



Araştırma Makalesi

Güneş Enerjili Kurutucuda Kurutulan Elma Dilimlerinin Kurutma Koşullarının RSM ile Optimizasyonu

Zehra YILDIZ^{1*}

Leyla GÖKAYAZ²

Özet

Taze gıda ürünlerinin, uzun süre bozulmadan depolanması için çeşitli kurutma teknikleri bulunmaktadır. Bunlar arasında sıcak hava ile kurutma, vakumda kurutma, güneş kolektörleri yardımıyla kurutma, mikrodalga kurutma ve dondurarak kurutma gibi yöntemler sayılabilir. İşlemlerin ekonomik ve ürün kalitesinin yüksek olması için optimizasyon önemli bir işlemdir. Bu sebeple çalışmada, çok raflı güneş enerjili kurutucu ile elma kurutulmuş ve kurutma koşulları Yanıt Yüzey Yöntemi ile optimize edilmiştir. Yanıt Yüzey Yönteminde kurutma parametreleri, dilim kalınlığı, kurutma süresi ve tepsiye yüklenen elma dilimlerinin kütlesi olarak seçilmiştir. Optimize edilen yanıt ise kurutma hızı, % nem kaybı ve büzülme oranı olarak seçilmiştir. Üç faktörlü merkezi kompozit dizayn (CCRD) ile kurutma süresi (58.6-361 dk), tepsiye yüklenen elma dilimlerinin kütlesi (32.7-167 g) ve elma dilim kalınlığı (3.98-9.02 mm) aralığında uygulanmıştır. Elde edilen veriler ANOVA ile analiz edilmiş ve ikinci derece bir polinom model belirlenmiştir. Bu modelin analitik çözümünden optimum kurutma parametreleri bulunmuştur. Maksimum nem kaybı ve büzülme oranı minimum kuruma hızı için kurutma süresi (159-274 dk), tepsiye yüklenen elma dilimlerinin kütlesi (92.86-105.72 g) ve elma dilim kalınlığı (6.48-6.667 mm) bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Kurutma, Güneş enerjili kurutucu, Elma, RSM

Optimization with RSM of Drying Conditions of Dried Apple Slices in Solar Dryer

Abstract

There are various drying techniques for long-term storage of fresh food products. These include hot air drying, vacuum drying, drying with solar collectors, microwave drying and freeze drying. Optimization is an important process for the economic and product quality of the processes. For this reason, in the study, the apple was dried with multi-rack solar power dryer and the drying conditions were optimized with Response Surface Method. In the Response Surface Method, the drying parameters were selected as slice thickness, drying time and fresh matter amount. The response to be optimized was chosen as drying rate, moisture loss and shrinkage rate. The three-factor central composite design (CCRD) was applied to the drying time (58.6-361min), the amount of substance (32.7-167g) and the apple slice thickness (3.98-9.02 mm). The data were analyzed by ANOVA and a second order polynomial model was determined. Optimum drying parameters were found from the analytical solution of this model. The maximum moisture loss and shrinkage rate were determined as drying time (159-274 minutes), amount of material (92.86-105.72g) and apple slice thickness (6.48-6.667 mm) for minimum drying rate

Keywords: Drying, Solar dryer, apple, RSM

ORCID ID (Yazar sırasına göre)

0000-0003-1304-4857, 0000-0002-7580-9838

Yayın Kuruluna Geliş Tarihi:19.03.2019

Kabul Tarihi:17.12.2019

¹Tarsus Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Mersin

²Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin

E-mail: zyildiz@tarsus.edu.tr

Güneş Enerjili Kurutucuda Kurutulan Elma Dilimlerinin Kurutma Koşullarının RSM ile Optimizasyonu

