

AKIŞKAN YATAKTA KÖMÜR KURUTULMASININ DENEYSEL ANALİZİ

¹Hakan KIZIL, ²Erdal TEKİN*, ³Beytullah ERDOĞAN, ⁴H. İbrahim TOPAL, ⁵Adnan TOPUZ

¹EÜAŞ Çatalağzı Termik Santrali ZONGULDAK

^{2,3,4,5}Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü 67100 İncivez/ZONGULDAK

¹kizilhakan@hotmail.com; ²erdaltekin_86@yahoo.com; ³beytullah.erdogan@karaelmas.edu.tr;

⁴h.ibrahimtopal@gmail.com; ⁵topuz@karaelmas.edu.tr

Özet: Çalışma kapsamında, küçük ölçekli akışkan yataklı bir kurutucu deney seti kurulmuştur. Çatalağzı Termik Santrali'nde kullanılan kömüre ait numuneler alınarak, elek analizi yapılmış ve dizayn değerlerine uygun 0-10 mm arası boyutlara sahip kömür elde edilmiştir. Elek analizinden geçmiş kömür, kurutma işlemine tabi tutulmuş ve kuruma karakteristikleri incelenmiştir. Akışkan yatakta kurutma işlemine geçmeden önce, kömür için minimum akışkanlaşma hızı yaklaşık 3.6 m/s olarak tespit edilmiştir. Deneyler, ortam sıcaklığında akışkan yatak havasını ısıtmadan ve akışkan yatak havasının sıcaklığını artırarak yapılmıştır. Deney başlangıcında ve 50, 100, 150, 200, 250 ve 300 sn'de bir numune alınarak laboratuvarında nem tayini yapılmıştır. Yukarıda belirtilen periyotlarda, akışkan yataktaki kömüre ait nem değerlerinin tespitinin yanı sıra, yatak sıcaklığı ve yatak içerisindeki nem değişimi de incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Akışkan yatak, Kömür, Kurutma, Termik santral

Abstract: In this study, a small scale fluidized bed drying set is installed. Sieve analysis was carried out with samples that taken from the coal used in Çatalağzı Thermal Power Plant and coal with an appropriate size of 0-10 mm as the design value is acquired. Sieve analyzed coal have been subjected to drying process and drying characteristics of the coal were investigated. Before going into the fluidized bed drying process, the minimum fluidization velocity of the coal was determined as 3.6 m/s. Experiments are made in ambient temperature both by heating the fluidized bed air temperature and by not heating this temperature. During the experiments, samples have been taken in 50, 100, 150, 200, 250, 300 seconds and their moisture content has been investigated. Also, fluidized bed temperature and moisture variation inside the fluidized bed have been searched.

Key Words: Fluidized bed, Coal, Drying, Thermal power plant

SEMBOLLER

M_p : nem miktarı [kg/kg]

M_{p_0} : başlangıçta ölçülen nem miktarı [kg/kg]

t : süre [saniye]

T_a : Kurutma başlangıcında akışkan yatak girişinde ölçülen hava sıcaklığı [°C]

u : hız [m/s]

1. GİRİŞ

Santral verimini olumsuz yönde etkileyen unsurlardan biri kömürün muhteva ettiği nemdir. Kömürün kazana gelmeden önce nemi, yine kazan içerisinde emilen gaz vasıtası ile alınır. Ancak kömürün nem değeri optimum değerden daha fazla olduğunda kömürün nemi yeterince alınamaz ve istenen pulverizasyon gerçekleşmez. Bu nedenle kazan içerisindeki yanmanın kontrolü ve verimliliği açısından kömürün yanma odasına gelmeden ön kurutma işlemine tabi tutulması kaçınılmazdır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda, ön kurutmada kullanılacak yöntemlerden biri olarak akışkan yatakta kurutma ön plana çıkmaktadır. Aşağıda akışkan yataklı kurutma proseslerine ait literatürdeki bazı çalışmalardan kısaca bahsedilmektedir.

