

Makale Gönderim Tarihi: 02.09.2018
Yayına Kabul Tarihi: 18.09.2018

Ham Manyezit Kekinin Farklı Fırınlarda Kurutulması ve Fırın Performanslarının Etüdü

Raw Magnesite Cake Drying in Different Ovens and Investigation of Oven Performances

Hasan Hacıfazlıoğlu *, Yeşim Konuk

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Maden Müh. Bölümü, Avcılar, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar: hasanh@istanbul.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, yüksek nem içerikli (%46) ve çok ince boyutlu (-38 μ m) ham manyezit numuneleri farklı tipteki fırınlarda kurutulmuş ve bu fırınların kurutma performansları ayrı ayrı ortaya konmuştur. Ayrıca, ürünlerin kalsinasyona uğrayıp-uğramadıklarının tespiti amacıyla yüzey sıcaklıkları bir infrared sıcaklık ölçerle ölçülmüştür. Kurutma deneylerinde, klasik elektrikli (rezistanslı) fırın, kısa dalga kızılötesi ışınli halojen fırın ve mikrodalga fırın kullanılmış ve farklı kurutma sürelerinde (4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32 ve 36 dk) deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre en hızlı kurutma yapan fırınlar sırasıyla, mikrodalga, halojen ve elektrikli fırındır. Belli bir nem giderim değeri için en fazla güç tüketen fırın ise klasik elektrikli fırındır. Halojen fırından elde edilen kuru ürünlerin yüzey sıcaklıkları ise diğer fırınlardan elde edilen ürün sıcaklıklarına göre daha yüksek bulunmuştur. En düşük ürün yüzey sıcaklık değerleri ise seçimli ısıtma yapması nedeniyle mikrodalga fırından elde edilmiştir.

Anahtar kelime: Manyezit, mikrodalga kurutma, kızılötesi kurutma, klasik kurutma, halojen kurutma

Abstract

In this study, raw magnesite samples with high moisture contents (46%) and very fine sized (-38 μ m) were dried in different types of ovens and the drying performances of these ovens were determined separately. In addition, surface temperatures are measured with an infrared temperature gauge to determine if the products have undergone calcination. In the drying experiments, a conventional electric (with resistance) oven, a short-wave infrared beam halogen oven and a microwave oven were used and experiments were carried out at different drying times (4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32 and 36 min.). According to the test results, the fastest drying ovens are microwave, halogen and electric furnace respectively. The classical electric oven is the most power-consuming oven for a certain moisture removal value. The surface temperatures of the dry products obtained from the halogen furnace were found to be higher than the product temperatures obtained from other furnaces. The lowest product surface temperature values were obtained from the microwave oven due to the selective heating.

Keywords: Magnesite, microwave drying, infrared drying, conventional drying, halogen drying

1. GİRİŞ

Manyezit, kimyasal formülü $MgCO_3$ olan, teorik olarak %52.3 CO_2 ve %47.7 MgO içeren endüstriyel bir mineraldir. Sertliği 3.4-4.5, özgül ağırlığı 2.9-3.1, rengi beyaz, sarı, gri ve kahverengi arasında değişmektedir. İyi kaliteli manyezitte düşük porozite, yüksek refrakter özellik, yüksek mukavemet, hacimde stabilite ve kimyasal dayanıklılık aranmaktadır (Yıldız, 2014). Ham manyezitler; kozmetik, ısı yalıtımı, cam, seramik, lastik, boya ve gübre sanayisinde kullanılabilir. Ancak genellikle ısı ve kimyasal işleme tabi tutulup, “kostik kalsine”, “sinter” veya “ergitilmiş (fused)” manyezite dönüştürülüp kullanılmaktadır.

Manyezit minerali de dahil olmak üzere, maden ürünlerindeki nem miktarı, başta ürünlerin talebi ve satış fiyatı olmak üzere bu ürünlerin taşınmasını, depolanmasını ve akıcılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Çok ince taneli yığın malzemeler %10'dan daha fazla nem içeriyorsa, titreşim etkisi ile çok daha akıcı hale gelebilmekte ve stoklardan akarak kaybolabilmektedir. Yine gemi taşımacılığında yüksek nem oranı, yığın malzemenin sağa sola kaymasına neden olmakta ve taşımacılığı tehlikeli hale sokabilmektedir. Taneli malzemelerde genellikle %4 ile %8 arasındaki nem ideal olup, bu nem içeriklerinde malzeme daha homojen halde kalmaktadır. Daha düşük nem içeriklerinde tozuma gibi çevre problemleri ve toz malzeme kayıpları meydana gelmekte, daha yüksek nemlerde ise yukarıda sayılan problemler oluşmaktadır (İpekoğlu ve Polat, 2014).