Giriş

Güneş ışımının yüksek olduğu ülkelerde, ürünlerin güneşte kurutulması oldukça yaygın kullanılan bir gıda koruma yöntemidir. Büyüyen nüfusa sürekli gıda tedarikinin sağlanması ve çiftçilerin kaliteli pazarlanabilir ürünler üretmesi için hem verimli hem de uygun fiyatlı kurutma yöntemleri gereklidir. Bugün dünya üzerinde pek çok ülkede ürünler direkt güneş altında bırakılarak eski metotlarla kurutma yapılmaktadır. Ancak, bu yöntemin enerji sarfiyatı olmasa da pek çok dezavantajı vardır. Kurutulacak ürün atmosfere açık ortamda kurutulduğu için ürün dışarıdan gelebilecek istenmeyen bazı safsızlıklarla kirlenerek kuru ürün kalitesini olumsuz etkilenebilir. Bu kurutma yöntemi yazın güneşli zamanlarda ve geniş alanlarda yapılmaktadır. Kurutulacak ürün alana serilip, uzun sürelerde kuruyana kadar güneş altında bekletilir. Ancak yağmur yağdığı zaman ürün ıslanıp, üründe yeniden kurutma ihtiyacının doğması ve kurutulmuş ürünün tekrar nem alarak kalite özelliklerini yitirmesi bu yöntemin başlıca olumsuzlukları arasında gösterilebilir. Bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için çeşitli kurutucular kullanılabilir ancak güneş enerjili kurutucular dışındaki kurutucular konvansiyonel enerji kaynakları ile çalışmakta olup, hem çevre hem de işletme maliyeti açısından uygun olmamaktadır. Türkiye ve Mersin'de üretiminin fazla olduğu elmanın kurutma sıcaklığı ve elmadan uzaklaştırılması gereken nem içeriğine bakıldığında güneş enerjili kurutucuların kullanımının fayda sağlayacağı görülmektedir. Elma, çok üretilen ve tüketilen, yaz kış daima bulunabilen bir meyve olup, en az başlangıç neminin %60'ı uzaklaştırılması ve kurutma sıcaklığının 74oC üzerinde olması sebebiyle bir kurutucuda kurutulmasıyla kaliteli ve raf ömrü uzun bir kuru ürün elde edilebileceğinden seçilmiştir (Ertekin ve Yaldız, 1998). Güneş enerjili kurutucuların enerjisi güneşten aldığı için yakıt masrafı yoktur dolayısıyla daha ekonomiktir. Aynı zamanda daha temiz, daha kısa sürede ve

düşük sıcaklıkta kuru ürün elde etmek için önemli avantajlar sağlar (Oztürk, 2008; Aktas ve ark., 2006; Yıldız ve Gokayaz 2015). Mersin ili yılın 300 günü güneş alan, güneş enerjisi bakımından birinci kuşakta yer alan güneşlenme potansiyeli oldukça yüksek olan bir ilimizdir. Hem güneşlenme potansiyeli hem de yaş sebze ve meyve üretiminde önde gelen bir il olması sebebiyle güneşin ısıtma etkisinden gıda alanında kurutma işleminde faydalanarak ve bu kurutma işleminin optimizasyonu yapılarak ülkenin tarım-gıda ekonomisine önemli katkı sağlanabilir. Kurutma parametreleri optimize edilerek güneş enerjili kurutucuların kullanımının sanayide uygulanabilirliği arttırılarak yaygınlaşması sağlanabilir. Optimizasyon yöntemleri, proses tasarımlarını verimli bir hale getirmek amacıyla uygulanmaktadır. Kurutma işleminin optimizasyonu için gıda kurutma işlemlerinin optimizasyonunda çok sık kullanılan, daha az sayıda deney ile optimum sonuca ulaşılabileceğimiz Yanıt Yüzey Yöntemi kullanılmıştır. Yanıt Yüzey Yönteminde kurutma parametreleri, dilim kalınlığı, kurutma süresi ve tepsiye yüklenen elma dilimlerinin kütlesi, olarak seçilmiştir. Optimize edilen yanıt ise kurutma hızı, % nem kaybı ve büzülme oranı seçilmiştir. Yanıt yüzey yöntemi ile kurutma parametreleri ve yanıtlar arasında uygun bir matematiksel model elde edilmiş, bu model üzerinden optimum kurutma parametreleri bulunmuş, değişkenlerin yanıt üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

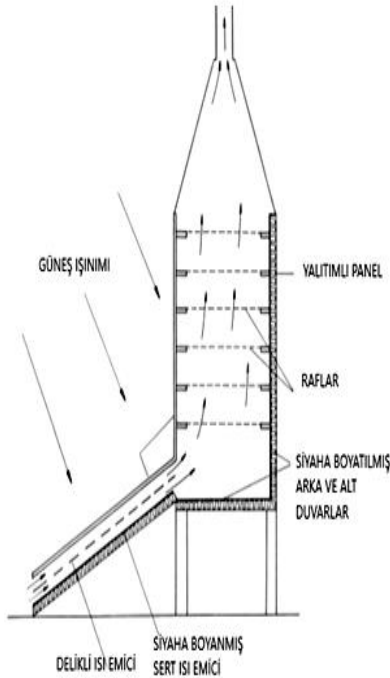
Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında elma kurutmada kullanılacak olan çok raflı doğal konvektif güneş enerjili kurutucu özel olarak tasarlanmıştır. Şekil 1'de gösterilen kurutucu; kolektör (toplayıcı), kurutma bölümü (odası) ve bacadan oluşmaktadır. Kurutucu odası içerisinde raflar yerleştirilmiştir. Arka cephede rafların kurutucu içine yerleştirilebilmesi için bir kapak bulunmaktadır. Kolektör ile güneş ışınları tutularak ısı enerjisine çevrilir ve kurutma havasına aktarılır. Güneş