Çağlayan (2002) çalışmasında bir akışkan yatak içindeki ısı geçişinin özelliklerini incelemiştir. Yatak sıcaklığı ve ısı transfer yüzeyi sıcaklığı, deney süresince sabit tutulmaya çalışılarak sürekli rejim hali sağlanmıştır.

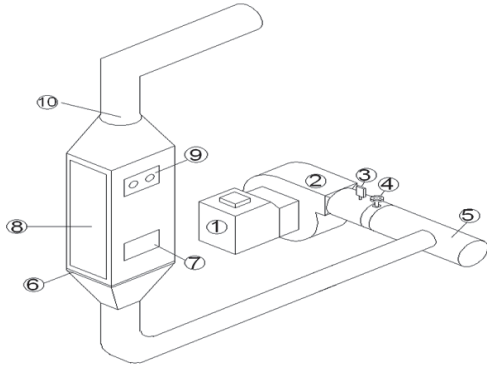
Katı tanecik büyüklüğü azaldıkça, yatak malzemesinin yoğunluğu ve hızı arttıkça yatak içi ısı transfer katsayısının arttığını belirlemiştir. Topuz (2002) akışkan yatak deney seti kurarak akışkan yatakta bulunduğu kurutup ısı ve kütle geçişini incelemiştir. Deneysel çalışmanın yanında konu ile alakalı matematiksel modeller de incelenmiş ve yeni üç fazlı bir model fındığa uygulayarak deneysel sonuçlar ile model sonuçlarını karşılaştırmıştır. Altun (2004) çalışmasında sirkülasyonlu akışkan yatakta ısı transfer özelliklerini incelemiş gazın ve katı taneciklerin konveksiyonla olan ısı transferine katkıları belirlenmiştir. Literatürde konveksiyon ısı transfer mekanizması olarak en uygun modellerden olan küme modeli kullanılmıştır. Özellikle akışkan ortamla duvar arasındaki gaz-katı tanecik konveksiyon ısı transfer mekanizması incelenmiştir. Zhang (2008) tarafından termik santralde kullanılan linyit kömürün akışkan yatakta kurutulması amaçlanmıştır. Kurutma işleminde kütle ve enerji dengesi baz alınmıştır. Laboratuvar ortamında bir deney

seti kurularak minimum akışkanlaşma hızı tespit edilmiştir. Kömürün nem içeriğinin artması, sistemde tıkanmalara, kömür akış yüzeylerinde sıvanmalara, öğütülebilirliğin azalmasına ve kazan yanma odasında sıcaklık düşmesine neden olmaktadır. Nem içeriğinin değişmesi, baca gazının hacimsel debisinin ve sıcaklığının değişmesine yol açmakta ve bu değişiklikler de elektrofiltre ve baca gazı desülfürizasyon tesislerinin verimini etkilemektedir. Santral verimini olumsuz yönde etkileyen bu unsurlar göz önüne alındığında kurulan deney seti ile akışkan yatakta kömürün ön kurutma işlemine tabi tutularak, nem değerinin düşürülmesi amaçlanmıştır.

2.MATERYAL ve METOD

Akışkanlaştırma işlemi, fan aracılığıyla basınçlandırılan havanın veya pompa aracılığıyla basınçlandırılan akışkanın; akışkanlaştırılmak istenen katı parçacıkları arasından, ürüne etki eden yer çekimi kuvvetini yenecek kadar yüksek hızla geçirilerek, parçacıkların askıda tutulmasıdır. Akışkanlaştırılacak malzeme silindirik bir boru (yatak malzemesi) içerisine konulur. Sistemde akışkan yatağın silindirik seçilmesinin nedeni, yatak içerisinde sivri köşe olması durumunda hava veya akışkanın oluşan boşluktan kaçarak homojen bir dağılımı kötü yönde etkilemesidir. Malzeme ya da kurutulacak ürün havada askıda kalarak homojen bir yapı meydana gelir. Bu sayede sistemimizin içindeki ürün ya da malzeme bir akışkan gibi davranışta bulunur.

