



# MİKRODALGA İLE ISLAK VİYOLÜN KURUTULABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF WET VIOL DRYABILITY WITH MICROWAVE

Mustafa GÖLCÜ<sup>1\*</sup>, Fatih ŞEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, 20070, Denizli.  
mgolcu@pau.edu.tr

<sup>2</sup>Hidroden Hidrolik Pnömatik Otomasyon Fabrika Malzemeleri San. Tic. Ltd. Şti.,20175, Denizli.  
fsen05@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 24.10.2013, Kabul Tarihi/Accepted: 13.11.2013

doi: 10.5505/pajes.2014.48569

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

### Özet

Yumurta kolisi (viyol) imalatının en önemli süreçlerinden biri kurutma işlemidir. Viyol hamuru kalıplara döküldükten sonra yapısında bulunan su moleküllerini yok etmek için kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Endüstride viyol kurutma işlemi geleneksel kurutma sistemleri ile yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmada ise; özel olarak tasarlanıp imal edilmiş prototip konveyörlü mikrodalga fırın sisteminde ıslak viyolün kurutma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, magnetron gücünün artmasıyla nem oranının düştüğü, dolayısıyla viyolün kurutma süresinin azaldığı görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Mikrodalga, Viyol, Kurutma.

### Abstract

One of the most important processes is the drying process in manufacturing of viol. Drying process is carried out to remove the water molecules in the viol structure of after viol pulp is poured into the molds. Viol drying process is made by traditional drying systems in the industry. In this study, drying experiments were conducted of wet viol in the specifically designed and manufactured the prototype conveyor microwave drying oven. As a result of experiments, it has been observed that decreased moisture gradient and drying time of viol due to the increasing power of the magnetron.

**Keywords:** Microwave, Viol, Drying.

## 1 Giriş

Günümüzde kurutma işlemlerinde geleneksel kurutma sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde ısı, malzemeye kondüksiyon, konveksiyon ve/veya radyasyon yolu ile olmaktadır. Yani ısı transferi malzemenin yüzeyinden iç kısmına doğru iletilmektedir. Kurutma işlemi için malzeme belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. İstenilen sıcaklığa ulaşmada ısı transferinden dolayı ısı kayıpları meydana gelmekte, kurutma süresi artmakta ve bu yüzden enerji tüketimi de artmaktadır. Ayrıca ürünün istenilen kaliteye ulaştırmada zorluklar yaşanmakta ve sistemin kapladığı alanın fazla olmasından dolayı da üretim verimi düşük olmaktadır. Bu ve benzeri nedenlerden dolayı alternatif kurutma yöntemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Mikrodalga (MW) alternatif kurutma yöntemlerinden bir tanesidir.

Avrupa ülkelerinde yarım yüzyıldan beri endüstrinin farklı alanlarında MW yöntemi ile malzemeler üzerinde kurutma işlemi yapılmasına rağmen Türkiye’de MW yöntemi ile kurutma, daha çok gıda endüstrisinde uygulanmaktadır. MW ile kurutmanın diğer geleneksel kurutma yöntemlerine göre pek çok yönden avantajlı olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Literatürde, gıda mamulleri dışında ağaç, kağıt gibi mamullerin MW ile kurutmada öne çıkan çalışmaları şu şekilde özetlemek mümkündür.

Kağıdın fiziksel ve görsel özelliklerinin belirlenmeye çalışıldığı, 400 ve 700 W gücündeki MW kurutma sisteminde, silindir ve çevresel hava kurutma yöntemlerine göre karşılaştırılmalar yapılmıştır. MW kurutma sistemi diğer kurutma sistemlerine göre yapısal dayanıklılığının %5-7,

yoğunluğun ise %2-4 arttığı, kopma uzama miktarının aynı yoğunlukta daha fazla olduğu görülmüştür [1].

Kağıdın kurutulmasında MW kurutma sistemi ile konveksiyonel kurutma sisteminin karşılaştırıldığı çalışmada MW ile kurutma sisteminin ilk kurulum maliyetinin yüksek olduğu tahmin edilmesine rağmen toplam işletme maliyetlerinin daha düşük olduğu çıkmıştır. Kağıdın kurutulmasında %15-20 nem oranına MW kurutma işlemiyle daha verimli bir şekilde ulaşılmıştır. Aynı zamanda kağıt makinesinin toplam uzunluğunda %30 azalma olacağı sonucuna ulaşılmıştır [2].

