

Linyit Kömürün Kurutulması için Karbonik Film Teknolojili Yeni Bir Kurutucu Tasarımı

Hasan HACİFAZLIOĞLU^{1*}, Buse BOLAT²

¹ Maden Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye

² Maden Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye

*¹ hasanh@istanbul.edu.tr, ² busebolat.9701@gmail.com

(Geliş/Received: 16/07/2020;

Kabul/Accepted: 08/11/2020)

Öz: Endüstriyel ölçekte kömür kurutma işlemleri için genellikle döner kurutucular tercih edilmektedir. Ancak, döner kurutucuların ilk yatırım ve bakım-onarım maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca, döner kurutucularda kömürün tutuşma riski de bulunmaktadır. Bu bağlamda, çevre ile dost, ilk yatırım maliyeti düşük ve kömürün tutuşma riski bulunmayan bir kurutma sistemi düşünüldüğünde, karbonik film teknolojisi ön plana çıkmaktadır. Karbonik film teknolojisi ile kendiliğinden tutuşma riski olan kömürlerin “düşük sıcaklık kurutması” yapılabilir. Ancak, bu teknolojiyle kurutma yapan herhangi bir kurutucu sistemi henüz mevcut değildir. Bu çalışmanın amacı yeni teknoloji olan “karbonik film ısıtıcı” ile yeni bir kurutucu tasarımıdır. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki, karbonik film teknolojisi ile linyit kömürlerin nemi düşük enerji tüketim değerleriyle giderilebilmektedir. Ancak, bu teknolojinin kurutma süresinin uzun olduğu söylenebilir. Öyle ki, 1 saatlik kurutma işlemi sonunda linyitteki nem %9 civarında azaltılabilmektedir.

Anahtar kelimeler: Linyit kömür, Kurutma, Karbonik film, Kurutucu tasarımı

Design of A New Dryer With Carbonic Film Technology For Drying Lignite Coal

Abstract: Rotary dryers are generally preferred for industrial coal drying processes. However, the initial investment and maintenance-repair costs of rotary dryers are quite high. In addition, there is a risk of coal igniting in rotary dryers. In this context, considering a drying system that is environmentally friendly, has a low initial investment cost and has no risk of ignition of coal, carbonic film technology comes to the fore. With the carbonic film technology, “low-temperature drying” of the coals at risk of self-ignition can be done. However, there is no dryer system drying with this technology yet. The aim of this study is to design a new dryer with the new technology “carbonic film heater”. Experimental studies have shown that, with the carbonic film technology, the moisture of lignite coals can be removed with low energy consumption values. However, it can be said that the drying time of this technology is long. So much so that after 1 hour of drying, the moisture in the lignite could be reduced by around 9%.



Key words: Lignite coal, Drying, Carbonic film; Dryer design

1. Giriş

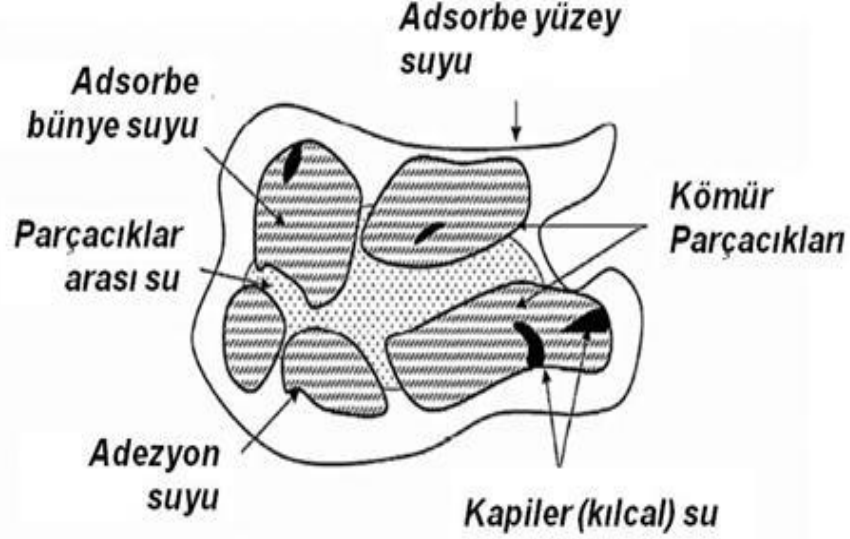
Ülkemiz linyitlerindeki en önemli safsızlıklardan biri de nemdir. Nem, bazı linyitlerde %60'lara kadar çıkabilmekte ve kömürün ısı değerini düşürmektedir. Kömürlerde giderilen %1'lik nem kömürün ısı değerinde kömür tipine bağlı olarak ortalama 40-60 kcal/kg'lık bir artış sağlamaktadır. Ayrıca nem; nakliye, stoklama ve fırınlarda gereksiz yük oluşturmada ve işlem maliyetlerini arttırmaktadır.

Kömürler, gözenekli yapıları ve içeriğindeki yüksek adsorpsiyon yetenekli kil mineralleri nedeni ile önemli miktarlarda nemi bünyelerinde hapsedebilmektedir. Diğer taraftan, kömürlerin boyutu küçüldükçe birim yüzey alanı artışı nedeni ile nem tutma kapasiteleri de o derece artmaktadır. İnce boyutlu kömürlerde bulunabilecek nem tipleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu nemlerin büyük bir bölümü (adsorbe yüzey suyu, parçacıklar arası su, kapiler su, adezyon suyu) filtre ve santrifüj gibi çeşitli “susuzlandırma makineleri” ile giderilebilirken, özellikle kömüre kimyasal bağlarla bağlı olan adsorbe bünye suyu sadece termal bir işlem olan “kurutma” yöntemi ile giderilebilir. Kurutma yöntemi ile mevcut tüm nemlerin giderilmesi mümkündür [1].