Yukarıda anılan nedenlerden ötürü maden ürünlerinin belli bir nem değerinde tutulması gerekir. Mevcut durumda, yığın malzemelerdeki nem temelde iki yöntemle giderilebilir. Bunlardan ilki “susuzlandırma” ikincisi ise “kurutma” yöntemidir. Susuzlandırma mekanik bir işlem olup, santrifuj ve filtre gibi cihazlarla yapılmakta ve nem giderimi yüzey nemi ile sınırlı kalmaktadır. Oysa, kurutma yönteminde termal bir işlem vardır ve bu işlemle malzemenin bünye nemi dahil hemen hemen %100'e kadar nem giderimi sağlanabilmektedir. Endüstriyel tesislerde çok ince boyutlu manyezitlerin susuzlandırılması filtrelerle yapılmakta ve ortalama %40-50 nem içeren ürünlere dönüşmektedir. Daha düşük nem değerleri için döner kurutucular ya da akışkan yataklı kurutucular kullanılmaktadır. Konvansiyonel kurutma işleminin gerçekleştirilebilmesi için kurutulacak malzemeye ısı transferi yapılır. Bu ısı malzemenin içerisindeki suyu buharlaştırarak malzemenin kurummasını sağlar. Termodinamik kanunlarına göre, ısı transferinin yönü yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğrudur ve bu ısı transferi, kondüksiyon (iletim), konveksiyon (taşıma) ve radyasyon (ışınım) yoluyla yapılabilir. Klasik endüstriyel kurutucularda kondüksiyon ve konveksiyonla ısı transferi gerçekleşirken, son yıllarda özellikle düşük enerji tüketimleri nedeniyle mikrodalga, kızılötesi ışın, radyo dalgası gibi radyasyon yoluyla kurutma çalışmalarına da ağırlık verilmiştir (Kowalski ve Rajewska 2009; Aktaş vd., 2013; Riadh, 2015; Hacifazlıoğlu, 2017). Isının radyasyon yolu ile transferinde maddesel bir ortama ihtiyaç duyulmaz. Birbirini gören yüzeyler arasında sıcaklık farkı olduğu sürece radyasyonla ısı aktarımı mümkündür. Örneğin güneş ışınları uzay boşluğunu geçip dünyamızı ısıtırlar veya evlerde kullanılan kızılötesi (infrared) ısıtıcılar nesnelere bu şekilde ısıtır. Radyasyonla ısıtma, ultraviyole, radyo dalgaları, mikrodalga ve kızılötesi ışınım yoluyla gerçekleştirilebilir. Kızılötesi ışınım etraflarındaki havayı ısıtmadan sadece ışık geçirmeyen cisimleri ısıtmaktadır. Kızılötesi ısıtma sanayide boya kurutma, plastik üretimi, tavlama, plastik kaynaklama ve meyve kurutma gibi alanlarda da popüler olmaya başlamıştır. Bu tip uygulamalarda kızılötesi ısıtma yavaş yavaş geleneksel fırın ve ısıtma elemanlarının yerini almaktadır. Malzemenin karakteristiğine uygun kızılötesi frekans seçimi enerji verimliliğini de arttırmaktadır. Temelde 3 tip kızıl ötesi ışın vardır. Bunlar, kısa, uzun ve orta dalga kızılötesi ışınlardır. Aralarındaki temel fark radyasyonun işleme derinliğidir. Uzun dalgalar malzemenin sadece yüzeyini ısıtırken, kısa dalgalar malze-

menin içine kadar işler. Orta dalga kızılötesi ışınlar ise uzun ve kısa dalgaların işleyebildiği derinliğin ortalaması kadar bir derinliğe işleyebilir (Şekil 1). Kurutmada en avantajlı olan kısa dalga kızılötesi ışın olup, hızlı ve ekonomik kurutma yeteneğiyle bilinir (Kowalski ve Rajewsk, 2009; Riadh, 2017).



Şekil 1. Kızılötesi ışınların işleyebilme derinliği

Halojen kurutucular, bir çeşit kızılötesi kurutucular olup, kısa elektromanyetik dalga yaymaktadır. Isıtmayı sağlayan halojen lamba içerisinde, periyodik tablonun 7A grubunda bulunan ksenon, argon ve kripton gibi halojen gazlar bulunur. Halojen lamba yüksek verimli olup, tükettiği elektrik enerjisinin %90'ını kızılötesi ısıtmaya dönüştürür. Lamba içerisinde bulunan gaz ısı etkisi ile uyarılarak ışınması sağlanır. Halojen fırındaki kısa kızılötesi dalgaların havadaki kayıpları daha az olduğu için malzemeleri yüksek oranda ısıtabilmekte ve özellikle gıda maddelerinin pişirilmesi gibi amaçlar için kullanılmaktadır.

Endüstriyel hammaddelerin kurutulmasında, mikrodalga, halojen ve konvansiyonel elektrikli fırınlar çok fazla tercih edilmemekte ve bu fırınlar genellikle küçük kapasitelerde, daha çok gıda sektöründe meyve ve sebzelerin kurutulması için kullanılmaktadır. Mikrodalgaların insan sağlığı üzerine olumsuz etkisi ve madencilik sektöründeki yüksek tonajları karşılayamaması nedeni ile kullanımı kısıtlanmaktadır. Bu durumda, insan sağlığına zararlı etkisi daha az olan ve kapasiteleri kolaylıkla arttırılabilen halojen fırınlar madencilik sektörü için ümit vaat etmektedir. Halojen fırınlarda ısıtma bir çeşit elektromanyetik dalga olan kızılötesi yapılırken, konvansiyonel elektrikli fırınlarda rezistans önce havayı ısıtmakta ve daha sonra sıcak havanın cisimle teması sonucu cisim ısınmaktadır.

Bu çalışmada, en yüksek güç seviyesi 1000 Watt olan kızılötesi ışınımlı bir halojen fırın, konvansiyonel elektrikli fırın (rezistans ısıtmalı) ve güç seviyesi maksimum 700 Watt olan bir mikrodalga fırın kullanılmış ve bu fırında filtre keki ham manyezitler ayrı ayrı kurutulmuştur. Her üç fırının kurutma performansları; kurutma hızı, güç tüketimi ve yüzey sıcaklığı parametreleri ile ayrı ayrı tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Kurutma deneylerinde kullanılan “filtre keki ham manyezitler ($MgCO_3$)” Ege bölgesinde faaliyet gösteren bir manyezit işletmesinden temin edilmiştir. Yaş yöntemlerle zenginleştirilen manyezit minerali, son aşamada tikinerlere koyulaştırma amacıyla gönderilmekte ve oradan da filtrelere