MW kurutma sisteminde 30 W magnetron gücünde kağıdın kurutulması üzerine yapılan deneylerde istenen nem seviyesinin hammadde tipine, ağırlığa ve kullanılan sıvının elektriksel özelliklerine bağlı olduğuna ve yapılacak olan MW kurutma sisteminin ekonomik ve teknik bakıdan mümkün olacağı sonucuna ulaşılmıştır [3].

MW enerjisi kullanılarak, 1 metre genişliğindeki gazete kağıdının kurutulmasında %40’lık nem oranını %8’e, % 80’lik nem oranını %20’ye verimli bir şekilde düşürüldüğü görülmüştür. Sonuç olarak, aplikatör yüzeyi ile kağıt yüzeyi arasındaki mesafenin 0,5 mm den küçük olması gerektiğini ve tekrar yoğunlaşmasını önlemek için uygun havalandırma yapılmasının gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır [4].

Ülkemizde yaygın olarak kullanılmayan fakat gelişmiş ülkelerde özellikle gıda endüstrisinde daha kısa sürelerde kurutmak amacıyla yaygın olarak kullanılan MW ile kurutma yönteminin avantajlarını belirlemek için nem içeriği %4,41 olan ısırgan otu %0,1 nem içeriğine ulaşınca dek MW, konveksiyonel ve vakumlu kurutma sistemlerinde enerji tüketim ve renk parametreleri karşılaştırılarak kurutulmuştur.

Özellikle deneyler, sırasıyla MW ve konvektif kurutmadaki bu parametrelerin etkilerini incelemek için, 4 farklı MW güç seviyesinde (500, 650, 750 ve 850 W) ve 4 farklı hava sıcaklığında (50, 75, 100 ve 125 °C) gerçekleştirilmiştir. Kuruma periyotları, MW, konveksiyonel ve vakumlu kurutma için sırasıyla 4 ile 6, 30 ile 120 ve 35 ile 65 dakika arasında değişmiştir. Bu çalışmada, kurutma periyodu renk ve enerji tüketim değerlerine göre en uygun metodun 850 W'lık MW ile kurutma olarak belirlenmiştir [5].

%9,01 nem oranının da ve 50 g ağırlığında olan ıspanak yaprakları MW fırında nemleri %0,1 olana kadar 90 W ile 1000 W arasında değişen sekiz farklı MW güç kullanılarak kurutulmuştur. Kurutma işlemi, MW güç seviyelerine bağlı olarak 290 ile 4005 s arasında tamamlanmıştır. Çalışmada, enerji tüketim değerleri 350-1000 W MW güçler arasında sabit kalırken, 160 W ve 90 W MW güçlerindeki enerji tüketim değerlerinde önemli artışlar meydana gelmiştir. Renk ve absorptik asit değerlerine göre en iyi özellik 750 W MW gücüyle çalışma koşullarında elde edilmiştir [6].

Pırasa, kırmızı ve yeşilbiber, patlıcan, soğan ve patatesin uygun güç kademesi seçilerek MW ile kurutulması üzerine yapılan çalışma sonucunda MW ile sebzelerin reaksiyona girmesini önleyen düzenlemelerle hiçbir kalite kaybı olmaksızın, çok kısa sürede kurutmanın mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kurutma sonucunda yanık benekleri, renkte solma, tipik koku ve tadın değişmesi gibi olumsuz hiçbir değişim saptanmamıştır. Kurutma yöntemlerini karşılaştırmış ve MW ile kurutma süresi konveksiyonla kurutmaya kıyasla, 1/5 ile 1/12 arasında değişen kısa sürede gerçekleştiğini sonucuna varılmıştır [7].

Kağdın MW ile kurutulması üzerine yapılan çalışmada kurutma süresince suyun tahliyesi ve yoğunlaşmasını önlemek için daha çok soğuk havaya ihtiyaç olduğu sonucu ortaya çıkmıştır [8].

MW ile kurutma ve konveksiyonel hava ile kurutulmasının Norveç spruce ağacının dayanımına etkisinin araştırıldığı çalışmada her iki kurutma yöntemi tamamlandıktan sonra yapılan dayanım testlerinde ağacın dayanım gücünde hiçbir farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır [9].

