



**Zehra Yıldız**

Tarsus University, zyildiz@tarsus.edu.tr, Mersin-Turkey

**Leyla Gökayaz**

Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University,  
leyla.gokayaz@gmail.com, Adana-Turkey

DOI	<a href="http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.1.1A0449">http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.1.1A0449</a>	
ORCID ID	0000-0003-1304-4857	0000-0002-7580-9838
CORRESPONDING AUTHOR	Zehra Yıldız	

### RAFLI DOĞAL KONVEKTİF GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCUDA ELMA KURUMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ

#### ÖZ

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. Kurutma işleminin ekonomik ve kuru ürün kalitesinin yüksek olması için güneş enerjili kurutucular kullanılmaktadır. Bu çalışmada elma dilimleri 4 ve 10mm kalınlığında dilimlenerek raflı doğal konvektif güneş enerjili kurutucuda kurutulmuş, ayrılabilir nem oranının elma dilimlerinin kuruma kinetiğine olan etkisi incelenmiştir. Deneyler 40°C, 44°C ve 48°C kurutucu kabin hava sıcaklıklarında ve 0.009g/dk, 0.01g/dk ve 0.012g/dk kurutma hava hızlarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, Page, Midilli ve Henderson-Pabis modellerine göre kurutma kinetiği incelenmiş ve Henderson-Pabis modelinin daha uygun sonuç verdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kurutma, Güneş Enerjili Kurutucu, Elma, Gıda, Henderson-Pabis Modeli

### INVESTIGATION OF DRYING KINETIC OF APPLE IN NATURAL CONVECTIVE SOLAR TRAY DRYER

#### ABSTRACT

There are several drying techniques for storing fresh food products for a long time without decomposition. These include hot air drying, vacuum drying, drying with solar collectors, microwave drying and freeze drying. Natural convection solar tray dryer is used for ensuring economic and product quality of operations. In this study, apple slices were sliced 4 and 10mm thick and dried in natural convective solar dryer to examine the effect of drying separable moisture ratio on drying kinetics of apple slices. The experiments were carried out 40°C, 44°C and 48°C at different drying temperatures and 0.009g/min, 0.01g/min and 0.012g/min at different drying air rate. Drying kinetics were examined according to Page, Midilli and Henderson-Pabis models. For the drying kinetics, the Henderson and Pabis model which are more suitable model.

**Keywords:** Drying, Solar Dryer, Apple, Food, Henderson-Pabis Model

#### How to Cite:

Yıldız, Z. ve Gökayaz, L., (2020). Raflı Doğal Konvektif Güneş Enerjili Kurutucuda Elma Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi, Engineering Sciences (NWSAENS), 15(1):34-42, DOI: 10.12739/NWSA.2020.15.1.1A0449.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye’de zengin meyve ve sebze çeşitliliği olması sebebiyle yaş sebze ve meyve tüketimi ile üretimi oldukça fazladır. Türkiye’de üretilen meyvenin büyük bir çoğunluğu yurt içinde tüketilmekte ve yaklaşık %30’luk kısmı ise ihraç edilmektedir. Taze meyve ve sebze üretiminin yaklaşık %60’ı Mersin ilinden, bu miktarın yarısı da Tarsus ilçesinden karşılanmaktadır. Tarsus ilçesi, özellikle yaş meyve üretiminde ülke ekonomisine önemli katkısı olan ilçelerden biridir. Ancak üretimden tüketime kadar gerek nakliye sırasında, gerek depolama yetersizliği, gerekse de bazı yıllarda talebin üzerinde gerçekleşen yüksek arz nedeni ile gıda ürünlerinde önemli kayıplar söz konusudur. Meyvedeki kayıplar yıllık üretimin %35’ine, sebzedeki kayıplar ise yıllık üretimin %40’ına ulaşmaktadır [1 ve 2].