Kömürler üzerinde yapılan çoğu araştırma göstermiştir ki, özellikle düşük kaliteli kömürler (liniyitler) 40-50 °C gibi sıcaklıklarda kendiliğinden yanmaya başlamaktadır [2]. Kömürde 40 °C'den sonraki sıcaklıklarda yavaş yavaş oksidasyon başlamakta ve özellikle 70 °C'lik sıcaklıklardan sonra oksidasyon hızı artmaktadır. Bu oksidasyon ile ısı artmakta ve kömürün tutuşma sıcaklığına (düşük kaliteli kömürler için 150-250 °C) ulaşması durumunda ise kömür yanmaya başlamaktadır [2-4]. Dolayısıyla, yüksek ısı üreten kurutucular kömürün

* Sorumlu yazar: hasanh@istanbul.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹  0000-0003-1651-7779, ²  0000-0002-5114-2565

tutuşmasına ve yanmasına neden olabilir. Düşük tutuşma sıcaklığı olan linyit kömürlerin kurutulması için düşük ısı üreten kurutucular kullanılması tavsiye edilmektedir.



Şekil 1. İnce taneli kömürlerde bulunabilecek nem tipleri

Kurutma, bir malzeme içerisinde bulunan sıvının ısı yolla uzaklaştırılması işlemidir. Bu işlem çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebileceği gibi genellikle Termodinamiğin I. Kanunu, enerjinin korunumu ilkesine göre, ısı ve kütle transferi yoluyla gerçekleştirilir. Malzemenin herhangi bir yöntemle ısıtılması sonucunda içeriğindeki sıvı buharlaşmakta ve kuruma işlemi gerçekleşmektedir. Kurutma işleminin temeli, gerekli olan ısı enerjisi oluşturmaya dayanır. Isı temelde 5 farklı şekilde ortaya çıkarılabilir. Bunlar; kimyasal reaksiyon (örneğin kömür ve doğalgazın yanması gibi), nükleer reaksiyon (örneğin güneşteki reaksiyonlar gibi), öz direnci yüksek telden akım geçirilmesi ile (örneğin rezistanslı ısıtıcılardaki gibi), mekanik olarak (malzemeye sürtünme veya basınç uygulayarak) ve elektromanyetik ışınım ile yani radyasyon yolu ile de (mikrodalga fırınlarda olduğu gibi) ısı oluşturulabilir.

Bir kurutma işlemindeki ısı transferi, kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon yoluyla yapılabilir. Klasik kömür kurutucularında kondüksiyon ve konveksiyonla ısı transferi gerçekleşirken, son yıllarda özellikle düşük enerji tüketimleri nedeniyle mikrodalga, kızılötesi ışın, ultraviyole, radyo dalgası gibi radyasyon yoluyla ısıtma çalışmalarına ağırlık verilmiştir. Isının radyasyon yolu ile transferinde maddesel bir ortama ihtiyaç duyulmaz.

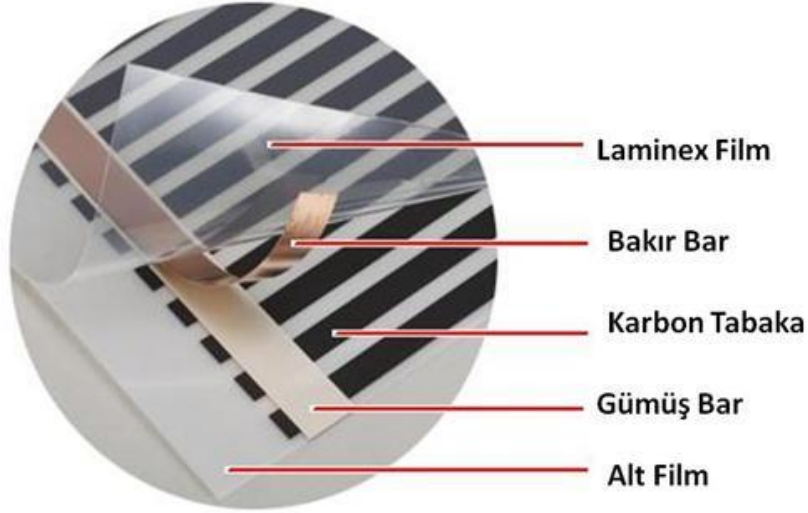
Bir çeşit radyasyon olan kızılötesi ışınım, etraflarındaki havayı ısıtmadan sadece ışık geçirmeyen cisimleri ısıtmaktadır. Kızılötesi ısıtma; boya kurutma, plastik üretimi, tavlama ve meyve kurutma gibi alanlarda kullanılmaktadır. Malzemenin karakteristiğine uygun kızılötesi frekans seçimi enerji verimliliğini de etkilemektedir. Temelde üç tip kızıl ötesi ışın olup; bunlar, kısa, uzun ve orta dalga kızılötesi ışınlardır. Aralarındaki temel fark radyasyonun işleyebilme derinliğidir. Uzun dalgalar malzemenin sadece yüzeyini ısıtırken, kısa dalgalar malzemenin içine kadar işler. Orta dalga kızılötesi ışınlar ise uzun ve kısa dalgaların işleyebildiği derinliğin yarısı kadar bir derinliğe işleyebilir [5-13]. Karbonik film, uzun kızılötesi ışın yayan yeni nesil bir ısıtıcı tipidir. Film içerisinde bulunan karbon nano partiküller yardımıyla radyasyon ısısı oluşturulur ve yüzey ısıtılır.

Bu çalışmada, uzun kızılötesi ışın yayan karbonik film teknolojisi ile linyit kömürü düşük sıcaklık kurutulmasına tabi tutulmuş ve bu karbonik filmle yeni teknoloji bir kurutucu tasarımı yapılmıştır.

2. Karbonik Film Teknolojisi

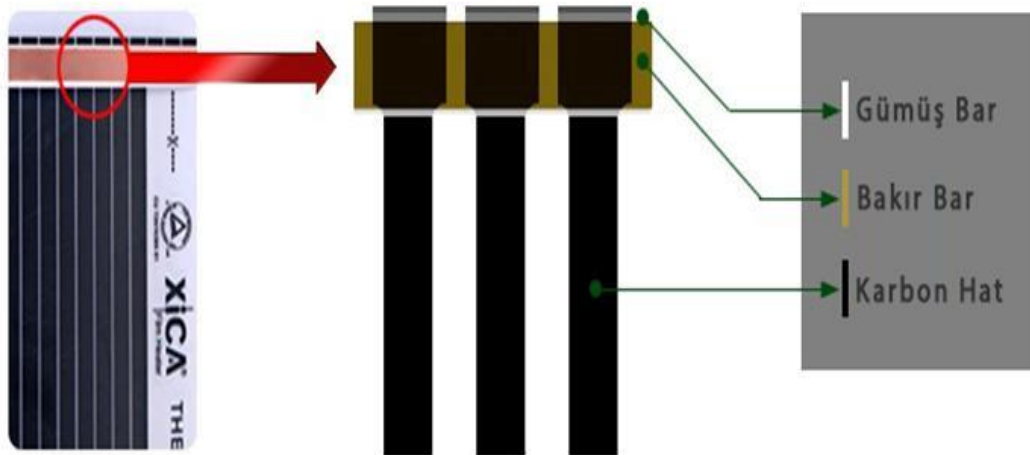
Karbonik filmdeki ısı üretim mekanizması, elektromanyetik ışınım, yani radyasyon yolu ile sağlanır. Karbonik ısıtıcı film, iletken olmayan ve yanmayan filme ısıtıcı karbon tabaka ve kirlilik önleyici tabakanın işlenmesi, bakır şerit ile elektrotun hazırlanması sonrası PET film ile lamine işleminin yapılması ile oluşturulan son teknoloji yassı bir uzak kızılötesi (FIR) ısıtıcıdır. Filmin içinde ısıtma teli, ısıtma kablosu veya rezistans

