

## Isı Pompalı Vakumlu Kurutma Fırınında Tıbbi Bitkilerin Kurutulması Ve Kurutma Parametrelerinin Araştırılması

Mahir AYZAZ, Erkan DİKMEN, Arzu ŞENCAN ŞAHİN

*Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sist. Mühendisliği Bölümü Isparta*

**Özet:** Bu çalışmada hava kaynaklı ısı pompası destekli vakumlu kurutma fırınında, Isparta bölgesinde yetişen tıbbi bitkilerden fesleğen, biberiye, dereotu ve maydanoz bitkilerinin farklı sıcaklıklardaki kurutma parametreleri araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre kurutma havası sıcaklığının artması kurutmayı hızlandırmıştır. Çalışmada aynı zamanda farklı basınçlardaki ısı pompalı kurutucuların kullanılmasının enerji verimliliği açısından sağladığı avantajlar incelenmiştir. Fesleğen ve dereotu bitkisi için en yüksek SMERHP ve SMERTS değerlerine 46 oC’ de 0.40 bar son vakumlama basıncında ulaşılmıştır. Maydanoz bitkisi için en yüksek SMERHP ve SMERTS değerlerine 36 oC’ de 0.60 bar son vakumlama basıncında ulaşılmıştır. Kurutma işleminde kurutma yapılan hacmin düşük basınçta olması yani vakum etkisinde çalıştırılması buharlaşmaya olumlu etki sağladığı ve ürün kalitesini arttırdığı tespit edilmiştir.

## DRYING OF MEDICAL PLANT IN HEAT PUMP VACUUM DRYING AND INVESTIGATION OF THEIR DRYING PARAMETERS

**Abstract :** In this study, drying parameters of basil, rosemary, dill and parsley from among them medicinal plants grown in Isparta was investigated at different temperatures in air source heat pump assisted in the vacuum drying oven. According to the study results, increasing drying air temperature accelerated the drying. Also in this study, the obtained advantages in terms of energy efficiency using heat pump dryer at different pressures were examined. For basil and dill plants, the highest SMERHP and SMERTS values were obtained for 46 oC 0.40 bar. For parsley plants, the highest SMERHP and SMERTS values were obtained for 36 oC 0.60 bar. In drying process that is under the vacuum effect, it was determined positive effects of on evaporation and improving product quality.

### 1. GİRİŞ

Tıbbi bitkiler geçmişten günümüze kadar geleneksel ve modern tıp alanında insanların, sağlığının korunması ve şifa kaynağı olması sebebiyle kullanılmaktadır. Bu bitkilerin yaprak, kök, odunsu yapı veya tohum gibi belli ölçülerde hazırlanan taze ya da kurutulmuş kısımlarından faydalanılmaktadır. Endüstriyel ve biyolojik

kullanım alanları dünya pazarında tıbbi bitkilere duyulan talebi arttırmıştır.

Tıbbi bitki materyali elde edilmesinde önemli bir aşama olan kurutma işleminin amacı bitkileri bozulmadan uzun süre saklayabilmektir. Kurutma işleminde kurutulacak ürünlerin ilk ve son nem içeriği değerlerini bilmek doğru bir işlem yürütmek

ve uygun saklama koşullarını sağlamak açısından çok önemlidir. Çizelge 1 'de Gülçimen (2008) çalışmasında bazı sebze ve meyvelerin belirlenen ilk ve son nem içerikleri verilmiştir. Tarım ürünlerinin

bünyesindeki su miktarının, ürünün depolanma süresi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Ürün, bünyesinde ne kadar az miktarda su içerirse o kadar uzun süre saklanabilir.

Çizelge 1. Bazı ürünlerin kuru baza göre ilk ve son nem içerikleri (Gülçimen, 2008)

Ürün	İlk Nem İçeriği (%)	Son Nem İçeriği (%)
Adaçayı	62	11
Biberiye	70	10
Fesleğen	80	6
İncir	77,5	26
Kekik	72,9	7.5 - 11,4
Nane	80	11
Maydanoz	83	12
Oğulotu	77	11
Dereotu	70 - 80	10

Bu çalışmada hava kaynaklı ısı pompası destekli vakumlu kurutma fırınında, Isparta bölgesinde yetişen tıbbi bitkilerden fesleğen (*ocimum basilicum*), biberiye (*rosmarinus*), dereotu (*anethum graveolens*) ve maydanoz (*petroselinum crispum*) bitkileri için 36°C ve 46°C sıcaklıklarındaki kurutma parametreleri belirlenmiştir.

