

Farklı Teknikler Kullanılarak Domatesin Kurutulması

Ecem ÖZEN, Filiz KAR*

Fırat üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Müh. Bölümü, Elazığ,
* fkar@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 01.06.2017; Kabul/Accepted: 16.10.2017)

Özet

Tarımsal ürünlerin güvenli olarak bozulmadan saklanabilmeleri için uygulanan yöntemlerden birisi olan kurutma ilk çağlardan beri yapılmaktadır. Kurutma işleminin amacı yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırarak ürünlerde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların faaliyetlerini durdurmaktır. Bu araştırmada domatese üç farklı kurutma tekniği uygulanmıştır. Bu kurutma teknikleri; tepsili kurutucuda kurutma, infrared kurutucuda kurutma ve püskürtmeli kurutucuda kurutmadır. Deneysel sonuçlar kuruma hızının hem artan kuruma zamanıyla hem de örneklerin nem içeriklerinin düşmesiyle azaldığını göstermiştir. Kurutma işlemlerinde en iyi ince tabaka kurutma modelini seçmek için 5 matematiksel model deneysel verilere uygulanmıştır. Kurutma verilerine en iyi uyum sağlayan modelin Modifiye Page Eşitliği olduğu görülmüştür. Kurutulmuş ve taze domateslerin likopen, β -karoten ve askorbik asit değeri HPLC yöntemi ile belirlenmiştir. Domateslerin kurutulmadan önce askorbik asit değeri 493.49 mg/100 g kuru madde olarak bulunmuştur. 60 °C'de ve 1.5 m/s'lik hava hızında yapılan kurutma işleminde askorbik asit miktarında %58.71 oranında azalma meydana gelmiştir. Tepsili kurutucu kullanılarak yapılan deneylerde kurutma sıcaklığı arttıkça likopen ve β -Karoten kayıplarının arttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Domates, *Lycopersitum esculentum*, kuru madde, likopen, β -Karoten, HPLC, İnce tabaka kuruma modelleri

Drying Tomatoes Using Different Techniques

Abstract

Drying, which is a practice used to keep agricultural products safely has been carried out since early ages. The purpose of drying process is getting rid of free water so that in biochemical reactions and microorganism activities can be stopped. In this study, three different drying techniques were applied to tomato. These methods are tray drying, Infrared drying and Spray drying. The experimental results indicated that drying rate decreases both increasing with drying time and decreasing moisture content. To select the best thin-layer drying models for the drying treatments, 5 mathematical models were fitted to the experimental data. The model that best fits the drying data has been found to be Modified Page Equation. Lycopene, β -carotene and ascorbic acid value of dried and fresh tomatoes were determined by HPLC method. Ascorbic acid content of fresh tomatoes was 493.49 mg/100 g dry matter. Drying at 60 °C and at an air velocity of 1.5 m/s decreased amount of ascorbic acid content of tomatoes by about 58.71. In experiments using a tray dryer, it was observed that lycopene and β -carotene losses increased as the drying temperature increased.

Keywords: Tomato, *Lycopersitum esculentum*, dry matter, lycopene, β -carotene, HPLC, Thin drying models

1.Giriş

Kurutma veya dehidrasyon gıda ürünlerinin korunmasında en etkili yöntemlerden biridir. Ürün çeşidine bağlı olarak kurutmadan sonraki nem içeriği yaş temele göre %10-15 arasında olmaktadır. Kurutmanın amacı yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırmak olup, üründe meydana

gelen biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların gelişimini sınırlandırmaktır. Aynı zamanda gıda maddelerinin bozulmadan uzun süre dayanmalarını sağlar. Fakat kurutma, ürünün niteliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Olmaması gereken belirli reaksiyonları hızlandırması, ürünün kalitesinde önemli açıdan

rol oynar. Sıcaklık, hava hızı, havanın bağıl nemi gibi kurutma şartları, kurutulmuş ürünün yoğunluk, gözeneklilik gibi yapısal özelliklerini, su tutma kapasitesi, rehidrasyon hızı gibi özelliklerini etkiler[1]. Ülkemizde kurutulmuş domates ihracatı 1990'ların başında başlamıştır. 2000'li yıllarda ise büyük talep görmüş, 2000 yılında 4275 tona ulaşmıştır. Kurutulmuş ürünlerin en popülerlerinden birisi ise domatestir. Kurutulmuş sebze ihtiyacının yaklaşık %68'ini oluşturduğu bilinmektedir. Türkiye 27 ülkeye kuru domates ihraç etmektedir.

Kurutulmuş sebzeler genel olarak güneşte kurutma yöntemiyle kurutulur. Fakat zamanla gelişen hayat şartları ve modern yaşama uyum sağlaması açısından modern kurutma yöntemleri büyük önem taşımaktadır. Kurutulmuş sebzeler genel olarak, hazır çorbalar soslar, hazır yemekler, bebek mamaları, çeşitli et, balık ve süt ürünleri gibi çok farklı ürünlerde kullanım alanı bulunmaktadır.

Gıdaların kurutulması ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar kurutma tekniklerinin araştırılması yanında kurutmanın besin değerleri üzerindeki etkileri hakkındadır[10-18].

Koç ve ark. (2004), meyve ve sebze kurutmak üzere geliştirilen güneş enerjili bir kurutucuyu test etmişlerdir[19].

Ayan (2010)'ın tarafından yapılan çalışmada güneşte ve hava ile güçlendirilmiş fırınlarda farklı sıcaklıklarda (40°C, 50°C, 60°C) yapay yolla kurutulan domateslerin özelliklerini incelemiştir. Fırında ve güneşte kurutma işlemi sonucunda domates örneklerindeki likopen içerikleri taze domates örneğine göre daha yüksek olduğu saptanmıştır[12].

Şahin (2010), dört farklı kurutma yönteminin uygulandığı domateslerde karşılaştırmalar yapmıştır. Bu kurutma yöntemleri; güneşte kurutma, sıcak havalı kabin tipi kurutucuda kurutma, vakumlu kurutma ve dondurarak kurutmadır. Kurutma uygulamaları, hem ön işlemsiz, hem de ön işlemlilerle gerçekleştirilmiştir. Dondurarak kurutma birçok kriter açısından en iyi sonuçları vermiştir. En yüksek askorbik asit, potasyum, likopen gibi besin değerleri bu yöntemle kurutulan domatesten saptanmıştır. Sıcak havalı kurutmada sürenin uzaması ve kurutma sıcaklıklarının yükselmesi likopen miktarlarında azalmalara neden olmuştur[21].

