

PAPER DETAILS

TITLE: Kivi Meyvesinin Ince Tabaka Kurutma Karakteristiklerinin ve Sorpsiyon Özelliklerinin Saptanması

AUTHORS: Bahar DIKEN,Merve EREMKERE,Gülizar DEMIRTAS,Birol KAYISOGLU,Türkan AKTAS

PAGES: 249-261

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/950971>



Makale / Research Paper

Kivi Meyvesinin İnce Tabaka Kurutma Karakteristiklerinin ve Sorpsiyon Özelliklerinin Saptanması

Bahar DİKEN*, Merve EREMKERE, Gülizar DEMİRTAŞ, Birol KAYIŞOĞLU, Türkan AKTAŞ

Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü. 59030 Tekirdağ/TÜRKİYE

bahar233423@hotmail.com

Received/Geliş: 04.10.2019

Accepted/Kabul: 18.12.2019

Öz: Meyve ve sebzelerin hasat dönemi dışında da tüketilmesi ve pazar değerinin korunması amacıyla kullanılan yöntemlerin başında kurutma işlemi gelmektedir. Bu çalışmada, son yıllarda ülkemizde üretimi hızla artan kivi meyvesi, 3 mm kalınlıkta dilimlenerek, sıcak havalı bir kurutucuda farklı sıcaklıklarda (50-60-70°C) ve sabit hava hızında (2.2 m/s) ince tabaka halinde kurutularak kurutma karakteristikleri saptanmıştır. Su ve ürün arasındaki fizikokimyasal ilişkiyi anlamak ve ürünün kalite stabilitesinin devamlılığı bakımından oldukça önemli olan sorpsiyon izotermi de (desorpsiyon ve adsorpsiyon) 30, 40 ve 50 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklık ve 5 farklı ortam bağıl nemi koşulunda yaş ve kurutulmuş örnekler kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilmiş olan deneysel sorpsiyon verileri 4 farklı modele yani BET, GAB, Oswin ve Smith modellerine uydurulmuştur. Kurutma işlemlerine ilişkin deneysel sonuçlara ise Henderson ve Pabis, Page, Logaritmik, Wangh ve Singh olmak üzere 4 matematiksel kurutma modeli uygulanmıştır. Kurutma verilerinin modellenmesi sonucu elde edilmiş olan ortalama karesel hata (RMSE), khi-kare (χ^2) ve model etkinliği (EF) değerlerinin karşılaştırılması ile kivi'nin sıcak hava ile kurutulmasında en uygun matematiksel modelin Page modeli olduğu, sorpsiyon davranışları için en uygun modelin ise GAB modeli olduğu tespit edilmiştir. Efektif difüzyon katsayısı sıcaklığa bağlı olarak 2.73936×10^{-10} (50 °C) ile $3.89772 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ (70 °C) arasında değişmiştir.

Anahtar kelimeler: Kivi meyvesi, ince tabaka kurutma, difüzyon katsayısı, sorpsiyon, modelleme.

Determination of Thin Layer Drying Characteristics and Sorption Properties of Kiwi Fruit

Abstract: Drying process is one of the methods used to supply consuming of fruits and vegetables out of the harvesting period and to preserve the market value. In this research, kiwi fruit, which is rapidly growing of its production in our country in recent years, was sliced in 3 mm thickness and dried at different temperatures (50-60-70 °C) and constant airspeed (2.2 m s⁻¹) in a hot air dryer as thin layer. The sorption isotherms, which are very important in terms of continuity of product quality stability and which are used to understand the physicochemical relationship between water and product, were determined at 3 different temperatures (30, 40 and 50 °C) and 5 different ambient relative humidity conditions for fresh and dried kiwi samples. The obtained experimental sorption data were adapted to 4 different models, namely BET, GAB, Oswin and Smith models. Four mathematical drying models namely Henderson and Pabis, Page, Logarithmic, Wangh and Singh were applied to the experimental results of drying processes. It was determined that the most suitable mathematical model is Page model in hot air drying of kiwi according to the comparison of root mean square error (RMSE), chi-square (χ^2) and model efficiency (EF) values obtained by modeling of drying data. It was determined that the most suitable mathematical model is GAB model for the sorption behavior of kiwi fruit. The effective diffusion coefficient values ranged from 2.73936×10^{-10} (50 °C) to $3.89772 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (70 °C) depending on the temperature.

Keywords: Kiwi fruit thin layer drying diffusion coefficient, sorption, modeling.

Bu makaleye atıf yapmak için

Diken, B., Eremkere, M., Demirtaş, G., Kayışoğlu, B., Aktaş, T., "Kivi Meyvesinin İnce Tabaka Kurutma Karakteristiklerinin ve Sorpsiyon Özelliklerinin Saptanması" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(1); 249-261.

How to cite this article

Diken, B., Eremkere, M., Demirtaş, G., Kayışoğlu, B., Aktaş, T., "Determination of Thin Layer Drying Characteristics and Sorption Properties of Kiwi Fruit" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7(1); 249-261.

1. Giriş

Dünya’da ve ülkemizde kivi meyvesi üretimi yeni üretici ülkelerin katılımı ve tüketici taleplerinin artışıyla birlikte gittikçe yükselmektedir. Ana vatanı Çin olan kivi meyvesi Yeni Zelanda tarafından 19. yüzyılda kültüre alınmış ve 2017 yılı itibari ile dünyada 23 ülkede yetiştirilmeye başlanmıştır. Son 5 yılda dünya kivi üretimi ortalaması dikkate alındığında, kivi üretiminin %50’den fazlası Çin’de yapılmaktadır. İtalya, Yeni Zelanda, İran ve Şilinin dünya toplam kivi üretimindeki payı %40’a yaklaşmaktadır. Bu ülkeler ile birlikte Yunanistan, Fransa, Türkiye ve ABD’nin toplam kivi üretimi neredeyse dünya kivi üretimine eşdeğerdir. Türkiye’de kivi üretimi 1994 yılında 7 tonla başlamış olup, 2017 yılı itibariyle 44 bin tona ulaşmıştır ve son beş yıl ortalamasına göre yılda yaklaşık 40.000 ton kivi üretimi gerçekleştirilmektedir [1].