Akışkan yatakta kömür kurutulması amacıyla laboratuvar ölçülerinde bir deney seti kurulmuştur. Bu setin şematik resmi Şekil 1'de gösterilmiştir. Deney seti; ısıtıcı, fan, hava kollektörleri, valf, hava kasası, dağıtıcı plaka, akışkan yatak gövdesi, bağlantı elemanları, siklon ile ölçü ve test ekipmanlarından oluşmaktadır.

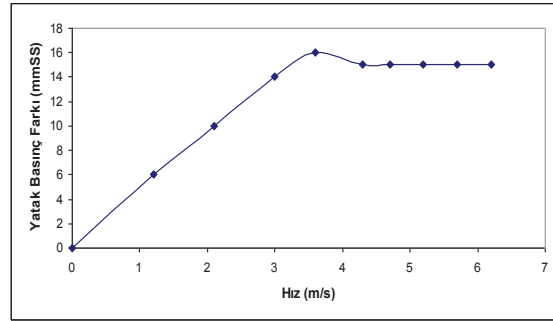


Şekil 1. Akışkan yataklı kurutucunun şeması (1. Isıtıcı 2. Fan 3. Ölçü aleti (Sıcaklık) 4. Hava ayar klapesi 5. Ana hava hattı 6. Dağıtıcı plaka 7. Numune alma kapağı. 8. Akışkan yatak gövdesi 9. Ölçü aletleri (sıcaklık, nem, hız) 10. Egzoz)

3.ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1.MİNİMUM AKIŞKANLAŞMA HIZININ TESPİTİ

Minimum akışkanlaşma hızının tespiti amacıyla, Çatalağzı Termik Santrali stok sahasından lavuarlanmış taş kömürü atığı olan kömür alınmış; elek analizi yapılarak, deneylere esas 0-10 mm boyutlarında kömür, akışkan yatağa konmuştur. Daha sonra fan çıkışındaki klape ile hava debisi değiştirilerek akışkan yatağın basınç farkı mmss olarak okunmuş ve akışkan yatak hava hızı ile karşılaştırılmıştır. Şekil 2'de görüleceği üzere basınç farkı, hava hızı ile beraber başlangıçta artmasına rağmen bir noktadan sonra düşme eğilimine geçer. İşte bu noktada artık akışkan yatak basınç farkı ile ürünün kütlesi eşit olmaktadır. Bu noktadaki hız minimum akışkanlaşma hızı denmektedir. Bu çalışmada minimum akışkanlaşma hızı 3,6 m/s civarlarında bulunmuştur.



Şekil 2. Kömürün minimum akışkanlaşma hızının belirlenmesi.

3.2.DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylerde, Çatalağzı Termik Santrali'nin stok sahasından temin edilen, 2700-3500 kcal/kg ısı değere sahip, filtrasyon ürünü taş kömürü kullanılmıştır. Kurutma havası olarak; ortam sıcaklığındaki havanın yanı sıra, fanın emiş kısmına yerleştirilmiş 3 kademeli ısıtıcı vasıtası ile ısıtılmış hava da kullanılmıştır.

Her bir deney öncesi elek analizi yapılmış ve deneylerde 0-10 mm arası elek altı kömür kullanılmıştır. Elek analizi sonucu, elek altı ve elek üstü kömür oranları belirlenmiş, 5000 g kütleye sahip olacak şekilde 0-10 mm arası kömür tartılarak, test işlemi gerçekleştirilmiştir. Ortam sıcaklığında yapılan deneylerin yanı sıra, sırasıyla önce ilk kademe rezistans, sonra iki kademeyi, sonuncu olarak da üç kademeyi birlikte çalıştırarak akışkan yatak havası ısıtılmış ve deneyler uygulanmıştır. Deney başlangıcında ve 50, 100, 150, 200, 250 ve 300 saniyede bir numune alınarak laboratuvarında nem tayini yapılmıştır.