beslenerek %46 nemli ürünler şeklinde kazanılmaktadır. Bu nem değerindeki ham manyezitin satışı mümkün olmadığı için, nem değerinin %5'lerin altına kadar indirilmesi gerekmektedir. %5 ve altındaki nem değerlerine ulaşmanın tek yolu termal işlem, yani kurutmadır. Ancak, ham manyezit 200 0C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kalsine olmaya başladığı için kurutma işlemi de kontrollü sıcaklıklarda yapılmalıdır. Bu bağlamda deneysel çalışmalarda kurutma sıcaklıkları 100, 150 ve 200 0C olarak belirlenmiş ve her kurutma işleminden sonra ürünlerin yüzey sıcaklıkları TFA marka infrared termometre ile ölçülmüştür. Numuneye uygulanan yaş elek analizi sonucunda, numunenin tamamının 38 mikronluk eleğin altına geçtiği görülmüştür. Kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Kurutma deneyleri 3 farklı ısıtma prensibi ile çalışan fırınlarda yapılmıştır. Her bir fırının maksimum gücü 1000 Watt ile sınırlıdır. Fırınlardan ilki konvansiyonel ısıtmalı rezistanslı elektrikli fırındır. İkinci fırın kızılötesi (infrared) ışın ile ısıtma yapan halojen fırın, üçüncüsü ise mikrodalga enerjisi ile ısıtma yapan mikrodalga fırındır. Bu fırınlarda, 250 gr'lık ham manyezit numuneleri 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32 ve 36 dk kurutulduktan sonra tek tek tartılmış ve nem giderim değerleri hesaplanmıştır. Nem giderim değerleri (R_m ; %) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır. Bu eşitlikte, M_f beslenen manyezitin nemi, M_d herhangi bir t zamanında kurutulmuş olan manyezitin nemidir.

$$R_m(\%) = \frac{[M_f - M_d]}{M_f} * 100 \quad (1)$$

Tablo 1. Manyezit keki kimyasal analizi

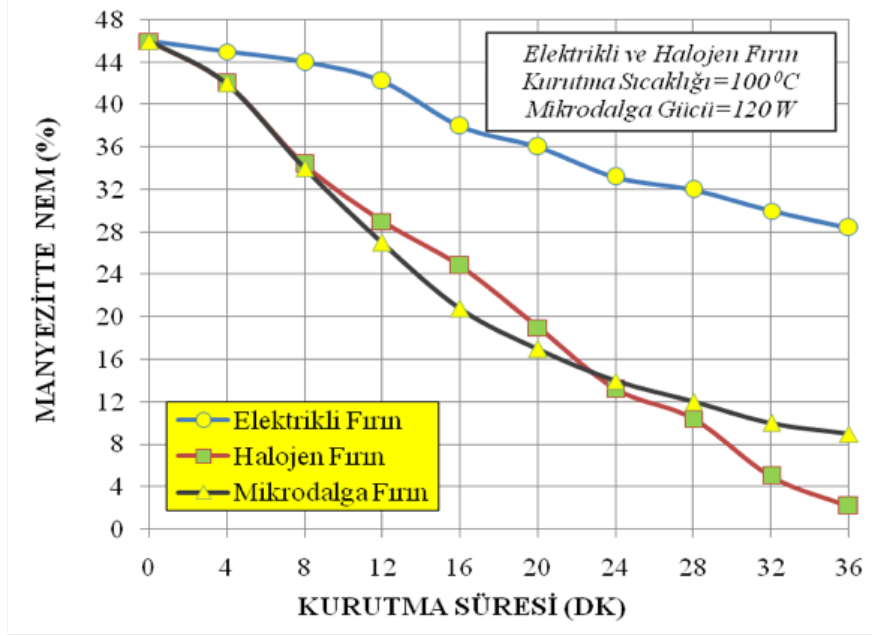
Analiz	İçerik
MgO	%52.0
SiO ₂	%2.3
Fe ₂ O ₃	%0.5
CaO	%1.5
Al ₂ O ₃	%0.2
Ateş Kaybı	%43.5

Fırın sıcaklıkları 100, 150 ve 200 0C olacak şekilde 3 farklı sıcaklık değerinde 250 gr'lık ham manyezit numuneleri ile kurutma deneyleri yapılmıştır. Mikrodalga fırında ise kurutma deneyleri 120, 400 ve 700 Watt güçlerde seçilmiştir. Elektrikli fırındaki rezistans ve halojen fırındaki lamba ile kurutulan ham manyezit arasındaki mesafe 10 cm olarak ayarlanmıştır. Daha yakın mesafelerde manyezit yüzeyinin hızlı ısınması nedeni ile kalsinasyon meydana gelmekte, daha uzak mesafelerde ise kurutma hızı düşmektedir. Son aşamada her üç fırın tipinin kurutma işlemi için harcadığı enerjiler karşılaştırılmıştır. Enerji tüketimlerinin ölçümünde REV marka enerji ölçer kullanılmıştır.