Kurutma, meyve ve sebze gibi gıda ürünlerinin %80-95 oranlarındaki su muhtevasının %10-20’ye düşürülerek uzun süre depolanmasını sağlayan prosestir. Kurutma sırasında organoleptik özellikleri olası şekilde az değişme uğramalı, ayrıca pişirilmek üzere su ilave edildiğinde taze iken muhtevastaki miktara yakın su alabilmelidir. Kurutma prosesinin amacı depolama işleminde gıdanın bozulmasını önlemek, organoleptik özelliklerini korumak, ürün hacmini küçülterek taşıma ve depolama işleminde kolaylık sağlamaktır [2].

Meyve ve sebzelerin sıcak havalı kurutucular kullanılarak kurutulması, yöntemin basit ve düşük maliyetli olması nedeniyle en fazla uygulanan yöntemlerden birisidir [3]. Sıcak havalı kurutucuların en basit şekli, ısıtılmış havanın kurutma tepsilerine ince tabaka şeklinde serilmiş olan ürünler üzerinden geçirildiği yalıtımlı bir kabinden oluşmaktadır. Bu sistemlerde, ön işlem görmüş veya görmemiş ürünler kuruyuncaya kadar belli bir süre sıcak havaya maruz bırakılmaktadırlar.

Sorpsiyon izotermi, sabit sıcaklık ve basınç koşullarında ortam bağıl nemi (su aktivitesi) ile ürünlerin denge nem içerikleri arasındaki termodinamik ilişkiyi göstermektedir. Sorpsiyon izotermi, saptanması kurutma sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonu, ambalajların tasarımı, kalite tahminleri, ürün stabilitesinin sağlanması, raf ömrü ve depolama sırasında oluşabilecek nem değişimlerinin hesaplanması açısından büyük önem taşımaktadır [4].

Yapılan çok sayıda araştırmada farklı meyvelerin kurutulma işleminde hava sıcaklığı, nem ve akış hızı gibi değişkenlerin ve kurutulan ürüne ait özelliklerin kuruma karakteristiklerine etkileri incelenmiştir. Toğrul ve Toğrul [5] kayısı, üzüm, şeftali, incir ve eriğın kuruma karakteristikleri, Koyuncu ve ark [6] kızılcığın kuruma karakteristikleri ve kuruma için gerekli olan enerji miktarı üzerine araştırmalar yapmışlardır. Kivi meyvesinin kurutulması üzerine yapılan bazı çalışmalara da literatürde rastlanmıştır. Darıcı ve Şen [7] kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya olan etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Maskan [8] kivi meyvesinin renk değişimi ve kuruma davranışlarını deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir.

Literatürler genel olarak incelendiğinde kivi meyvesi için farklı kurutma yöntemlerinin uygulandığı, kurutma kinetiklerinin saptandığı ve modelleme yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların bazılarında C vitamini içeriği, toplam fenolik madde içeriği ve renk özelliklerinin değişimi ve sorpsiyon izotermi olarak da sadece adsorpsiyon izotermi saptanmıştır. Kivi meyvesi için kurutma kinetiklerinin ve sorpsiyon izotermi, birlikte saptandığı ve modellendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada kurutma kinetiklerinin yanında hem desorpsiyon izotermi hem de adsorpsiyon izotermi belirlenmiş olup, kurutma işleminin yanısıra sorpsiyon verilerine de matematiksel modeller uygulanmıştır. Bu amaçla, sıcak havalı tip bir kurutucuda, 50-60-70 °C kuruma havası sıcaklığı ve 2.2 m/s kurutma havası hızında kivi, kuruma özellikleri deneysel olarak incelenmiş ve sonuçlar, nem içeriğinin zamanla değişimi şeklinde verilmiştir. Deneysel sonuçlardan elde edilen nem oranı-kurutma zamanına ilişkin deneysel veriler dört farklı matematiksel model de kullanılarak gerçek ve model verileri arasında grafiksel karşılaştırmalar

yapılmış ve en uygun model saptanmıştır. 3 farklı sıcaklık için (30, 40 ve 50 °C), denge nem içeriği ile denge bağıl nemi arasındaki ilişkiyi gösteren sorpsiyon izotermi saptanmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Kurutulacak kivi örneklerinin hazırlanması

Deneylerde kullanılan kiviler "*Actinidia chinensis*" satın alındıktan sonra en az 24 saat boyunca + 4 °C'de buzdolabı koşullarında saklanmıştır. Daha sonra buzdolabından alınan meyveler ortam sıcaklığına gelene kadar yaklaşık 1 saat boyunca laboratuvarında bekletilmiş ve ortamla ısı dengeye gelmeleri sağlanmıştır. Böylece her deneyden önce kivi örnekleri için aynı başlangıç şartları gerçekleştirilmiştir. Kiviler bıçak ile soyulmuş, daha sonra 3 mm kalınlıklarında dilimlenerek tepsilere dizilmiştir. Şekil 1'de kurutulmak üzere hazırlanmış kivi dilimleri görülmektedir.



Şekil 1. Soyulup dilimlenmiş kivi dilimlerinin kurutulmadan önceki görünümü

2.2 Kurutma ekipmanları ve kurutma işlemi

Çalışmada sıcak havalı (konvektif) bir kurutma fırını (Drying Oven marka, DHG-9055A model) kullanılmıştır. Kurutma denemeleri 50-60-70 °C olmak üzere 3 farklı kurutma havası sıcaklığında ve 2.2 m/s kurutma havası hızında gerçekleştirilmiştir. Isı yalıtımı iyi bir şekilde yapılmış olan bu kurutucuda kurutma işlemi boyunca kurutma havasının hızı ve sıcaklığı sabit tutulmuştur. Kurutma işlemine başlamadan önce kurutulacak kivi dilimlerinin ilk ağırlıkları AND GF-600 marka (0.001 gram hassasiyetli) dijital hassas terazide tartılmış ve kurutma başlangıcında her 10 dakikada bir, son aşamasında 30 dakikada bir ağırlık kaybı ölçümleri yapılarak kaydedilmiştir. Ağırlık ölçümlerine, örnekler denge nem içeriğine ulaşmaya kadar yani son üç ölçümde örnek ağırlığındaki değişimler önemsenecek düzeye indiği zamana (%2' den az) kadar devam edilmiştir.