MW kurutma sistemi ve sıcak hava kurutucusuyla kombine şekilde tasarlanan fırında, köpükle kaplanmış tafting

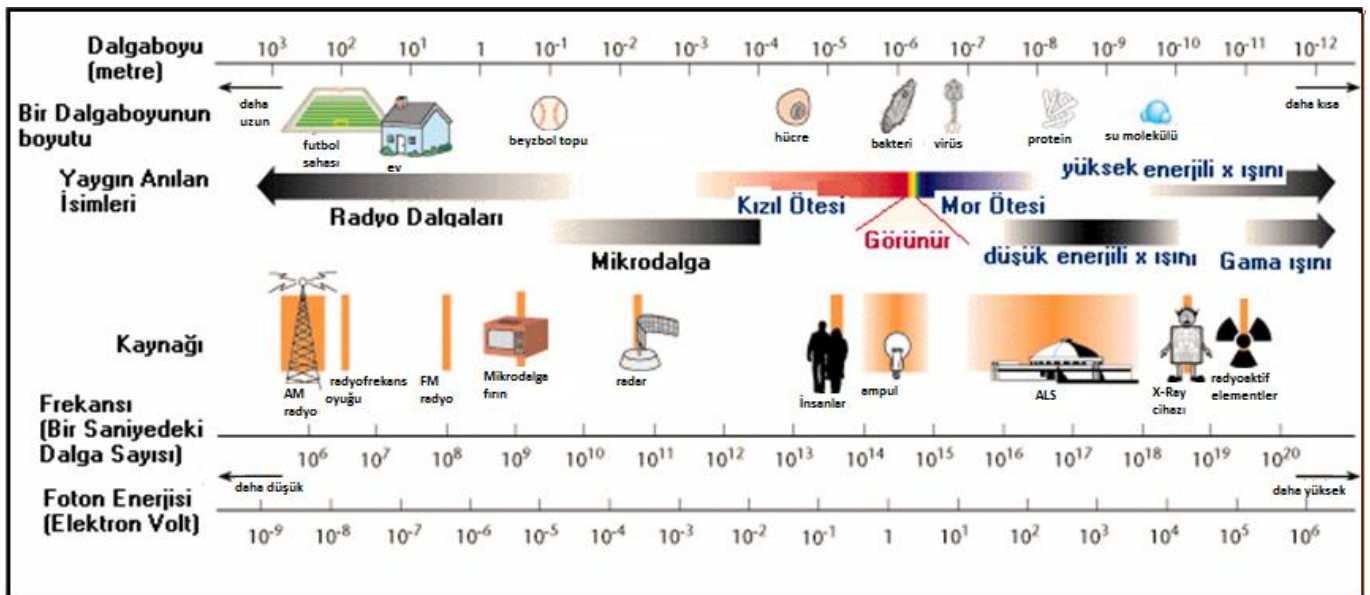
halılarının kurutulmasında sistemin performansının araştırıldığı çalışmada; ön kurutmanın sıcak hava, son kurutmanın da MW sistemi ile yapıldığı bu çalışmada kurutma sonunda üründe kalan nemin daha düzgün dağılım gösterdiği görülmüştür. Geleneksel sıcak hava kurutucusuna böyle bir MW sisteminin ilave edilmesinin üretimi %20 civarında arttırması nedeniyle yatırım maliyetlerinin 2 yıldan daha az sürede amorti edilebileceği tespit edilmiştir [10].

MW kurutma sisteminde ışınlanan elektromanyetik enerji ortamdaki malzemenin yapısıyla bir bütün olarak etkileşime girerek malzemenin moleküler yapısında titreşimler oluşturmaktadır. Bu titreşimler sonucu elektromanyetik enerji ısı enerjisine dönüşerek malzemenin kuruması sağlanmaktadır. MW ile kurutmada, geleneksel kurutma sistemlerinin tersine ısı direkt olarak malzemenin içine girer ve içten dışa doğru iletir. Isı, materyalin içinde üretildiği için geleneksel ısıtma yöntemine göre ısıtma hızı ve ürün kalitesi yüksek, işlem süresi kısadır.

