yanma süresinin artmasına neden olmaktadır (Anthony ve Howard,1975; Wildegger ve arkadaşları, 1990). Tablo 1'den de görüldüğü gibi kömürlerin uçucu madde miktarı birbirine yakındır. Bu yüzden tane çapının daha küçük olduğu bölgelerde üç kömürün

uçucu madde yanma süreleri birbirine çok yakındır. Tane çapı büyüdükçe uçucu maddenin ayrılıp yanması daha uzun sürdüğü için uçucu madde yanma süreleri arasındaki fark da artar.

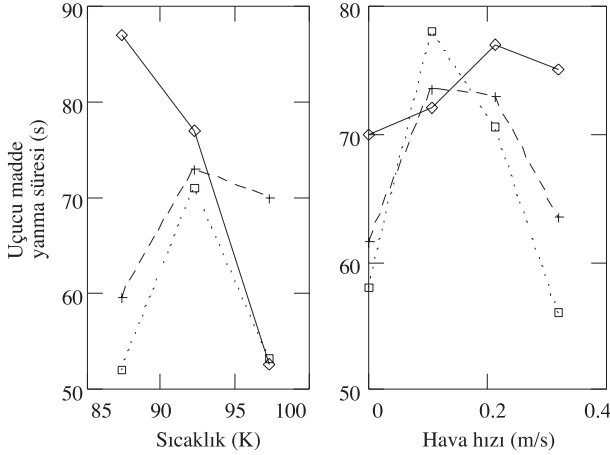


Şekil 4. Kömürlerin 650 °C'deki uçucu madde yanma zamanlarının tane büyüklüğü ile değişimi. ($U=0,212$ m/s, ◇ Zonguldak Taşkömürü, □ Tunçbilek Linyiti, + Cizre Linyiti)

Zonguldak Taşkömürünün uçucu madde yanma süresi sıcaklıkla belirgin bir düşüş göstermektedir. Bu beklenen bir davranıştır (Urkan ve Arıkol,1993). Buna karşılık linyitlerin gazlı bileşikleri tutuşma olayının hemen başında hızlı bir şekilde ayrılıp tane çevresinde parlak bir alevle çok kısa bir sürede yandığından dolayı (Eatough ve Smooth,1996), Tunçbilek ve Cizre linyitlerinin uçucu madde yanma süreleri belirgin bir davranış göstermemektedir. Sıcaklık daha fazla artırılınca var olan uçucu maddenin daha hızlı salınması veya daha hızlı ısınan tane içindeki uçucu maddenin tane dışına çıkamayıp kısmen parçalanarak (ikincil reaksiyonlar) tane içinde kalması gibi nedenlerin uçucu madde yanma süresini azalttığı düşünülebilir (Solomon ve arkadaşları, 1992).

Uçucu madde yanma süresinin hava hızı ile değişimine bakıldığında önce bir artış sonra azalma görülmektedir. Başlangıçtaki artışın nedeni hava hızının doğal konveksiyon hızından düşük olmasıdır. Bu davranış yine linyitlerde daha belirgindir. Termal parçalanma sırasında taneden salınan moleküllerin hafif olanlarının hava akımı ile süpürülmesinin daha kolay olacağı düşünülürse linyitlerden daha hafif moleküllerin salındığı ileri sürülebilir. Linyit ve taş

kömürlerinin termal parçalanma ürünlerinin niteliği üzerine bu güne kadar yapılmış olan çalışmalar bu sonucu desteklemektedir (Khan,1991). Uçucu madde yanma sürelerindeki azalmanın nedeni ortamdan sürüklenen uçucu madde miktarının hava hızı ile artmasıdır. Zonguldak Taşkömürünün bu nedenden dolayı benzer davranışı daha yüksek hava hızlarında göstermektedir.