Yukarıda belirtilen periyotlarda, akışkan yataktaki kömüre ait nem değerlerinin tespitinin yanı sıra, yatak sıcaklığı ve yatak içerisindeki nem değişimi de incelenmiştir. Yapılan deneylere ait ölçümler, Çizelge 1'de verilmiştir.

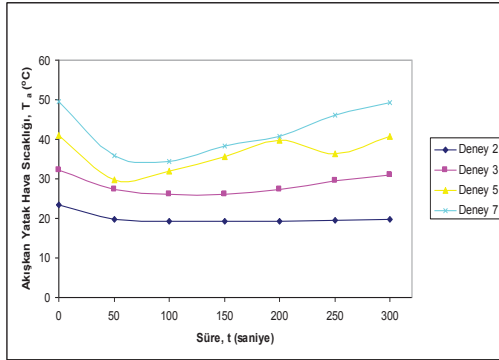
Çizelge 1. Kömür için deney değerleri.

Deney No:	Ortam Sıcaklığı (°C)	Isıtıcı Sonrası Hava Sıcaklığı (°C)	Akışkan Yatak Hava Hızı (m/s)	Elek Analizi (%)		Kurutma Öncesi Kömür Nem Değerleri (%)	Deneylerde Kullanılan Kömür Miktarı (gram)
				Elek Altı	Elek Üstü		
1	24,0	24,0	5,2	70,4	29,6	23,3	5000
2	23,4	23,4	4,1	68,4	31,6	22,1	5000
3	22,2	34,6	4,1	69,5	30,5	17,2	5000
4	23,0	36,6	5,2	69,7	30,3	18,1	5000
5	22,2	43,5	4,1	68,8	31,2	19,6	5000
6	23,0	43,9	5,2	65,3	34,7	18,1	5000
7	25,5	52,7	4,1	66,7	33,3	21,5	5000
8	23,0	51,0	5,2	79	21	23,2	5000

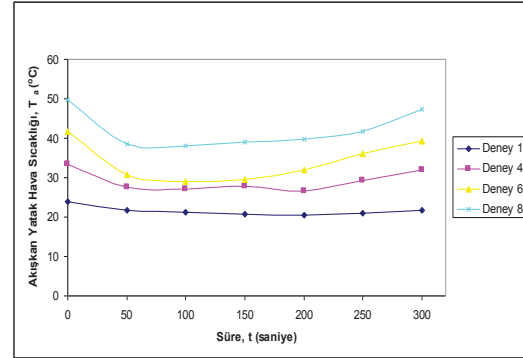
3.3.DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.3.1. Kurutma Sürecinde Akışkan Yataktaki Sıcaklık Değişiminin İncelenmesi

Akışkan yataktaki sıcaklık değişiminin incelenmesinde, aynı hava hızlarına sahip Deney 2, Deney 3, Deney 5 ve Deney 7'de elde edilen veriler ayrı, Deney 1, Deney 4, Deney 6, Deney 8'den elde edilen veriler ayrı değerlendirilmiştir.