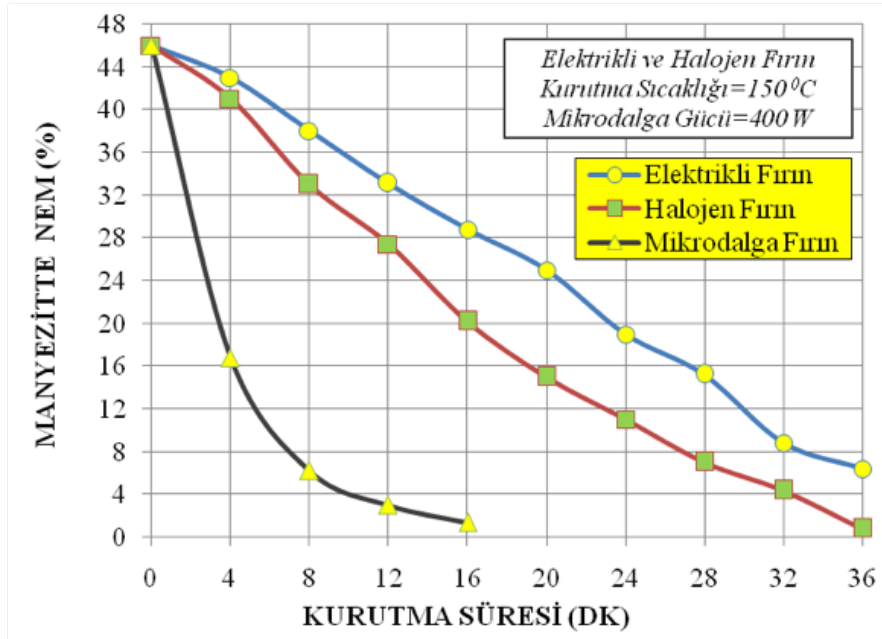
2.1 Elektrikli, Halojen ve Mikrodalga Fırında Kurutma Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Elektrikli ve halojen fırında; 100, 150 ve 200 0C'de ve mikrodalga fırında sırasıyla 120, 400 ve 700 Watt'ta yapılan kurutma deneylerinin sonucunda elde edilen ürünlerin kurutma süresine bağlı olarak nem içerik değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 2, 3 ve 4'de gösterilmiştir. Buna göre en kısa sürede kurutma yapan fırın sırasıyla mikrodalga, halojen ve elektrikli fırındır.

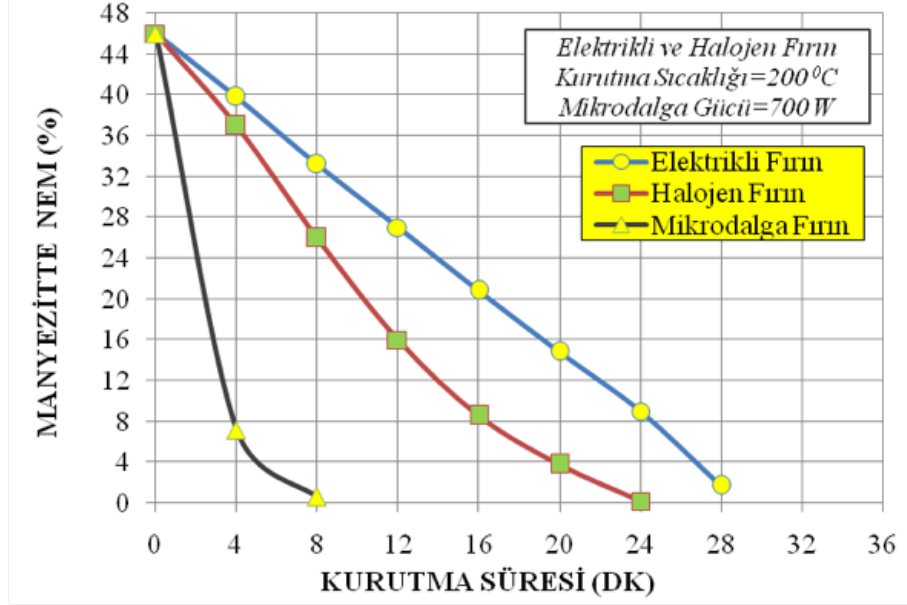
Elektrikli ve Halojen fırın için 200 0C'lik fırın sıcaklığında ve 700 Watt mikrodalga fırın gücünde kurutulan manyezitin neminin hemen hemen tamamı 8.dk'da mikrodalga fırında giderilmişken, 24'üncü dk'da halojen fırında ve 28'in üstündeki dakikalarda ise elektrikli fırında giderilmiştir. 100 0C'lik halojen fırında ve 120 Watt mikrodalga gücünde yapılan kurutma işleminde ise kurutma süreleri yaklaşık olarak benzer bulunmuştur. Her iki fırının kurutma hızı ise 100 0C'lik elektrikli fırına göre daha yüksektir.



Şekil 2. Elektrikli, halojen (100 0C) ve mikrodalga fırında (120 Watt) kurutma sonucu ürün nem içerikleri



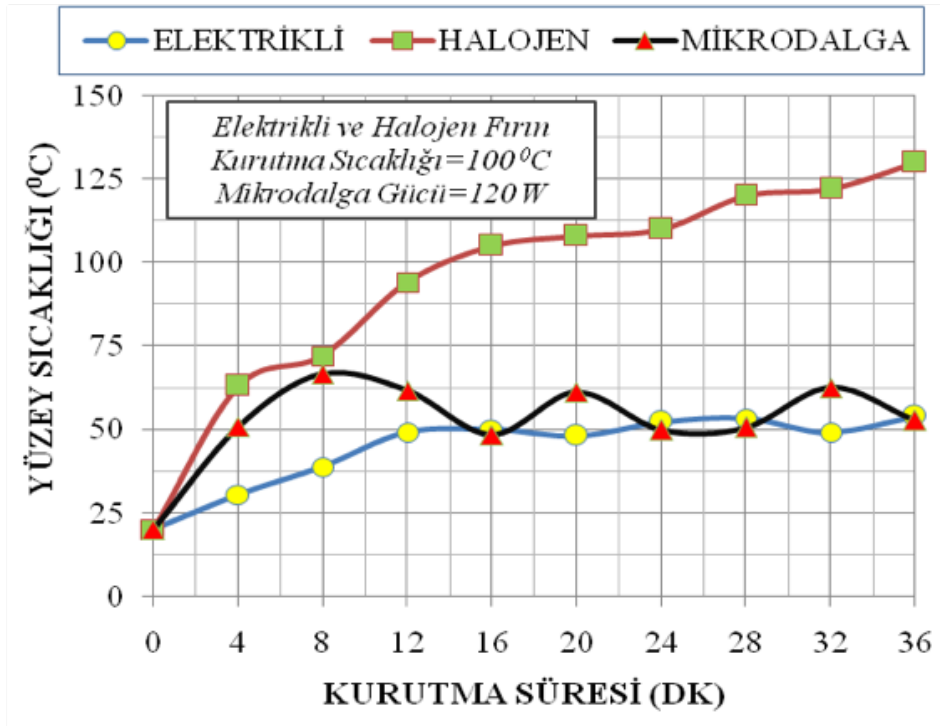
Şekil 3. Elektrikli, halojen (150 0C) ve mikrodalga fırında (400 Watt) kurutma sonucu ürün nem içerikleri