Güneş Enerjili Kurutucuda Kurutulan Elma Dilimlerinin Kurutma Koşullarının RSM ile Optimizasyonu

kolektöründe güneş ışınları absorbe edilip, kolektör içerisine alınan hava ısınır ve ısınan hava kurutma odasına girer; raflar halinde yerleştirilmiş ve elma bulunan kurutma raflardan geçerek ürünün nemini alır ve ürünlerin yerleştirildiği delikli raflardan geçerek her iki yüzeyde yer alan hava çıkış açıklıklarından nemli hava kurutucu dışına atılarak kurutma işlemi tamamlanır.

Güneş enerjisi ile ısıtılan hava yardımıyla alınan meyve veya sebzenin nemi, yine aynı hava ile kurutma ortamından uzaklaştırılmaktadır.



Şekil 1. Çok Raflı Doğal Konvektif Güneş Enerjili Kurutucu

Denemeler için Starking Delicious cinsi elma kullanılmıştır. Elmalar denemelerden önce bir takım hazırlık safhalarından geçirilmiştir. Yıkayıp kabukları soyulan elmaların çekirdekleri alınmış ve ardından da ikiye bölünerek yarım ay şeklinde belirlenen dilim kalınlıklarında dilimlenmiştir. Kurutma öncesi ilk ağırlık ölçümleri hassas terazi ile ölçülmüştür. Elma dilimlerinin hacim ölçümleri ise cam mezür ile belirlenmiştir.

Gıdalar hasat sonrasında ve çeşitli işlemlerden geçtiklerinde yapılarında kalitelerini etkileyen birtakım değişimler oluşmaktadır. Elma için de renk değişimi kaliteyi olumsuz etkileyen bir parametredir. Elmanın yapısında bulunan fenolik bileşiklerin, uygulanan işlemler (soyma, dilimleme gibi) sonucunda meydana gelen esmerleşmeyi önlemek için elma dilimleri %0,3 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmıştır. Çözeltiden alınan dilimlenmiş elmaların fazla suları süzgeçler yardımıyla süzdürülerek kurutma işlemleri için tepsilere yerleştirilmiştir.

Kurutmaya etki eden faktörler olarak kuruma süresi, dilim kalınlığı ve tepsiye yüklenen kütle miktarı seçilmiştir. RSM deki deney tasarımına göre belirlenen kuruma süreleri boyunca ağırlık ve hacim ölçümleri alınmış, %nem kaybı, kurutma hızı ve büzülme oranları gibi kurutma verileri elde edilmiştir. Bu veriler aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir (Darıcı ve Şen 2012; Aboud 2013; Tüfekçi 2014).

$$\text{Nem Kaybı} = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \quad (1)$$

$$\text{Kuruma Hızı} = \frac{M_0 - M_t}{\Delta t} \quad (2)$$

$$\text{Büzülme oranı} = \frac{V_0 - V_t}{V_0} \quad (3)$$

Eşitlik 1 ve 2’de yer alan M_0 ve M_t kurutma öncesi elma diliminin ağırlığı ve kurutma sonrası elma diliminin ağırlıkları (g), eşitlik 3’de yer alan V_0 ve V_t , kurutma işleminden önceki örnek hacmi (v_0) ve kurutma işlemi sonundaki örnek hacmini (ml) ifade etmektedir. Δt , kurutma işleminin süresini ifade etmektedir.

Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM)

Yanıt yüzey yöntemi, problemlerin analizi ve modellenmesinde matematiksel ve istatistiksel yöntemlerin bir arada kullanılarak sonucun optimize edilmesi olarak açıklanmıştır. Prosesi etkileyen parametreler bağımsız değişkenler olarak, yanıtlar ise bağımlı değişkenler olarak