Kocacı ve ark. (2012) çalışmalarında domates dilimlerini kurutmada enerji etkinliğinin geliştirilmesi ve kaliteli kurutulmuş domates elde edilmesi için infrared kurutma tekniğinin kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Domates dilimlerinin kuruma süresi, özgül enerji tüketimi gibi işletme özellikleri, büzülme oranı, rehidrasyon oranı, renk özellikleri ve tekstür gibi fiziksel özellikler ve C-vitami ve likopen gibi kimyasal (besin) özellikleri incelenmiş ve bu özellikler üzerine kurutma değişkenlerinin etkileri araştırılmıştır[22].

Aktaş ve Kara (2013), Türkiye'de üretimi gün geçtikçe artan kivi'nin ekonomik ve kalite değerlerinin artırılması amacıyla, havalı güneş kolektörlü ve ısı pompalı bir kurutucu kullanımı olanakları üzerine bir çalışma yapmış ve sonuçları paylaşmışlardır[23].

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada, Türkiye'de üretimi yapılan kurutma ve salça yapımına uygun domates çeşitlerinden biri olan Rio Grande çeşidi domates (*Lycopersicon esculentum Mill. cv. Rio Grande*) materyal olarak seçilmiştir. Kurutma denemelerinde kullanılacak olan Rio Grande çeşidi domatesler ağustos ayının ortasından itibaren Elazığ ili Akmezra köyünde direkt üreticiden satın alınarak temin edilmiş ve kurutma denemelerinde kullanılmaya kadar polietilen ambalaj içerisinde buzdolabı koşullarında muhafaza edilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Kurutma deneyleri

Farklı kurutma cihazlarında domates kurutma işlemleri yapılmıştır. Tepsili kurutucuda domates kurutma işlemi dört farklı sıcaklıkta (30°C, 40°C, 50°C ve 60°C) ve 2 farklı hava hızında (1/5 m/s, 3 m/s) yapılmıştır. Böylece sıcaklığın yanı sıra hava hızının da kurutmaya etkisi incelenmiştir. Kurutma işlemi, domateslerde su oranı yaklaşık %10'a ulaşınca tamamlanmıştır. Gıdaların yapısı belirli bir sıcaklığın üzerine çıktığında bozulmaktadır. 60°C'nin üstüne çıktığında bozunmalar ve ciddi

besin değeri kayıpları meydana geldiğinden tercih edilmemektedir. Düşük sıcaklıklarda ve düşük hava hızlarında kurutma da ise süre uzayacağından bozunmalar oluşabilir. Ürün kalitesini koruyabilmesi için kurutma işlemi mümkün olduğunca hızlı gerçekleştirilmelidir. Tepsili kurutucularda hem sıcaklık hem de hava hızı ayarları yapılabildiğinden diğer yapay kurutma yöntemlerine göre daha çok tercih edilmektedir. Kurutma süresi her ne kadar sıcaklık ve hava hızıyla alakalı olsa da aynı zamanda kurutulacak gıdanın yüzey alanıyla da ilişkilidir. Mümkün olduğunda sıcak havaya temas eden yüzeyin artırılması gerekmektedir. Bu yüzden 1 cm kalınlığında dilimlenmiş domateslerin kurutma işlemi için uygun olacağı düşünülmektedir. Kızılötesi ısıtma 0,5-100 µm dalga boyunda uygulanan birçok gıda maddesinin ısıtılması, kurutulması ve yüzey pastörizasyonu amacıyla kullanılmaktadır. İnfrared kurutucu cihazında da 1 cm kalınlığında olan domates numunesi 2 farklı sıcaklıkta (105°C, 160°C) kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

Püskürtmeli kurutucuda ise kurutma işlemi diğer iki cihaza göre daha farklı gerçekleşmektedir. Püskürtmeli kurutmada kurutulacak ürün çok küçük damlacıklar halinde sıcak hava akımı içine gönderilerek, çözeltinin buharlaşması sağlanır. Bu tip bir kurutma cihazının en önemli birimi atomizerdir. Atomizer, kurutulacak olan sıvıyı, çeşitli faktörlere bağlı olarak 50-500 µm çapında küçük zerreciklere parçalayan cihazdır. Atomizerde ne kadar küçük damlacıklar elde edilirse, o kadar hızlı kurutma gerçekleşir. Kurutulacak olan çözelti, atomizerde zerreciklere ayrılarak sıcak gaz akımı içine püskürtülür. Madde kayıpları diğer yapay kurutuculara göre daha azdır. Diğer yapay kurutuculara göre süre ve maliyet daha avantajlı olmasına rağmen yüksek sıcaklıklarda çalışma zorunluluğu olduğundan ve gıdanın yapısını bozabileceğinden dolayı dezavantajlı olabilir. Püskürtmeli kurutucu da tek bir hava hızında ve 100 °C de kurutma işlemi yapılmıştır.

2.2.3 Kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılan hesaplamalar ve kuruma model eşitlikleri

Domates numunelerinin kabin tipi kurutucuda kurutulması sırasında, nem içeriği değeri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$M_t = \frac{(m - KM)}{KM} \quad (2.1)$$

Kuruma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zamanı eğrilerinin türevlerinin alınması ile bulunur.

$$\text{Kuruma Hızı} = \frac{(M_{t+dt} - M_t)}{dt} \quad (\text{g su/g kuru madde. dak.}) \quad (2.2)$$

Nem oranı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$MR = \frac{(M_t - M_e)}{(M_o - M_e)} \quad (2.3)$$

Gıdaların sıcak hava ile kurutulması işleminde; M_e değeri M_t ve M_o ile kıyaslandığında çok küçüktür. Bu nedenle hesaplamalarda M_e değerinin sıfır alınabileceği belirtilmektedir [16]. MR değerleri hesaplanırken doğrudan M_t/M_o eşitliği kullanılmıştır.