Şekil 3. Akışkan yatak havasının zamana bağlı sıcaklık değişimi



Şekil 4. Akışkan yatak havasının zamana bağlı sıcaklık değişimi

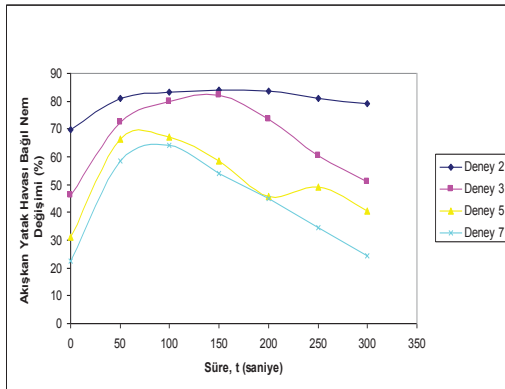
Şekil 3'te; Deney 2 için verilen sıcaklık değişimi, kurutmanın başlangıcında düşmekte, daha sonra ise sabit olarak ilerlemektedir. Kurutma başlangıcında kömürden havaya hızlı bir ısı transferi olması nedeniyle sıcaklık düşmekte, sıcaklığın dengeye gelmesinden sonra ise sıcaklık sabite yakın değerler almaktadır. Deney 3, Deney 5 ve Deney 7'de kurutmanın ilk safhalarında, Deney 2'ye nazaran sıcaklık düşüşü daha fazladır. Bunun nedeni akışkan yatağa gönderilen hava sıcaklığının daha yüksek olmasıdır. Sonraki safhalarda ise kömür sıcaklığının yükselmesi nedeniyle, kömür ile akışkan yatak havası arasındaki ısı transferi, dolayısıyla sıcaklık farkı azalmakta ve akışkan yatak havasının sıcaklığı tekrar yükselmektedir.

Şekil 4'te; Deney 1 için verilen sıcaklık değişimi, kurutmanın başlangıcında düşmekte, daha sonra ise sabit olarak ilerlemektedir. Deney 2'de olduğu gibi,

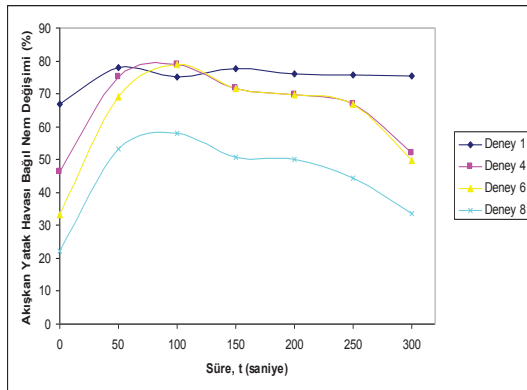
kurutma başlangıcında kömürden havaya hızlı bir ısı transferi olması nedeniyle sıcaklık düşmekte, sıcaklığın dengeye gelmesinden sonra ise sıcaklık sabite yakın değerler almaktadır. Deneysel 4, Deneysel 6 ve Deneysel 8'de ise durum yine yukarıda açıklandığı gibi, kurutmanın ilk safhalarında, Deneysel 1'e nazaran sıcaklık düşüşü daha fazladır. Bunun nedeni akışkan yatağa gönderilen hava sıcaklığının daha yüksek olmasıdır. Sonraki safhalarda ise kömür sıcaklığının yükselmesi nedeniyle, kömür ile akışkan yatak havası arasındaki ısı transferi, dolayısıyla sıcaklık farkı azalmakta ve akışkan yatak havasının sıcaklığı tekrar yükselmektedir.

3.3.2. Kurutma Sürecinde Akışkan Yataktaki Nem Değişiminin İncelenmesi

Akışkan yatak çıkışındaki havanın bağıl nem değişiminin incelenmesinde, aynı hava hızlarına sahip Deneysel 2, Deneysel 3, Deneysel 5 ve Deneysel 7'de elde edilen veriler ayrı, Deneysel 1, Deneysel 4, Deneysel 6, Deneysel 8'den elde edilen veriler ayrı değerlendirilmiştir.



Şekil 5. Akışkan yatak havası bağıl neminin zamana bağlı değişimi.



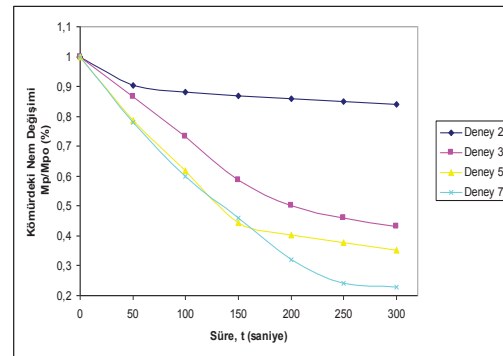
Şekil 6. Akışkan yatak havası bağıl neminin zamana bağlı değişimi.