Taze tüketiminin ve ihracatın sınırlı olmasından dolayı elde kalan ürünlerin bozulmadan uzun süre muhafaza edilmesi gıda sektörü için önemli bir problemdir. Meyve ve sebzeler, yüksek nem içeriğinden dolayı kolay bozulan ve uzun süre depolanamayan gıda ürünleridir. Gıda maddelerinin uzun süre depolanmasına, bozulmalarına neden olan nemin uzaklaştırılması ile fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik reaksiyonlar engellenerek ya da hızı azaltılarak raf ömrü uzun ve kaliteli gıda ürünleri elde edilebilir. Bunun için gerek duyulan son nem içeriğine ulaşmak gerekmektedir. Pastörizasyon, soğutma, atmosfer kontrolü, kimyasal işleme ve kurutma gibi işlemlerle istenen nem içeriğine ulaşılabilir. Kurutma, bu yöntemler içerisinde en eski ve en yaygın olarak kullanılan gıda koruma yöntemidir. Kurutma, herhangi bir gıda maddesinin içerdiği nemin kontrollü olarak buharlaştırılarak besinden uzaklaştırılması işlemidir. Gıda maddelerinin kurutulması ile bozulmadan uzun süre saklanabilen ürünler elde edilmesinin yanı sıra gıdadaki nem kaybı ile ağırlık ve hacimde meydana gelen azalma sayesinde taşıma, depolama ve paketleme maliyetleri önemli oranda düşer. Hem tüketimden sonra arta kalan meyve ve sebzelerin değerlendirilmesinde hem de gıda sektöründe, gerek katkı maddesi gerek hammadde olarak kullanılan kuru ürünün elde edilmesi için çeşitli kurutma yöntemleri ve kurutucular kullanılmaktadır [3 ve 5].

Özellikle elma kurutmada mikrodalga, ozmotik dehidrasyon, güneş enerjili kurutma ve kızıl ötesi ışınla kurutma ile hibrit kurutma sistemleri yeni teknolojiler arasında bulunmaktadır [6]. Kurutma işleminin ekonomik yapılabilmesi için kurutma işlemi için gereken ısının hangi enerji kaynağından elde edileceği önemlidir. Konvansiyonel kaynaklardan elde edilen elektrik ile çalışan kurutucularında kullanımı ekonomik ve ekolojik olarak uygun değildir. Mersin ili, zengin güneş enerjisi potansiyeline ve uzun güneşleme süresine sahiptir. Kurutma için gereken ısı, yeterli güneş enerjisi olan Mersin ili için güneş enerjisinden elde edilerek kurutma işlemi için avantaj sağlanabilir. Güneş enerjili kurutucu kullanılması, ürünlerin kurutmanın istenildiği zamanlarda yapılabilmesi, işlemin proses kontrolüne ve optimizasyonuna izin vermesi, ekonomik ve ekolojik olması nedeniyle kurutma işleminde enerji kaynağı olarak kullanılması önemli üstünlükler sağlamaktadır. Güneş enerjili doğal kurutucular, güneş enerjisi dışında herhangi bir enerji kaynağına gereksinim göstermediklerinden kırsal kesimlerde çokça kullanılır. En yaygın doğal güneş kurutucu, sera tipi kurutuculardır. Kurutma işlemi, güneş ışığının doğrudan kurutulacak malzemeye ulaşması için güneşi geçiren tozlar, zararlılar ve rüzgârdan geçirmeyen şeffaf örtüler kullanılarak yapılır. Bu örtüden geçen güneş ışınları, örtü içerisinde havayı ısıtır ve bu ısı taşınarak kurutulacak ürüne ulaşır. Sera tipi kurutucuların ısı kayıpları fazla olduğundan güneş enerjili kolektörlü kurutuculara göre kurutma verimleri daha az ve kurutma süreleri de daha uzundur. Sıcak hava örtünün altında hareket ettiğinden hava

içindeki toz ve istenmeyen diğer partiküller örtüye yapışabilir. Bu istenmeyen safsızlıklar, temizlenmediğinde verim düşer ve kurutulacak malzeme kirlenebilir.

Güneş enerjili yapay kurutucularda ise kolektörler de güneşle ısınan havanın kurutucu içinde homojen bir şekilde dağılması için bir fan kullanılır. Sıcak hava kurutma fırını içindeki ürünün üzerinden veya içinden geçirilerek kurutulacak üründen nem uzaklaştırılır ve böylece kuruma sağlanır. Ancak sera tipi güneş kurutucusuna göre daha kısa sürelerde kurutma sağlansa da kurulum maliyeti yüksektir. Buna rağmen güneş enerjili yapay kurutucuların güneşte doğal kurutmaya göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar; kurutulacak ürün, tozlanma, zararlılar, yağmur ve rüzgâr gibi çevresel etkenlerden korunabilmesi, homojen kurutma, ürünün zarar görmeyeceği ve ekonomik olarak yüksek sıcaklığa kadar ısıtılabilmesi, besin değeri ve duyuşsal olarak daha iyi bir kuru ürün elde edilmesi, prosesin kolay kontrol edilebilmesidir [4 ve 5].