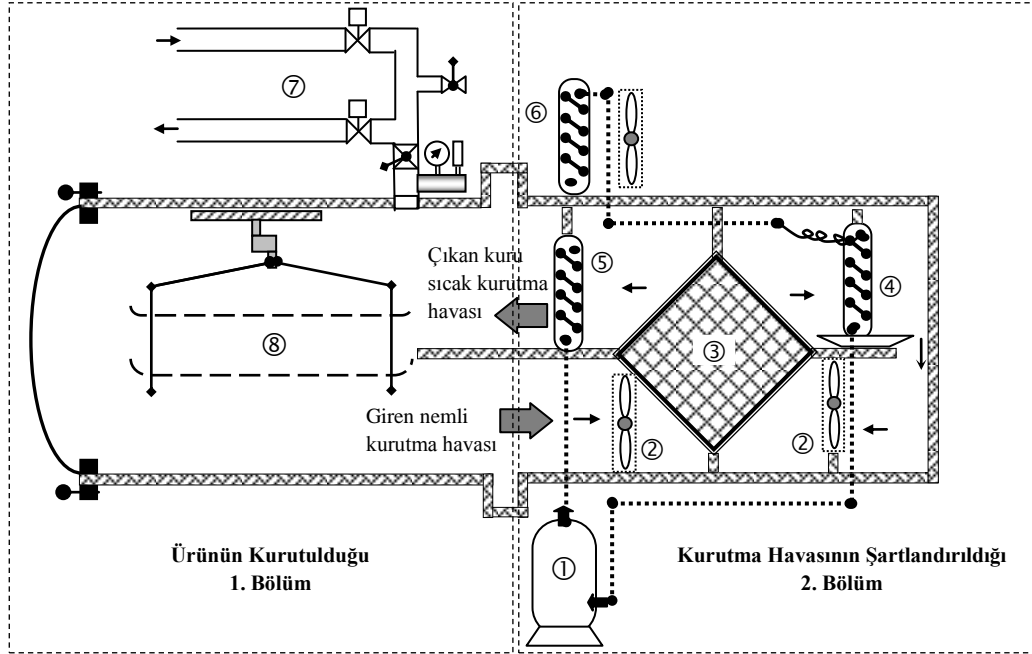
## 2. DENEYSEL SİSTEM VE TERMODİNAMİK ANALİZ

Isparta bölgesinde yetişen tıbbi bitkilerden fesleğen, biberiye, dereotu ve maydanozun çeşitli sıcaklıklarda kurutulması için vakumlu kurutma fırını ünitesi tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Deneyler Isparta ili Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Atölyesinde bulunan ısı pompası destekli vakumlu kurutucusunda yapılmıştır. Şekil 1'de kurulan deneysel sistem görülmektedir (Gül, 2014). Tıbbi bitkilerin hassas yapılarından dolayı düşük basınç düşük sıcaklıkta kurutulması ve bu kurutma parametrelerin araştırılması için deneyler yapılmıştır.

Deneysel kurutma sistemi iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm ürünün kurutulduğu bölümdür. Kurutma süresi boyunca belirli aralıklarla düşük basınç ortamı sağlanması için havanın kurutucudan dışarıya atılması ve sonrasında gerekli havanın içeriye alınması bu bölümde gerçekleştirilmektedir. Bu işlem için sulu tip vakum pompası kullanılmıştır. Ürün, 15 cm'lik aralıklarla raflanmış 60 x 40 x 3 cm ölçülerindeki delikli-teflon kaplamalı tepsilere serilerek kurutulmuştur. Kurutma deneyleri süresince, rafların bağlandığı ağırlık sensörü yardımıyla ürünlerden alınan suyun ağırlığı ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kurutucunun diğer bölümünde, ısı pompası sistemiyle kurutma havasının şartlandırılması sağlanmaktadır. Isı pompasında R407c soğutucu akışkanı kullanılmıştır. Kurutma tepsilere emilen kurutma havası, ısıyı eşanjöre aktararak fan yardımıyla evaporatöre gelmektedir. Evaporatörde, kurutma havasının kısmen soğutulması sağlanmakta ve taşıdığı nemin bir kısmı yoğunlaştırılmaktadır. Evaporatörde soğutulmuş az nemli hava, eşanjör vasıtasıyla ön ısıtma yapılarak kondensere ulaştırılmaktadır. Kondenserde kurutma havasının ısıtılmasıyla sıcak ve az nemli

duruma gelen kurutma havası, ürün üzerine gönderilmektedir. Ürünün kurutulması esnasındaki her aşama, veri kaydetme

özellikli PLC kontrollü otomasyon sistemi ile takip edilmiştir.