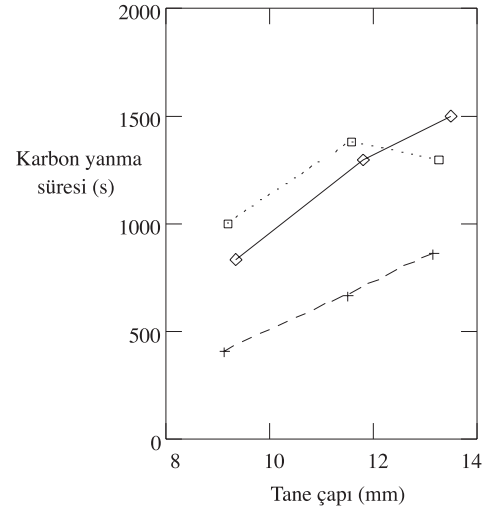


Şekil 5. Kömürlerin uçucu madde yanma sürelerinin kamara başlangıç sıcaklığı ve hava hızı ile değişimi. ($D_p = 11,60 \pm 0,2$ mm ◇ Zonguldak Taşkömürü, □ Tunçbilek Linyiti, + Cizre Linyiti)

Kömürler genel olarak karşılaştırıldığında bitümlü bir kömür olan Zonguldak Taşkömürünün daha uzun uçucu madde yanma süresi verdiği görülmektedir. Çünkü uçucu madde çıkışı esnasında bitümlü kömürler plastikleşerek iç tarafındaki gözeneklerin kapanmasına neden olur ve uçucu maddenin tane dışına çıkmasını engeller. Bu sebepten dolayı çalışılan şartlarda Zonguldak Taşkömürü için daha uzun uçucu madde yanma süreleri gözlenmiştir.

Kömür karbonunun (char) yanma süresine tane büyüklüğünün etkisi Şekil 6'da incelenmiştir. Tane büyüklüğü arttıkça karbon yanma sürelerinin arttığı görülmektedir. Bu durum iki şekilde açıklanabilir; artan tane büyüklüğü karbon miktarının da artmasına neden olmasıyla birlikte tane büyüklüğüne bağlı olarak yüzeyde biriken kül tabakasının artan kalınlığına bağlı olarak direncin artması sonucu oksijenin tane içine difüzyonunu zorlaştırdığı ve tanenin ısınmasını etkilediğinden, karbon yanma süresinin uzamasına neden olmaktadır (Smith,1982). Şekil 6 kömürler için ele alındığında en yüksek sabit karbon yüzdesine sahip (Tablo 1) Zonguldak Taşkömürü

en uzun; sabit karbon yüzdesinin çok düşük olmasının sonucu olarak Cizre linyiti ise en kısa karbon yanma süresine sahiptir. Tunçbilek Linyitinin sabit karbon yüzdesi Zonguldak Taşkömüründen biraz düşük olmasına rağmen küçük tane çaplarında daha uzun yanma süreleri göstermiştir. Burada uçucu madde yanması periyodunda tanenin şişmesinin de önemi görülmektedir. Çünkü Tunçbilek Linyitinin büyüklüğü değişmemektedir. Buna karşılık Zonguldak Taşkömürü tanelerinin şişmesinin karbon yanma periyodu sırasında daha yüksek oranda tane içi oksijen difüzyonuyla ve karbon oksidasyonuna yol açtığı söylenebilir.

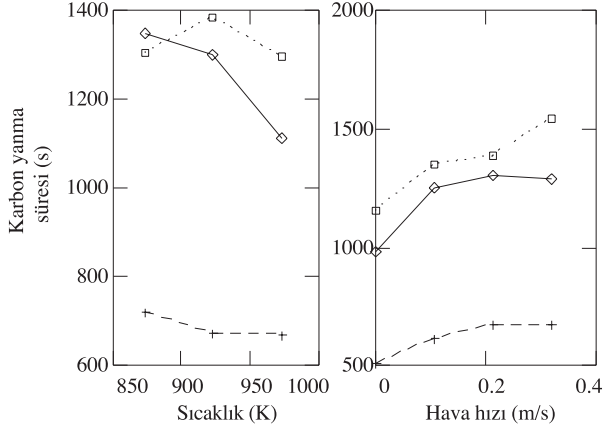


Şekil 6. Kömürlerin 650 °C'deki karbon yanma zamanlarının tane büyüklüğü ile değişimi. ($U=0,212$ m/s, ◇ Zonguldak Taşkömürü, □ Tunçbilek Linyiti, + Cizre Linyiti)