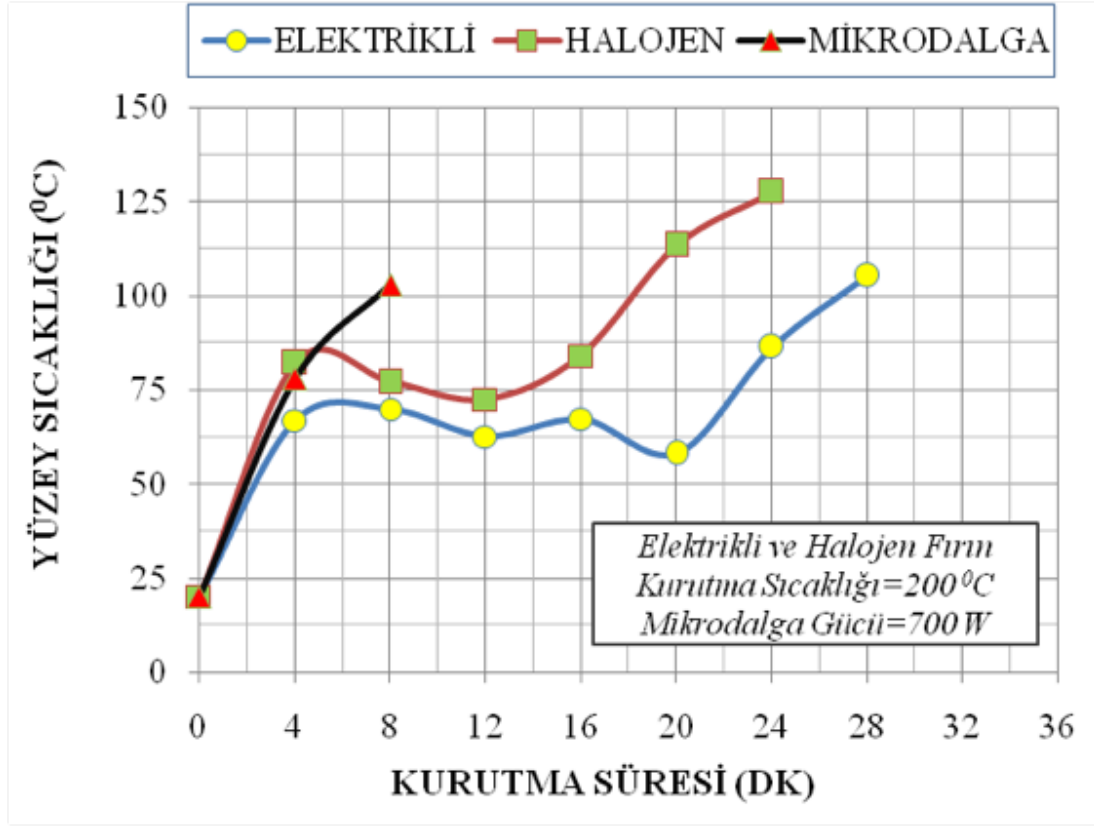
Şekil 4. Elektrikli, halojen (200 °C) ve mikrodalga fırında (700 Watt) kurutma sonucu ürün nem içerikleri

2.2 Kurutulmuş Manyezitlerin Yüzey Sıcaklıklarının Karşılaştırılması

Elektrikli, halojen ve mikrodalga fırında farklı sürelerde kurutulan ham manyezitlerin yüzey sıcaklıkları karşılaştırmalı olarak Şekil 5, 6 ve 7’de verilmiştir. Yüzey sıcaklığının belli bir değerin altında olması manyezitin kalsinasyonunu önlemek açısından büyük önem arz etmektedir. Bu sıcaklık değeri < 200 °C’dir. 200 °C’den yüksek sıcaklıklara maruz kalan kuru manyezitten CO₂ çıkışı meydana gelmekte ve zamanla ağırlık kaybı yaşanmaktadır.

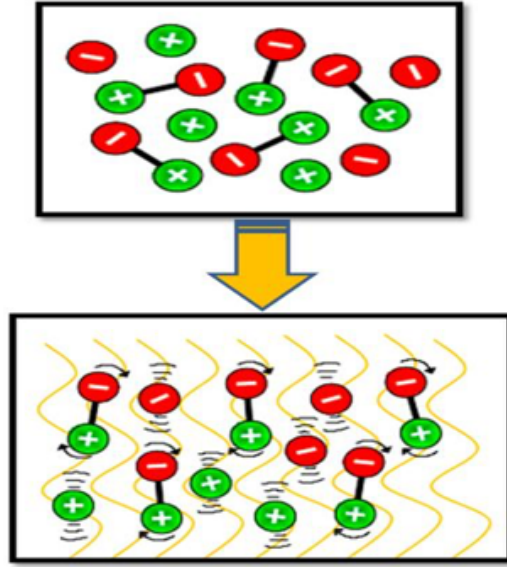


Şekil 5. Manyezitin yüzey sıcaklıkları (Elektrikli ve Halojen fırın için sıcaklık 100 0C ve 120 Watt mikrodalga gücü)



Şekil 6. Manyezitin yüzey sıcaklıkları (Elektrikli ve Halojen fırın için sıcaklık 150 0C ve 400 Watt mikrodalga gücü)