No	Açıklama	No	Açıklama
1	Kompresör	5	Kondenser
2	Fan	6	Ek Kondenser
3	Eşanjör	7	Kurutucuya giren/çıkan hava
4	Evaporator	8	Ürünün kurtulduğu tepsi

Şekil 1. Isı pompası destekli vakumlu kurutucu şematik gösterimi (Ayaz, 2015)

Isı pompalı kurutma fırınındaki strengaç (ağırlık sensörü) bağlantısı Şekil 2’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan hava

kaynaklı ısı pompası destekli vakumlu kurutma fırını çalışma parametreleri Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Ürün Raf Yerleşimi ve Strengaç Bağlantısı

Çizelge 2. Deneysel sistemin çalışma parametreleri

Parametre		Biberiye		Fesleğen		Maydanoz		Dereotu	
Kurutma Sıcaklığı	°C	36	46	36	46	36	46	36	46
Kurutma süresi	dk	1430	1210	1450	1360	1180	1040	850	650
Eşanjöre giriş sıcaklığı	°C	30,1	35,6	29,6	34,6	29,6	34,4	29,5	34,8
Evaporatör giriş sıcaklığı	°C	23,9	21,8	21,3	20,8	24	20,8	22,8	20,4
Evaporatör çıkış sıcaklığı	°C	19,1	12,2	14,3	11,4	18,1	11,2	17,8	11,8
Kondenser giriş sıcaklığı	°C	26,7	28,1	25,6	27,9	26,2	28,1	25,9	28,4
Kondenser çıkış sıcaklığı	°C	36,8	47,2	38	46,9	37	47,1	36,5	46,9
Fan debisi	m <sup>3</sup> /h	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Giren & çıkan hava miktarı	kg	127,7	91,7	129,5	103,0	105,4	78,8	75,9	49,2
Kurutma basıncı	bar	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Vakumlama basıncı	bar	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Harcanan elektrik gücü	kW	42	65,5	41	65	38	67	39	65

## 2.1 Ürün Toplam Kuru Kütlesi Hesaplanması:

Toplam kurutulacak yaş madde miktarı ( $m_{yaş}$ ) ve başlangıç nemi yaş bazda ( $y_i$ ) olan ürünün son nemi ( $y_s$ ) olması halinde, kurutma sonrasındaki ürün toplam kütlesi aşağıdaki gibi hesaplanır (Mitra vd., 2011):

$$m_{kuru} = [(100 - y_i)/(100 - y_s)] x m_{yaş} \quad [kg]$$

## 2.2 Kurutma İşlemi Sırasında Uzaklaştırılacak Toplam Suyun Hesaplanması:

Uzaklaştırılacak su miktarı Ürün toplam yaş ağırlığı ile kuru haldeki kütlesinin farkından hesaplanır.

$$m_{su} = m_{top} - m_{kuru} \quad [kg]$$

## 2.3 Buharlaşma Hızı:

Kurutma süresi  $\Delta t$  olmak üzere buharlaşma hızı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\dot{m}_{su} = \frac{m_{su}}{\Delta t_{kurutma}}$$

## 2.4 Özgül Nem Çekme Hızı (SMER): (1)

Bir ısı pompalı kurutucunun performansı çeşitli kriterlerle değerlendirilir. Genellikle kullanılan bu kriterler Isınma Tesiri Katsayısı (COP) , SMER ve ürün geçişidir (Oktay ve Hepbaşlı, 2003) .

$$SMER_{hp} = \left( \frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}}{\text{Enerji Girişi (Komparsör için)}} \right) = \frac{\dot{m}_{yoğ}}{\dot{W}_k + \dot{W}_f} \left[ \frac{kg_{su}}{kW_h} \right]$$

$$SMER_{ts} = \left( \frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}}{\text{Enerji Girişi (Tüm sistem için)}} \right) \left[ \frac{kg_{su}}{kW_h} \right]$$