Yapılan bu çalışmada, prototip konveyörlü MW fırın sistemi üzerinde; farklı magnetron çıkış güçlerinde (175W, 350W, 500W, 700W), farklı kurutma sürelerinde (1, 5, 10, 15, 20 dk), 20 adet model oluşturularak tek bir MW fırın içinde ıslak viyolün kurutma deneyleri yapılmıştır. Tüm deneylerde bant çalıştırılmayıp, viyol tek bir MW fırın içerisinde farklı magnetron çıkış güçlerine maruz bırakılmıştır. Kurutma sonrası viyolün nem oranları ve sıcaklıkları tespit edilmiştir. Mikrodalga ile ıslak viyolün kurutma deneylerinde 20 adet model kullanılmıştır.

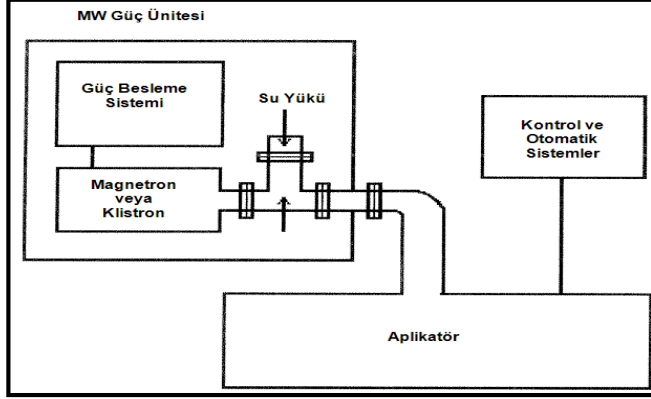
## 2 Mikrodalga Kurutma Teknolojisi

Mikrodalgalar, sürekli ya da kesikli dalga salınımları yapan, magnetron ve klistron gibi cihazlar tarafından üretilmektedir. Elektromanyetik dalga spektrumu Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'den görüldüğü üzere; mikrodalgalar kızıl ötesi ile radyo frekansları arasındaki bölgede 1 mm'den 1 m dalga boyuna kadar ve 300 MHz-300 GHz frekans aralığında bulunmaktadır. Genel olarak ev tipi MW fırınlarda 2.45 GHz frekans, endüstriyel proseslerde, laboratuvarında ve araştırma projelerinde ise 2.45 GHz ya da 915 MHz frekansları kullanılmaktadır [11].



Şekil 1: Elektromanyetik dalga spektrumu [11]

MW kurutma sisteminde kurutma verimliliği, elektromanyetik dalgaların etkisindeki bir malzemenin bazı fiziksel ve termal özelliklerinin yanı sıra temel olarak malzemenin dielektrik özelliklerine, kullanılan magnetron gücüne ve frekansına, aplikatör boyutları ile ilgili büyüklüklere bağlı olarak değişmektedir [12]. Şekil 2'den görüleceği üzere MW kurutma sistemi genel olarak üç ana bölüme ayrılmıştır. Bunlar; güç ünitesi, aplikatör ve kontrol sistemidir [13].



Şekil 2: MW kurutma sisteminin temel üniteleri. [13]

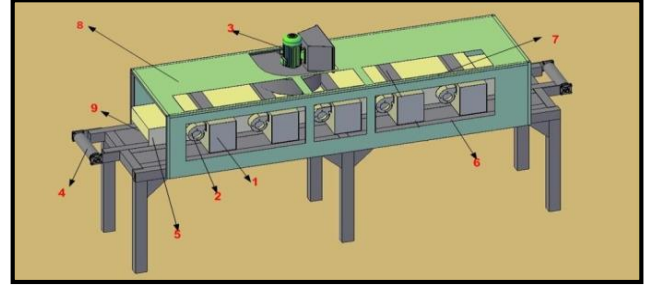
MW Güç ünitesi; jeneratör, yardımcı ünite ve su yükünden oluşmaktadır. Aplikatör malzemeye mikrodalgaların uygulandığı bölümdür. Kontrol sistemi ise sistemdeki bazı parametreleri ölçerek ve otomatik ayarlamalar yaparak MW kurutma sisteminin performansını geliştiren birimdir. Aplikatör ile magnetron arasında yer alan su yükü, aplikatörden geriye yansıyan dalgaları absorbe ederek magnetronu korumaktadır. MW sistemlerinde jeneratör olarak genellikle magnetron tüpleri ve daha az olarak da klistronlar kullanılmaktadır. Genellikle magnetronların kullanılmasının sebebi yüksek güç çıkışına, yüksek verime, yeterli frekans kararlılığına ve düşük maliyete sahip olmalarındandır. Klistronlar mükemmel frekans kararlılığına sahip olmalarına rağmen magnetronlardan daha pahalı oldukları için fazla kullanılmamaktadır. Jeneratörlerin soğutma işlemi su veya basınçlı hava ile yapılabilmektedir. Genellikle yüksek güç çıkışına sahip jeneratörlerde sulu soğutma sistemleri, düşük güç üreten jeneratörlerde ise havalı soğutma sistemleri kullanılmaktadır.