2.3. Ürün nem içeriğinin saptanması

Her bir kurutma sıcaklığında yapılan deneylerde yaklaşık 50 g ağırlığında ürün, kurutma tepsilerine tek tabaka olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kurutma başlangıcında ve kurutma boyunca ürün nem içeriği değerlerinin hesaplanması için periyodik olarak ürün ağırlıkları tartılmıştır. Kuru madde içeriğini saptamak amacıyla kivi dilimleri 105 °C sıcaklıkta 24 saat etüv fırınında bekletilmiş ve elde edilen son ürün ağırlığına (m_s) bağlı olarak ürünün kurutma öncesinde ve kurutma boyunca nem içeriği değerleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır [9]

$$X = \frac{(m_o - m_s)}{m_s} * 100 \quad (1)$$

Burada, X ürünün kuru baza göre nem içeriği (%k.b.), m_o (kg) ürünün başlangıçtaki kütlesi ve m_s (kg) ürünün kuruma sonrası kütlesidir.

2.4. Nem oranının (MR) saptanması

Ürünün herhangi bir t anında sahip olduğu nem içeriğinin (X_t), başlangıç anındaki nem içeriğine (X_0) oranı “nem oranı” (MR) olarak tanımlanmaktadır [10];[11]. Nem oranı aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmiştir.

$$MR = \frac{X_t}{X_0} \quad (2)$$

2.5. Difüzyon katsayılarının saptanması

Kartezyen koordinatlarda ince tabaka kurutma modeli 2. Fick yasasının çözümüdür. Bu yasa, difüzyon katsayısı sabit alınarak uygun sınır koşullarında basitleştirilirse difüzyon katsayısı (D_{eff}), örnek kalınlığı (L) ve kuruma süresi (t) kullanılarak nem oranı (MR) için aşağıdaki eşitlik yazılabilmektedir [12].

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{[2n+1]^2 \pi^2 D_{eff} * t}{4L^2}\right) \quad (3)$$

Uzun süreli kurutma işlemlerinde ise 3 numaralı bağıntının ilk terimleri kullanılmaktadır;

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} t\right) \quad (4)$$

4 numaralı eşitlikte kurutma sürelerine karşı $\ln(MR)$ grafiğinin eğimi (K) difüzyon katsayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır (Eşitlik 5).

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (5)$$

2.6. Kivi örneklerinin su aktivite değerlerinin saptanması

Gıdaların dayanıklılığı üzerinde en etkili faktörlerden birisi gıdalardaki su miktarıdır. Ürünün, yapısındaki su alındığı oranda ürünün dayanıklılığı artmaktadır. Ancak, dehidrasyon sonucu yapıda kalan su her gıdada farklı orandadır ve dayanıklılık süreleri de farklıdır. Bu olay yapıdaki “su aktivitesi” ile açıklanabilmektedir. Su aktivitesi düştükçe ürünün dayanıklılığı artmaktadır [13]. Taze kivi örneklerin ve kurutulmuş örneklerin su aktivite değerlerinin saptanması amacıyla su aktivite ölçüm setinden faydalanılmıştır. Bu sistemde su aktivitesi ölçülecek olan ürün sızdırmaz çelik bir hazne içine koyulmakta ve ürün ile hazne içindeki havanın nemlerinin dengeye gelmesi beklenmektedir. Ulaşılan denge nem değeri bu hazne içine yerleştirilmiş olan bir prob (Testo 650 cihazı ve nem ölçüm probu) yardımıyla direkt okunmuştur [14].

2.7. Kivi örneklerinin sorpsiyon izotermlerinin (desorpsiyon ve adsorpsiyon) saptanması

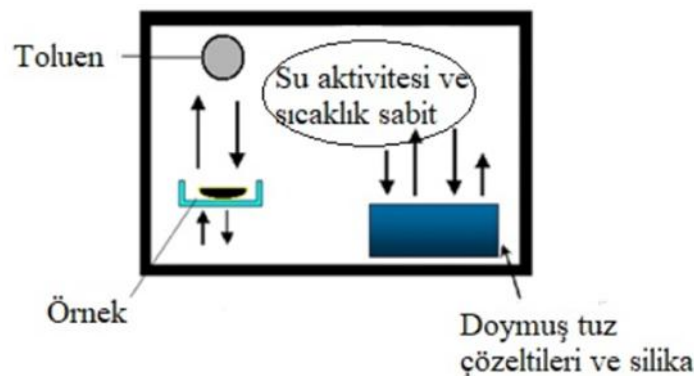
Desorpsiyon izotermlerinin saptanması için dilimlenmiş kivi örnekleri yaş olarak, adsorpsiyon izotermlerinin saptanması için de 70 °C kurutma sıcaklığında kurutulmuş olarak kullanılmıştır. Sorpsiyon izotermlerinin saptanması için Standart Gravimetrik Yöntemden yararlanılmıştır [15]. Bu yöntemde örnekler; ortamda oluşturabilecekleri bağıl nem değeri bilinen silika jel (0,12) ve 4 farklı doymuş tuz çözeltisinin (MgCl_2 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, NaCl ve KCl) bulunduğu sızdırmaz kaplara koyularak kurutma dolabında 30, 40 ve 50 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta, ürün denge nemine ulaşınca dek bekletilmiştir. Çizelge 1 'de sıcaklıklara bağlı olarak farklı doymuş tuz solüsyonlarının oluşturduğu ortam bağıl nem değerleri verilmiştir [16].