Şekil 5, 6 ve 7'den de görülebileceği gibi, halojen fırından elde edilen kurutulmuş ürünlerin yüzey sıcaklıkları diğer fırınlardan elde edilen ürünlerinkine göre daha yüksektir. Bu bakımdan halojen fırında kurtulan manyezitin elektrikli ve mikrodalga fırına göre daha kısa sürede kalsine olma ihtimali (özellikle ürünün yüzeyinde) bulunmaktadır. Öyle ki, 100°C'lik kurutma işleminde, 36 dk'nın sonunda ürün sıcaklığı halojen fırında 125 °C'nin üstüne çıkmıştır. Elektrikli ve mikrodalga fırında ise aynı süre sonunda ürün sıcaklığı 50 °C civarında kalmıştır. Nem giderim yüzdeleri de dikkate alındığında, genel olarak benzer nem giderim değerleri için ürün sıcaklığı en düşük olan kurutucu tipi mikrodalga fırındır. Öyle ki, Şekil 8'e göre; nemin tamamına yakının giderildiği durumda (mikrodalga, halojen ve elektrikli fırın için sırasıyla 8, 24 ve 28 dk'lık kurutma süresi sonunda), mikrodalga ürünün yüzey sıcaklığı 102.80, halojen fırınının 127.40, elektrikli fırının ise 105.10 bulunmuştur. Bunun muhtemel nedeni, mikrodalga enerjisinin özellikle su moleküllerini hedef alması ve malzemeden ziyade sadece su moleküllerini ısıtmış olmasıdır. Isınan ve buharlaşan su molekülleri daha sonra manyezit minerallerini az da olsa ısıtmıştır. Mikrodalga enerjisinin su moleküllerini titreştirerek ve döndürerek ısıtma mekanizması Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu mekanizmaya göre, mikrodalga ortamındaki polar su moleküllerinde ve sudaki iyonlarda önce dielektrik kayıplar (enerji kaybı) meydana gelmekte ve bu kayıplar daha sonra termal enerjiye dönüşerek suyun ısınmasını sağlamaktadır (Meda vd., 2017).

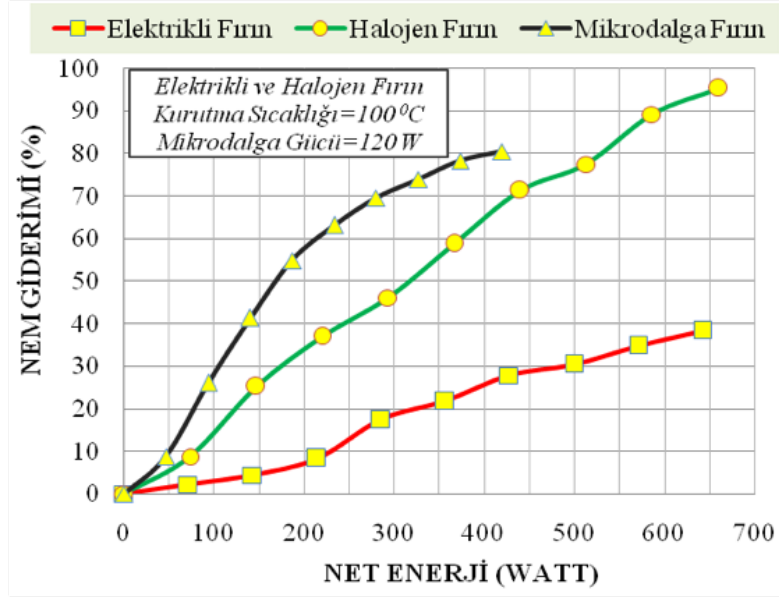


Şekil 8. Su molekülleri ve iyonlar; a) mikrodalgasız ortamda b) mikrodalgalı ortamda

2.3 Kurutma İşleminde Harcanan Enerjilerin Karşılaştırılması

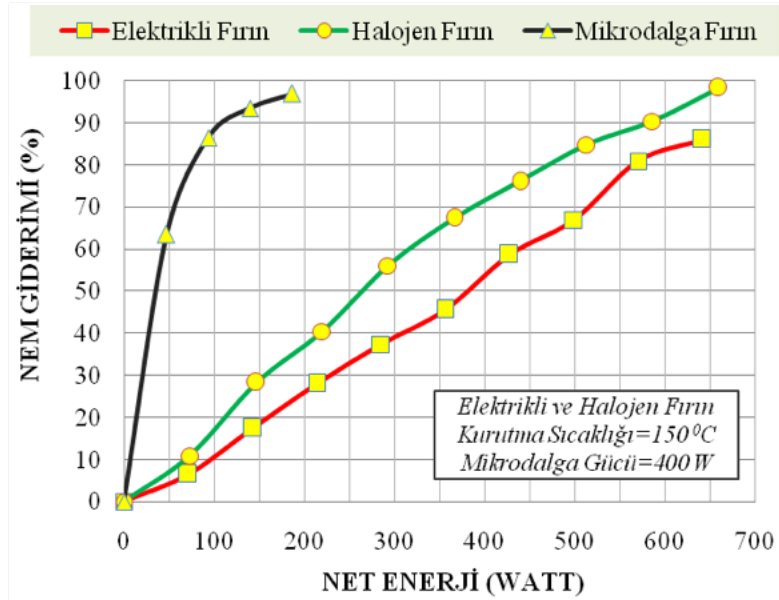
Elektrikli, halojen ve mikrodalga fırında nem giderimi için harcanan enerjinin tespiti amacıyla bir dizi deney yürütülmüştür. Enerji ölçümleri için, her bir fırının fişine ve aynı anda prize monte edilebilen REV marka bir enerji ölçer kullanılmıştır. Farklı kurutma süreleri için fırınların enerji tüketim değerleri hesaplanarak Şekil 9, 10 ve 11’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu sonuçlara göre, manyezitin kurutulmasında en az enerji harcayan fırın tipi mikrodalga fırındır. Halojen fırın tipi de elektrikli fırına göre daha az güç harcamıştır. Şekil 11’e göre, manyezitin neminin tamamının giderilmesi için mikrodalga fırında harcanması gereken net enerji miktarı 100 Watt iken, halojen fırında 450 Watt, elektrikli fırında ise 500 Watt’tır. Şekil 12’de, elektrikli, halojen ve mikrodalga fırında kurutulan manyezit numunelerinin fırın çıkışı görüntüleri gösterilmiştir. Bu ürünlerden de görülebileceği gibi, bazı numuneler mikro ve makro çatlaklı yapıda bazıları ise çatlamadan kalmıştır. Özellikle mikrodalga enerjisinin, içten dışa doğru ısıtma yapması neticesinde iç su buhar basıncı manyezit numunelerinin çatlamasına neden olmuştur. Mikrodalga enerjisi dış yüzeyi ısıtmadan direk malzeme içerisindeki su moleküllerini hedef almakta ve onları titreştirerek önce ısınmasını daha sonra buharlaşarak numuneden uzaklaşmasını sağlamaktadır. Bu durum mikrodalga enerjili kurutmada ürünün çatlaklı yapıda olmasına neden olmaktadır. Literatürdeki pek çok çalışmada, mikrodalga enerjisi malzemeleri çatlatmak için kullanılmakta ve öğütme aşamasında malzemelerin daha kolay ufalanmasını sağlayarak enerji tüketiminin azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Sahoo ve Meikap, 2011; Samanlı, 2011; Hacıfazlıoğlu, 2017).