Daha önce yapılan çalışmalarda kurutma proseslerini tasarlamak, büyük ölçekli kurutmanın sağlanması ve kurutmanın geliştirilmesinde kullanılabilecek eşitlikler mevcuttur. Bu eşitliklerden deneysel kurutma verilerinden yararlanarak kurutmayı en iyi temsil eden model belirlenebilmektedir [24-29]. Gıda kurutma proseslerinde en çok kullanılan 5 model regresyon katsayılarına bakılarak kıyaslanmış ve modellerdeki katsayılar doğrusal olmayan regresyon analizi yapılarak bulunmuştur.

2.2.4. Difüzyon katsayısının belirlenmesi

Gıdaların kurutulması sırasında gerçekleşen difüzyon karmaşık bir prosestir. Azalan hız periyodunda biyolojik ürünlerin kurutma parametreleri Fick'in difüzyon eşitliği kullanılarak tanımlanabilir [17,30]. Kurutmada önemli parametrelerden biri olan difüzyon katsayısı, domates için farklı hız ve sıcaklıklarda hesaplanmıştır. Difüzyon katsayısının sabit, ilk nem içeriğinin homojen olduğu dilim şeklinde kesilen domates için bu denklem Crank tarafından aşağıdaki gibi elde edilmiştir [31].

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} \frac{8}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (2.4)$$

Burada D_{eff} difüzyon katsayısı (m^2/s), L kurutulan ürünün yarı kalınlığı, t kurutma süresidir. Bu denklem uzun kuruma süreleri için serinin ilk terimi alınarak basitleştirilebilir [35].

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \frac{8}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{-\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right) \quad (2.5)$$

Denklem (2.5)'in regresyon analizi ile çözümü sonunda difüzyon katsayısı bulunabilir.

Difüzyon katsayısının değişimi Arrhenius tipi üssel bir fonksiyonla açıklanabilmektedir. Eşitlik (2.6) kullanılarak aktivasyon enerjileri hesaplanabilir. Bir prosesin aktivasyon enerjisinin yüksek olması, o prosesin sıcaklık değişimine daha duyarlı olduğunu göstermektedir [3].

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (2.6)$$

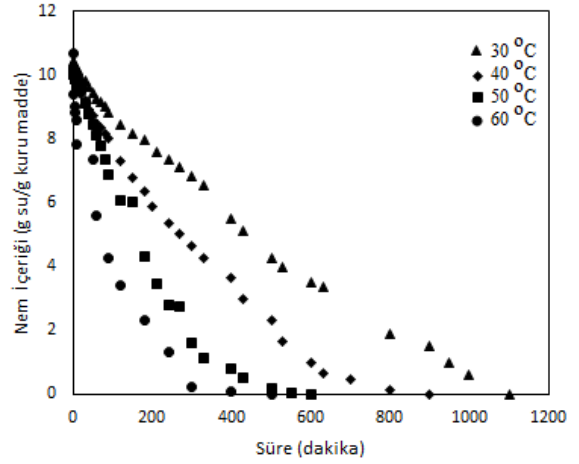
3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Kuru madde miktarı

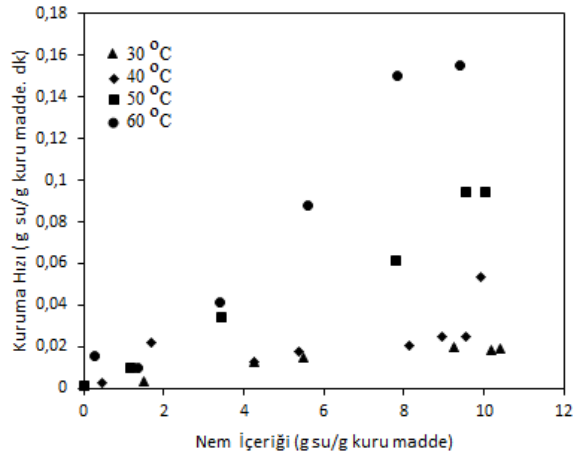
Kuru madde tayini TS 1129(ISO 1026/Ekim 1198)'e göre yapılmıştır. Buna göre; kuru madde miktarı 9.76 g/ 100 g domates olarak bulunmuştur.

3.2. Tepsili kurutucu kullanılarak yapılan kurutma deney sonuçları

Bu çalışmada kullanılan domates numunelerinin başlangıç ortalama nem içeriği $M_o = 10.50$ g su/g kuru madde olarak bulunmuştur. Farklı kurutma sıcaklığı (30, 40, 50 ve 60°C) ve hava hızlarında (1,5 ve 3 m/s) yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler yardımıyla nem içeriği ve kuruma hızları hesaplanarak grafiğe geçirilmiştir. Şekil 1'den de görüldüğü gibi kurutma sıcaklığının artması ile kuruma sürelerinde önemli ölçüde azalmalar saptanmıştır. 30°C sıcaklık derecesi için domates numunesinin nem içeriğinin 10.45'den 0,1 g su/ g kuru madde değerine düşmesi 1100 dakika sürerken, 60°C sıcaklık ortamında işlem 500 dakikada tamamlanmıştır. Aynı şekilde hava hızındaki artış da kuruma süresi üzerinde oldukça etkilidir. Aynı sıcaklık değerinde farklı hava hızlarında yapılan kurutma sonunda kurutma zamanının 1100 dakikadan 700 dakikaya düştüğü görülmüştür.