Türkiye elma üretimi ve ihracatında ilk beş ülke arasında yer almaktadır. En fazla Golden ve Starking cinsi elma üretimi yapılmaktadır. Ancak yılda yaklaşık 322 bin ton elma israf olmaktadır. Tüketim ve ihraçtan sonra elde kalan zayi olacak elma kurutulmuş bu israfın önüne geçebilir. Taze meyve üretiminin yanı sıra kahvaltılık gevrek, bisküvi ve kek gibi hazır yemek sektörü için kurutulmuş meyve üretimiyle ülke ekonomisine katkıda bulunabilir [2]. İnce tabaka kurutma, kurutulacak gıda ürününün tabaka halinde kurutulmasını ifade eder. İnce tabaka kurutma modelleri, mikrodalga kurutucularda, kızılötesi kurutucu, güneş enerjili kurutucu ve ısı pompalı kurutucu gibi kurutucularda elma dilimlerinin kurutulmasında uygulanmış ve iyi sonuç vermiştir [7]. İnce tabaka kurutmasındaki kuruma kinetik modelleri Tablo 1'de verilmiştir [8 ve 9]. Çizelgede yer alan ANO'yu veren kinetik modellerde "a, b, n, k, g, h" model katsayıları, "t" ise kuruma zamanıdır. Burada verilen modeller basit olup, az veri ile çözüm sağlanabilir [9].

Tablo 1. İnce tabaka kuruma modelleri  
(Table 1. Thin layer drying models)

Kinetik Modelin Adı	Matematiksel Model (ANO)
Newton	$\exp(-kt)$
Page	$\exp(-kt^n)$
Henderson-Pabis	$a \exp(-kt)$
Logaritmik	$a \exp(-kt) + c$
Çift Terimli	$a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$
Üstel Çift Terimli	$a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$
Difüzyon Yaklaşımı	$a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$
Modifiye Henderson-Pabis	$a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$
Verma ve Ark.	$a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$
Midilli-Küçük	$a \exp(-kt)^n + bt$

Bu çalışmada raflı doğal konvektif güneş enerjili kurutucuda elma dilimleri kurutulmuş ve kuruma kinetiği incelenmiştir. Mersin ili yılın 300 gününden fazla güneş alan 1. kuşakta yer alan güneş kenti olmasından dolayı kurutma yöntemi olarak özellikle güneş enerjili kurutma yöntemi seçilmiştir. Elma dilimleri ince tabaka olarak kurutulmuştur. İki farklı elma dilim kalınlığında üç farklı sıcaklıkta deneysel veriler elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre elma dilimlerinin raflı doğal konvektif kurutucuda kuruma kinetiği incelenmiştir. Tarımsal ürünler kurutulurken nem değişimini modellemek için gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki ilişkiyi belirlemek kullanılan bazı modeller vardır. Raflı kurutucularda

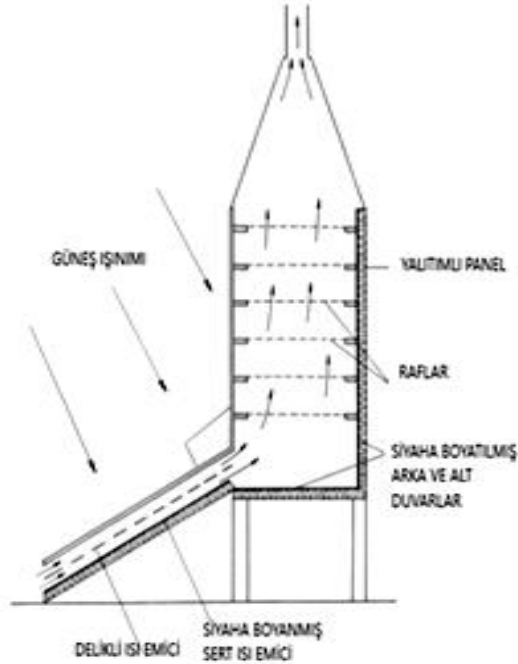
kinetik model olarak yaygın bir şekilde Page, Midilli, Henderson ve Pabis modelleri kullanılmıştır [9 ve 10].