Güneş Enerjili Kurutucuda Kurutulan Elma Dilimlerinin Kurutma Koşullarının RSM ile Optimizasyonu

adlandırılmaktadır. Optimum bölge, yanıtların izohips eğrilerinin çizilerek üst üste yerleştirilmesi veya istenilen hedefe ulaşma fonksiyonu veya lineer olmayan programlama yaklaşımları kullanılarak belirlenir. İlk kimya alanında kullanılsa da son yıllarda tıp, ilaç sanayi, gıda sektörü, bilgisayar ve otomotiv sektörleri gibi pek çok uygulama alanı bulmuştur. RSM uygulamalarında ilk olarak bir dizi fikirler öne atılarak sistemi karakterize edebilecek yanıtlar ve bunlar üzerinde etkili olabilecek faktörlerin veya değişkenlerin belirlenmesi gerekir. Birçok proseste bu faktörler oldukça fazla olabilir. Bu gibi durumlarda ön denemeler yapılarak, faktörler arasından istatistiksel olarak en önemli olan birkaç faktör seçilebilir. Bu denemeler eleme denemeleri olarak bilinir ve araştırmanın ilerleyen aşamalarında daha az deneme yapılmasını sağlar. Böylece zaman ve maliyet açısından önemli avantaj sağlanmış olunur.

İkinci aşamada; bağımsız değişkenlerin deneme bölgesinde belirlenen seviyelerin, sistemin yanıtında oluşturdukları değere bakılarak optimum noktaya yakın sonuçlar verip vermediğine bakılır. Oluşturulan yanıt yüzeydeki eğrilik, optimuma yaklaştıkça belirgin hale gelir. RSM'nin üçüncü aşaması optimum noktaya yaklaşıldığında başlar. Araştırmacı burada gerçek yanıt fonksiyonunu doğru ve hassas bir şekilde tahmine çalışır. Gerçek yanıt fonksiyonu, optimum nokta etrafında önemli bir eğrilik gösterir ve bu eğrinin tahmininin yapılmasında ikinci dereceden modeller kullanılır. Uygun bir model elde edildikten sonra bu model optimum noktanın araştırılmasında kullanılır.

Gıda bilimi ve teknolojisi alanında yaygın olarak kullanılan optimizasyon yöntemlerinden biri olan RSM, prosesin performansı ve ürünün kalite özellikleri üzerinde çok sayıda proses parametresinin etkili olduğu durumlarda daha sık kullanılmaktadır. RSM, dinamik bir optimizasyon yöntemi olup, sistemin amaç fonksiyonuna etki eden çok sayıda değişkeni bir arada ve eşzamanlı olarak inceler. Kurutma ile yapılan bu çalışmaların çoğunda RSM kullanılmıştır.

Çok raflı güneş enerjili kurutucudaki kurutma işleminin optimizasyonu için yanıt yüzey yöntemi kullanılmış, bu yöntemin belirlediği deneysel tasarıma göre deneyler yapılmış, elde edilen deney sonuçlarına göre matematiksel model elde edilmiş ve bu model üzerinden optimizasyon yapılmıştır (Ertekin ve Sultanoğlu, 2000; Mitra ve Meda, 2009; Eren ve Ertekin, 2007; Eren, 2004; Yıldız ve Sarımeşeli 2015, 2016)

Sonuçlar ve Tartışma

Deneysel Tasarım

Yanıt yüzey yöntemi analizi için Design Expert 6.0.10 programı kullanılmıştır. Kurutma işleminin parametreleri olan bağımsız giriş değişkenleri dilim kalınlığı, kurutma süresi ve tepsiye yüklenen elma dilimlerinin kütlesi seçilmiştir. Bu değişkenlerin daha önce yapılan kurutma çalışmalarında belirlenen yanıtlar üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. Ayrıca RSM deneysel tasarımında deney koşullarının kolaylıkla ayarlanabileceği ve kontrol edilebileceği değişkenler olduğu için bu parametreler seçilmiştir. Parametre sayısı arttıkça kurulacak matematiksel model kompleks olacak ve model üzerinden yapılacak optimizasyonda güç olacağı için yanıtları etkileyen en önemli bu üç kurutma parametresi seçilmiştir. Giriş değişkenlerinin alt-üst sınırları programa belirlenmiş, faktörler ve etki düzeylerine göre program deney seti oluşturulmuştur. Sonuç olarak bu yöntem ile kurutma işleminin giriş parametrelerinin optimum seviyelerinde elde edilecek maksimum yanıtlar arasında kurulacak en uygun matematiksel model seçilmiş, deney sonuçları matematiksel modelle karşılaştırılmıştır. Ayrıca optimum sonuçlar ve kurutma işleminin parametrelerinin deney sonuçları üzerine etkisi belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ANOVA tabloları verilmiştir.