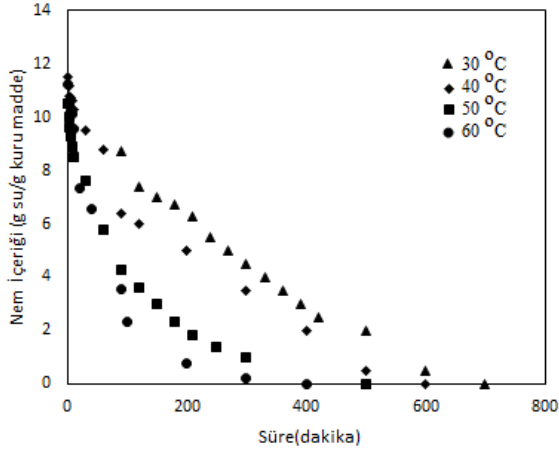


Şekil 1. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Kurutma havası hızı: 1.5m/s)

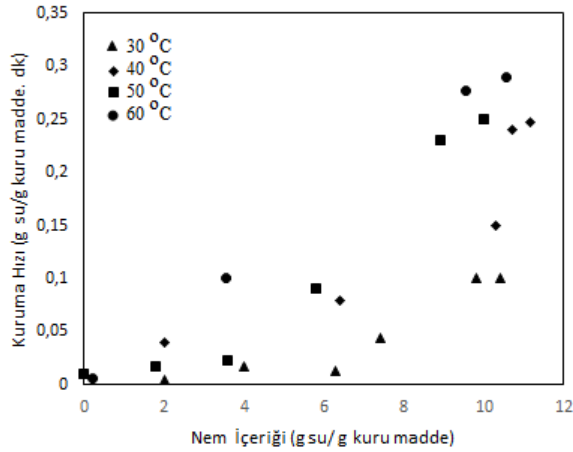


Şekil 2. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi (Kurutma havası hızı: 1.5m/s)

Şekil 2 incelendiğinde, domates numunelerinin kurumasının sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere 2 farklı kuruma periyodunu takip ettiği görülmüştür. Başlangıçta nem içeriği yüksek olduğundan kurutma sıcaklıklarına göre kuruma hızları birbirlerinden oldukça farklı çıkmıştır. Ancak nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak kurutma hızları arasındaki farklar da azalmış ve düşük nem içeriği değerlerinde farklar sıfıra yaklaşmıştır.



Şekil 3. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Kurutma havası hızı: 3 m/s)



Şekil 4. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi (Kurutma havası hızı: 3 m/s)

Gıda maddelerinde bulunan su içeriğinin fazla olduğu durumlarda kurutma işleminde suyun uzaklaştırılabilmesi oldukça kolaydır. Bu dönemde ortam sıcaklığının yüksek olması kuruma hızının da aynı oranda yüksek olmasına neden olurken, su içeriğinin azalması ile birlikte suyun gıda maddesinden uzaklaştırılması da zorlaşmakla birlikte tek başına ortam sıcaklığının yüksekliği, kuruma hızının artırılmasına ciddi bir katkı sağlamamaktadır. Su içeriğinin azaldığı kurumanın son evrelerinde, kurutma işleminde kullanılan havanın, sıcaklığın artırılması kadar bağıl neminin de düşürülmesi gerekmektedir.

Benzer sonuçlar 3 m/s hava hızında kurutulan domates örnekleri içinde bulunmuştur.

Meyve ve sebzelerde başlangıç nem değerlerinin yüksek olmasından dolayı kuruma sırasında sabit hızda kuruma periyodunun yer alması beklenmektedir. Fakat yapılan birçok araştırmada, meyve ve sebzelerin kurumasında yalnızca azalan hızda kuruma periyodunun varlığı saptanmıştır. Pabis (1999), bunun nedeninin, kuruma sırasında numunelerin büzülmesi nedeniyle kuruyan numunenin boyutlarının değişmesi sonucu numunenin kuruma yüzey alanının küçülmesine bağlı olarak, numuneden birim zamanda daha az nemin buharlaşması olduğunu ifade etmektedir[32].

3.3. Difüzyon katsayısının belirlenmesi

Difüzyon hızının belirlenmesi için Eşitlik 2.5'in çözümü yapılır. Tablo 1'de difüzyon katsayısının sıcaklık ve hava hızı ile değişimi verilmiştir. Tablo 1'den difüzyon katsayısının 3 m/s hava hızında yapılan deneylerde daha yüksek olduğu görülmektedir. Önceki çalışmalar incelendiğinde difüzyon katsayılarının 10^{-7} - 10^{-11} m²/s ve aktivasyon enerjisinin 10-80 kJ/mol aralığında değiştiği bildirilmiştir.

Tablo 1. Difüzyon katsayısının sıcaklık ve hava hızı ile değişimi

Hava Hızı	Sıcaklık (°C)	Difüzyon Katsayıları (m ² /s) x10 ¹⁰
1.5 m/s	30	3.798
	40	5.900
	50	9.198
	60	13.050
3 m/s	30	4.923
	40	6.498
	50	11.730
	60	17.620

Difüzyon katsayısının değişimi Arrhenius tipi üssel bir fonksiyonla açıklanabilmektedir. Eşitlik (2.6) kullanılarak aktivasyon enerjileri hesaplanabilir. Bir prosesin aktivasyon enerjisinin yüksek olması, o prosesin sıcaklık değişimine daha duyarlı olduğunu göstermektedir. $1/T$ ye karşı $\ln D_{eff}$ değerlerinin grafiğe geçirilmesi sonucu eğimden E_A hesaplanmıştır. Buna göre 1.5 m/s hava hızında yapılan kurutma işlemi için E_A değeri 34.81 kJ/mol, 3 m/s hava hızında yapılan

kurutma işlemi için E_A değerinin 36.93 kJ/mol olduğu bulunmuştur. Benzer çalışmalarda da aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Vega-Galvez ve arkadaşlarının (2012) yapmış oldukları bir çalışmada çilek için E_A değerinin 38.78 kJ/mol olduğu ifade edilmiştir[18].

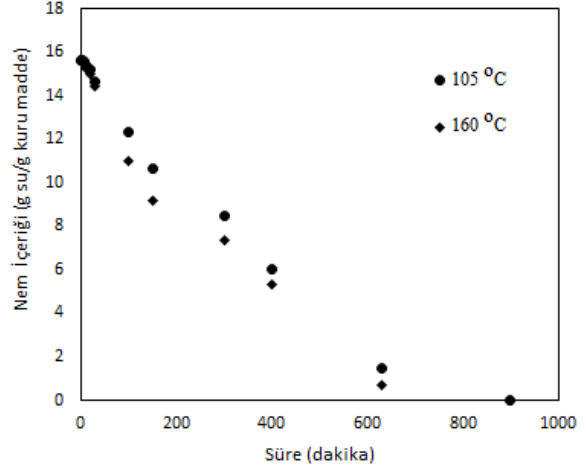
3.4. Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları

Tepsili kurutucu da kurutulan domates numunelerinin üç farklı sıcaklıkta kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanıyla değişimini gösteren deneysel veriler beş ayrı kurutma modeli ile modellenmiştir. Tablo 2 incelendiğinde, R^2 değerlerine bakılarak 30-60 °C sıcaklıklarda ve 1.5 ve 3 m/s hava hızlarında Modifiye Page Eşitliğinin domatesin kuruma davranışını belirlemede oldukça iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Ayrıca bütün kuruma modellerinde önemli bir parametre olan kurutma sabitlerinin (k) hava hızı ve sıcaklıkla arttığı görülmüştür. Bu durum sıcaklığın artırılması ile kurumanın daha kısa sürede gerçekleştiğinin bir göstergesidir. Diğer yandan modifiye Page Eşitliğinin diğer parametresi olan n'in sıcaklıkla değişiminin düzenli olmadığı görülmektedir. Benzer sonuçlara literatürde farklı gıda ürünleri içinde rastlanmıştır[11,20,33,34]. Domates ile ilgili yapılan çalışmalarda Page Modelin en uygun model olduğunu rapor eden çalışmalar olduğu gibi [5,35]. Modifiye Page Eşitliğinin kurutmayı en iyi temsil eden eşitlik olduğunu ifade eden çalışmalarda vardır[1].

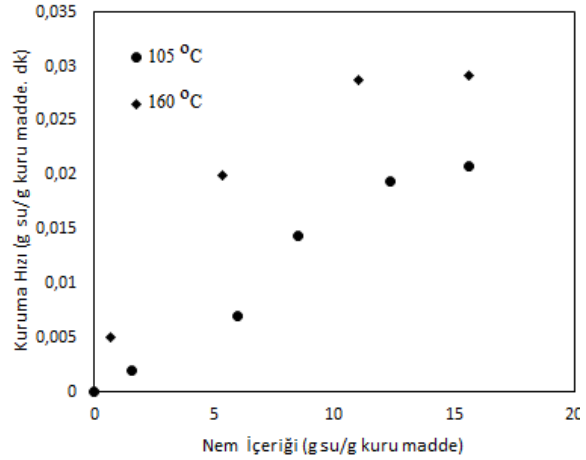
3.5. İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma deney sonuçları

İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma deneyi sonucu elde edilen veriler değerlendirilerek zamanla nem içeriğindeki değişim (Şekil 5) ve nem içeriği- kurutma hızı ilişkisi (Şekil 6) verilmiştir. İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma deneyinde aynı kuru madde yüzdesine ulaşma süresinin tepsili kurutucuda düşük sıcaklıklarda yapılan

kurutmaya oranla daha kısa olduğu saptanmıştır. Bu sonucun kurutma sıcaklığındaki yükseklikten ve tek dilim ile çalışıldığından numune miktarının az olması sebebiyle bünyedeki nemin daha kolay uzaklaşmasından ileri geldiği düşünülmektedir



Şekil 5. İnfrared kurutucuda kurutulan domates numunesine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi



Şekil 6. İnfrared kurutucuda kurutulan domates numunesine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi

Tablo 2. Farklı sıcaklıkta kurutulan domatesin kuruma hızlarının belirlenmesinde kullanılan matematiksel modeller ve model parametreleri

Model İsmi	Deney Şartları	k	a	n	c	R ²
Lewis Model Eşitliği $M_R = \exp(-kt)$	30 °C ve 1.5 m/s	0.0021	-	-	-	0.9638
	30 °C ve 3.0 m/s	0.0032	-	-	-	0.9791
	40 °C ve 1.5 m/s	0.0032	-	-	-	0.9578
	40 °C ve 3.0 m/s	0.0052	-	-	-	0.9407
	50 °C ve 1.5 m/s	0.0056	-	-	-	0.9878
	50 °C ve 3.0 m/s	0.0079	-	-	-	0.9965
	60 °C ve 1.5 m/s	0.0078	-	-	-	0.9924
	60 °C ve 3.0 m/s	0.0128	-	-	-	0.8912
Page Model Eşitliği $M_R = \exp(-kt^n)$	30 °C ve 1.5 m/s	0.00016	-	1.300	-	0.9857
	30 °C ve 3.0 m/s	0.00029	-	1.300	-	0.9942
	40 °C ve 1.5 m/s	0.00007	-	1.500	-	0.9548
	40 °C ve 3.0 m/s	0.00021	-	1.380	-	0.9640
	50 °C ve 1.5 m/s	0.00015	-	1.500	-	0.9898
	50 °C ve 3.0 m/s	0.00022	-	1.500	-	0.9679
	60 °C ve 1.5 m/s	0.00059	-	1.370	-	0.9623
	60 °C ve 3.0 m/s	0.00011	-	1.800	-	0.9817
Modifiye Page Eşitliği $M_R = \exp(-(kt)^n)$	30 °C ve 1.5 m/s	0.22047	-	0.2813	-	0.9967
	30 °C ve 3.0 m/s	0.21134	-	0.3102	-	0.9949
	40 °C ve 1.5 m/s	0.23453	-	0.3003	-	0.9979
	40 °C ve 3.0 m/s	0.21895	-	0.3208	-	0.9604
	50 °C ve 1.5 m/s	0.23813	-	0.3340	-	0.9905
	50 °C ve 3.0 m/s	0.20303	-	0.3669	-	0.9742
	60 °C ve 1.5 m/s	0.23481	-	0.3613	-	0.9645
	60 °C ve 3.0 m/s	0.23214	-	0.4095	-	0.9545
Henderson ve Pabis Eşitliği $M_R = (a)\exp(-kt)$	30 °C ve 1.5 m/s	0.002	1.0611	-	-	0.9638
	30 °C ve 3.0 m/s	0.003	1.0180	-	-	0.9791
	40 °C ve 1.5 m/s	0.003	1.0799	-	-	0.9399
	40 °C ve 3.0 m/s	0.005	1.0033	-	-	0.9380
	50 °C ve 1.5 m/s	0.006	1.1216	-	-	0.9681
	50 °C ve 3.0 m/s	0.008	0.9090	-	-	0.9965
	60 °C ve 1.5 m/s	0.008	0.8659	-	-	0.9784
	60 °C ve 3.0 m/s	0.013	1.0209	-	-	0.8912
Logaritmik Eşitlik $M_R = (a)\exp(-kt)+c$	30 °C ve 1.5 m/s	0.0025	1.220	-	-0.0155	0.9325
	30 °C ve 3.0 m/s	0.0034	1.100	-	-0.0216	0.9562
	40 °C ve 1.5 m/s	0.0036	1.250	-	-0.0173	0.8952
	40 °C ve 3.0 m/s	0.0054	1.114	-	-0.0096	0.9654
	50 °C ve 1.5 m/s	0.0063	1.150	-	-0.0118	0.9516
	50 °C ve 3.0 m/s	0.0084	0.990	-	-0.0210	0.9755
	60 °C ve 1.5 m/s	0.0082	0.850	-	-0.0105	0.9642
	60 °C ve 3.0 m/s	0.0135	1.0702	-	-0.0178	0.9536