### 3 Deneysel Çalışma

310x310x50 mm boyutlarında olan viyolün hammaddesi esas itibari ile kağıt olup içerisine çok küçük miktarlarda alüminyum oksit ve parafin katılarak, su ( $\approx 75\%$ ) ile karıştırılmaktadır. Viyol hamuru kalıplara döküldükten sonra yapısında bulunan su moleküllerini yok etmek için kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Viyol imalatının en önemli süreçlerinden biri kurutma işlemidir.

#### 3.1 Deney Düzenliği

Özel olarak tasarımı yapılarak, imalatı gerçekleştirilen prototip konveyörlü MW kurutma fırınının perspektif görünüşü ve diğer görünüşleri sırası ile Şekil 3, 4 ve 5'te gösterilmiştir [14]. Magnetronların çalışması ve güç kontrolü her bir magnetron için ayrı ayrı yerleştirilen kontrol anahtarlarından gerçekleştirilmiştir. Magnetronlar 175-350-500-700 Watt çıkış güçlerine kumanda anahtarı ile ayarlanmıştır. MW fırın üzerinde bulunan kontrol paneli ile bant hızı ve emiş fanının otomasyonu sağlanmıştır.



1.Mikrodalga jeneratörü (magnetron, yüksek voltaj trafosu ve ısı kontrol cihazı), 2.Magnetron soğutma fanı, 3.Sirkülasyon fanı, 4.Bant sistemi, 5.Paslanmaz iç kabin, 6.Yan kapaklar, 7.Üst kapaklar, 8. Paslanmaz dış kabin, 9.Giriş noktası

Şekil 3: Prototip MW kurutma fırını perspektif görünüşü.



Şekil 4: Prototip MW kurutma fırını sağ yan görünüşü.



Şekil 5: Prototip MW fırın sol yan görünüşü.

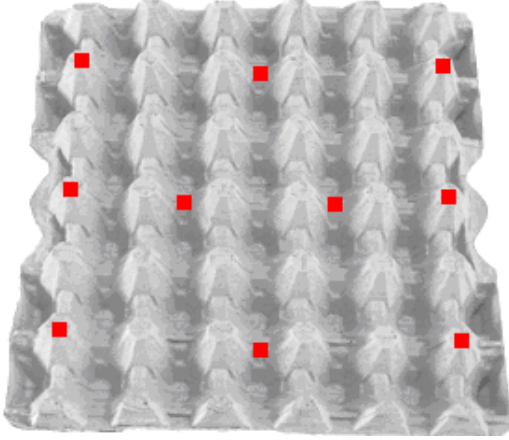
Bant sistemine hareket veren redüktör, Şekil 5'te gösterilmiştir. Bant hareket motoru 0,75 kW gücünde, devir sayısı ise 1370 d/d'dır. Redüktör oranı 1/39'dur. 2450 MHz frekansa sahip 5 adet 700 W çıkış gücünde magnetronlar, 18 W gücünde 5 adet magnetron soğutma fanı ile soğutulmuştur. Fırın içinde oluşan nem dışarı atmak için 1950 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli, 2735 d/d'da çalışan 380 W gücünde 1 adet emiş fanı kullanılmıştır.

Viyolün kurutma öncesi ve sonrası nem miktarını belirlemek için MB 35 Halogen Ohaus nem ölçüm cihazı kullanılmıştır. CEM Infrared Thermometer IR-77 L sıcaklık ölçüm cihazı kullanılarak viyolün 10 farklı noktasından sıcaklık ölçümü yapılarak, kurutma öncesi ve sonrası ortalama sıcaklıkları tespit edilmiştir. Viyolün sıcaklık ölçüm noktaları Şekil 6'da gösterilmektedir.