Tablo 1. Doymuş tuz solüsyonları ve sıcaklık koşullarında sağlanan ortam bağıl nem değerleri

Tuz Çözeltileri	Oluşturdukları ortam bağıl nem değerleri		
	Sıcaklıklar		
	30 °C	40 °C	50 °C
MgCl_2	32	31	31
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	51	48	45
NaCl	75	75	74
KCl	84	82	81

Örnek ağırlıklarının değişimi deneme başlangıcında her 2 saatte bir, işlem ilerledikçe maksimum 24 saatte bir olacak şekilde belli zaman aralıklarında dengeye ulaşınca kadar ölçülmüştür. Sorpsiyon izotermi belirlenirken örneklerin farklı sıcaklık ve bağıl nem koşullarında dengeye gelmeleri, kullanılan ortam sıcaklığına da bağlı olarak oldukça uzun sürmüştür. Örneklerin denge nemine ulaşmaları en az 10 gün (yüksek sıcaklıklarda) ve en çok 29 gün (düşük sıcaklıklarda) sürmüştür. Ağırlık ölçüm işlemlerinde AND GF-610 marka 0.001 hassasiyetli terazi kullanılmıştır. Desorpsiyon izotermi saptanacak örnekler Şekil 2'de görüldüğü şekilde sızdırmaz kaplar içerisine yerleştirilmiştir. Bu kaplar ortam sıcaklığının sabit tutulması amacıyla etüv (Drying Oven) içine bırakılarak ürün nemi dengeye gelinceye kadar bekletilmiştir. Ürünlerin dengeye gelmesi ortam sıcaklığına ve bağıl nemine bağlı olarak 10-29 gün arasında değişmiştir. Özellikle desorpsiyon izotermi saptanması sırasında ve düşük ortam sıcaklıklarında ürünün dengeye gelmesi için oldukça uzun bir zaman periyodu gerektiği için sızdırmaz kap içerisine ayrı bir kapta toluen eklenerek meyvelerin çabuk bozulması önlenmiştir.

Sabit sıcaklık koşullarında elde edilen ürün denge nem değerleri ve sızdırmaz kap içerisindeki ortamın bağıl nem değerleri arasındaki ilişki grafik haline getirilerek sorpsiyon izotermi oluşturulmuştur.



Şekil 2. Standart Gravimetrik yöntemin prensip şeması

2.8. Verilerin matematiksel modellemesi

Deneyssel olarak elde edilmiş olan ince tabaka kurutma verileri ve sorpsiyon verileri (desorpsiyon ve adsorpsiyon) lineer olmayan regresyon analizi tekniği ile Statistica 5.5 istatistik programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nem oranına çevrilen deneyssel kurutma verilerinin matematiksel modellenmesi amacıyla Çizelge 2' de verilmiş olan 4 farklı ince tabaka kurutma modeli kullanılmıştır. Ortam bağıl nemine bağlı olarak saptanmış olan ürün denge nemi verilerin modellenmesi içinde (desorpsiyon ve adsorpsiyon durumunda elde edilmiş olan deneyssel veriler) meyve ve sebzelerin sorpsiyon davranışlarına en uygun olan [15] 4 farklı model kullanılmıştır (Çizelge 3).

Tablo 2. Kivi örnekleri için elde edilmiş olan kurutma verilerinin uygulandığı ince tabaka modeller

Modeller	Matematiksel Denklemler	Kaynaklar
Henderson-Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	[17]
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	[18]
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	[19]
Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	[20]

Tablo 3. Kivi örnekleri için elde edilmiş olan sorpsiyon verilerinin uygulandığı modeller

Modeller	Eşitlikler	Kaynaklar
BET	$M = \frac{M_0 c a_w}{[(1 - a_w) + (c - 1)(1 - a_w)a_w]}$	[21]
Oswin	$M = k(a_w/1 - a_w)^n$	[22]
Smith	$M = C_1 + C_2 * \ln(1 - a_w)$	[23]
GAB	$M = \frac{M_0 C K a_w}{[(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)]}$	[24]

Kurutma ve sorpsiyon verileri için en uygun modelin seçilebilmesi için, analiz sonucunda bulunan tahmini değerlerden ve kalanlar verilerinden yararlanılarak khi-kare (χ^2), ortalama karesel hata (RMSE=root mean square error) ve model etkinliği (EF) değerleri hesaplanmıştır. En uygun model olarak, her uygulama için saptanan χ^2 değerinin en düşük, RMSE değerinin sıfıra en yakın ve EF değerinin de en yüksek değerde olanı (model etkinliği için maksimum değer 1'dir) seçilmiştir. Karşılaştırma kriterleri aşağıdaki eşitliklerden yararlanılarak hesaplanmıştır [25] :

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{exp,i} - M_{pre,i})^2}{N - n} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{pre,i} - M_{exp,i})^2}{N}} \quad (7)$$

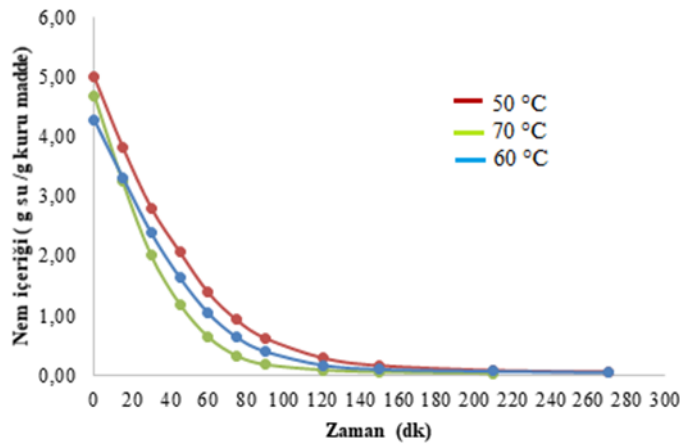
$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{exp,i} - M_{exp,i,mean})^2 - \sum_{i=1}^N (M_{pre,i} - M_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (M_{exp,i} - M_{i,exp,mean})^2} \quad (8)$$

Bu eşitliklerde, $M_{exp,i}$ i. deneysel denge nem içeriği, $M_{pre,i}$ i. tahmin edilen denge nem içeriği N gözlem sayısı ve n ise kullanılan sorpsiyon modelindeki model sabiti sayısı ve $M_{exp,mean}$ ise deneysel ortalama denge nem içeriğidir.