Tablo 1'de verilen deney veri seti, bağımsız değişkenlerden olan X_1 tepsiye yüklenen elma dilimlerinin kütlesi (32.7-167 g), X_2 kuruma süresini (58.6- 361 dk.) ve X_3 ise elma dilim kalınlığını (3.98- 9.02

Güneş Enerjili Kurutucuda Kurutulan Elma Dilimlerinin Kurutma Koşullarının RSM ile Optimizasyonu

mm) ifade etmektedir. Değişkenlerin alt ve üst sınırları daha önce yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. Elma dilimleri miktarı, dilim kalınlığı ve kurutma süresi için optimal seviyelerin beş farklı kod değerleri $-\alpha$, -1 , 0 , 1 ve $+\alpha$ olarak verilmiştir. -1 , X parametresinin minimum kod seviyesi, 0 , X parametresinin ortalama değeri, $+1$, X parametresinin maksimum kod seviyesini ifade etmektedir. $-\alpha$, X parametresinin minimum değerinin α kadar altındaki kod seviyesini ve $+\alpha$, X parametresinin maksimum değerinin α kadar üstündeki kod seviyesini ifade etmektedir. α , eksenel parametre için düzeltme terimi olup, aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanır. 2k faktöriyel noktalarının sayısıdır. Üç giriş değişkeni için $\alpha=1.68$ dir [13].

$$\alpha = \sqrt[4]{2^k} \quad (4)$$

Tablo 1. Değişkenlerin Gerçek Değerleri ve Kodları

	Kod Seviyeleri				
	$-\alpha$	-1	0	1	$+\alpha$
X ₁	32.7	60	100	140	167
X ₂	58.6	120	210	300	361
X ₃	3.98	5.00	6.50	8.00	9.02

Tablo 1 de verilen giriş değişkenlerinin alt-üst sınırları programa yüklenmiş, faktörler ve etki düzeylerine göre program tablo 2 deki deney seti oluşturmuştur. Deney tasarımında, yanıt yüzey yönteminin CCRD (Merkezi Tümlşik Tasarım) (Central Composite Rotatable Tasarım) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde her bir faktör için merkez noktadan uzak faktöriyel noktalar için ± 1 birim, eksen noktaları ise $\pm \alpha$ birimdir. Merkez noktada 6, eksen noktalarında 6 ve faktöriyel noktalarda ise 8'er olmak üzere toplam 20 deneme içeren bir tasarım oluşturuldu.

Kurutulacak üründen nemin uzaklaştırılması ürünün uzun süre depolanabilmesi ve muhafazası için oldukça önemlidir. Havanın nemi, sıcaklığı ve kurutulacak ürünün dilim kalınlığı kuruma hızını etkilemektedir. Bu nedenle yanıtlararak (çıkış değişkenleri)

uzaklaştırılan su kaybı (YWL), kuruma hızı (YDR) ve büzülme oranı (YSR) seçilmiştir.

Tablo 2. Deney Veri Seti

Deney No	X ₁	X ₂	X ₃	Y _{WL}	Y _{DR}	Y _{SR}
-						
1	1.0	-	-	0.360	0.023	0.368
2	0	1.00	1.00	0.451	0.026	0.476
3	1.00	-1.00	0	0.747	0.019	0.834
4	0	1.00	0	0.704	0.018	0.725
5	1.00	1.00	0	0.299	0.025	0.290
6	0	-1.00	1.00	0.353	0.027	0.379
7	1.00	-1.00	1.00	0.597	0.020	0.617
8	0	1.00	1.00	0.597	0.021	0.627
9	1.00	1.00	1.00	0.598	0.024	0.635
10	1.68	0.00	0.00	0.529	0.021	0.590
11	0.00	-1.68	0.00	0.170	0.026	0.187
12	0.00	1.68	0.00	0.653	0.017	0.621
13	0.00	0.00	8	0.674	0.018	0.741
14	0.00	0.00	1.68	0.477	0.028	0.519
15	0.00	0.00	0.00	0.518	0.023	0.539
16	0.00	0.00	0.00	0.535	0.023	0.545
17	0.00	0.00	0.00	0.548	0.024	0.537
18	0.00	0.00	0.00	0.552	0.024	0.596
19	0.00	0.00	0.00	0.575	0.024	0.591
20	0.00	0.00	0.00	0.575	0.025	0.585

Y_{WL}, Y_{DR} ve Y_{SR} yanıtları için oluşturulan modelin varyans analizi (ANOVA) sonucunda çok küçük bir olasılık değeri (P değeri) alması modelin önemini ortaya koymaktadır. ANOVA, P değerinin 0.0001'den küçük olduğu yerlerde modelin anlamlı olduğunu ileri sürülmektedir. Katsayıların her birinin önemini kontrol etmek için bir araç olarak kullanılan P değerleri, değişkenler arasındaki etkileşim şeklini göstermektedir. Değişkenlerin her