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Taze meyve ve sebzenin, üretiminden tüketimine kadar gerek nakliye sırasında gerek depolama yetersizliği gerekse de bazı yıllarda talebin üzerinde gerçekleşen yüksek arz nedeni ile kayıpları söz konusudur. Gıda maddelerinin uzun süre depolanmasına, bozulmalarına neden olan fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik reaksiyonları engelleyerek ya da hızını en aza indirerek raf ömrü uzun ve kaliteli ürünler elde edilebilir. Gıda maddelerinin kurutulması ile bozulmadan uzun süre saklanabilen ürünler elde edilmesinin yanı sıra gıdadaki nem kaybı ile beraber ağırlık ve hacimde azalma birlikte taşıma, depolama, paketleme maliyetlerinde önemli azalmalar olmaktadır. Mersin ili, özellikle meyve üretiminde ülke ekonomisine önemli katkısı olan illerden biridir. Mersin ili hem yılın 300 günü güneşlenme potansiyeline hem de yaş sebze ve meyve üretiminde önde gelen bir il olması sebebiyle, güneşin ısıtma etkisinden faydalanarak gıda alanında kurutma işlemi yapılabilir ve bu kurutma işlemi sonucu ülkenin tarım-gıda ekonomisine önemli katkı sağlanabilir.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Kurutma deneyleri, Mersin'in Tarsus ilçesinde güneş ışınımının en yüksek ve birbirine en yakın olduğu Haziran ve Temmuz aylarında yapılmıştır. Elma dilimleri, Şekil 1. de verilen raflı güneş enerjili kurutucuda kurutulmuştur. Kurutucu ile yapılan deneylerde kurutma işleminde ısı transferi doğal konveksiyonla gerçekleştirilmiş ve elma dilimlerinin kuruma kinetiği incelenmiştir.



Şekil 1. Raflı doğal konvektif güneş enerjili kurutucu  
(Figure 1. Natural convection solar tray dryer)

Kurutmanın yapılacağı raflı güneş enerjili kurutucu, güneş toplayıcı (kolektör), güneş bacası ve kurutma kabininden (kurutma

odası) oluşmaktadır. Kurutucu kabini içerisinde delikli 5 adet çelik raf (tepsi) bulunmaktadır. Bu rafların kurutucu içine yerleştirilebilmesi için kurutucunun arka tarafında bir kapak bulunmaktadır. Kurutucuda kurutma işlemi için gereken sıcak hava, güneş kolektörü ile sağlanmaktadır. Güneş kolektörü içerisinde güneş ışığını toplayan 1 cm aralıklarla üst üste yerleştirilmiş siyah boyalı delikli üç saç plaka yerleştirilmiş ve üzerleri cam panel ile örtülmüştür. Kolektör yüzeyine gelen güneş ışınları kolektörün alt girişinden alınan havayı ısıtır ve ısı doğal konveksiyonla kurutma kabinindeki havaya aktarılır. Isınan hava kurutma odasında yer alan raflardan geçerek ürünlerdeki nem alır ve nemli hava çıkış bacasından dışarı atılarak kurutma işlemi tamamlanır [5].

Rafların yer aldığı kurutma işleminin gerçekleştiği kabinin hava sıcaklığı CEM marka DT-802 model hava kalitesi ölçüm cihazı ile takip edilmiştir. Kurutulacak elma türü olarak Starking cinsi elma seçilmiştir. Elmalar kurutulmadan önce bazı ön hazırlık işlemlerinden geçirilmiştir. Elmalar; yıkanmış, kabukları soyulmuş, çekirdekleri çıkarılmış ve ortadan ikiye kesilerek yarım ay şeklinde belirlenen dilim kalınlığına göre dilimlenmiştir. Elmalar dilimlendiğinde elmada bulunan fenolik bileşikler nedeniyle oluşan oksidatif kararmayı engellemek için kurutmaya başlamadan önce elma dilimleri %0.3 (w/v)'lük sitrik asit çözeltisine batırılmıştır [11]. Çözeltiden süzülerek alınan elma dilimlerinin kütleleri hassas terazi ile tartılarak belirlenmiştir. Elma dilimleri kurutucunun ilk rafına dizilmiş, güneş ışınından faydalanabileceğimiz toplam 300 dk kuruma süresi boyunca 30 dakika da bir beş farklı numune alınmış, tartılmış ve ortalama kütleleri hesaplanmıştır. Kurutma esnasında ürünün herhangi bir anda içerdiği nem içeriğindeki değişim, ayrılabilir nem oranı (ANO) ile ifade edilip, 1 numaralı eşitlik ile hesaplanmıştır.