SMER (Specific Moisture Extraction Rate):  
1kWh enerji için uzaklaştırılan su miktarı

SMER değeri yaygın olarak, ısı pompalı kurutucuların performansını tanımlamak için kullanılır. Bazı çalışmalarda performans değeri SPC “özellik güç tüketimi” ile de ifade edilmektedir.

$$SPC = \left( \frac{\text{Toplam Güç Tüketimi}}{\text{Ürün Üzerinden Uzaklaştırılan Nem Miktarı}} \right) = \frac{\dot{W}_k + \dot{W}_f}{\dot{m}_{yoğ}} \left[ \frac{kWh}{kg_{su}} \right]$$

## 2.5 Nem Alma Hızı:

Kurutucudan birim zamanda (ortalama olarak) uzaklaştırılan nem kütlesine nem alma hızı denir ve MER (Moisture Extraction Rate) olarak adlandırılır.

$$MER = \left( \frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}}{\text{Kurutma Süresi}} \right) \left[ \frac{kg_{su}}{h} \right]$$

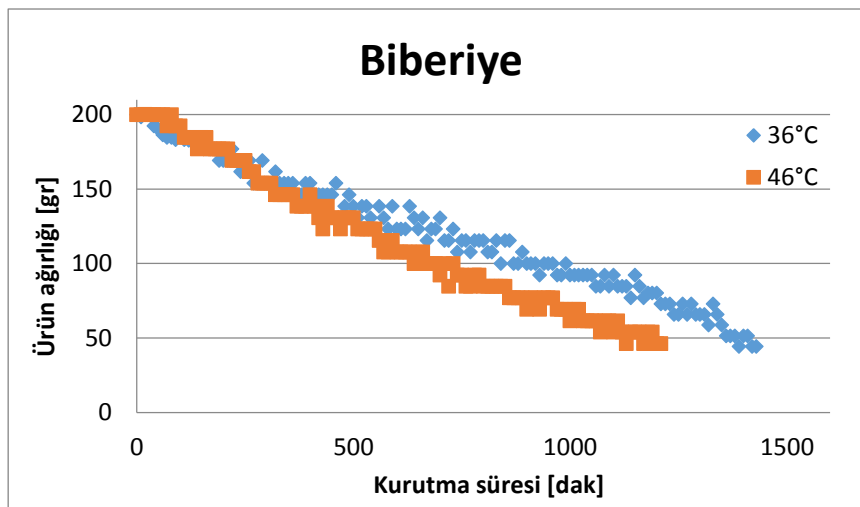
## 2.6 Kurutma Havaşı Miktarının Hesaplanması (Kuru Baz):

Toplam su miktarının Kurutucu çıkış havası özgül nemi ile Kurutucu giriş havası özgül nemi farkına bölünmesi ile bulunur.