Güneş Enerjili Kurutucuda Kurutulan Elma Dilimlerinin Kurutma Koşullarının RSM ile Optimizasyonu

bir yanıt üzerindeki etkisi ANOVA tabloları ile verilmiştir. P değerleri, bağımsız değişkenler arasında ortak etkileşimli modelleri tanımlamak için gerekli olan katsayıların önemini vurgulamaktadır. P değeri 0.0001'den küçük olması modelin önemli olduğunu göstermektedir. Tablo 3'de $P < 0.0001$ 'deki yanıtlar için istatistiksel olarak önemli olan bazı değişkenler bulunmaktadır. Belirlenen değişkenlerin nem kaybı, kuruma hızı ve büzülme oranı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Her bir cevap için değişkenlerin kodlanmış değerlerine karşılık gelen ikinci dereceden modeller birleştirilmiştir.

En iyi model performansları (R^2 değerleri nem kaybı için 0.981, kuruma oranı için 0.801 ve büzülme oranı için ise 0.973) lineer, ikinci derece polinomial, çarpım ve kübik modeller içerisinde en yüksek uyumu (R^2) veren denklem seçilmiştir.

Tablo 3. RSM için Regresyon Parametrelerinin ANOVA Değeri

Yanıt	Regrasyon	df	R^2	F	P>F
Nem Kaybı	Doğrusal	3	0.865	34.2	<0.0001
	Çapraz-çarpım	3	0.880	0.529	0.670
	<u>Kuadratik</u>	<u>3</u>	<u>0.981</u>	<u>17.9</u>	<u>0.000239</u>
	Artık	4			
	Toplam	20			
	<u>Doğrusal</u>	<u>3</u>	<u>0.801</u>	<u>21.5</u>	<u><0.0001</u>
Kurutma Hızı	Çapraz-çarpım	3	0.815	0.319	0.811
	Kuadratik	3	0.872	1.50	0.274
	Artık	4	0.989		
	Toplam	20			
	Doğrusal	3	0.793	20.4	<0.0001
	Çapraz-çarpım	3	0.826	0.815	0.508
Büzülme Oranı	<u>Kuadratik</u>	<u>3</u>	<u>0.973</u>	<u>17.9</u>	<u>0.000243</u>
	Artık	6			
	Toplam	20			

Tablo 2 de görüldüğü üzere Y_{WL} olarak gösterilen su kaybı %17 ila %74.7 değerleri arasında iken, Y_{DR} olarak verilen kuruma hızı 0.016 ila 0.280 g/dk arasında ve Y_{SR} ile belirtilen büzülme oranı ise 0.187-0.834 değerleri arasında değişmektedir. Su kaybı ve büzülme oranı için maksimum ve minimum değerleri veren deney koşulları aynı olup,

maksimum yanıt için 3 nolu deney ve minimum yanıtlar için 11 nolu deney olmuştur. Buna göre, en fazla su kaybı ve büzülme oranı elma dilim kalınlığının 5 mm ve kurutma süresinin 300 dakika olduğu 60 gramlık denemede gözlemlenirken, en düşük su kaybı ve büzülme oranı 58.6 dakikada yapılan 6.50 mm dilim kalınlığındaki 100 gramlık yüklemde gözlemlenmiştir. Kuruma hızı ise elma dilim kalınlığının 9.02 mm olduğu 100 gram yükleme yapılarak 210 dakikada kurumaya bırakılan denemede maksimum değerini ve 6.50 mm kalınlığında 361 dakika boyunca kurutulan 100 gramlık yükleme yapılan denemede minimum değerine ulaşılmıştır.

Yanıt Yüzey Yönteminin Değerlendirilmesi

Her katsayının ve etkileşimlerinin önemi Tablo 4'de gösterilmiştir. Genel olarak araştırılan özellikler üzerinde yanıtlar üzerinde etkisinin çok önemli olduğu, dilim kalınlığı ve kuruma süresinin özellikle nem kaybını ve büzülme değerlerini önemli derecede ($P < 0.001$) etkilediği, kurutma hızı üzerine özellikle kuruma süresinin önemli etkisi olduğu ($P < 0.001$) belirlenmiştir. Tepsiyeye yüklenen taze elma dilim miktarının ise yanıtlar üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Tablo 4. Yanıt Modelleri için ANOVA Tabloları

Nem Kaybı				
Faktör	Kareler Toplamı	df	F Değeri	p-değeri > F
Model	0.376	9	57.9	0.0001
x_1	1.34E-005	1	0.0185	0.895
x_2	0.291	1	403	0.0001
x_3	0.0409	1	56.6	0.0001
x_1^2	0.00027	5	0.381	0.551
x_2^2	0.0353	1	48.8	0.0001
x_3^2	0.00105	1	1.45	0.256