bulunmaz. Şekil 2'den görüleceği üzere, temel hammaddesi karbon, gümüş ve bakırdır. Isı kaynağı ortada duran çok ince siyah nano karbon bir tabakadır. Karbon tabakaya verilen elektrik enerjisi ile uzak kızılötesi ışınlar yayılmakta ve film ısınmaktadır. Karbon ısıtıcı filmin ürettiği uzak kızılötesi ışınım, 5.6-1000 mikron arasındaki dalga boylarını içeren ışınlardır. Bu ışınlar güneş ışınları, insan vücudu, metaller ve bazı mineraller tarafından da saçılabilir [12].



Şekil 2. Karbonik ısıtıcı filmin ısıtma mekanizması ve iç yapısı

Isıtıcı filmin kalitesini kullandığı karbon, gümüş ve bakır tabakaların yapıştırılma ve rezistans kalitesi ile nano partiküllerin akışkanlığı belirler. Şekil 3'de görüldüğü üzere, film çok sayıda katmandan oluşur. Filmin toplam kalınlığı 0.5 mm'dir. Filmlerin boyu 100 m'ye kadar, enleri ise 1 m'ye kadar üretilebilmektedir. Şimdiki teknoloji ile karbon filmlerin yüzey sıcaklıkları 60 °C kadar çıkabilmektedir. Özel üretim filmlerle daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabilen firma tarafından belirtilmiştir. Ayrıca film ısıtıcının dış tabakası olan PET, özel bir ürün olup hava ile temas etmeyecek şekilde izolasyonu sağlamakta ve ısıtıcı filmi yatay ya da dikey zeminlerde kullanmaya olanak sağlamaktadır. Bu PET tabakası değiştirilerek daha sağlam, aşınmaya dayanıklı yüzeyler elde edilebilir [13]. Karbonik filmlerin başlıca avantajları, ilk yatırım maliyetinin ve işletme maliyetinin düşük olmasıdır. Ayrıca, hızlı ısınma yeteneğine sahip olması, işlem kolaylığı sağlamaktadır.



Şekil 3. Karbonik film ısıtıcıdaki gümüş, bakır bar ve nano karbon hattının görüntüsü

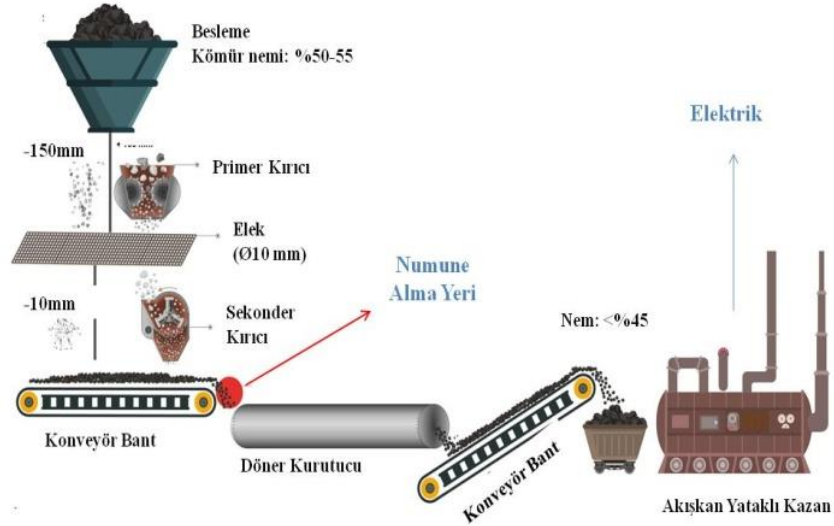
3. Deneysel Çalışmalar

3.1 Linyit Kömür Numunesinin Özellikleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan linyit kömür numunesi Akdeniz bölgesinde faaliyet gösteren bir kömür ocağından alınmıştır. Açık işletme yöntemi ile işletilen bu ocakta kömürün havanın durumuna bağlı olarak %45 ile %55 oranında nem içerebilmektedir. Bu kömürler primer ve sekonder kırıcıdan geçirilerek 10 mm'nin altına kırıldıktan sonra termik santralde akışkan yataklı bir kazanda yakılmakta ve elektrik enerjisi üretimi için kullanılmaktadır.

Özellikle %50 nemin üzerindeki kömürlerin yakılmasında akışkan yatakta çeşitli problemler (korozyon, cüruf oluşumu vb) meydana gelmekte ve bunun sonucunda hem kazan hem de ısı verim düşmektedir. Bu durum elektrik üretim kapasitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu bağlamda, özellikle sonbahar ve kış aylarında nemin yüksek olması nedeni ile kabarcıklı akışkan yataklı kazanın önüne ekonomik bir kurutucu konulması planlanmaktadır. Endüstriyel ölçekte genellikle kurutma işlemi döner kurutucularla yapılmaktadır. Ancak, döner kurutucuların ilk yatırım, bakım-onarım ve işletim maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca, bu kurutucuda kömür yakıldığı için sera gazı emisyonları oluşmakta ve çevreyi kirletmektedir.