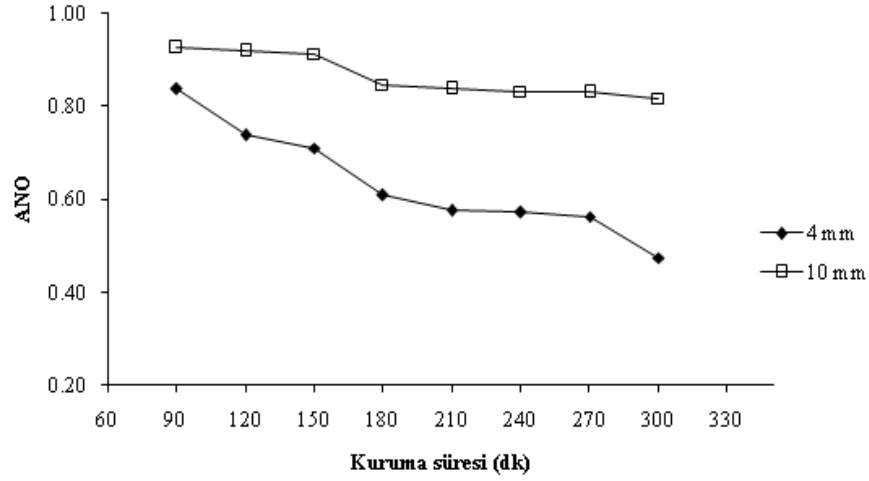
$$ANO = \frac{M}{M_0} \quad (1)$$

Burada, M herhangi bir andaki kuru baza göre ürünün nem içeriği,  $M_0$  kuru baza göre ürünün ilk nem içeriğidir [12 ve 13]. Elma dilimleri ince tabaka olarak kurutulmuştur. İnce tabaka kurutma modeli için birçok matematiksel bağıntı geliştirilmiş olup, iki değişkenli basit bir bağıntı olmasına rağmen tepsili kurutucular için uygun olan Çizelge 1 de eşitliği verilen modellerden Newton, Page, Henderson ve Pabis eşitlikleri [8] bu çalışmada tercih edilmiştir. Çalışmada eğilim eğrisi düzenleme aracı (curve fitting) kullanılarak denklemler deneysel verilere uygulanmıştır. Gıda ürünün kurutulmasının modellenmesinde regresyon ve korelasyon analizleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada da, doğrusal olmayan regresyon analizi ile model katsayıları belirlenmiş ve korelasyon analizi ile uygulanan model ile deneysel sonuçların uyumu tespit edilmiştir. Modelin uygunluk değerini belirlemek için korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) kullanılmıştır.

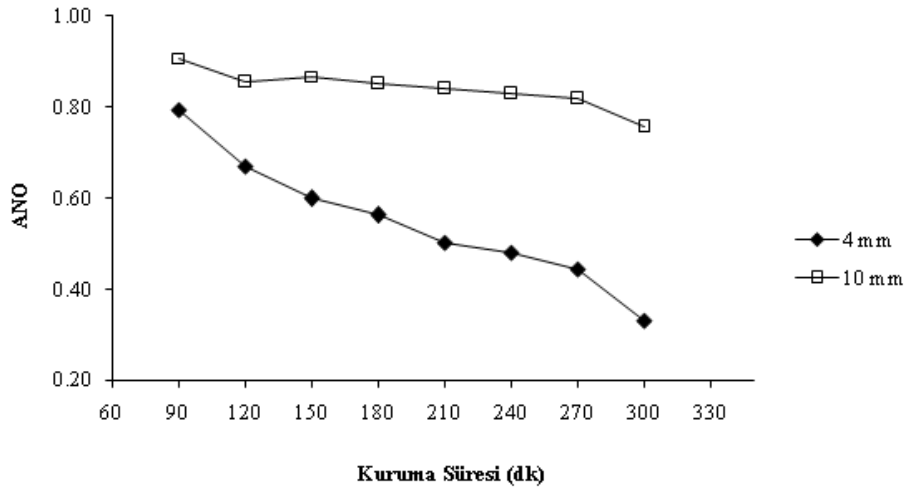
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Elma dilimleri doğal konvektif solar kurutucuda farklı şartlarda kurutulurken nem içeriğinin (ANO) zamanla değişimi belirlenmiştir. Raflı doğal konvektif güneş enerjili kurutucu kabin sıcaklığı hava kalitesi ölçüm cihazıyla belirlenmiştir. Elma dilimleri, raflı doğal konvektif güneş enerjili kurutucuda kurutma süresi boyunca kütle ölçümleri ve kabin sıcaklığı takip edilmiştir. Yapılan birçok deney içerisinde kinetik çalışma için uygun olan veriler seçilerek kinetik çalışmada kullanılmıştır. Kabin hava sıcaklığı 40°C, 44°C ve 48°C ile bu sıcaklıklara karşılık gelen ortalama hava hızı 0.009g/dk, 0.01g/dk ve 0.012g/dk olarak belirlenmiştir. Kurutucuda kurutulan elma dilimlerinin ayrılabilir nem oranının zamanla değişimi şekil 2, şekil