3. Araştırma bulguları ve tartışma

3.1 Kurutma kinetiklerine ilişkin sonuçlar

50-60-70 °C kurutma havası sıcaklıkları ve 2.2 m/s hava hızında gerçekleşen deneme sonuçlarına göre, ürünün nem içeriğinin zamanla değişimi Şekil 3’de verilmiştir. İlk 1 saatlik kuruma sürecinde üründe oldukça hızlı bir nem düşüşü gerçekleşmiş 2. saatten sonra nem düşüşü oldukça yavaş bir şekilde devam etmiştir. Bu düşüş kurutma sıcaklığının artmasıyla daha da artmıştır. Şekil 3’de görüldüğü gibi ilk nem içeriği ortalama 5 kg-su/kg-kuru madde iken kurutma sonrası nem içerikleri 0.1 kg-su/kg-kuru madde olarak saptanmış ve nem içeriği bu değerinde sabit kalmıştır. Denemelerde kurutma sıcaklığına bağlı olarak 0.1 (kuru baz) değerine 120 dakika (70 °C) ve 210 dakika (50 °C) arasında ulaşılmıştır. Kivi için benzer sonuçlar Darıcı ve Şen[7] tarafından da saptanmıştır. Kurutma havası sıcaklığının artmasıyla hem difüzyon hem de kütle transferinin hızlandığı bilinmektedir [26] Bu etkiler, ürünün daha hızlı kurumasına neden olmuştur.



Şekil 3. Kivi örneklerinin nem içeriğinin kurutma sıcaklığına bağlı olarak değişimi

3.2 Kuruma verilerinin matematiksel modellemesine ilişkin sonuçlar

Sıcak havalı kurutma yöntemi ile kurutulan kivi örneklerinin kuruma davranışına uygun modelin saptanması için analiz edilen ince tabaka modellere ilişkin katsayılar ve parametreler Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde kivi örneklerinin kuruma davranışına ilişkin EF, RMSE ve χ^2 sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda en uygun modelin Page modeli olduğu görülmektedir. Kurutma sıcaklığına bağlı olarak Page modelinde model etkinliği (EF) 0.9995 ile 0.9997 arasında değişmiştir.

Özel [27], balkabağının %20 bağıl nemde 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta ve 1 m/s sabit hava hızında kurutma çalışmasında, deneysel veriler ile teorik modellerden aldığı verileri karşılaştırılmış ve deneysel verilere en uygun matematiksel modellerin Page, Difüzyon Yaklaşım ve Midilli modeli olduğunu bulmuştur. Mahjoorian ve ark [28] kivi meyvesinin farklı kurutma sıcaklıklarında kurutma işlemi için matematiksel modelleme yapmışlardır. Mohammed [29] 4 mm kalınlıkta hazırlanmış oldukları kivi dilimlerini 40, 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda, 1.5 m/s kurutma havası

hızında ince tabakalı olarak kurutmuş ve sonuçta Midilli modelinin bu örneklerin kuruma davranışına en uygun model olduğunu belirlemiştir. Kivi dilimleri ile yapılan diğer bir çalışmada ise Mahjoorian ve ark [28] kivi dilimlerini yine ince tabaka şeklinde 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta kurutmuşlardır. Sonuçta bu denemelerde örneklerin kurutma davranışına en uygun modelin Two-term model olduğunu saptamışlardır.

Tablo 4. Kivi örnekleri için farklı kurutma yöntem ve şartlarında uygulanan modellere ilişkin parametreler

Model	Sıcaklık (°C)	Model Katsayıları	RMSE	X ²	EF
Henderson-Pabis	50 °C	a=1.0245 k=0.0214	0.0609	0.0004	0.9967
	60 °C	a=1.0384 k=0.0232	0.0918	0.0009	0.9928
	70 °C	a=1.0267 k=0.0308	0.0742	0.0007	0.9947
Page	50 °C	k=0.0117 n=1.1469	0.0247	0.0001	0.9995
	60 °C	k=0.0085 n=1.2479	0.0250	0.00007	0.9995
	70 °C	k=0.0138 n=1.2122	0.0172	0.00004	0.9997
Logaritmik	50 °C	a=1.0322 k=0.0202 c=-0.0101	0.0587	0.0004	0.9969
	60 °C	a=1.0501 k=0.0224 c=-0.0151	0.0882	0.0009	0.9933
	70 °C	a=1.0388 k=0.0296 c=-0.0155	0.0694	0.0007	0.9954
Wang ve Singh	50 °C	a=-0.0124 b=0.00003	0.2963	0.0098	0.9219
	60 °C	a=-0.0128 b=0.00004	0.3246	0.0117	0.9096
	70 °C	a=-0.0162 b=0.00006	0.3336	0.0139	0.8935

3.3. Difüzyon katsayısına ilişkin sonuçlar

Kurutulan kivi dilimleri için her bir kurutma havası sıcaklığı için efektif difüzyon katsayısı hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5’de gösterilmiştir. Efektif difüzyon katsayısı değerleri 2.73936×10^{-10} ile $3.89772 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmiştir. Kurutma havası sıcaklığının artmasıyla kurutulmuş kivi dilimlerinin efektif difüzyon katsayısı değerleri de artmıştır. Bu durum, yüksek sıcaklık değerlerinde ürün içerisindeki nemin daha kolay buharlaşması ve kurutma hızının artmasıyla açıklanabilmektedir.