Söz konusu santralde döner kurutucu kullanılması durumunda yakıt hazırlama prosesinin akım şeması Şekil 4'de gösterildiği gibi olacaktır. Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan kömür numunesi döner kurutucunun girişinden alınmıştır. Bu kömür numunesinin kısa kimyasal ve ısı analizleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'e göre kömür orijinal bazda %51.81 nem içermekte ve brüt ısı değeri 1537 kcal/kg gelmektedir. Bu kömürün tamamen kurutulması durumunda ise brüt ısı değeri 3189 kcal/kg'a kadar yükselmektedir.



Şekil 4. Döner kurutuculu termik santral yakıtı hazırlama prosesi

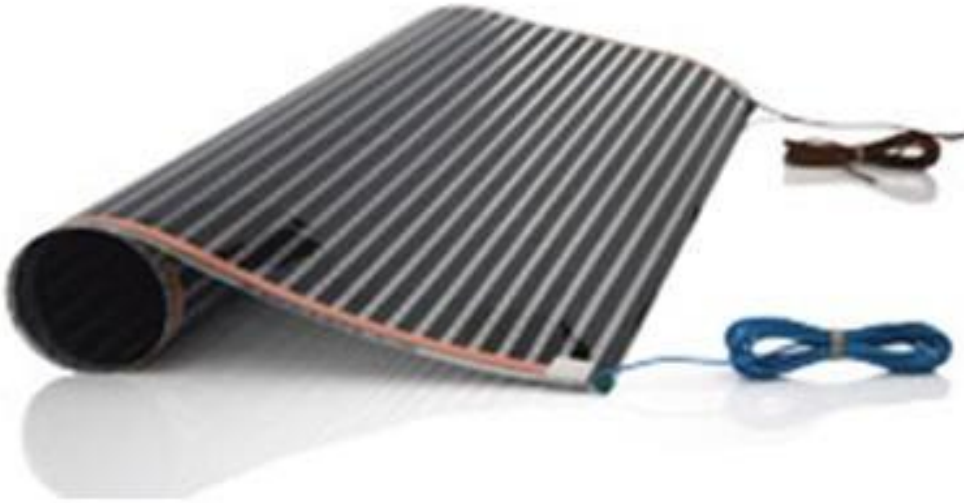
Tablo 1. Numunenin kimyasal ve ısı analiz sonuçları

İçerik	Orijinal Kömürde	Kuru Kömürde
Toplam Nem (%)	51.81	0.00
Kül (%)	21.96	45.58
Uçucu Madde (%)	19.53	40.52
Toplam Kükürt (%)	1.96	4.06
Sabit Karbon (%)	18.36	38.09
Brüt Isıl Değer (kcal/kg)	1537	3189

Termik santraldeki akışkan yataklı kazanın tasarım parametreleri brüt 1600-2000 kcal/kg'lık kömürün yakılması için planlanmış olup, kömürün neminin %100 giderilmesinin ve kalorisinin 3189 kcal/kg'a yükseltilmesinin hiçbir anlamı yoktur. Bu kömürden %1'lik nem giderimi ile ısı değerinde yaklaşık 32 kcal/kg bir artış sağlanmaktadır. %10 nem giderilmesi durumunda ise orijinal bazda kömürün brüt ısı değeri hesaplanırsa; teorik olarak $1537 + (32 \times 10) = 1857$ kcal/kg bulunur. Bulunan bu ısı değeri (1857 kcal/kg) kömürün yakılması ile akışkan yataklı kazanın ihtiyacı olan optimum kömür elde edilmiş olur. Kurutma maliyetleri de düşünüldüğünde kömürden %5 ile %10 aralığında bir nem giderimi termik santral verimliliğinin optimize edilmesi açısından yeterli olacaktır.

3.2. Karbonik Filmler Deney Düzeneği ve Yöntem

Yukarıdaki bilgiler ışığında kömür numunesinden %5-10 aralığında bir nem giderimi yeterli gözükmemektedir. Bu nem gideriminin sağlanması için, ilk yatırım maliyeti düşük, kömürün kendiliğinden yanmasına sebebiyet vermeyecek, çevre dostu yeni teknoloji bir kurutucu tasarımı planlanmıştır. Bu tasarım için özellikle son yıllarda evlerin ısıtılması amacıyla yaygın olarak kullanılmaya başlayan karbonik film ısıtma teknolojilerinden faydalanılacaktır. Şekil 5'de gösterilen RexVa firmasının XICA karbonik ısıtma filmleri kullanılarak Şekil 6'daki deneysel ölçekli kurutucu tasarlanmıştır.



Şekil 5. Kurutucu tasarımında kullanılan ısıtıcı film ve elektrik bağlantısı

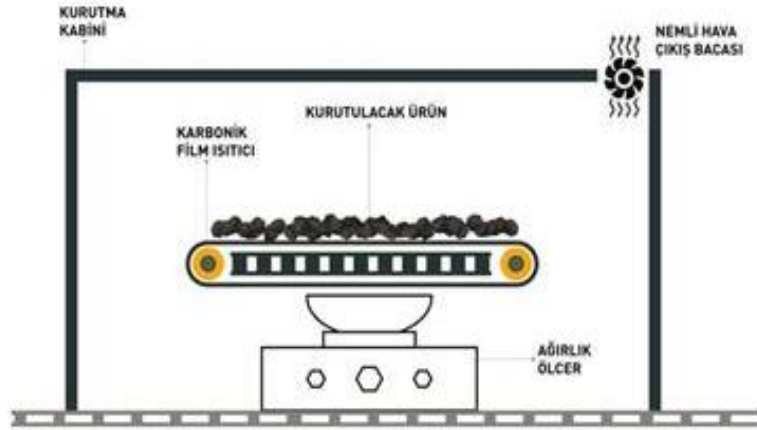
Şekil 3.3'de gösterilen deneysel ölçekli kurutucuda kullanılan karbonik film 0.25x0.50 m ölçülerinde ve toplamda 0.1 m²'lik etkin bir kurutma alanına sahiptir. Karbonik filmin çektiği güç 30 Watt yani 0.003 kWh'dır. Buna göre karbonik filmin çektiği akım (I) ve oluşturduğu direnç (R) aşağıdaki formüllerle hesaplanırsa:

$$W = V \times I \quad (1)$$

Denklem 1'den; $30 = 220 \times I$, $I = 0.136$ Amper bulunur.