Şekil 7'de karbon yanma süresine kamara başlangıç sıcaklığı ve hava hızının etkisi görülmektedir. Zonguldak Taşkömürü ve Cizre Linyitinin sıcaklık arttıkça karbon yanma sürelerinin azaldığı açıkça görülmektedir. Bu durum yüzey reaksiyonu hızının önemli olduğu şeklinde yorumlanabilir (Essenhigh,1981;Smith, 1982) Tunçbilek Linyitinde ise kamara başlangıç sıcaklığının karbon yanma süresi üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Tunçbilek Linyitinin uçucu madde yanması esnasında orijinal tane büyüklüğünde değişme olmadığından dolayı kamara başlangıç sıcaklığındaki değişimin pek etkili olmadığı söylenebilir.

Hava hızının karbon yanma süresine etkisi incelendiğinde, Zonguldak Taşkömürü ve Cizre Linyiti

iti yine benzer davranış gösterip, karbon yanma süreleri belli bir değere kadar artıp sonra belirgin olarak değişmediği görülmektedir. Tunçbilek Linyiti de buna yakın bir durum göstermesine rağmen hava hızı daha yüksek değerlere artırılınca karbon yanma süresi tekrar belirgin bir artış göstermiştir. Burada bütün kömürler için artan hava hızının sistemin ve tanenin belirgin bir biçimde soğumasına neden olarak yanmayı yavaşlattığı, dolayısıyla karbon yanma süresini artırdığı söylenebilir.



Şekil 7. Kömürlerin karbon yanma sürelerinin kamara başlangıç sıcaklığı ve hava hızı ile değişimi. ($D_p = 11,60 \pm 0,20$ mm, ◇ Zonguldak Taşkömürü, □ Tunçbilek Linyiti, +Cizre Linyiti)

Şekil 8'de deneysel ve teorik olarak hesaplanan karbon yanma sürelerinin tane büyüklüğü ile değişimi her üç kömür için verilmektedir. Hesaplamalarda kullanılan parametreler Tablo 2'de verilmiştir (Perry, 1985; Bird, 1960). Burada oksijenin tane yüzeyine transferinde kullanılan ifadeler ve parametrelerde birlik olmakla beraber

yüzeydeki kimyasal reaksiyon hız parametrelerinin değişik araştırmacılarca farklı değerler verilmektedir (Chakraborty ve Howard, 1981; Ross ve Davidson, 1981; Essenhigh, 1981; Smith, 1982). Bu yüzden hesaplanan zamanlar özellikle yüzeydeki karbon-oksijen reaksiyonunun aktivasyon enerjisi ile büyük ölçüde değişebilmektedir. Bu nedenle Şekil 8'de tamamen kimyasal kontrollü bir yanma için verilen noktaların gerçekten uzak olma olasılığı oldukça yüksektir. Tane büyüklüğü arttıkça yanma sürelerinin arttığı görülmektedir. Tablo 1'de belirtildiği gibi kül yüzdesi çok yüksek olduğundan dolayı Cizre Linyitinin karbon yanması esnasında oksijen tane çevresinde oluşan kül tabakasının oksijenin ve yanma ürünlerinin transferine gösterdiği ilave dirençten dolayı yanan karbon yüzeyine ulaşan oksijen azalır. Bu durumda tane iç ve dış yüzeylerine ulaşan oksijen hemen tükendiğinden Cizre Linyitinin difüzyon kontrollü olarak yandığı söylenebilir. Bu kömür için karbon yanma zamanının kütle transferinin ön gördüğü sınırlara yakın olması bu görüşü kuvvetlendirmektedir. Buna karşılık diğer kömürler için karbon yanmasında her iki mekanizmanın da etkili olduğu belirtilebilir.