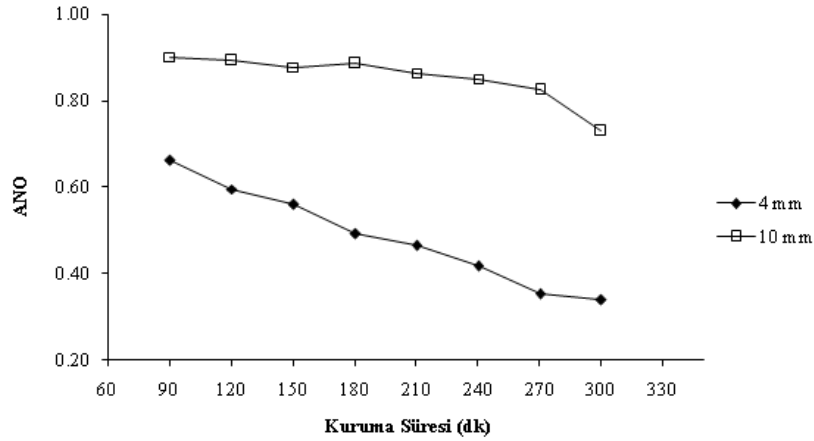
3 ve şekil 4 de verilmiştir. Kuruma eğrileri farklı kurutma havası sıcaklıkları için farklı değişimler göstermiştir. Şekillerden görüldüğü üzere zamanla nem oranı her iki dilim kalınlığında azalmıştır. Bu nem oranındaki azalma ince dilim için üstel olup, kalın dilim için yaklaşık lineerdir. Diğer taraftan elma dilim kalınlığı azaldıkça ayrılabilir nem oranının arttığı şekilde (2-4) görülmektedir. 40°C de 10mm kalınlığındaki elma dilimlerindeki ayrılabilir nem oranı en az olup, 150. dakikadan sonra ayrılabilir nem oranında önemli bir değişim gözlenmemiştir. Ayrılabilir nem oranı, en ince dilim kalınlığı olan 4mm'de, en kalın dilim kalınlığı olan 10mm dekine göre iki kat daha fazla olmuştur. Şekillerden görüldüğü üzere her iki dilim kalınlığında 270. dakikadan sonra ayrılabilir nem oranında hızlı bir düşüş olmuştur.



Şekil 2. Ayrılabilir nem oranı üzerine kurutma zamanının etkisi (40°C)  
(Figure 2. The effect of the drying time on separable moisture ratio (40°C))



Şekil 3. Ayrılabilir nem oranı üzerine kurutma zamanının etkisi (44°C)  
(Figure 3. The effect of the drying time on separable moisture ratio (44°C))



Şekil 4. Ayrılabilir nem oranı üzerine kurutma zamanının etkisi (48°C)  
(Figure 4. The effect of the drying time on separable moisture ratio (48°C))