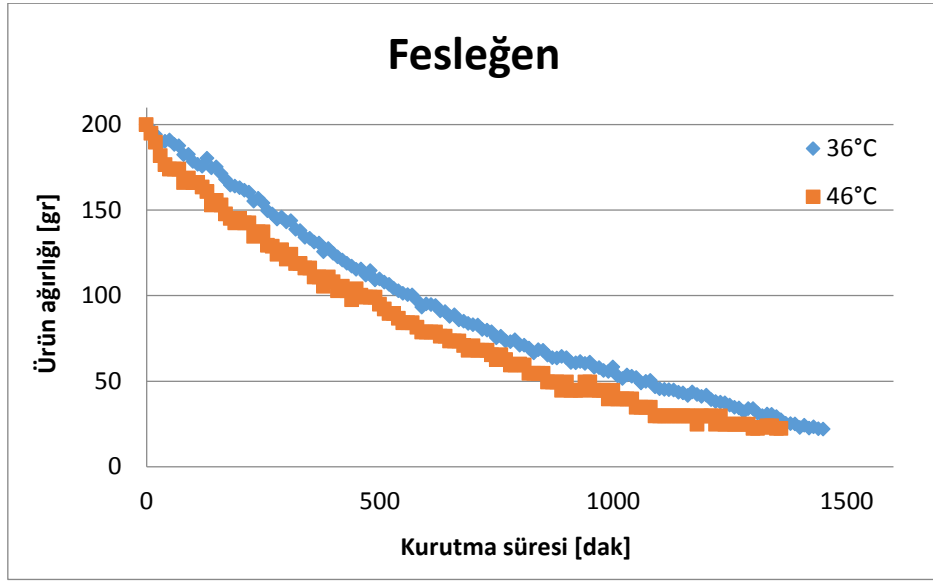
$$m_h = \frac{m_{su}}{(w_2 - w_1)}$$

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

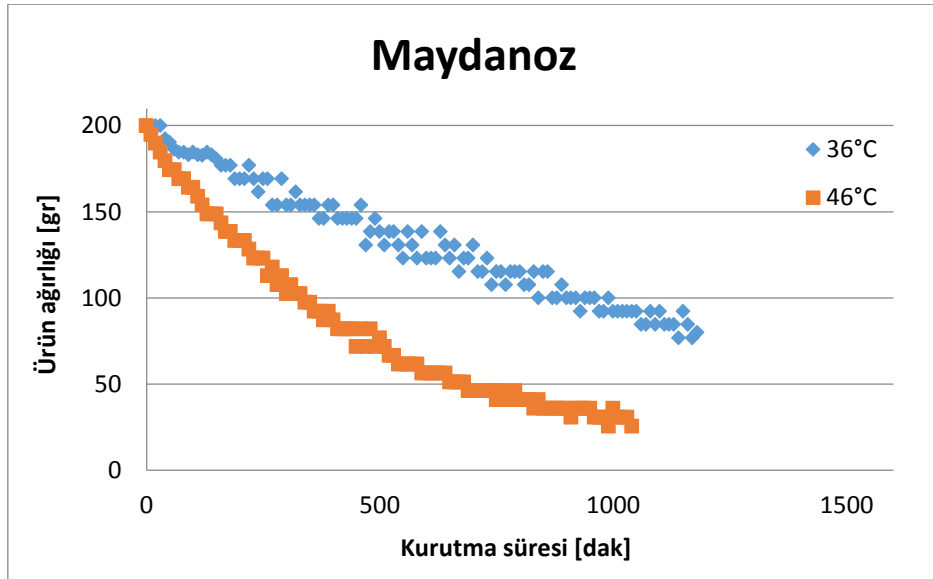
Bu çalışmada hava kaynaklı ısı pompası destekli vakumlu kurutma fırınında, Isparta bölgesinde yetişen tıbbi bitkilerden fesleğen, biberiye, dereotu ve maydanoz bitkilerinin 36°C ve 46°C sıcaklıklarda kurutma parametreleri incelenmiştir (Ayz, 2015). Farklı sıcaklıklardaki ölçüm sonuçlarında ürün ağırlıkları ile kurutma süreleri arasında kurutma başlangıcında hızlı bir azalma, daha sonraki dakikalarda ise yavaşlayan bir azalma eğilimi gözlenmiştir (Şekil 3,4,5,6).



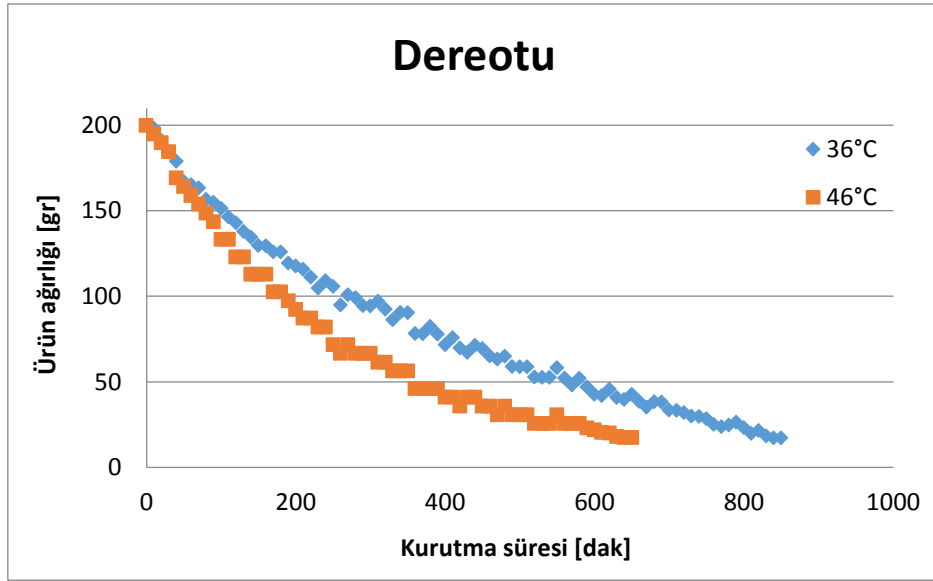
Şekil 3. Biberiye kurutma deneylerinde ağırlığın zamanla değişimi