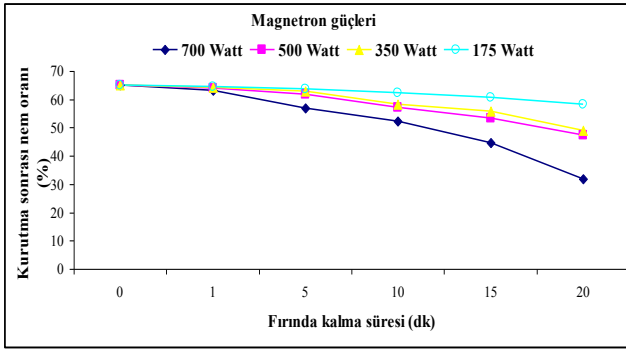
#### 3.2 Deneysel Çalışmalar

Özel olarak tasarlanıp imal edilmiş prototip konveyörlü MW fırın sistemi üzerinde; farklı magnetron çıkış güçlerinde (175W, 350W, 500W, 700W), farklı kurutma sürelerinde (1, 5, 10, 15, 20 dk), 20 adet model oluşturularak tek bir MW fırın içinde ıslak viyolün kurutma deneyleri yapılmıştır. Tüm deneylerde bant çalıştırılmayıp, viyol tek bir MW fırın içerisinde farklı magnetron çıkış güçlerine maruz bırakılmıştır.

Deneylerde kullanılan viyollerin başlangıçtaki nem oranları %65'tir. Şekil 7'de farklı magnetron çıkış güçlerinde fırında kalma süresine bağlı olarak nem oranının değişimi gösterilmiştir.



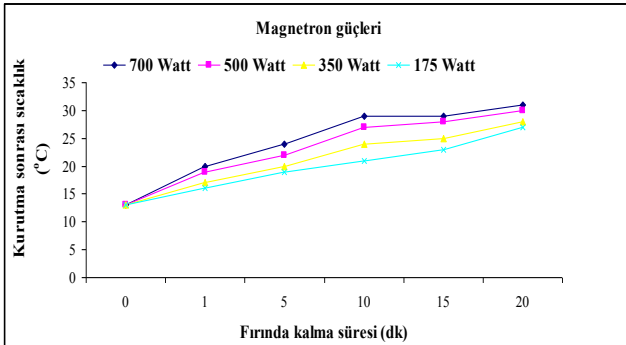
Şekil 6: Viyol sıcaklık ölçüm noktaları.



Şekil 7: Farklı magnetron çıkış güçlerinde fırında kalma süresine bağlı olarak nem oranının değişimi.

Şekil 7'den görüleceği üzere; ıslak viyolün fırında kalma süresi arttıkça, magnetron gücüne bağlı olarak viyolün nem oranı düşmüştür. Başlangıçta nem oranları %65 iken, fırında 20 dakika bekletildiğinde, nem oranı 700 Watt magnetron çıkış gücünde; %32'ye, 175 Watt magnetron çıkış gücünde %58.3'e düşmüştür.

Şekil 8'de farklı magnetron çıkış güçlerinde, fırında kalma süresine bağlı olarak kurutma sonrası viyol üzerindeki sıcaklık değişimi gösterilmiştir.



Şekil 8: Farklı magnetron güçlerinde fırında kalma süresine bağlı olarak kurutma sonrası viyol üzerindeki sıcaklık değişimi.

Şekil 8'den görüleceği üzere, ıslak viyolün farklı magnetron çıkış güçlerinde fırında kalma süresi arttıkça, viyol üzerinden ölçülen ortalama sıcaklıkta artmıştır. Viyolün başlangıçtaki

ortalama sıcaklığı 13°C iken; fırında 20 dakika bekletildiğinde 175 Watt magnetron çıkış gücünde 27°C' ye, 700 Watt magnetron çıkış gücünde ise 31°C' ye yükselmiştir.