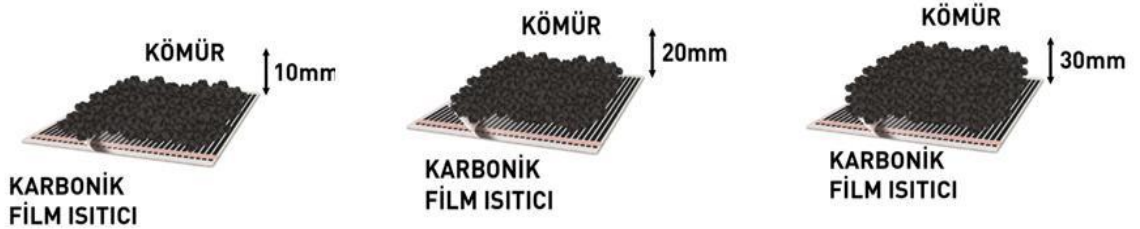
$$V = I \times R \quad (2)$$

Denklem 2'den karbonik filmin oluşturduğu direnç hesaplanırsa; $220 = 0.136 \times R$, $R = 1617.647$ Ohm'luk bir direnç bulunur. Burada, W=Güç (Watt), V=Gerilim (Volt), I=Akım (Amper) ve R=Direnç (Ohm)'dur.

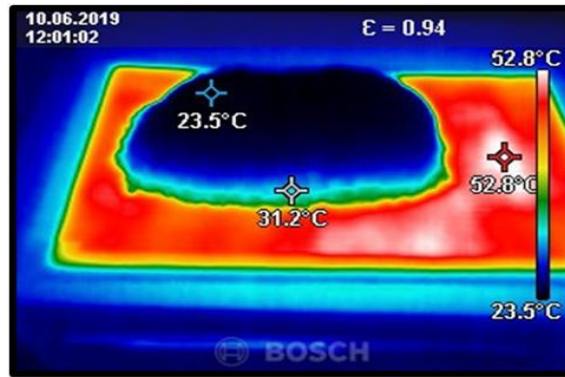


Şekil 6. Karbonik filmlili kurutma deney düzeneği

Karbonik film üzerine belli bir yükseklikte boyutu -10 mm olan kömür konulmakta ve filmin altında bulunan hassas teraziden zamana bağlı olarak kömürün ağırlık kaybı tespit edilmektedir. Kurutma deney düzeneğinde yapılan ön incelemelerde, karbonik filmin çektiği güç ya da kurutma ısısının kontrol edilemeyeceği saptanmıştır. Karbonik filmin çektiği güç sabit olup, 30 Watt'tır. Kömürün kurutulduğu yüzeyin sıcaklığı ise 50-55 °C aralığında değişkenlik göstermektedir. Mevcut deney düzeneğinde değiştirilebilecek tek parametre kurutulacak olan kömürün yüksekliğidir. Gerçekten de bu parametrenin oldukça önemli etkilere sahip olduğu deney sonuçlardan da görülmüştür. Karbonik film üzerinde kömürün yüksekliği 10 mm, 20 mm ve 30 mm olacak şekilde ayrı ayrı deneyler yapılmıştır (Şekil 7). 10 mm kömür yüksekliğinde kömürün toplam ağırlığı 600 gr iken, 20 mm yükseklikte 1200 gr, 30 mm yükseklikte ise 1800 gr tartılmıştır. Karbonik film teknolojisi ile kurutma yapılırken çekilmiş olan termal kamera görüntüsü Şekil 8'de verilmiştir.



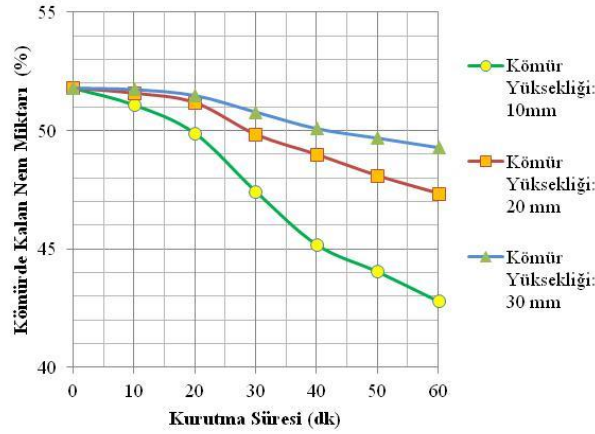
Şekil 7. Karbonik film üzerinde farklı yükseklikteki kömürlerin görüntüsü



Şekil 8. Kurutma deney düzeneğinin termal kamera görüntüsü

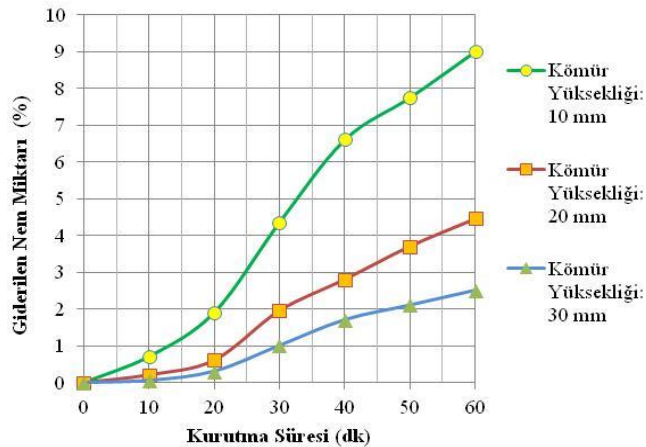
4. Deneysel Sonuçları ve Değerlendirme

Kurutma süresine bağlı olarak kömürde kalan nem miktarları Şekil 9’da gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, karbonik film ısıtıcı üzerinde 10 mm yüksekliğinde kömür kurutması yapıldığı zaman 60’ncı dakikanın sonunda kömürde kalan nem miktarı %42.80 iken, 20 mm kömür yüksekliğinde kalan nem %47.35, 30 mm yükseklikte ise %49.30 bulunmuştur. Karbonik film üzerinde kurutulan kömürün yüksekliği arttıkça kömürün içinde kalan nem miktarı da artmaktadır. Başka bir deyişle, kömürden giderilen nem miktarı karbonik film üzerindeki kömür yüksekliği ile ters orantılıdır. Bu durum Şekil 10’dan açıkça görülmektedir. Sırasıyla, 10, 20 ve 30 mm olan kömür yüksekliklerinde kurutma yapıldığında, 60’ncı dakikanın sonunda giderilen nem miktarları sırasıyla %9.01, %4.46 ve %2.51 bulunmuştur.