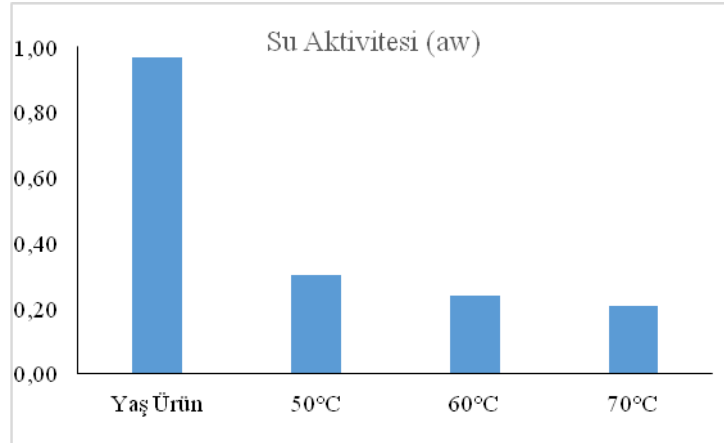
Tablo 5. Farklı sıcaklıklarda kivi dilimlerinin difüzyon katsayısı değerleri

	D _{eff} (m ² /s)	k ₁	R ²
50°C	2.73936×10^{-10}	0.0003001	0.96
60°C	2.80417×10^{-10}	0.0003072	0.92
70°C	3.89772×10^{-10}	0.0004270	0.93

Önceki çalışmalar incelendiğinde, patlıcan örnekleri için (50-80°C sıcaklık) hesaplanan efektif difüzyon katsayılarının $5.575-9.745 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak tespit edildiği görülmektedir [30]. Vişnenin kurutulması ile ilgili bir çalışmada efektif difüzyon katsayısının sıcaklıkla arttığı ve değerlerinin $1.429-12.16 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değiştiği açıklanmıştır [31].

3.4. Su aktivite değerlerine ilişkin sonuçlar

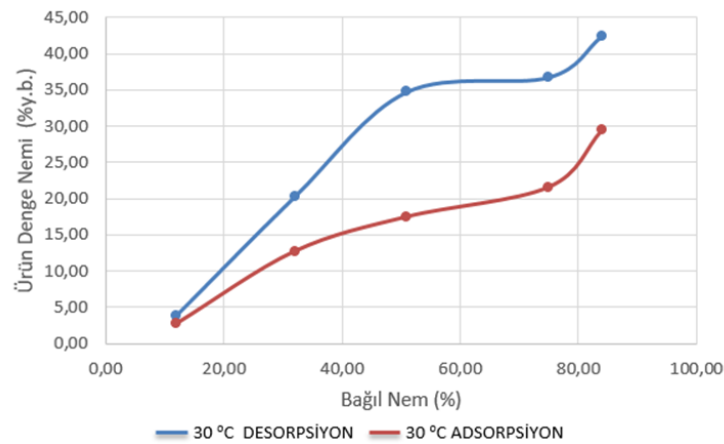
Farklı kurutma sıcaklıklarında kurutulmuş olan kivi örnekleri için su aktivite değişimleri Şekil 4 'de verilmiştir. Kurutma işleminde uygulanan sıcaklığa bağlı olarak tüm örneklerde su aktivite değeri düşmüştür. Kurutulmuş örneklerde bu değerlerin, çürümeye sebep olacak osmofilik mayaların aktif olacağı 0.60 kritik limit değerinden düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 4) [32].



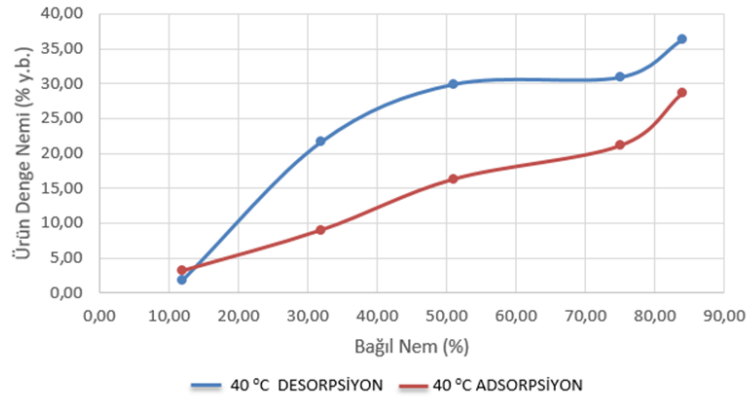
Şekil 4. Kivi örneklerinin kurutma sıcaklığına bağlı olarak su aktivite değerlerinin değişimi

3.5. Sorpsiyon izotermlerine ilişkin sonuçlar

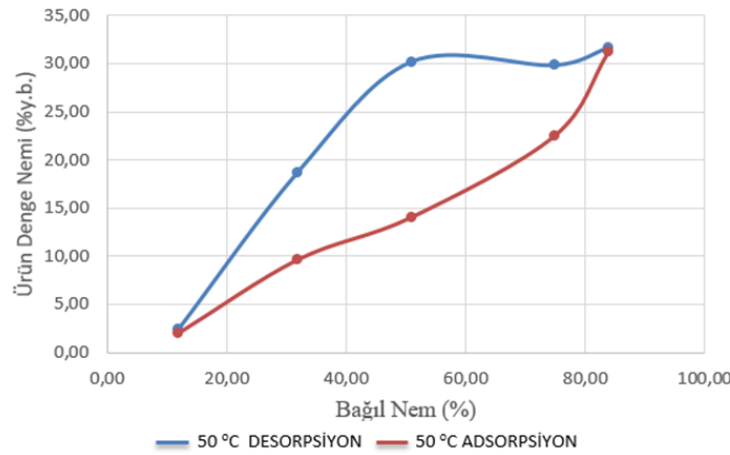
Kivi meyvesinde adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi arasında farklılık yani histerisis görülmektedir. Aynı sıcaklık ve bağıl nem koşullarında desorpsiyon denge nem içeriği adsorpsiyon nem içeriğinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7' de farklı sıcaklık koşullarında adsorpsiyon ve desorpsiyon eğrileri arasındaki fark gösterilmiştir. Ortam sıcaklığının artışıyla hem adsorpsiyon hem de desorpsiyon için ürün denge nemlerinin genel olarak düştüğü saptanmıştır.