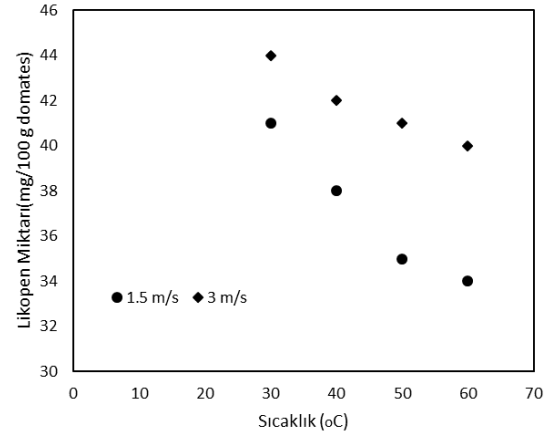
3.6. Püskürtmeli kurutucu kullanılarak yapılan kurutma deney sonuçları

Domates tozu üretiminde püskürtmeli kurutucunun kullanılabilirliğinin araştırıldığı deneyler tek bir sıcaklık ta gerçekleştirilmiştir. Domatesler blender ile ezildikten sonra süzölmüş ve süzöntü püskürtmeli kurutucuya beslenmiştir. Deneyler süresince toz toplama ünitesine yapışma ve hava hızının ayarlanmasındaki zorluklarla karşılaşmıştır. Elde edilen domates tozu gerekli analizlerin yapılması için uygun şartlarda saklanmıştır.

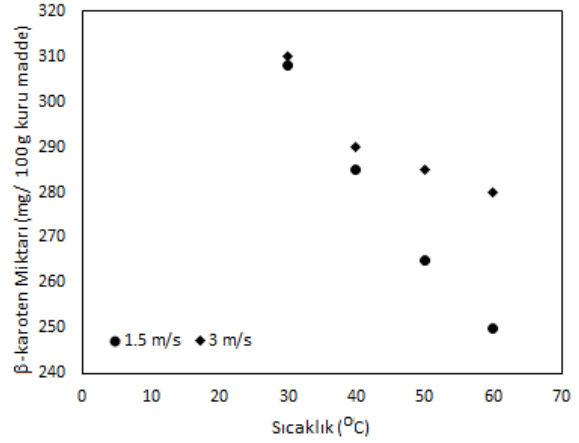
3.7. Likopen ve β -karoten miktarındaki değişimler

HPLC cihazı ile likopen tayini için gerekli olan likopen standart eğrisi oluşturulmuş ve bu eğri kullanılarak likopen içerikleri hesaplanmıştır. Deneylerde kullanılan domatesin likopen içeriği 45,25 mg/100 g domates olarak bulunmuştur. Meyve ve sebzelerdeki karotenoid bileşiklerin miktarı; çeşit, tür, olgunluk, yetiştirme koşulları gibi çeşitli faktörlere göre değişmektedir[36]. Bu çalışmada kullanılan domateslerin içerdiği likopen miktarının literatürde verilen değerlerle uyum içinde olduğu görölmektedir. Yapılan bir çalışmada, taze domatesteki likopen miktarı 913.86 mg/ 100 g kuru madde olarak verilmiştir[1], bir diğer çalışmada olgun, taze domateslerin yaş ağırlık üzerinden 53,821 mg/100g domates [5] düzeyinde likopen içerdiği bildirilmektedir. Kurutma işlemleri sonucu elde edilen domateslerin likopen içeriklerinin sıcaklıkla değişimleri Şekil 7’de verilmiştir.

β -karoten tayini yapılan domateslerde kuruma sıcaklığı arttıkça β -karoten kaybının daha fazla olduğu görölmüştür. Yapılan bir çalışmada [37] domatesler farklı sıcaklıklarda (40°C, 60°C ve 80°C) ön işlem uygulanarak ve uygulanmadan kurutulmuştur. İşlem sonunda 40°C’de ön işlem uygulanarak yapılan kurutma sonunda β -karoten kaybına rastlanmazken, ön işlem uygulanmadan yapılan kurutmada %24,73 oranında β -karoten kaybı belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada [1] 60°C deki kurutma işleminde 305,24 mg /100 g kuru madde değerinden 58,02 mg /100 g kuru madde değerine düşmüştür.



Şekil 7. Sıcaklıkla likopen miktarındaki değişim (Tepsili Kurutucu)



Şekil 8. Sıcaklıkla β -karoten miktarındaki değişim (Tepsili Kurutucu).

Tepsili kurutucu kullanılarak yapılan deneylerde kurutma sıcaklığı arttıkça likopen kayıplarının arttığı gözlenmiştir. 1.5 m/s hava hızında ve 60°C sıcaklıkta likopen kaybının %24 olduğu bu oranın 3 m/s hava hızı için ise %11 olduğu bulunmuştur. Püskürtmeli kurutucu ile yapılan işlemler sonucu elde edilen domates tozunun likopen içeriği ise 30,21 mg/100 g domates olarak bulunmuştur. Aynı numunenin β -karoten içeriği ise 276,5 mg/100 g kuru madde dir. İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma işlemi sonucu elde edilen kuru domatesin likopen ve β -karoten içeriği sırasıyla 105°C için 27,36 mg/100 g domates ve 220 mg/100 g kuru madde, 160°C için ise 22,82 mg/100 g domates ve 102,37 mg/100 g kuru madde olarak bulunmuştur. Özellikle püskürtmeli kurutucuda likopen ve β -karoten kaybının oldukça yüksek olduğu görölmektedir. Bunun sebebinin püskürtmeli kurutucudaki sıcaklığın yüksek olması sonucu

yapıda meydana gelen bozunmalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum tepsili kurutucuda yüksek sıcaklıklarda yapılan deneyler sonucu elde edilen sonuçlardan da görülmektedir.