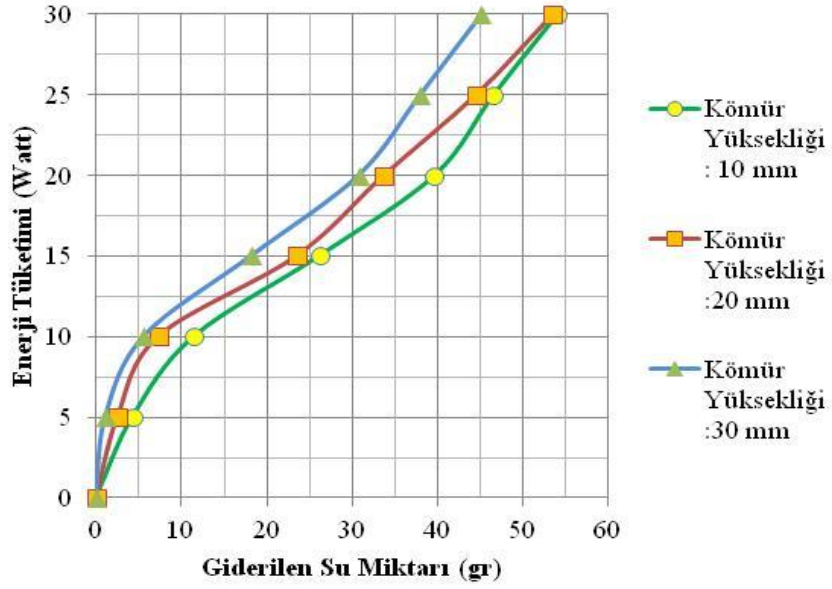


Şekil 9. Kurutma süresine bağlı olarak kömürde kalan nem miktarı

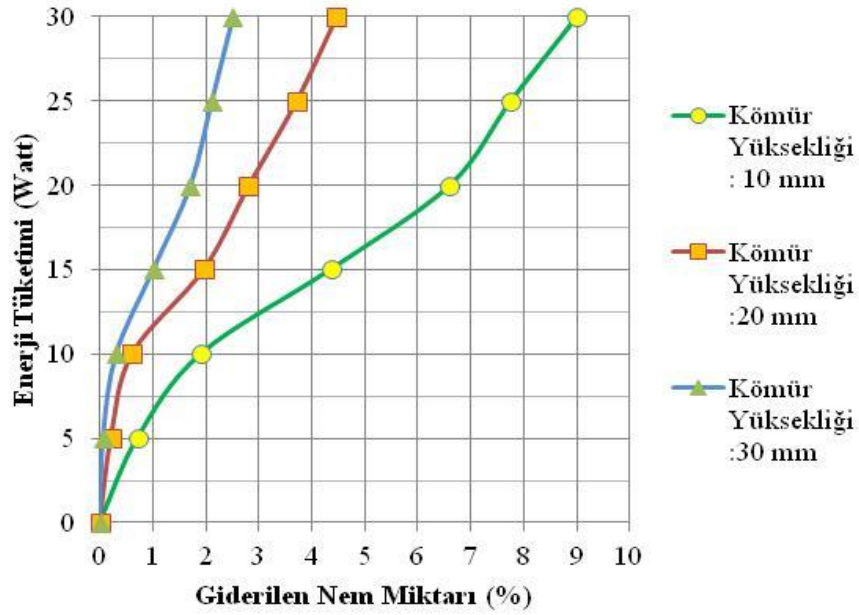
Karbonik film üzerinde kurutulan kömürün yüksekliği önemli bir işletim parametresidir. Öyle ki, yüksekliğin çok fazla olması durumunda kurutma verimi azalmakta ve daha fazla güç ile daha az miktarda su giderimi sağlanmaktadır. Şekil 11 incelendiği zaman, 20 Watt’lık bir enerji ile 10 mm yüksekliğindeki kömürden 39.66 gr su giderilmişken, kömür yüksekliği 30 mm’ye çıkarıldığında su giderimi 30.78 gr’a düşmüştür. Bu durumu destekleyen sonuçlar Şekil 12’de verilen nem giderimi-enerji tüketiminden de açıkça görülmektedir. 20 Watt’lık bir enerji ile; 30 mm yüksekliğindeki kömürden giderilen nem miktarı %1.71 iken, 10 mm yüksekliğindeki kömürden giderilen nem miktarı %6.61 bulunmuştur. Tabaka kalınlığıyla nem giderimi arasında ters bir orantı söz konusudur.