Şekil 4. Fesleğen kurutma deneylerinde ağırlığın zamanla değişimi



Şekil 5. Maydanoz kurutma deneylerinde ağırlığın zamanla değişimi



Şekil 6. Dereotu kurutma deneylerinde ağırlığın zamanla değişimi

Biberiye bitkisi 36°C ve 46°C kurutma sıcaklığında ortalama 0.22 grsu/grkurumadde nem içeriği değerine sırasıyla 1430 ve 1210 dakika kurutma süresinde ulaşmıştır. Fesleğen bitkisi % 6'lık nem içeriğine 36°C kurutma sıcaklığında 1450 dakikada, 46 °C kurutma sıcaklığında 1360 dakikada ulaşmıştır. Guo vd. (2014) tarafından yapılan sıcak hava ile mantar kurutulması çalışmasında da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Maydanoz bitkisi için 36 °C ve 46 °C kurutma sıcaklıklarındaki ürün ağırlığının zamanla değişimine bakıldığında sırasıyla 0.1282 grsu/grkurumadde nem içeriğine 1180 ve 1040 dakikada ulaştığı belirlenmiştir. Dereotu bitkisinin kurutulmasında 10°C'lik kurutma sıcaklığındaki değişim kurutma süresini 200 dakika kısaltarak, 46°C kurutma

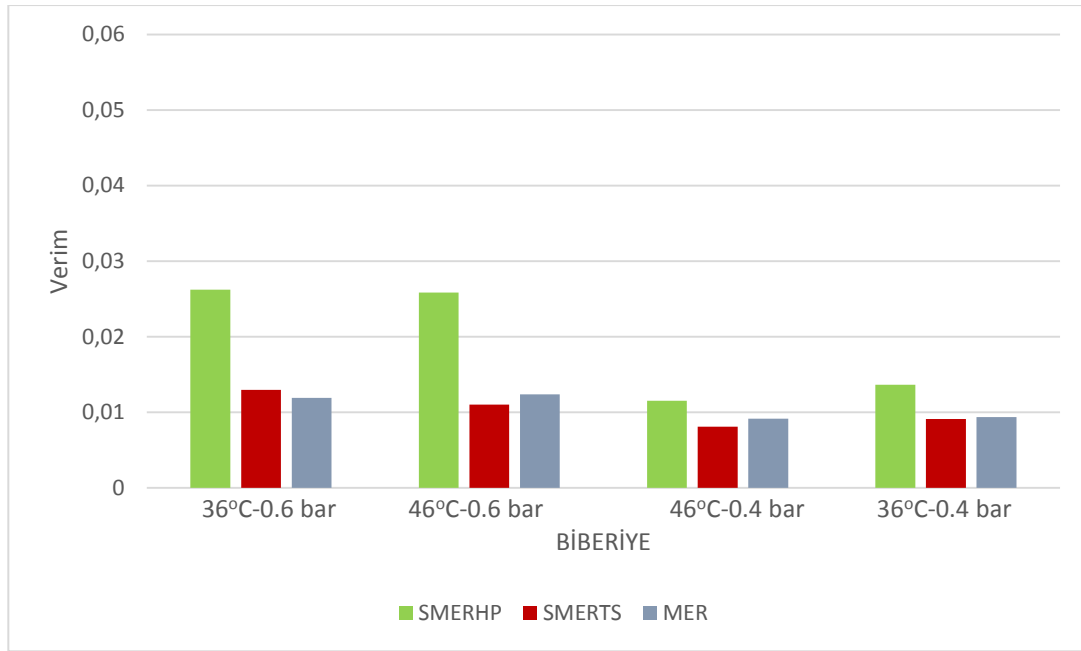
sıcaklığında 650 dakikada 0.0872 grsu/grkurumadde nem içeriği elde edilmiştir. Benzer sonuçlara Artnaseaw vd. (2010) ve Sledz vd. (2015) çalışmalarında da ulaşılmıştır.