Güneş Enerjili Kurutucuda Kurutulan Elma Dilimlerinin Kurutma Koşullarının RSM ile Optimizasyonu

x ₁ x ₂	0.00443	1	6.13	0.0328
x ₁ x ₃	3.69E-006	1	0.00510	0.944
x ₂ x ₃	0.00119	1	1.65	0.228
Artık Model uygunsuzluğu	0.00723	0		
Hata	0.00471	5	1.88	0.253
Toplam	0.00251	5		
	0.384	9		

Büzülme Oranı

Faktör	Kareler Toplamı	df	F Değeri	p-değeri Olasılık > F
Model	0.434	3	39.4	0.0001
x ₁	3.67E-005	1	0.0300	0.866
x ₂	0.299	1	244	0.0001
x ₃	0.0545	1	44.5	0.0001
x ₁ ²	0.00323	1	2.64	0.135
x ₂ ²	0.0501	1	40.9	0.0001
x ₃ ²	0.00639	1	5.22	0.0454
x ₁ x ₂	0.0109	1	8.90	0.0137
x ₁ x ₃	0.00126	1	1.03	0.334
x ₂ x ₃	0.00248	1	2.02	0.185
Artık Model uygunsuzluğu	0.0122	0		
Hata	0.00833	5	2.13	0.213
Toplam	0.00391	5		
	0.446	9		

Kurutma Hızı

Faktör	Kareler Toplamı	df	F Değeri	p-değeri Olasılık > F
Model	0.00014	3	4.95E-005	0.0001
x ₁	8	1	3.88E-007	0.686
x ₂	0.00010	1	0.00010	<
x ₃	5	1	5	0.0001
Artık Model uygunsuzluğu	4.36E-005	1	4.36E-005	0.00049
Hata	3.68E-005	6	2.30E-006	3
Toplam	3.47E-005	1	3.15E-006	
	2.07E-006	1	0.006	0.0182
Hata	2.07E-006	5	4.15E-007	
Toplam	0.00018	1	0.007	
	5	9		

Optimum Kurutma Koşullarının Belirlenmesi

Yanıt yüzey yönteminde yer alan giriş değişkenleri ve yanıtlar arasında uygun bir matematiksel bağıntı kurulmuş ve bu model kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. Kurutma koşulları ve yanıtlar arasındaki ilişkiyi tanımlayan matematiksel model aşağıda verilmiştir ve değişkenlerin kod değerleri bu denkleme göre belirlenmiştir. i ve j'nin doğrusal ve ikinci dereceden katsayılar olduğu yerde; b bir regresyon katsayısını, k deney tasarımındaki optimize edilen faktörleri ve e ise rastgele bir hatayı tanımlamaktadır.

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ij} X_i^2 + \sum_{i < j}^k b_{ij} X_i X_j + e \quad (5)$$

Tablo 2 de verilen koşullarda yapılan deneyler sonucunda alınan yanıtlara göre kurutma koşulları ve yanıtlar arasındaki ilişkiyi tanımlayan matematiksel model oluşturulmuş ve aşağıda verilmiştir.

$$Y_{WL} = 0.550 - 0.000989X_1 + 0.146 X_2 - 0.0547 X_3 + 0.00437X_1^2 - 0.0495 X_2^2 + 0.00853X_3^2 - 0.0235X_1 X_2 + 0.000679X_1 X_3 - 0.0122 X_2 X_3 \quad (6)$$

$$Y_{DR} = 0.0227 + 0.000169X_1 - 0.00277X_2 + 0.00179X_3 + 0.018X_1X_2 + 0.013X_1X_3 - 0.020X_2X_3 \quad (7)$$

$$Y_{SR} = 0.566 - 0.00164X_1 + 0.148 X_2 - 0.0631X_3 + 0.015X_1^2 - 0.0589X_2^2 + 0.0211X_3^2 - 0.0369X_1X_2 + 0.0125X_1X_3 - 0.0176X_2X_3 \quad (8)$$

Yukarıda program tarafından belirlenen 6,7 ve 8 eşitlikleri kullanarak kurutma koşullarının optimum seviyeleri belirlenmiştir. Eşitlikler kolay türevi alınabilen denklemler olduğu için her bir etkene göre birinci türev alınıp yanıt sıfıra eşitlenerek (analitik yöntem) katsayılar matrisi oluşturulmuştur. Bu katsayılar matrisi MATLAB da çözülerek her bir değişken için optimum seviyeler aşağıdaki Tablo 5'deki gibi belirlenmiştir.