Şekil 10. Kurutma süresine bağlı olarak giderilen nem miktarı

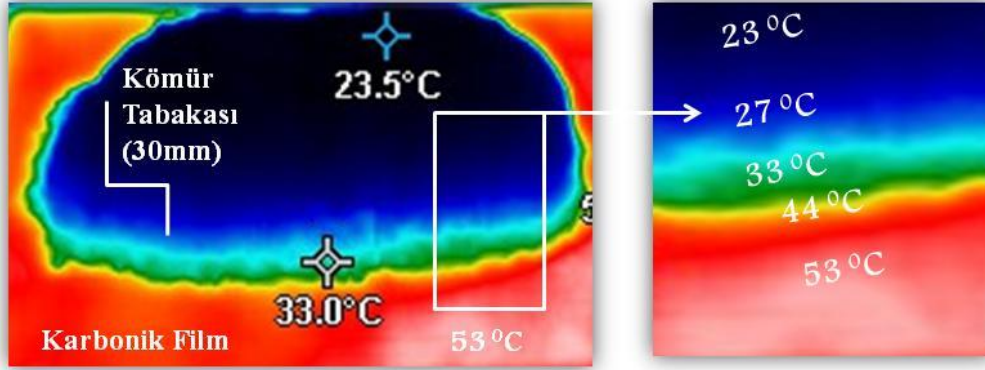


Şekil 11. Giderilen su miktarına bağlı olarak tüketilen enerji miktarları



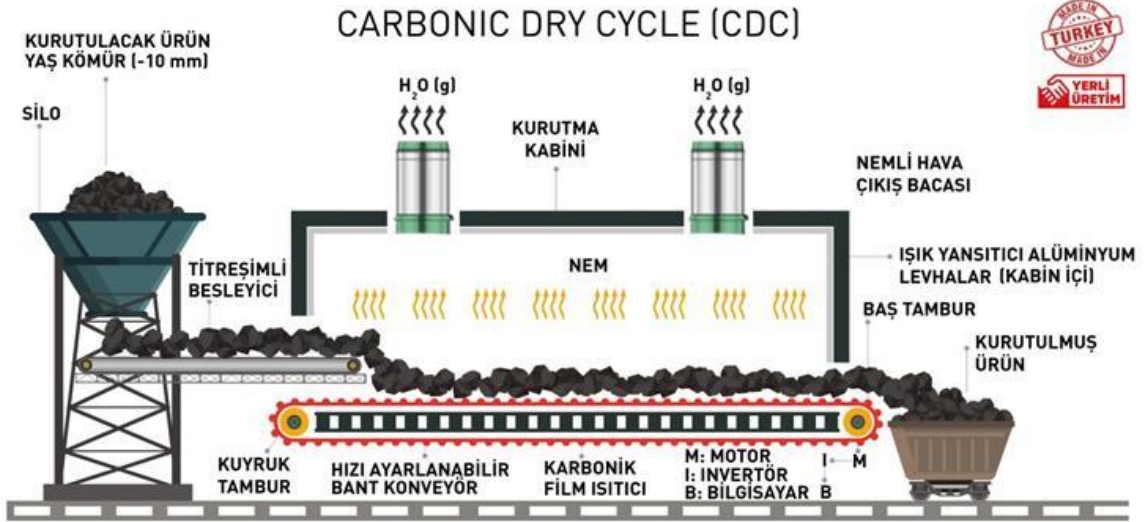
Şekil 12. Giderilen nem miktarına bağlı olarak tüketilen enerji miktarları

Şekil 13'de karbonik film teknolojisi ile kurutma işleminin termal kamera görüntüsü verilmiştir. Kurutulan kömür tabakası alt kısımdan ısınmaya başlamakta ve yukarıya doğru buhar çıkışı olmaktadır. Kömür tabaka kalınlığının artmasıyla üst kısımlar daha serin kalmakta ve üst kısımda kurutma verimi düşmektedir. Ayrıca nemli hava yukarıya doğru yükseldiği için üst kısımların nem içeriği de artmaktadır. Şekil 13'den görülebileceği gibi, 30 mm kömür yüksekliğinde en üst kısmın yüzey sıcaklığı 23.5°C 'ye kadar düşmüştür. Oysa, karbonik film yüzeyi 53°C ve kömür-film temas yüzeyinde (buharlaşmanın en yoğun olduğu yüzeyde) ölçülen sıcaklık değeri ise 33°C 'dir.



Şekil 13. Karbonik film üzerinde kurutulmuş kömürün termal kamera görüntüsü

Yukarıdaki veriler ışığında, karbonik film teknolojisi ile tasarlanması öngörülen kurutucu tipi Şekil 14’de gösterilmiştir. CDC yani "*Carbonic Dry Cycle*" olarak adlandırılan bu kurutucuda, çentikli bir bant konveyörün üzeri karbonik ısıtıcı film ile kaplanmakta ve bu film üzerinde hareket halindeki ince (<10 mm) kömür kurutulmaktadır. Isı kaybının minimize edilmesi ve kurutma sıcaklığının daha da artırılması için çentikli bant konveyör hattı boyunca bir kabinle kapatılmıştır. Yoğuşmanın önlenmesi için kabine yeterli sayıda nem atıcı fanlı bacalar eklenmiştir. Kurutulacak malzeme, hızı ayarlanabilen çentikli bant konveyör üzerinde yavaşça titreştirilerek ve bu esnada karışarak ilerlerken kurutma sağlanmaktadır. %100 Türk tasarımı olan bu kurutucunun en önemli avantajı hem nakliye hem de kurutmayı aynı anda temiz bir enerji kaynağı ile yani elektrik enerjisi ile yapabilmesidir. Bu tasarım, özellikle kömür ocağından termik santrallere bant konveyör ile taşınan kömürün taşınma esnasında kurutulması için tasarlanmıştır.



Şekil 14. Endüstriyel ölçekte tasarlanması öngörülen karbonik film ısıtıcı kurutucu (CDC)

5. Tartışma ve Sonuç

Linyit kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkın olması nedeni ile düşük sıcaklıklarda (<100 °C) kurutulması gerekmektedir. Düşük sıcaklık kurutmasının en önemli dezavantajı uzun kurutma sürelerine ihtiyaç duyulmasıdır. Ancak, kömürün tutuşma riskinin olmaması nedeni ile tercih edilebilecek bir yöntemdir. Bu çalışmada, karbonik film ısıtma teknolojisi ile linyit kömürü düşük sıcaklıkta kurutulmuştur. Karbonik film teknolojisinin tercih edilmesinin nedeni düşük enerji tüketimi ve düşük sıcaklık (<55 °C) üretmesidir.

Özel üretim karbonik filmlerin yüzey sıcaklıklarının 120 °C'ye kadar çıkabileceği belirtilmektedir. Ancak, standart olarak üretilen ve ısıtma amaçlı kullanımı yaygın olan karbonik filmlerin yüzey sıcaklıkları 50-55 °C'lik sıcaklıkla sınırlıdır. Bu çalışmada, standart RexVa marka bir karbonik film kullanılmış ve Akdeniz Bölgesinde faaliyet gösteren bir kömür işletmesinin linyit kömürleri kurutulmuştur. Söz konusu işletmeden üretilen kömürler mevsimsel yağışa bağlı olarak %45-55 aralığında nem içeriğine sahip olabilmektedir. Üretilen kömürler bir bant konveyör hattı ile termik santrale gönderilmekte ve -10 mm tane boyutuna kırılarak akışkan yataklı bir kazanda yakılarak elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu kazanda yakılabilecek kömürün nem içeriği maksimum %45 olmalıdır. Amaç, %45 nem içeriğine sahip kömürü elde edebilmektir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numunesinin nem içeriği %51.81 bulunmuştur. O halde, gerekli yakıtın eldesi için minimum %7'lik bir nem gideriminin sağlanması gerekir.

Söz konusu kömür numunesinin karbonik film ile 1 saat kurutulması durumunda, nem içeriği %9.01 azalmış ve nem değeri %42.80'e düşmüştür. 1 ton kömürden %9.01 nem giderimi için karbonik film teknolojisinin harcayacağı güç 50 kWh bulunmuştur. Ancak, bu değer teorik oranlama hesabıyla bulunduğu için gerçek uygulamada daha yüksek olabilir. Çünkü daha fazla suyun buharlaşması durumunda, kurutucu içerisinde daha büyük negatif buhar basınçları oluşturmaya ihtiyaç duyulacaktır.