3.8. Askorbik asit miktarındaki değişimler

HPLC cihazı ile askorbik asit tayini için gerekli olan askorbik asit standart eğrisi likopen ve β -karoten analizlerinde olduğu gibi öncelikle belirlenmiş ve veriler bu eğriden yararlanılarak değerlendirilmiştir. Farklı kurutucular için bulunan askorbik asit miktarları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Farklı Kurutucular için Askorbik Asit Miktarları

Kurutucu Tipi		Sıcaklık (°C)	Askorbik Asit (mg/100 g kuru madde)
Tepsili Kurutucu	1.5 m/s hava hızı	30	438.27
		40	315.18
		50	256.89
		60	203.74
	3.0 m/s hava hızı	30	448.12
		40	440.14
		50	323.57
		60	285.16
Püskürtmeli Kurutucu		100	32.17
Infrared Kurutucu		105	-
		160	-

Kurutma işlemine başlamadan önce yapılan analizde domates için askorbik asit miktarı 493,49 mg/100 g kuru madde olarak bulunmuştur. Tablodan da görüleceği gibi askorbik asit miktarları sıcaklıktaki artışla birlikte azalmıştır. Bu da askorbik asidin yüksek sıcaklıklardan daha fazla etkilendiğinin ve önemli kayıpların meydana geldiğinin bir göstergesidir. İnfrared kurutucu ile yapılan kurutma işlemi sonunda elde edilen kuru domates ile yapılan deneylerde askorbik asit tespit edilememiştir. Bu durumun kurutma sıcaklığının yüksek olması ve kurutma odasında kalış süresinin uzun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan araştırma sonucu ulaşılan sonuçlar;

1. Farklı kurutma sıcaklıklarında kurutulan domates numunelerinin kurutma sıcaklığı

arttıkça kuruma süreleri azalmıştır. Yapılan deneyler sonucu elde edilen kuruma süreleri literatürde verilen kuruma süreleri ile uyum içindedir. Ayrıca domates numunelerinin kurumasının sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere 2 farklı kuruma periyodunu takip ettiği görülmüştür.

2. Tepsili kurutucu, İnfrared kurutucu ve püskürtmeli kurutucu kıyaslandığı zaman en hızlı kurumanın püskürtmeli kurutucu da gerçekleştiği gözlenmiştir.
3. Besin değerleri ve süre bakımından bir karşılaştırılma yapıldığında ise dezavantajlı sayılabilecek kurutucu ise infrared kurutucudur. İnfrared kurutucu da kurutulan domates numunelerinin kuruma süreleri uzadığından ve sıcaklığın yüksek olması nedeniyle esmerleşme reaksiyonuna maruz kalıp renkleri koyulaşmıştır. Ayrıca, görsellik tüketici açısından büyük öneme sahip ise de gıda kurutma işleminde besin kayıpları da aynı derecede önemlidir. İnfrared kurutucu cihazında kurutulan domates ürünlerinin askorbik asit değeri sıfır çıkmıştır.
4. Deneysel değerlere en iyi yaklaşımı veren teorik modeli tanımlamak için 5 farklı kurutma modeli, (Modifiye Page model, Page model, Henderson ve Pabis model, Lewis model ve Logaritmik model) kullanılmıştır. 30-60°C sıcaklıklarda ve 1.5 ve 3 m/s hava hızlarında Modifiye Page Eşitliğinin domatesin kuruma davranışını belirlemede oldukça iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Ayrıca bütün kuruma modellerinde önemli bir parametre olan kurutma sabitlerinin (k) hava hızı ve sıcaklıkla arttığı görülmüştür. Bu durum sıcaklığın artırılması ile kurumanın daha kısa sürede gerçekleştiğinin bir göstergesidir.
5. Kurutma işlemine başlamadan önce deneylerde kullanılan domatesin likopen içeriği 45,25 mg/100 g domates olarak bulunmuştur. Tepsili kurutucu kullanılarak yapılan deneylerde kurutma sıcaklığı arttıkça likopen kayıplarının arttığı gözlenmiştir. 1.5 m/s hava hızında ve 60°C sıcaklıkta likopen kaybının %24 olduğu bu oranın 3 m/s hava hızı için ise %11 olduğu bulunmuştur. Püskürtmeli kurutucu ile yapılan işlemler sonucu elde edilen domates tozunun likopen içeriği ise 30,21 mg/100 g domates olarak bulunmuştur.

Aynı numunenin β -karoten içeriği ise 276,5 mg/100 g kuru madde dir. İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma işlemi sonucu elde edilen kuru domatesin likopen ve β -karoten içeriği sırasıyla 105 °C için 27,36 mg/100 g domates ve 220 mg/100 g kuru madde, 160 °C için ise 22,82 mg/100 g domates ve 102,37 mg/100 g kuru madde olarak bulunmuştur.

Semboller

D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)
 D_0 : Sonsuz sıcaklıktaki difüzyon katsayısına eşdeğer sabit (m^2/s)
 E_A : Aktivasyon enerjisi (Kj/mol)
 R : Evrensel gaz sabiti (Kj/mol.K)
 T : Kurutma hava sıcaklığıdır (K)
 m : Numunenin ağırlığı (g)
 KM : Numunenin içerdiği kuru madde miktarı (g)
 M_t : t anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde)
 t : Kuruma zamanı (dakika)
 MR : Nem oranı (boyutsuz)
 M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde)
 M_e : Denge anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde)
 M_0 : Başlangıçtaki nem içeriği (g su / g kuru madde)
 L : kurutulan ürünün yarı kalınlığı

Teşekkür

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans Tezi olarak yapılan bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından (Proje No: MF-16.33) desteklenmiştir.