Şekil 5. Kivide 30 °C sıcaklıkta oluşan sorpsiyon izoterm eğrileri



Şekil 6. Kivide 40 °C sıcaklıkta oluşan sorpsiyon izoterm eğrileri



Şekil 7. Kivide 50 °C sıcaklıkta oluşan sorpsiyon izoterm eğrileri

Tablo 6. Kivi örneklerinin adsorpsiyon için farklı bağıl nem ve sıcaklık koşullarında analiz edilen modellere ilişkin parametreler

Modeller	Model Parametreleri	Adsorpsiyon		
		30 °C	40 °C	50 °C
BET	M_0	5.2346	5.0253	5.3852
	c	2648.026	94.9299	20.5334
	X^2	31.0544	32.2944	10.3252
	$RMSE$	9.6521	9.8429	5.5656
	EF	0.7650	0.7557	0.9402
Oswin	k	14.7847	13.2735	12.7092
	n	0.4121	0.4641	0.5423
	X^2	8.8095	4.3974	2.7954
	$RMSE$	5.1409	3.6321	2.8958
	EF	0.9333	0.9669	0.9838
Smith	C_1	49.2057	48.1147	52.4763
	C_2	-19.1121	-19.1622	-21.6083
	X^2	6.1851	6.1263	11.5431
	$RMSE$	4.3076	4.2871	5.8847
	EF	0.9532	0.9539	0.9331
GAB	M_0	19.1970	14.6719	10.4888
	C	4.3579	3.67512	3.9727
	K	0.5448	0.6691	0.8242
	X^2	8.8560	4.4158	3.1886
	$RMSE$	4.2086	2.9718	2.5253
	EF	0.9553	0.9778	0.9877

3.6. Sorpsiyon verilerinin matematiksel modellemesine ilişkin sonuçlar

Kivi örneklerinin desorpsiyon ve adsorpsiyon verileri için yapılan doğrusal olmayan analiz (Nonlinear Estimation) sonuçları Çizelge 6 ve Çizelge 7’de verilmiştir. 30, 40, ve 50°C sıcaklıklarda elde edilen sorpsiyon verileri kullanılarak yapılan istatistiksel veri analiz sonuçları incelendiğinde tüm kivi örneklerinde her uygulama için GAB modelinin deneysel verilere daha uygun model olduğu saptanmıştır. Birçok gıdanın adsorpsiyon izoterminin GAB eşitliğine uyduğu pek çok araştırmacı tarafından belirlenmiştir. Bu durum; soğan, yeşil fasulye ve kayısılarda [33]; patates, havuç, domates, yeşilbiber ve soğanda [34] ortaya konulmuştur.

Tablo 7. Kivi örneklerinin desorpsiyon için farklı bağıl nem ve sıcaklık koşullarında analiz edilen modellere ilişkin parametreler

		Desorpsiyon		
Modeller	Model parametreleri	30°C	40 °C	50 °C
BET	M_0	8.2577	7.1155	6.5204
	c	1105116	441223.5	580146.9
	X^2	171.3356	158.1036	163.1501
	$RMSE$	22.6717	21.7787	22.1235
	EF	0.4746	0.3546	0.2045
Oswin	k	25.3067	22.4016	21.1488
	n	0.3498	0.3274	0.3052
	X^2	56.1295	57.7961	58.5729
	$RMSE$	12.9765	13.1677	13.2559
	EF	0.8279	0.7641	0.7143
Smith	C_1	78.5118	67.0729	61.3728
	C_2	-30.03272	-25.3329	-22.9149
	X^2	14.9119	23.5375	23.9200
	$RMSE$	6.6885	8.4031	8.4711
	EF	0.9543	0.9039	0.8834
GAB	M_0	119.7385	79.8064	67.4088
	C	91.5394	181.4838	253.4636
	K	0.0073	0.0053	0.0045
	X^2	27.2495	35.0457	32.9089
	$RMSE$	7.3823	8.3721	8.1129
	EF	0.9443	0.9046	0.8930

4. Sonuç

Konvektif kurutucuda ince tabaka olarak kurutulan kivi meyvesinin kuruma süresine sıcaklığın etkisi deneysel olarak araştırılmıştır ve kurutulmuş kivi örneklerinin depolama koşullarının saptanması için önemli olan adsorpsiyon ve desorpsiyon eğrileri, farklı ortam sıcaklığı ve bağıl nem koşulları için belirlenmiştir. Kurutma havası sıcaklığının artmasıyla ürünün çok daha hızlı kuruduğu saptanmıştır. Öyle ki, aynı ürün nem içeriğine 70 °C kurutma sıcaklığında 120 dakikada ulaşılırken 50 °C kurutma sıcaklığında bu sürenin 210 dakikaya yükseldiği saptanmıştır. Kurutulan ürünün kalite özelliklerinin değişimi ve kurutma yapan işletme koşullarına bağlı olarak enerji tüketim değerleri birlikte değerlendirilerek hangi kurutma sıcaklığının seçileceğine karar verilmelidir. Sabit bağıl nemde ortam sıcaklığı artarken ürün denge nem içeriğinin azaldığı görülmüştür. İnce tabakalı kurutma modellerinden Page modelinin, deneysel sonuçlara en uygun korelasyonları sunduğu görülmüştür. Farklı ortam sıcaklığı ve ortam nemi koşullarında elde edilmiş olan sorpsiyon verilerini temsil eden model ise GAB modeli olarak belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık değerlerinde

ürün içerisindeki nemin daha kolay buharlaşması ve kurutma hızının artmasıyla efektif difüzyon katsayı değerinin arttığı saptanmıştır.