Şekil 5'te görüldüğü gibi yatak havası bağıl nemi; Deneysel 3, Deneysel 5 ve Deneysel 7 için kurumanın ilk safhalarında akışkan yatak havası sıcaklıklarının, Deneysel 2'de ölçülen sıcaklığa nazaran daha yüksek

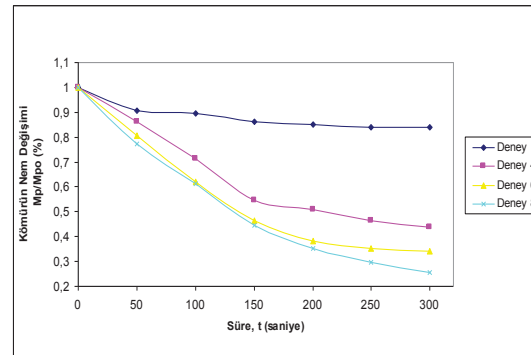
olması nedeniyle hızlı bir artış göstermekte, kuruma hızının düşmesiyle kurumanın ileriki safhalarında akışkan yatak çıkışındaki havanın bağıl nem değerinin düştüğü görülmektedir.

Şekil 6'da görüldüğü gibi yatak havası bağıl nemi; Deneysel 4, Deneysel 6 ve Deneysel 8 için kurumanın ilk safhalarında akışkan yatak havası sıcaklıklarının, Deneysel 1'de ölçülen sıcaklığa nazaran daha yüksek olması nedeniyle hızlı bir artış göstermekte, kuruma hızının düşmesiyle kurumanın ileriki safhalarında akışkan yatak çıkışındaki havanın bağıl nem değerinin düştüğü görülmektedir.

3.3.3. Kurutma Sürecinde Akışkan Yataktaki Kömürün Nem Değişiminin İncelenmesi



Şekil 7. Akışkan yataktaki kömür neminin zamana bağlı değişimi



Şekil 8. Akışkan yataktaki kömür neminin zamana bağlı değişimi

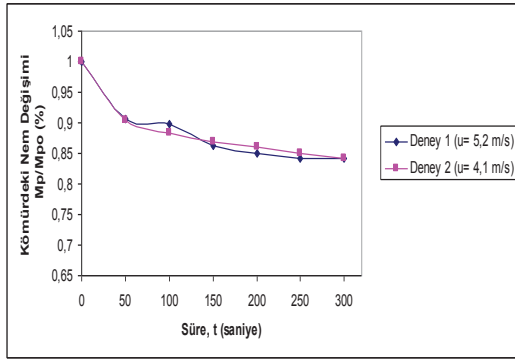
Şekil 7'de elde edilen eğriler incelendiğinde; Deneysel 3, Deneysel 5 ve Deneysel 7'de kuruma hızının, Deneysel 2'ye nazaran daha fazla olduğu görülmüş ve Deneysel 7'de en yüksek kuruma hızına ulaşılmıştır. Kuruma hızının en yüksek Deneysel 7'de, en düşük de ortam sıcaklığında gerçekleştirilen Deneysel 2'de görülmesinin sebebi, kurutma havası sıcaklığının en yüksek Deneysel 7'de olmasıdır. Dolayısıyla kurutma havası sıcaklığındaki artış, kuruma hızını da artırmıştır.

Şekil 8'de elde edilen eğriler incelendiğinde; Deneysel 4, Deneysel 6 ve Deneysel 8'de kuruma hızının, Deneysel 1'e

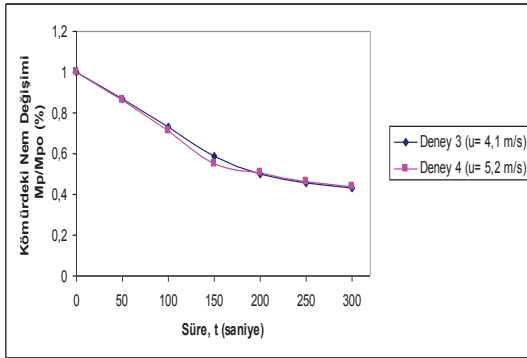
nazaran daha fazla olduğu görülmüş ve Deney 8'de en yüksek kuruma hızına ulaşılmıştır. Kuruma hızının en yüksek Deney 8'de, en düşük de ortam sıcaklığında gerçekleştirilen Deney 1'de görülmesinin sebebi, kurutma havası sıcaklığının en yüksek Deney 8'de olmasıdır. Dolayısıyla kurutma havası sıcaklığındaki artış, kuruma hızını da artırmıştır.