6. Kaynaklar

1. Demiray, E. (2009). Kurutma işleminde domatesin likopen, β -Karoten, askorbik asit ve renk değişim kinetiğinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
 2. Abushita, A.A., Daood, H.G. and Biacs, P.A. (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **4**, 2075-2081.
 3. Aghbashlo M, Kianmehr MH, Beygi SRH. (2010). Drying and Rehydration Characteristic of Sour Cherry (*Prunus Cerasus L.*). *J Food Process Preservation*, **34**: 351-365.

4. Anguelova, T. and Warthesen, J. (2000). Lycopene Stability in Tomato Powders. *Journal of Food Science*, **65**(1): 67-70.
 5. Chawla, C., Kaur, D., Oberoi D.P.S and Sogi, D.S. (2008). Drying Characteristics, Sorption Isotherms, and Lycopene Retention of Tomato Pulp. *Drying Technology*, **26**: 1257-1264.
 6. Hernandez, Y. Lobo, M.G. and Gonzalez, M. (2006). Determination of Vitamin C in Tropical Fruits: A Comparative Evaluation of Methods", *Food Chemistry*, **96**: 654– 664.
 7. İzgi C. (2012). Farklı Kurutma Metotlarının Domatesteki Likopen Miktarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
 8. Rao, A.V., Waseem Z. and Agarwal S. (1998). Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene, *Food Research International*, **31**:737-741.
 9. Rao A. V, Agarwal S. (1999). Role of lycopene as antioxidant caretenoid in the prevention of choronic diseases: A review. *Nutrition Research*, **19**: 305-323.
 10. Abe, T. and Afzal, T. M. (1997). Thin-layer Infrared Radition Drying of Rough Rice, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **67**: 289 – 297.
 11. Alibaş İ. (2012). Asma Yaprağının (*Vitis vinifera L.*) Mikrodalga Enerjisiyle Kurutulması ve Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi.
 12. Ayan, H. (2010). Güneşte ve yapay kurutucularda kurutulmuş domatesin (*Lycopersitcum esculentum*) üretimi ve proses sırasındaki değişimlerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
 13. Baker, G.J.C. (1997). Industrial Drying of Foods, Chapman&Hall Publication, New York, 299.
 14. Chang, C.H., Lin, H.Y., Chang, C.Y. and Liu, Y.C. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of Food Engineering*, **77**: 478- 485.
 15. Davoodi M.G, Vijayanand P, Kulkarni S.G, Ramana K.V.R. (2007). Effect of Different Pre-treatments and Dehydration Methods on Quality Characteristics and Storage Stability of Tomato Powder, *LWT*, **40**:1832-1840.
 16. Maskan, M. (2001). Drying, Shrinkage and Rehydration Characteristics of Kiwifruits During Hot Air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering*, **48**(2): 177-182.
 17. Sacilik K, Keskin R, Elicin A.K. (2006). Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal Food Eng*, **73**: 231-238.
 18. Vega-Galvez A, Puente-Diaz L, Lemus- Mondaca R, Miranda M, Torres M.J. (2012). Mathematical Modelling of Thin-layer Drying Kinetics of Cape Gooseberry (*Physalis Peruviana L.*) *Journal Food Process Preservation*, **38**: 728-736.

19. Koç A., B., Toy M., Hayoğlu İ., Vardin H. (2004). "Kırmızı biber kurutmada kullanılan güneş enerjili bir kurutucu performansı", *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **8(2)**: 57- 65.
20. Vega-Galvez A, Miranda M, Diaz LP, Lopez L, Rodriguez K, Di-Scala K. (2010). Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of the drying curves of the olive- waste cake, *Bioresour Technol*, **101**:7265-7270.
21. Şahin F.H, (2010). Domates Kurutmada Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Tekirdağ.
22. Kocabıyık H, Sümer S.K., Tuncel N.B., Büyükcan B, Yılmaz N. (2012). İnfrared Kurutma Yönteminin Domates Kurutmada Kullanılması ve Kurutulmuş Domatesin Bazı Kalite Özellikleri ve Özgül Enerji Tüketimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. Tübitak Projesi, No:109, 578.
23. Aktaş M., Kara, Ç. (2013). Güneş Enerjisi ve Isı Pompalı Kurutucuda Dilimlenmiş Kivi Kurutulması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, **28(4)**: 733-741
24. Doymaz, I., Pala, M. (2002). The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes, *Journal of Food Engineering*, **52**: 413-417.
25. Yaldiz, O., Ertekin, C., Uzun, H.I. (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes, *Energy*, **26**: 457-465.
26. Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying, *Drying technology*, **20**: 1503-1513.
27. Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A., Cagatay, F. (1999). Drying characteristic of laurel leaves under different conditions, in: Proceedings of the 7th international congress on agricultural mechanization and energy, Faculty of Agriculture, Cukurova University, Adana, Turkey, 565-569.
28. Kalender M. (2017). Makine Sıva Alçısının İnce Tabaka Infrared Kuruma Kinetiği, Karakteristiği ve Modellenmesi, *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **29(1)**: 285-291.
29. Yoğurtçu, H. (2016). Determination of Drying Kinetics of Tunceli Garlic with Microwave Drying Technique, *Tarım Bilimleri Dergisi*, **22**: 237-248.
30. Liu Q, Bakker-Arkema F W. (1997). Stochastic modelling of grain drying: Part 2. Model development, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **66**: 275–280.
31. Crank J. (1975). The mathematics of diffusion. Oxford University Press, OX,UK
32. Pabis, S. (1999). The Initial Phase of Convection Drying of Vegetables and Mushrooms and the Effect of Shrinkage, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **72**: 187-195.
33. Kamer M.S., Şahin H.E., Sönmez K., İmal M. (2016). Kabak ve Patlıcan Dilimlerinin Kuruma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
34. Toğrul, İ.T., Pehlivan, D. (2003). Modelling of drying kinetics of single apricot, *Journal of Food Engineering*, **58**: 23-32.
35. Doymaz İ. (2012). Evaluation of some thin- layer drying models of persimmon slices (*Diospyos kaki L.*) *Energy Conver Manag*, **56**: 199-205.
36. Shi, J. and Le Maguer, M. (2000). Lycopene in Tomatoes :Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **40 (1)**: 1-42.
37. Muratore G, Rizzo V, Licciardello F, Maccarone E. (2008). Partial dehydration of cherry tomato at different temperature, and nutritional quality of the products, *Food Chemistry*, **111**: 887-891.