Konvansiyonel elektrikli fırından alınan ürünlerde mikro ve makro çatlaklar gözlemlenmemiştir. Bu kurutma sisteminde, önce hava ısınmakta ve ardından hava ile temas eden numune yüzeyi yavaş yavaş ısınmaya başlamaktadır. Daha sonra termodinamiğin ikinci yasası gereğince ısı numunenin içine doğru yavaş yavaş ilerlemektedir. Bu sayede düzenli bir ısıtma sağlanmakta ve yüzeyde çatlaklar meydana gelmemektedir.

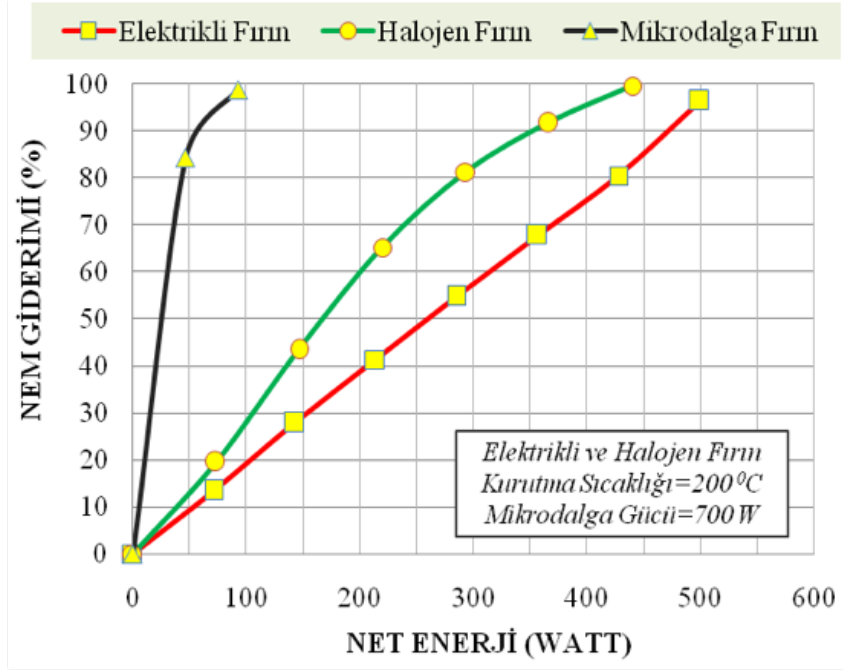


Şekil 9. Elektrikli, halojen ve mikrodalga fırında nem giderim yüzdesine bağlı olarak net enerji tüketimleri (Mikrodalga gücü 120Watt, Elektrikli ve Halojen fırın için sıcaklık 100 °C)

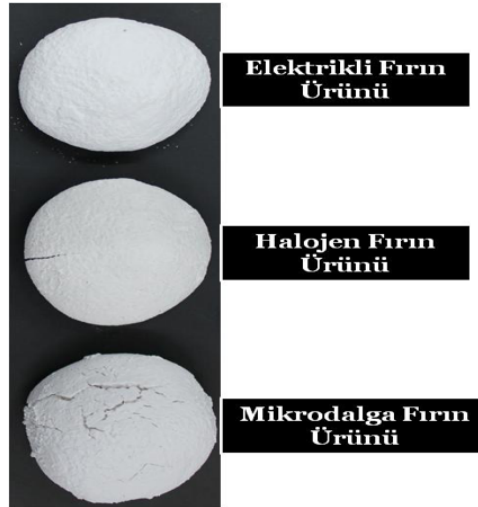
Halojen fırında kızılötesi ışınlar önce numune yüzeyine çarpmakta ve yüzeyi hızla ısıtmaktadır. Isınan yüzeyle birlikte su molekülleri de ısınmakta ve buharlaşarak malzemeyi terk etmektedir. Hızlı yüzey ısınması yüzeyi çatlatabilmektedir. Ayrıca ışınların bir bölümü malzeme içerisine işlemekte, bir bölümü ise yansımaktadır. Dolayısıyla, halojen fırında hem dıştan hem de içten ısıtma söz konusudur. Bu durum iç ve dış buhar basınçlarında bir denge oluşturmakta ve numunede çatlama mikrodalga enerjisine göre daha az görülmektedir.