Kömür karbonunun yanma süresine sıcaklığın etkisi Şekil 9'da gösterilmiştir. Sıcaklık arttıkça kimyasal kinetiğin etkili olduğu teorik hesaplama sonuçlarının deneysel sonuçlara yaklaştığı görülmektedir. Genel olarak tane yüzeyine oksijenin difüzyonu mekanizmasına dayanan hesaplamalardan elde edilen değerler deneysel sonuçlara daha yakındır. Bu durumda yüzey reaksiyonu aktivasyon enerjisindeki belirsizlik de göz önüne alındığında her iki kontrol mekanizmasının da etkili olduğu söylenebilir. Çünkü sıcaklık arttıkça tane yüzeyindeki reaksiyonun hızlanması ve difüzyon di-

Tablo 2. Teorik hesaplamalarda kullanılan parametreler.

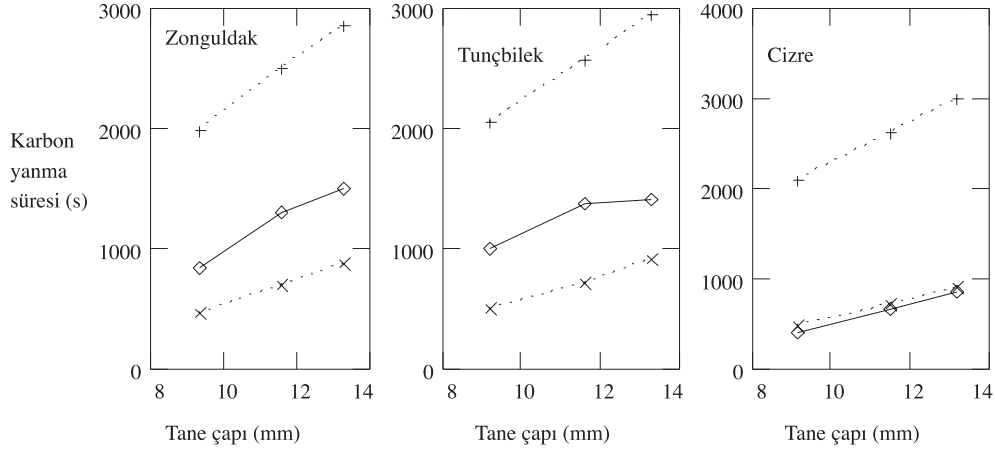
Sıcaklık (K)	:	873	923	973
Havanın viskozitesi (kg/m.s). 10^{-8}	:	3897	4032	4167
Havadaki oksijenin difüzyon katsayısı (m^2/s). 10^{-4}	:	1,528	1,641	1,757
Havanın yoğunluğu (kg/m^3)	:	0,4036	0,3818	0,3599
Aktivasyon enerjisi (kcal / kgmol)*	:	35700		
Frekans faktörü (kg / m^2 .s.atm) *	:	87100		
Havadaki oksijen konsantrasyonu (kgmol/m^3)*	:	2,643. 10^{-3}		

* 1 ve 2 nolu denklemlerde kullanılmaktadırlar.

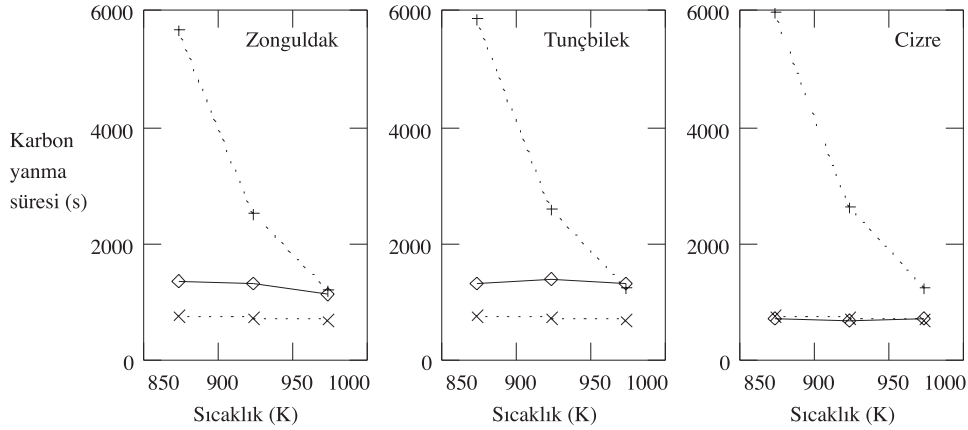
rencinin etkisinin artması beklenmektedir (Davidson,1993). Oysaki Zonguldak Taşkömürünün karbon yanma zamanlarında görülen anlamlı olmayan azalma hariç tutulduğunda kömürlerin karbon yanma zamanları sıcaklıkla belirgin olarak değişmemektedir.