Güneş Enerjili Kurutucuda Kurutulan Elma Dilimlerinin Kurutma Koşullarının RSM ile Optimizasyonu

Tablo 5. Optimum kurutma koşulları

Yanıtlar	X ₁ (g)	X ₂ (dk)	X ₃ (mm)
Nem kaybı	105.720	159.042	6.667
Kurutma Hızı	100.001	218.120	6.480
Büzülme Oranı	92.860	274.800	6.504

Maksimum su kaybı için kurutma parametrelerinin optimum seviyeleri tepsiye yüklenen taze elma dilimlerinin kütlesi için 92.860-105.720 g, kurutma süresi için 159.042-274.800 dk ve elma dilim kalınlığı için 6.480-6.667 mm aralığında olduğu belirlenmiştir. Dilim kalınlığının azalması ve kurutma süresinin artması ile elma diliminden nem kaybı ve büzülme oranı artmıştır.

Sonuç

Mersin'de hava sıcaklığı diğer illerimize göre yüksek olmasına karşın hava nemi de yüksektir. Bu durum, kurutma ortamı için sorun oluşturmaktadır. Ancak güneş enerjili kurutucu odasındaki hava sıcaklığı güneş altındakinden daha yüksek ve hava nemi de daha az olduğundan Mersin de kullanımı ile kurutmadaki bu sorun çözüme kavuşabilir. Ayrıca kurutma işleminin parametreleri proses tasarımlarını ve işlemi verimli hale getirmek amacıyla optimize edilmesi güneş enerjili kurutucuların kullanımının sanayide uygulanabilirliği artırılarak yaygınlaşması sağlanabilir. Bu çalışmada optimizasyon yöntemi olarak kullanılan RSM ile 20 gibi az sayıda deneyle optimum sonuca ulaşılmıştır. Deney sonuçlarıyla uyumlu bir matematiksel model elde edilmiş ve bu modelin ANOVA istatistiksel analizi yapılmıştır. Nem kaybı, büzülme oranı ve kurutma hızı üzerine tepsiye yüklenen taze elma dilim miktarının etkisinin olmadığı, dilim kalınlığının ve kurutma süresinin etkisi olduğu bulunmuştur.

Kaynaklar

Aboud, A. (2013) Drying Characteristic of Apple Slices Undertaken the Effect of Passive Shelf Solar Dryer and Open Sun Drying. *Pakistan Journal of Nutrition* 12 (3), 250-254.

- Aktas, M., Ceylan, İ., Dogan, H. (2006). Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutması. *Politeknik Dergisi* 289-294.
- Darıcı, S., Şen, S. (2012) Kivi Meyvesinin Kurutulmasında Kurutma Havası Hızının Kurumaya Etkisinin İncelenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi* 20 (130): 51- 58.
- Eren, İ., Ertekin, F. K. (2007) Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *Journal of Food Engineering* 79: 344-352.
- Eren, İ. (2004) Patateslerin osmotic dehidrasyonunun response surface metodu kullanılarak optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi.
- Ertekin, F. K., Sultanoğlu, M. (2000) Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering* 46(4), 243-250.
- Ertekin, C., Yıldız, O. (1998) Bazı Sebze Meyve ve Baharatlı Bitkilerin Kurutulma Yöntemleri ve kullanılan Güneş Enerjili Kurutucular. Tarımsal Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi. Tekirdağ. 673-693 s..
- Mitra, P., Meda, V. (2009) Optimization of microwave-vacuum drying parameters of saskatoon berries using response surface methodology. *Drying Technology*. 27: 1089-1096.
- Oztürk, H. (2008) *Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı*. Ankara.
- Tüfekçi, S. (2014) Ultrases Ön İşleminin Bamy ve Elma Örneklerinin Kurutma Performansları Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi. Denizli
- Yıldız, Z., Gökayaz, L. (2018) Çok Rafli Güneş Enerjili Kurutucuda Elma Kurutulması. 3rd International Mediterranean Science And Engineering Congress IMSEC 2018. Adana.
- Yıldız, Z., Sarımeşeli, A. (2015) Optimization of Osmotic Dehydration of Organic Red Pepper

Güneş Enerjili Kurutucuda Kurutulan Elma Dilimlerinin Kurutma Koşullarının RSM ile Optimizasyonu

Using Response Surface Methodology, *International Journal of Engineering & Applied Sciences (IJEAS)*. Vol.7. Issue 419-33.

Yıldız, Z., (2017) Osmotic dehydration of anchovy fillets in salt solution: optimization by using statistical experimental design. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 16 (4): 1187-1203.