3.3.4. Akışkan Yatak Hava Hızının Kömürün Kurmasına Etkisi

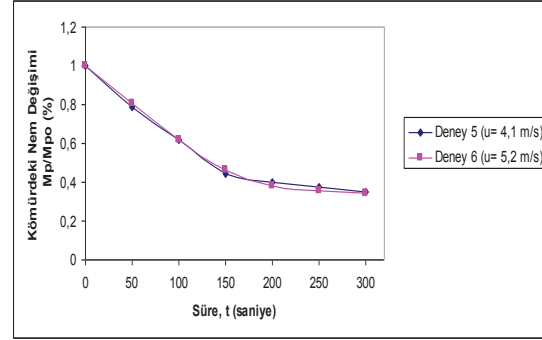
Akışkan yataktaki hava hızının, kömürün kurmasına etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için aynı miktarlarda kömür, benzer sıcaklıklarda, farklı hava hızlarında kurutmaya tabi tutulmuştur. Sonuçlar, Şekil 9, 10, 11 ve 12'de görülmektedir.



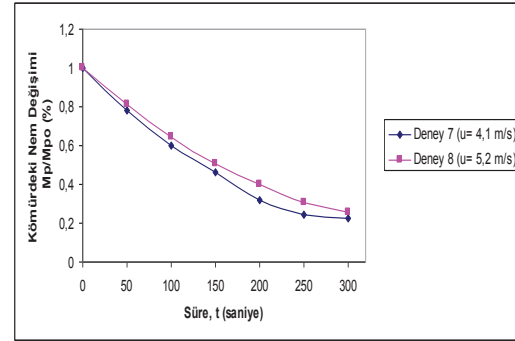
Şekil 9. Akışkan yatak hava hızının kurumasına etkisi. (Deney 1, u=5,2 m/s; Deney 2, u=4,1 m/s)



Şekil 10. Akışkan yatak hava hızının kömürün kurmasına etkisi. (Deney 3, u=4,1 m/s; Deney 4, u=5,2 m/s)



Şekil 11. Akışkan yatak hava hızının kömürün kurmasına etkisi. (Deney 5, u=4,1 m/s; Deney 6, u=5,2 m/s)



Şekil 12. Akışkan yatak hava hızının kömürün kurmasına etkisi. (Deney 7, u=4,1 m/s; Deney 8, u=5,2 m/s)

Şekil 9, 10, 11 ve 12 incelendiğinde; birbirine yakın sıcaklıklarda ve farklı hızlarda, kuruma hızlarının birbirine çok yakın olduğu yukarıdaki dört grafik için de belirlenmiştir. Yapılan deneylerde, kurutma havasının hızındaki değişikliğin birbirine yakın sıcaklık değerlerine sahip deneyler için kuruma hızını değiştirmedeği görülmüştür.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Yapılan deneyler neticesinde; kurutma havası sıcaklığındaki artışın, kuruma hızını artırdığı görülmüştür. Ortam sıcaklığında, ısıtma yapmaksızın uygulanan deneylerde, kömür ile akışkan yatak havası arasındaki sıcaklık farkının az olması ve atmosfer nem değerlerinin yüksek olması nedeniyle, kuruma hızı çok düşük değerlerde kalmıştır. Kurutma havasının ısıtılarak akışkan yatağa gönderildiği deneylerde, kurutma havasındaki sıcaklık artışına paralel olarak, kuruma hızlarının da yüksek olduğu görülmüştür.