Şekillerden görüldüğü üzere 10mm dilim kalınlığındaki elma dilimlerinin kurutmaya ait kuruma eğrilerinin eğimi en az iken 4mm dilim kalınlığındaki elma dilimlerinin kurutmaya ait kuruma eğrilerinin eğimi en fazladır. Azalan dilim kalınlığı ile yapılan kurutmaya ait kuruma eğrilerinin eğimi en yüksek değerlerde olmuştur. 4mm dilim kalınlığındaki elma dilimlerinin kurutulmasında artan sıcaklık ile yapılan kurutmaya ait kuruma eğrilerinin eğimi artan kurutma havası sıcaklığı nedeniyle belirgin bir azalma göstermiştir. Ayrıca kuruma eğrilerin eğiminde zamanla bir azalmanın olduğu da görülmektedir. Deneyler sonucunda, güneş enerjili kurutucudaki kurutma havasının sıcaklığı, kurutma süresi ve kurutulacak ürünün dilim kalınlığının ayrılabilir nem oranı üzerine oldukça etkili olduğu, artan sıcaklık, artan kurutma süresi ve azalan dilim kalınlığı ile nem oranının arttığı görülmüştür. Model sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Modellere göre verilen regresyon katsayılarının ( $R^2$ ) 0.59 ile 0.988 arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek regresyon katsayısı ile Henderson-Pabis modeli, her iki dilim kalınlığındaki elma dilimleri için daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 2. Model sonuçları  
(Table 2. The results of the models)

Elma Dilim Kalınlığı (mm)	Model	Model Katsayıları	T (°C)		
			40	44	48
10	Newton	$R^2$	0.8652	0.7371	0.8401
		k	0.0024	0.0032	0.0039
	Henderson ve Pabis	$R^2$	0.8693	0.7129	0.8304
		k	0.0007	0.0008	0.0006
		a	0.9844	0.9948	0.9537
	Page	$R^2$	0.8906	0.5900	0.7735
		k	0.0185	0.0192	0.0265
		n	0.1185	0.1272	0.1111
	4	Newton	$R^2$	0.9229	0.9877
k			0.0008	0.0009	0.0008
Henderson ve Pabis		$R^2$	0.9362	0.9881	0.9504
		k	0.0024	0.0033	0.0036
		a	1.0002	0.8961	1.0633
Page		$R^2$	0.9458	0.9493	0.9167
		k	0.0165	0.0152	0.0205
		n	0.4261	0.5655	0.6176

Özellikle konvektif kurutucu sistemlerinde genellikle kurutma havası sıcaklığı 32-80°C ve hava hızı 0.25-5 m/s olan farklı boyutlardaki meyve örneklerinin ince tabaka kurutma kinetik modellerinin genellikle Page, Logaritmik ve Midilli modellerine uygun olduğu görülmüştür [7]. Elma kurutma kinetiği ile ilgili yapılmış benzer bir çalışmada konvektif bir kurutucuda 60-80°C ve 1-3m/s de elma kurutulmuş ve kurutma kinetik modelinin Midilli'nin modeli ile uyduğu görülmüştür [14]. 35-45°C kurutma sıcaklığı ve 0.2-0.6m/s hava hızlarında konvektif kurutucuda elma kurutma kinetiğinin incelendiği diğer bir elma kurutma çalışmasında kinetik modelin Henderson-Pabis modeli, Newton modeli ve iki terimli üstel modeller ile daha iyi uyum gösterdiği görülmüştür [15]. Elma kurutma kinetiği ile ilgili başka bir çalışmada ise 40-80°C kurutma sıcaklığı, 0.5m/s hava hızlarında 2, 4 ve 6mm elma dilimleri konvektif kurutucuda kurutulmuştur. Kinetik modelin Henderson-Pabis modeli ile daha iyi uyum gösterdiği görülmüştür [16]. Elma kurutma kinetiğinin incelendiği diğer bir çalışmada ise 35-55°C kurutma sıcaklığı, 1-2m/s hava hızlarında 10-13 mm elma küpleri düşük sıcaklıklı konvektif kurutucuda kurutulmuş, kinetik model olarak Henderson-Pabis modeli belirlenmiştir [17]. Yapılan bu çalışmalardan görüldüğü üzere, farklı konvektif kurutucu sistemler ile elma kurutma çalışmalarında kinetik modelin Henderson-Pabis modeline uyduğu görülmüştür. Yaptığımız çalışmada 40-48°C kurutma sıcaklığı, 0.009-0.012g/dk kurutma hızında doğal konvektif raflı güneş enerjili kurutucuda 4 ve 10mm kalınlıktaki elma dilimlerinin kuruma deney sonuçları ile en iyi uyuşan kinetik modelde Henderson-Pabis modeli olmuştur.

#### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Raflı doğal konvektif güneş enerjili kurutucuda farklı elma dilimleri kurutulurken kuruma kinetiği incelenmiştir. Deneyler sonucunda;

- Kurutma havası sıcaklığının ve dilim kalınlığının ayrılabilir nem oranında etkili bir parametre olduğu belirlenmiştir.
- Artan sıcaklık ve azalan dilim kalınlığı ile model uyum artmıştır.
- Deneysel veriler literatürde var olan ince tabaka kuruma kinetiği modelleri ile karşılaştırılmış ve her iki dilim kalınlığında Henderson-Pabis modeli daha yüksek regresyon katsayısı ( $R^2$ ) ile daha uygun olduğu görülmüştür.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Anonim, Ankara Ticaret Borsası Raporu, (2017). Dünyada ve Türkiye'de Yaş Sebze ve Meyve Üretimi.
- [2] Anonim, Gıdada Kayıp ve Atıklara Karşı Gıda Hareketi Başladı, (2017). Gıda Hattı Dergisi.
- [3] Ertekin, C. ve Yıldız, O., (1998). Bazı Sebze, Meyve ve Baharatlı Bitkilerin Kurutulma Yöntemleri ve Kullanılan Güneş Enerjili Kurutucular. Tarımsal Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi. Tekirdağ, 17-18 Eylül, 673-693.
- [4] Öztürk, H., (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı. Teknik Yayınevi Mühendislik, Mimarlık Yayınları, Ankara. ISBN 9789755230429.
- [5] Yıldız, Z. ve Gökayaz, L., (2018). Çok Raflı Güneş Enerjili Kurutucuda Elma Kurutulması, 3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress IMSEC. Adana.
- [6] Özdemir, Y., Sayın, E.O., and Kurultay, Ş., (2009). Latest Apple Drying Technologies: A Review, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 2-2:43-46.



- [7] Göztok, S. ve İçier, F., (2017). Karbon Fiber Destekli Kabin Kurutucuda Farklı Sıcaklıklarda Elma Dilimlerinin Kurutulmasının İncelenmesi: Kurutma Karakteristikleri ve Performans Değerlendirmesi. *Akademik Gıda*, 15(4):355-367.
- [8] Kutlu, N., İsci, A. ve Sakıyan Demirkol, Ö., (2015). Gıdalarda İnce Tabaka Kurutma Modelleri, *GIDA*, 40(1):39-46
- [9] Parlak, N., (2014). Akışkan Yataklı Kurutucuda Zencefilin Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 29(2):261-269.
- [10] Polatcı, H. ve Taşova, M., (2017). Mikrodalga Yöntemi ile Kurutulan Dereotu Yapraklarının (AnethumgraveolensL.) Kurutma Kinetiği ve Renk Değerlerinin Belirlenmesi, *GBAD*, 6 (Özel Sayı-BSM-2017), ss:42-51
- [11] Ceylan, İ., Aktaş, M. ve Doğan, H., (2006). Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutması. *Politeknik Dergisi*. 289-294.
- [12] Ertuğrul, M. ve Tarhan, S., (2017). Farklı Kurutma Havası Sıcaklık Profillerinin Melissa (MelissaofficinalisL.) Bitkisinin Kuruma Kinetiği ve Enerji Tüketimine Etkisi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD)*, 6-6:1-10.
- [13] Tarhan, S., Ergüneş, G., Güneş, M. ve Mutlu, A., (2009). Farklı Kurutma Koşullarının Amasya Elmasının Kuruma Süresi ve Kalitesi Üzerine Etkileri, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(2):1-6.
- [14] Menges, H.O. ve Ertekin, C., (2006). Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples, *Journal of Food Engineering*, 77-119-125.
- [15] Kaya, A., Aydın, O., and Demirtas, C., (2007). Drying Kinetics of Red Delicious Apple, *Biosystems Engineering*, 96(4):517-524.
- [16] Meisami-asl, E., Rafiee, S., Keyhani, A., and Tabatabaeefar, A., (2010). Determination of Suitable Thin Layer Drying Curve Model for Apple Slices (variety-Golab), *POJ*, 3(3):103-108.
- [17] Zlatanovi, I., Komatina, M., and Antonijeve D., (2013). Low-Temperature Convective Drying of Apple Cubes, *Applied Thermal Engineering*, 53:114-123.