Şekil 10. Elektrikli, halojen ve mikrodalga fırında nem giderim yüzdesine bağlı olarak net enerji tüketimleri (Mikrodalga gücü 400Watt, Elektrikli ve Halojen fırın için sıcaklık 150 °C)



Şekil 11. Elektrikli, halojen ve mikrodalga fırında nem giderim yüzdesine bağlı olarak net enerji tüketimleri (Mikrodalga gücü 700 Watt, Elektrikli ve Halojen fırın için sıcaklık 200 °C)



Şekil 12. Farklı fırınlarda kurutulmuş olan manyezitlerin fırın çıkışı görüntüleri

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ham manyezitlerin piyasada kendine yer bulabilmesi için belli bir nem değerinde olması gerekir. Bu nem değeri genellikle %5'in altındadır. Ancak bazı kullanım alanlarında ham manyezitlerdeki nem içeriğinin %1'den de düşük olması istenmektedir. Yıkama tesislerinden çıkan ham manyezitlerin nemi tane boyutuna bağlı olarak %20 ile %50 oranlarında nem içerebilmektedir. Manyezitlerin tane boyutları incelidikçe artan toplam yüzey alanları nedeniyle nem tutma kapasiteleri de artmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ham manyezit numunesi yıkama tesisi sonrası tikiner alt akımından alınmış olan, -38 mikron tane boyutlu ve %46 nemli bir üründür. Bu manyezit numunesinin neminin hemen hemen tamamının giderimi için klasik elektrikli (rezistanslı) fırında, halojen fırında ve mikrodalga fırında farklı sıcaklıklarda ve farklı kurutma

sürelerinde deneyler yapılmış ve aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- En hızlı kurutma yapan fırın mikrodalga fırındır. 700 Watt mikrodalga gücünde 8 dk sonunda nem %1'in altına düşmüştür.
- En fazla güç tüketen fırın klasik rezistanslı elektrikli fırındır. Elektrikli fırında manyezitteki nemin %1'in altına düşürülebilmesi için gerekli olan net enerji miktarı 500 Watt'ın üstündedir. Halojen fırında 400-500 Watt arasında, mikrodalga fırında ise 100-450 Watt arasındadır.
- Kurutulmuş ürün yüzey sıcaklığı en yüksek olan fırın tipi halojen fırındır. En düşük yüzey sıcaklıkları ise mikrodalga fırınla elde edilmiştir.
- Mikrodalga fırınların hem enerji tüketimleri hem de kurutma süreleri oldukça kısadır. Ancak, mikrodalgaların insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri ve endüstriyel ölçeklerde yüksek kapasiteleri karşılayamaması ve uygulamasının zor olması nedeniyle kullanım alanları kısıtlı kalmıştır. Bu bakımdan, mikrodalgalar endüstriyel ölçekte genellikle daha küçük kapasitelerde gıda hammaddelerinin (meyve, sebze vb.) kurutulması için tercih edilmektedir. Yine bu çalışmanın bir sonucu olarak görülmüştür ki; halojen fırınlar klasik ısıtmalı fırınlara göre daha düşük enerji harcamakta ve daha kısa sürelerde kurutma yapabilmektedir. Bu nedenle halojen fırın, kısa kurutma süresi ve düşük enerji tüketimleri nedeni ile maden ürünlerinin kurutulmasında tavsiye edilebilecek bir kurutucu tipidir. Konvansiyonel elektrikli fırına göre en az %15 daha kısa sürede kurutma yapmakta ve en az %10 daha az enerji harcamaktadır. Ayrıca ilk yatırım maliyetinin düşük olması ve mikrodalga fırınlar gibi insan sağlığını olumsuz etkilememesi diğer avantajlarıdır. Kızılötesi kurutucunun bir diğer avantajı ise çok kısa sürede 500 °C'lik bir lamba sıcaklığına 7-8 saniye gibi çok kısa sürede çıkabilmesidir.

KAYNAKLAR

Aktaş, M., İlbaş, M., Yalçın, A., Şahin, M. 2013. Kızılötesi ışınımlı bir kurutucuda kurutma davranışlarının deneysel incelenmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (4), 767-775.

İpekoğlu, Ü., Polat, H., 2014. Susuzlandırma, Cevher Hazırlama El Kitabı, YMGV Yayını, Bölüm 16, 335-370.

Hacıfazlıoğlu, 2017. Comparison of Efficiencies of Microwave and Conventional Electric Ovens in the Drying of Slime-Coal Agglomerates", *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 37, 169-178.

Karthikeyan, M., Zhonghua, W. , Mujumdar A.S., 2009. Low-Rank Coal Drying Technologies—Current Status and New Developments, *Drying Technology*, 27, 403–415.

Kowalski S. J. And Rajewska, K. 2009. Convective Drying Enhanced with Microwave and Infrared Radiation, *Drying Technology*, 27:7-8, 878-887.

Meda, V., Orsat, V., Raghavan, V. 2017. Microwave heating and the dielectric properties of foods, *The Microwave Processing of Foods (Second Edition) A volume in Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, 23–43.

Riadh, M.H., Siti Anom Binti Ahmad, Mohd Hamiruce Marhaban & Azura Che Soh, 2015. Infrared Heating in Food Drying: An Overview, *Drying Technology*, 33:3, 322-335.

Samanlı, S., 2011. A comparison of the results obtained from grinding in a stirred media mill lignite coal samples treated with microwave and untreated samples, *Fuel*, 90 (2), 659-664.

Sahoo, B.K., De, S. ve Meikap, B.C., 2011. Improvement of grinding characteristics of indian coal by microwave pre-treatment, *Fuel Processing Technology*, 92 (10), pp.1920-1928.

Yıldız, N. 2014, *Cevher Hazırlama ve Zenginleřtirme*, 2.Cilt, Ertem Basım Ltd. şti. Ankara.