Akışkan yatak çıkışında ölçülen kurutma havası bağıl nem değerleri incelendiğinde; ortam sıcaklığında yapılan deneylerde, başlangıçta kurutma havası sıcaklığının, çok az da olsa kömüre ait sıcaklıktan yüksek olması nedeniyle bir miktar artmış ve sıcaklık farkının zamanla azalması nedeniyle bağıl nem sabit olarak ilerlemiştir. Kurutma havasının ısıtıldığı deneylerde ise, kurumanın ilk safhalarında kurutma havası ile kömür arasındaki sıcaklık farkının ve kömürün nem değerinin yüksek olmasından dolayı,

akışkan yatak çıkışında ölçülen bağıl nem hızla artmış, kurutma havası ile kömür arasındaki sıcaklık farkının azalması ve kurutma havası sıcaklığının zamanla yükselmesi nedeniyle çıkışta ölçülen bağıl nem hızla düşmüştür.

Akışkan yatak hava hızındaki değişimin, kömürün kurummasına etkisi incelenmiş, birbirine yakın sıcaklık değerlerine sahip ama farklı hızlarda yapılan deneyler neticesinde akışkan hava hızındaki artışın bu çalışma için kuruma hızını etkilemediği tespit edilmiştir.

Ana yakıt olarak kömür kullanan termik santraller göz önüne alınarak bu çalışma incelendiğinde; kömürün termik santral için belirlenmiş dizayn değerlerinin altındaki nem değerlerinde ünitelere alınması, kazana girmeden önce kömürün yanmaya başlaması gibi bir soruna yol açmaktadır. Bu nedenle kömürün kazana belli bir nem aralığında girme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu zorunluluk da, istenen nem değeri için gerekli kurutma havası sıcaklığına ulaşıldıktan sonra, kurutma havasını daha fazla ısıtmaya ihtiyaç duyulmadığını göstermektedir.

Sistemi geliştirmek amacıyla farklı ısı kaynakları kullanmak suretiyle inceleme yapılabilir. Buna bağlı olarak sistemi terk eden havanın geri kazanılması için değişik öneriler getirilerek verimdeki artış hesaplanabilir.

KAYNAKLAR

Altun, C., Sirkülasyonlu akışkan yatakta ısı transferi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bil. Ens. Kimya Müh. Anabilim Dalı, 120 sayfa, 2004

Başaran, B., Mısırın akışkan yatakta kuruma karakteristiklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bil. Ens. Mak. Müh. Anabilim Dalı, 83 sayfa, 2006

Çağlayan, S., Akışkan yataklarda ısı transfer özelliklerinin deneysel incelenmesi, Y.Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bil. Ens. Mak. Müh. Anabilim Dalı, 198 sayfa, 2002

Dođan, H., Ersöz, M.A., Akışkan yataklı sürekli kurutucuda tuz kurutulmasının deneysel incelenmesi, 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 2009

Elevli, S., Demirci, A., Bazı kömür özelliklerinin termik santral verimliliği ve kömür fiyatları üzerine etkilerinin araştırılması, Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s.285-291, 2004

Hajıdavalloo, E., Hydrodynamic and thermal analysis of a fluidized bed drying system, Thesis of Doctor of Philosophy Dalhousie Univ. Daltech, s. 173, 1998

Kunii, D., Levenspiel O., Fluidization Engineering, Butterworth Heinemann, Boston, 1991

Kurtuluş, O., Akışkan yataklı kurutma prosesinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bil. Ens. Mak. Müh. Anabilim Dalı, 64 sayfa, 2007

Topuz, A., Akışkan yatakta fındık kurutma prosesinde ısı ve kütle geçişinin incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bil. Ens. Mak. Müh. Anabilim Dalı, 113 sayfa, 2002

Zhang, W., Modelling of continuous fluidized bed drying of coal, Thesis of Doctor of Philosophy Lehigh Univ., s. 143, 2008

[www.enerji.gov.tr]

[www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_TTK_2009.pdf]