Sanayi için elektrik birim fiyatının 0.41 TL/kWh olduğu kabul edilirse, 1 ton kömürün kurutulma maliyeti, karbonik film teknolojisi ile 20.5 TL bulunur. Bu rakamlar, karbonik filmin üzerinde 10 mm yüksekliğinde kömür kurutulduğu zaman geçerlidir. Kömür yüksekliği arttırıldığında, kurutma verimi düşmekte ve kurutma maliyeti de artmaktadır.

Karbonik filmle kurutma teknolojisinde, film üzerine konulan kömürün yüksekliği önemli bir işletim parametresidir ve bu çalışmanın bir sonucu olarak bu yüksekliğin 10 mm'den daha büyük olmaması önerilir.

Deneysel çalışmalar göstermiştir ki, karbonik filmin 0.1 m²'sinde 600 gr kömür etkin olarak kurutulabildiğine göre, 1 m²'lik karbonik filmde 6 kg kömür kurutulabilir. 1 ton kömürün kurutulması için gerekli olan karbonik film alanı ise 166.66 m²'dir. Karbonik filmin 1 m²'si güncel fiyatlarla 3 USD'dir. Dolayısıyla sadece bu filmin maliyeti beher tor kömürün kurutulması için 3 USD x166.66=499.98 USD'dir. Ancak bu fiyat; sadece klasik karbonik filmin (düşük sağlamlık ve düşük ısı üreten) maliyetidir. Kömür kurutma için kullanılacak olan karbonik filmin daha yüksek ısı üretmesi ve yüzeyinin de daha sağlam olması beklenir. Çünkü, endüstriyel kurutularda daha yüksek aşınmalar meydana gelecek ve daha yüksek sıcaklıklara (75-100 °C) ihtiyaç duyulacaktır. Dolayısıyla özel tip film maliyetinin de en az %25 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Henüz böyle bir uygulama olmadığı için tam maliyet analizi yapılamamıştır.

Karbonik filmin en önemli dezavantajı muntazam kurutma yapamamasıdır. Karbonik film, sıcak yüzeyi ile temas sonucunda kurutma yapmaktadır. Dolayısıyla kömürün alt kısımları, üst kısımlarına göre daha nemli kalmaktadır. Bu durum özellikle yüksek tabaka kalınlıklarında daha da belirgin hale gelmektedir. Dolayısıyla, kurutma sonucu elde edilecek ürünün alt-üst edilerek karıştırılması gerekir, ya da kurutucu bünyesine alt-üst etme mekanizması ilave edilebilir. Bu sorun hafif titreşim ve çentikli bant konveyör kullanımı ile kısmen çözülebilmektedir. Aksi durumda üst kısımların nem içeriği, alttaki kömüre göre daha yüksek olacaktır.

Karbonik film teknolojisi, mevcut ısı üretme kapasitesi ve yapısal dayanıklılığı ile henüz kömür sektörünün kurutma ihtiyacını karşılayabilecek gibi gözükmemektedir. Ancak; filmin yüzey sıcaklığı ve yüzey dayanıklılığı arttırılırsa, tasarlanacak olan yeni tip karbonik filmlerle kurutucularla oldukça ekonomik bir kurutma yapılabilir. Bu çalışmada, karbonik filmlerin bir kurutucu olarak nasıl kullanılabileceği gösterilmiş, işletimi ve kullanımı kolay olan ekonomik yeni bir kurutucu tasarımı sunulmuştur.

Teşekkür

Bu çalışmayı, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi desteklemiştir. Proje numarası 33221.

Kaynaklar

- [1] Karthikeyan M, Zhonghua W, Mujumdar, AS. Low-Rank Coal Drying Technologies—Current Status and New Developments, *Drying Technology* 2009; 27: 403–415.
- [2] Yuan L, Smith AC. The Effect of Ventilation on Spontaneous Heating of Coal, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 2012; 25: 131-137.
- [3] Li Z, Zhang, Y, Jiang X, Zhang Y, Chang, L. Insight into the Intrinsic Reaction of Brown Coal Oxidation at Low Temperature: Differential Scanning Calorimetry Study, *Fuel Processing Technology* 2016; 147: 64–70.
- [4] Qi G, Wang D, Zheng K, Xu J, Qi X, Zhong X. Kinetics characteristics of Coal Low-temperature

- Oxidation in Oxygen-depleted Air, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 2015; 35: 224-231.
- [5] Kowalski S.J, Rajewska K. Convective Drying Enhanced with Microwave and Infrared Radiation, *Drying Technology* 2009; 27 (7-8): 878-887.
- [6] Riadh M.H, Ahmad S.A.B, Marhaban M.H, Soh A.C. Infrared Heating in Food Drying: An Overview, *Drying Technology* 2015; 33 (3): 322-335.
- [7] Delele M.A., Weiglera, F, Mellmann J. Advances in the application of a rotary dryer for drying of agricultural products: A Review, *Drying Technology* 2015; 33(5): 541-558.
- [8] Hacifazlioglu H. Madencilik Endüstrisinde Kurutma İşlemi ve Alternatif Kurutucu Tiplerinin Tanıtılması, *MT Bilimsel Yeraltı Kaynakları Dergisi*, 2019; 1-20.
- [9] Hacifazlioglu H. Production of Merchantable Coal from Low Rank Lignite Coal by Using FGX and Subsequent IR Drying, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 2019; 38: 1-8.
- [10] Jangam S.V, Majumdar A.S. Coal Dehydration, *A Compilation of Relevant Publications and Technical Reports* 2010; 77.
- [11] Tahmasebi A, Yu J, Li X, Meesri C. Experimental study on microwave drying of Chinese and Indonesian low-rank coals, *Fuel Processing Technology* 2011; 92:1821-1829.
- [12] Yüce İ. Uzak Kızılötesi Işın Yayan Kumaş ve İplikler, *Trakya University Journal of Engineering Sciences* 2017; 18(2): 145-151.
- [13] Anon, <http://www.rexva.co.kr/eng/carbon-film-underfloor-heating.php?ckattempt=1>, 2020.