Tutuşma sürelerinin hava hızı ile değişimi incelenirken doğal konveksiyonla oluşan hava hızının sıfırdan farklı bir değer olduğu belirtilmiştir. Şekil 3'ten yararlanılarak doğal konveksiyonla oluşan hava hızı 0,117 m/s olarak bulunmuş ve teorik hesaplamalarda kullanılmıştır. Bu başlangıç kullanılarak

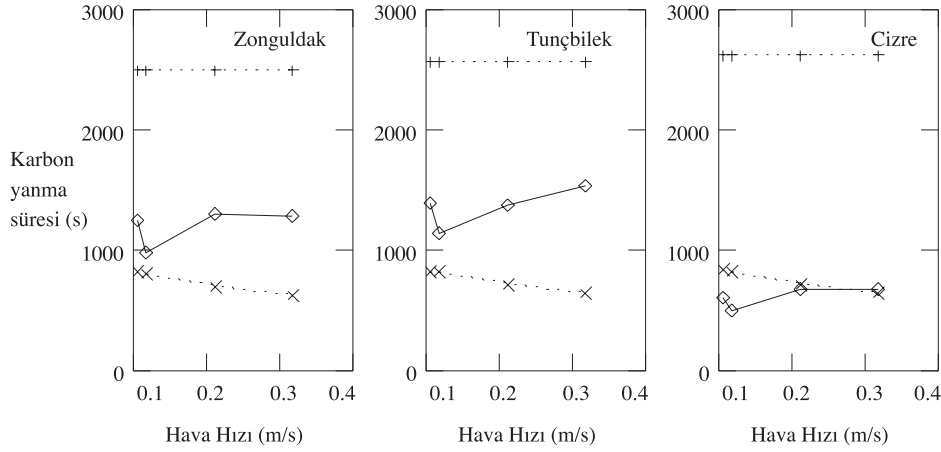
hazırlanan Şekil 10 incelendiğinde kömürlerin karbon yanma sürelerinin hava hızı ile belirgin bir artış gösterdiği söylenebilir. Kimyasal kontrollü yanma mekanizması hava hızından etkilenmediği için hesaplanan değerler sabit kalmıştır. Difüzyon kontrollü yanma mekanizması ile elde edilen süreler hava hızındaki artışla doğal olarak düşmüştür. Bu nedenle gözlenen çok az artışın sistemin ve dolayısıyla tane yüzey sıcaklığının azalmasından kaynaklandığı ve yanmada kimyasal kinetiğin de önemli olduğunun diğer bir kanıtı olarak kabul edilebileceği görülmektedir.



Şekil 8. Deneysel ve teorik olarak belirlenen karbon yanma sürelerinin tane büyüklüğü ile değişimi. ($U=0,212$ m/s, $T=923$ K, ◇ Deneysel, + Kimyasal kinetik kontrollü, × Difüzyon kontrollü)



Şekil 9. Deneysel ve teorik olarak belirlenen karbon yanma sürelerinin kamara başlangıç sıcaklığı ile değişimi. ($D_p=11,60 \pm 0,20$ mm, $U=0,212$ m/s, ◇ Deneysel, + Kimyasal kinetik kontrollü, × Difüzyon kontrollü)



Şekil 10. Deneysel ve teorik olarak belirlenen karbon yanma sürelerinin hava hızı ile değişimi. ($D_p=11,60 \pm 0,20$ mm, $T=923$ K, \diamond Deneysel, $+$ Kimyasal kinetik kontrollü, \times Difüzyon kontrollü)

Sonuç

Tane büyüklüğü, sıcaklık ve hava hızı kömürün tutuşması için gerekli kritik uçucu madde-hava konsantrasyonunu ve bunun sonucu olarak da tutuşma süresini etkilemektedir.