#### 4 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada özel olarak tasarlanıp imal edilmiş prototip konveyörlü MW fırın sisteminde ıslak viyolün kurutma deneyleri yapıldı, kurutma sonrası viyolün nem oranları ve sıcaklıkları tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde bant sabit tutularak, hareket ettirilmemiştir. İleriki çalışmalarımızda bant hızının da etkisi araştırma kapsamına alınacaktır.

Islak viyolün farklı magnetron çıkış güçlerinde (175W, 350W, 500W, 700W)ve farklı kurutma sürelerinde (1, 5, 10, 15, 20 dk) yapılan deneyler sonucunda;

1. Magnetron gücü arttıkça kurutma süresi kısalmaktadır,
2. Magnetron gücü sabit tutulduğunda fırında bekleme süresi arttıkça nem oranı yine azalmaktadır,
3. Nem oranının 175 W ve 700 W magnetron gücünde %32-59 arasında değiştiği görülmüştür,
4. Kurutma sonrası sıcaklıkları nem oranına ters orantılı olarak artmış ve viyolün üzerinde 10 farklı ölçüm noktasından ölçülen sıcaklıklara göre uniform bir ısınmanın gerçekleştiği görülmüş dolayısıyla homojen bir kurutma sağlanmıştır.

MW teknolojisi ile gerçekleştirilen kurutma işlemlerinde, genellikle şekil yönünden yüzeyi düz olan malzemeler kullanılmış ve düzgün yüzeye sahip olmayan malzemelerin MW sisteminde kurutulmasının zor olduğu bilgisi yer almaktadır. Deneylerden görüleceği üzere viyolün hacimsel olarak homojen bir kurutma işleminin gerçekleşmesi üzerine yüzeyi düzgün olmayan malzemelerin de kurutulabileceğini kanıtlar niteliktedir.

#### 5 Teşekkür

Bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (PAUBAP) tarafından desteklenmiştir.

#### 6 Kaynaklar

- [1] Kumar, P., "Effect of Microwave Drying on Paper Properties", (Master of Engineering), *Chemical Engineering McGill University, Canada*, 1991.
- [2] Goerze, D. and Jolly, J., "The Economic Advantages of Microwave Drying in Paper Industry", *Journal of Microwave Power*, 2, 87-94, 1967.
- [3] Hankin, J., Leidigh, W. and Stephansen, E., "Microwave Paper Drying Experience and Analysis", *Tappi Journal*, 53: 1063-1070, 1970.
- [4] Andersson, E., "Microwave Drying of Paper", *Svensk Papperstid*, 72: 663, 1965.
- [5] Özkan, A., "Energy Consumption and Colour Characteristics of Nettle Leaves During Microwave, Vacuum and Convective Drying", *Biosystems Engineering*, 96(4): 495-502, 2007.
- [6] Özkan, A., Akbudak, B., and Akbudak, N., "Microwave Drying Characteristics of Spinach", *Journal of Food Engineering*, (78): 577-583, 2007.
- [7] Tunçer, İ.K., "Characterization and Drying of Vegetables by Hot Air and Microwave Energy", in *Proceedings of the 4th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture*, Adana, Turkey (In Turkish), 472-480, 1990.

- [8] Roussy, G., Thiebaut, J., "A Kinetic Model for Microwave Drying of Paper", *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 23: 29-37, 1988.
- [9] Hansson, L. and Antti, A.L., "The Effect of Microwave Drying on Norway Spruce Woods Strength: A Comparison With Conventional Drying", *Journal of Materials Processing Technology*, 141, 41-50. 2003.
- [10] Holme, I. and Metaxas, A.C., "Microwave Drying of Nylon Tufted Carpets, 3. Field Trials", *Journal of Microwave Power*, 14(4): 367-382, 1979.
- [11] Ulcay, Y., Akyol, M. ve Gemci, R., "Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi", *Uludağ Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi*, Cilt 7, Sayı 1. ss:93-116, 2002.
- [12] Sutton, W.H., "Microwave Processing of Ceramic Materials", *Ceramic Bulletin*, Vol. 68, No. 2, 1989.
- [13] Donmaz, P., Özek, Z. ve Kanık, M., "Mikrodalga Teknolojisinin Pigment Baskı İşleminde Kullanılması", *Tübitak projesi (Proje no: Misag-32 DPT)*, Bursa, 1995.
- [14] Şen, F., "Mikrodalga ile Viyolün Kurutulabilirliğinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı, 2013.