Sistemin enerji tüketimine bakıldığında; fesleğen kurutma deneylerinde en az enerji tüketimi vakum pompasında belirlenirken, en fazla enerjiyi ısı pompası tüketmiştir. Özgül nem çekme hızı karşılaştırıldığında  $SMER_{HP}$  ve  $SMER_{TS}$  değerlerinin yüksek son vakumlama değerinde ve yüksek sıcaklıkta yapılan deneylerde arttığı görülmüştür. En yüksek  $SMER_{HP}$  ve  $SMER_{TS}$  değerlerine 46 °C' de 0.40 bar son vakumlama basıncında ulaşılmıştır. Nem alma hızı  $MER$  son vakumlama basıncı artmasıyla artmıştır (Şekil 7).





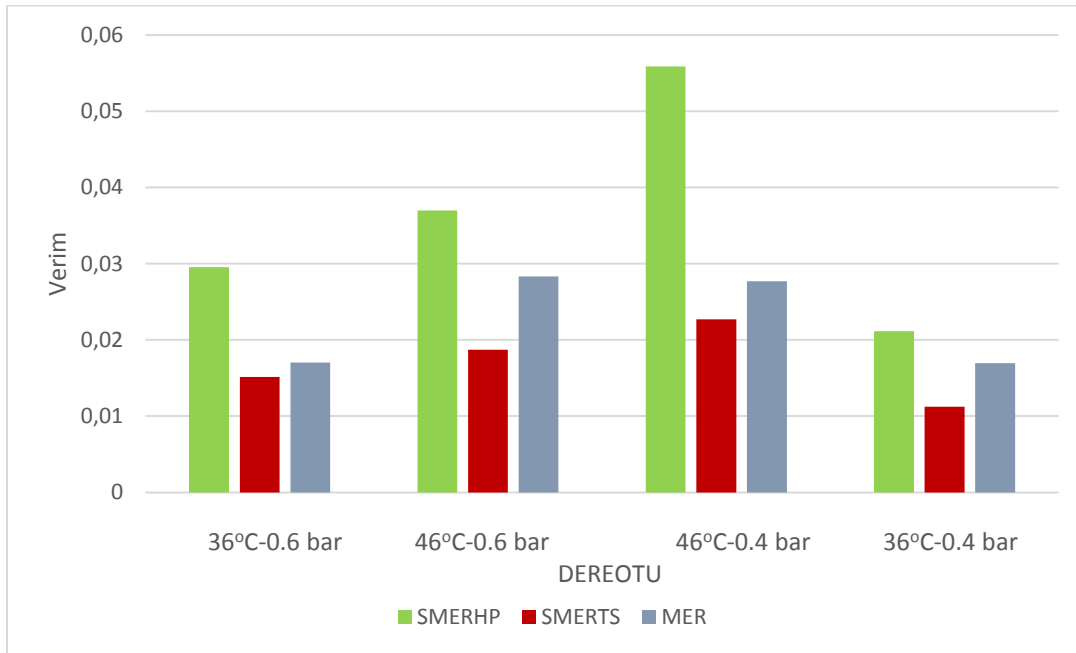
olarak biberiye kurutma deneyleri için düşük seviyede olduğu görülmüştür (Şekil 9).



Şekil 9. Biberiye kurutma işleminde nem alma verimleri

Dereotu deneyleri yapılan tüm deneylerden daha az enerji tüketimi ile kurutmanın sağlandığı görülmüştür. En yüksek  $SMER_{HP}$  ve  $SMER_{TS}$  değerlerine 46 °C' de 0.40 bar

son vakumlama basıncında ulaşılmıştır (Şekil 10). Maydanoz kurutma deneylerinde nem alma hızı MER, sıcaklık değerlerinin artmasıyla arttığı görülmüştür.



Şekil 10. Dereotu kurutma işleminde nem alma verimleri

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada hava kaynaklı ısı pompası destekli vakumlu kurutma fırınında, Isparta bölgesinde yetişen tıbbi bitkilerden fesleğen, biberiye, dereotu ve maydanoz bitkilerinin farklı sıcaklıklarda kurutma parametreleri araştırılmıştır.