Kömürlerin uçucu maddelerinin yanmasına uçucu madde yüzdesi ve özellikle linyitlerde sıcaklık ve hava hızının etkisi büyüktür.

Artan tane çapıyla karbon yanma zamanları beklendiği gibi artmıştır. Karbon yanması olayında sabit karbon yüzdesinin önemli olduğu görülmektedir.

Sıcaklıktaki artış uçucu madde yanması sırasında

orijinal tane büyüklüğünde değişme görülmeden Tunçbilek Linyitinin karbon yanmasını fazla etkilemezken, Zonguldak Taşkömürü ve Cizre Linyitinde karbon yanma sürelerinin azalmasına neden olmuştur.

Kömür karbonunun yanma mekanizmasına hem difüzyon hem de kimyasal kinetiğin etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca hava hızı karbon yanmasını fazla etkilememektedir.

Sonuç olarak teorik ve deneysel veriler karşılaştırıldığında yakma kamarası içindeki havanın hızı kömürlerin ısınması, tutuşması ve uçucu madde yanması üzerinde etkili ancak karbon yanmasında fazla etkili değildir.

Kaynaklar

Anthony, B.D., Howard, J.B., "Coal Devolatilization and Hyrogasification", AICHE Journal, 22, 625-655, 1975.

Berkowitz, N., An Introduction to Coal Technology, Academic Press, 1979.

Bird, R.B., Stewart, W.E., Lightfoot, E.D., Transport Phenomena, John Wiley and Sons, 1960.

Ceely, F.J., Daman, L.E., Combustion Technology, in Chemistry of Coal Utilisation, Second Suppl. Vol. (Ed. M. A. Elliot), Chapter 20, Wiley, 1981.

Chakraborty, R.K., Howard, J.R., "Combustion of Char in Shallow Fluidized Bed Combustor: Influence of Some Design and Operating Parameters", Journal of Institute of Energy, 54, 48-54, 1981.

Eatough, C.N., Smoot, L.D., "Devolatilization of Large Coal Particles at High Pressure", Fuel, 75, 1601-1605, 1996.

Essenhigh, R.H., Fundamentals of Coal Combustion, in Chemistry of Coal Utilisation, Second Suppl. Vol. (Ed. M. A. Elliot), Chapter 19, Wiley, 1981.

Perry, R.H., Green, D., Perry's Chemical Engineer's Handbook, Sixth Edition, McGraw-Hill, 1985,

Richard, J.R., AlmajtHoub, M., Aho, M.J., Pirkonen, P.M., "The Effect of Pressure on the Formation of Nitrogen-Oxides from Coal Char Combustion in a Small Fixed Bed Reactors", Fuel, 73, 1034-1038, 1994.

Ross, I.B., Davidson, J.F., "The Combustion of Carbon Particles In Fluidised Bed", Trans IChem E, 59, 108-114, 1981.

Smith, I.W., "The Combustion Rates of Coal Chars: A Review", Nineteenth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, 1045-1063, 1982.

Smooth, L.D., Smith, P.J., Coal Combustion and Gasification, Plenum Pub., 1985.

Solomon, P.R., Serio, A.S. and Suuberg, E.M., "Coal Pyrolysis: Experiments, Kinetic Rates and Mechanisms", Prog. Energy Combust. Sci., 18, 133-220, 1992.

Urkan, M. K., Arıkol M., "Burning Times of

Volatiles from Turkish Coals During Fluidized Bed Combustion", Fuel, 73, 768-772, 1994.

Wildegger-Gaismaier, A.L., Agarwal, P.K., "Drying and Devolatilization of Large Coal Particles Under Combustion Condition", Fuel, 69, 44-52, 1990.