Kaynakça

- [1]. Uzundumlu, A. S., Bilgi, K., Kurtoğlu, S., Kivi Üretiminde Verimi Artırmaya Yönelik Bir Araştırma: Rize İli Örneği. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 2018 7(8), 11-26.
- [2]. Çınar, İ., Ozmotik dehidrasyon mekanizması ve uygulamaları. 2009 Gıda 34 (5): 325-329.
- [3]. Ülger, P., Aktaş, T., Orak, H., Hasturk Sahin, F., Domates (*Lycopersicon esculentum*) Kurutmada Farklı Kurutma Yöntemlerinin ve Önışlemlerin Ürün Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. 2008 TÜBİTAK 1002 Proje Raporu. Proje No: 107 O 317.
- [4]. Soysal, Y., Öztekin, S., Equilibrium moisture content equations for some medicinal and aromatic plants. J Agr Eng Res, 1999 74: 317-324.
- [5]. Toğrul, İ.T., Toğrul, H. , Determination of moisture transport parameters of some fruits under open sun drying conditions. International Journal of Green Energy 2007 (4), 397-408.
- [6]. Koyuncu, T., Tosun, İ., Pınar, Y., Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas L.*). Journal of Food Engineering, 2007 78, 735-739.
- [7]. Darıcı, S., Şen, S., Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi. Tesisat Mühendisliği, 2012 130, 51-58.
- [8]. Maskan, M., Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering 2001 48, 169-175.
- [9]. Ashrae., Tarım Ürünlerinin Kurutulmasında ve Depolanmasında Göz Önüne Alınacak Fizyolojik Etkenler, Temel el kitabı bölüm 10. Tesisat mühendisleri derneği teknik yayınlar 1993.
- [10]. Midilli, A., Kucuk, H., Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. Energy Conversion and Management 2003 44 (7), 1111-1112.
- [11]. Doymaz, I., Kipcak A.S., Piskin, S., Microwave drying of green bean slices; Drying kinetics and physical quality, Czech Journal of Food Sciences, 33 ss. 2015 367-376.
- [12]. Wang, Z., Sun, J., Chen, F., Liao, X., Hu, X., Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air predrying. Journal of Food Engineering 2007 80: 536-544.
- [13]. Saldamlı, İ., Saldamlı, E., Gıda Endüstrisi Makineleri. Savaş Yayınevi, Ankara. 2004.
- [14]. Aktaş, T., Ülger, P., Daglioglu F., Hasturk Sahin, F., Effect of storage time on quality of plum osmotically pretreated with trehalose and sucrose solutions before drying. Proceedings of 10th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture. 14-17 October 2008, p. 904–909. Antalya, Turkey.
- [15]. Öztekin, S., Soysal Y., Denge Nemi Ölçüm ve Hesaplama Yöntemleri. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, 21-22 Mart 2002, İzmir.
- [16]. Rahman, S., Food Properties Handbook. Contemporary Food Science Series, CRC Press 1995.
- [17]. Bengston, G., Rahman, M. S., Stanley, R., Perera, C. O., Effect Specific Pretreatment on the Drying Behavior of Apple Rings. New Zeland Inst. of Food Science and New Zeland Conference, Nelson, 1998 10s.
- [18]. Sun, D. W., Woods J. L., Low temperature moisture transfer characteristics of wheat in thin layers, Transactions of the ASAE 37, 1919-1926 1994.
- [19]. Doymaz, I., Effect of drying treatment on air drying of plums. Journal of Food Engineering 64 (4), 2004 465-470.

- [20]. Wang, C. Y. , Singh, R.P., A single layer drying equation for rough rice. ASAE, 1978 78-3001, St. Joseph, MI.
- [21]. Brunauer, S., Emmett, P.H., Teller, E., Adsorption of gases in multimolecular layers. Journal of the American Chemists' Society. 1938 60, 309–319.
- [22]. Oswin, C.R., The kinetics of package life. III. The isotherm. Journal of Chemical Industry (London), 1946 65, 419–423.
- [23]. Andrade P. R. D., Lemus M. R., Pérez C. C. E., Models Of Sorption Isotherms For Food: Uses And Limitations. Vitae, Revista De La Facultad De Química Farmaceutica. 2011 18(3), 325-234.
- [24]. Van den Berg., C., Water activity. In: Concentration and Drying of Foods (ed. D. Mac Carthy), Elsevier Applied Science Publishers, 1985 11-36.
- [25]. Ertekin, C., Yaldiz, O., Drying of Eggplant and Selection of a Suitable Thin Layer Drying Model. Journal of Food Engineering, 2004 63, 349-359
- [26]. Kaya, A., Kurutmada Isı ve Kütle Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi. (Doktora Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Trabzon, Türkiye 2008.
- [27]. Özel, Ö.F., Balkabağının Farklı Kurutma Şartlarındaki Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi.(Yüksek Lisans Tezi) Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Türkiye 2010.
- [28]. Mahjoorian A., Mokhtarian M., Fayyaz N., Rahmati F., Sayyadi S., Ariaii P., Modeling of drying kiwi slices and its sensory evaluation. Food Science&Nutrition. 2017 5,466–473.
- [29]. Mohammed A., Rafiee S., Keyhani A., Emam-Djomeh Z., Moisture Content Modelling of Sliced Kiwifruit (cv. Hayward) During Drying. Pakistan Journal of Nutrition. 2009 8(1): 78-82.
- [30]. Doymaz, I., Drying of eggplant slices in thin layers at different air temperatures. Journal of Food Processing and Preservation 2011 35, 280-289.
- [31]. Mengeş, H.O., Ertekin, C.,Vişne kurutmada kurutmanın çeşitli modellerle açıklanması. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2007 21. 4-10.
- [32]. Aktaş, T., Ulger, P., Daglioglu, F., Hasturk, F., Changes of nutritional and physical quality characteristics during storage of osmotic pretreated apple before hot air drying and sensory evaluation. Journal of Food Quality. 2013 36: 411-425.
- [33]. Samaniego-Esguerra, M., Boag, F. I., Robertson, L. G., Comparison of Regression Methods for Fitting the GAB Model to the Moisture Isotherms of Some Dried Fruit and Vegetables. Journal of Food Engineering, 1991 13 (2), 133-155.
- [34]. Kiranoudis, C. T., Maroulis, Z. B., Tsami, E., Marinos, K. D., Equilibrium Moisture Content and Heat of Desorption of Some Vegetables. *J. Food Engng.*, 1993 20, 55-74. *Thin Layer Drying Model*. Journal of Food Engineering, 63, 349-359.