Fesleğen bitkisi geniş yaprak biçimi ve kalınlığı sebebi ile yüzeydeki nemin alınmasında zaman ve enerji kayıplarını engellemek için kurutulacak tepsilerin daha çok hava sirkülasyonu için ızgara tipi seçilmesi daha kısa süreli verimli kurutmanın yapılabileceği düşünülmektedir.

Biberiye bitkisi kurutma deneylerinde sert iğne yaprakları ve odunsu yapısı sebebiyle tüm deneyler arasında 46°C' de 0.40 bar son vakumlama basıncı ile yapılan en uzun süreli kurutma deneyi olduğu görülmüştür. Biberiye yaprağının zor nem vermesi ve başlangıç nem miktarının düşük olması sebebiyle yüksek sıcaklıklara çıkılması gerekmektedir.

Başlangıç nem seviyesi düşük olan biberiye gibi bitkilerin kurutulmasında kurutma kabini içinde dolaştırılan havanın daha etkin kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla kabin içine yerleştirilecek isteğe bağlı açılabilir ikinci bir fan yerleştirilebilir. Kurutma işlemi esnasında ürün üzerinde oluşan yoğun nemli film tabakasının daha hızlı bir şekilde atılmasını sağlayarak kurutma verimini arttıracığı düşünülmektedir.

Maydanoz kurutma deneyleri herbiri ürün kalitesi açısından olumlu sonuçlanmıştır. Fakat 500 gram olarak tepsilere yerleştirildiğinden kuruma süresi uzamıştır. Bu deneyler daha az ürün yerleştirilerek yapıldığında en az enerji sarfiyatı ile en kısa sürede kurutmanın sağlanacağı ön görülmektedir.

Dereotu yaprak yapısı, yapraklar arası hava sirkülasyonu sağlaması kurutmada olumlu katkı sağladığı görülmüştür. Başlangıç nem seviyesinin yüksek olması sebebiyle yüksek

sıcaklıklarda ve düşük son vakumlama basıncında en az enerji ile yüksek verimde kurutulmuştur.

Sonuç olarak, tüm deneylerde yapılan kurutma işlemi doğada kontrolsüz hava şartlarında yapılan kurutmaya göre kaliteli ve daha kısa sürede sağlanabilmiştir. Beklendiği gibi kurutma havası sıcaklığının artması kurutmayı hızlandırmıştır. Aynı zamanda kurutma işleminde kurutma yapılan hacmin düşük basınçta olması yani vakum etkisinde çalıştırılması buharlaşmaya olumlu etki sağladığı ve ürün kalitesini arttırdığı tespit edilmiştir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma 3447-YL1-13 Nolu proje ile desteklenmiştir. Yazarlar maddi desteklerinden dolayı SDÜ BAP yönetimine teşekkür eder.

#### KAYNAKLAR

Artnaseaw, A., Theerakulpisut, S. and Benjapiyaporn, C. (2010). Drying characteristics of Shiitake mushroom and Jinda chili during vacuum heat pump drying. *Food and Bioproducts Processing*, 88, 105-114.

Ayaz, M., 2015. Isı Pompalı Vakumlu Kurutma Fırınında Tıbbi Bitkilerin Kurutulması Ve Kurutma Parametrelerinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

Guo, X., Xia, C., Tan, Y., Chen, L. and Ming, J. (2014). Mathematical Modeling and Effect of Various Hot-Air Drying on Mushroom (*Lentinus edodes*). *Journal of Integrative Agriculture*. 13, 207-216.

Gül, D., 2014. Aromatik Bitkilerin Kurutulması İçin Isı Pompası Destekli Vakumlu Kurutma Fırını Tasarımı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69 s., Isparta.

Gülçimen F., (2008). Yeni Tasarlanan Havalı Kollektörler Yardımı ile Reyhan ve Nane Kurutulması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 169 s., Elazığ.

Mitra, J., Shrivastava, S. L. and Srinivasa Rao, P. (2011). Vacuum dehydration kinetics of onion slices. *Food and Bioproducts Processing*. 89, 1-9.

Oktay Z., Hepbasli A., (2003). Performance evaluation of a heat pump assisted

mechanical opener dryer, *Energy Conversion and Management*. 44, 1193–1207.

Sledz, M., Wiktor, A., Rybak, K., Nowacka, M. and Witrowa-Rajchert, D. (2015). The impact of ultrasound and steam blanching pre-treatments on the drying kinetics, energy consumption and selected properties of parsley leaves. *Applied Acoustics* (In Press).