

Effect on the Effective Diffusion and Activation Energy Values of Pea (*Pisum sativum* L.) Grains of Drying Temperature

Muhammed Taşova^a

^aGaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat, 60100, Türkiye

Abstract

Peas are a kind of legumes and a plant that is consumed with green bark or only grains. Peas which are rich in protein and vitamins are used in many fields. peas having significant amounts of production in Turkey generally made canned, fresh and dried are consumed in different ways. One of the most important criteria for drying is the drying temperature. In this study, the drying temperature of the pea grains, the effective diffusion coefficient ($Deff$) and the activation energy values (Ea) were determined by drying the cabin type convective dryer with drying air temperatures of 50, 60 and 70 °C. In the drying process, the moisture content of the product has been reduced to 10-13%. According to the applied drying air temperature values, the average drying times were determined as 12, 6 and 4 hours, respectively. The effective diffusion values determined during the drying process were 18×10^{-7} , 37×10^{-7} and 5.86×10^{-6} m²/sec respectively according to the drying temperatures. In the study, the activation energy value was found as 54.72 kJ/mol.

Anahtar Kelimeler: "Pea, Drying, Effective diffusion and activation energy"

1. Giriş

Ülkemiz 2017 yılı verilerine göre, ortalama 9415 da alanda bezelye tarımı yapılmakta olup ve bu alandan ise ortalama 2673 ton ürün elde edildiği ifade edilmiştir [1]. Bezelye genellikle ilkbahar mevsiminde daha verimli ve kaliteli bir şekilde yetişmekle birlikte besin değeri açısından da proteince zengindir. Ayrıca 100 g bezelyede ortalama 81 kcal enerji ve yanında A, C, E, K, tiamin, niasin ve pridoksin gibi sağlık açısından önemli birçok vitamini de barındırmaktadır [2-3].

Bezelyenin bu besin değerlerinden yeterli şekilde yararlanabilmek için sofralardan eksik edilmemesi gerekmektedir. Taze olarak çok kısa süre tezgahlarda kalabilen bezelyeyi mevsimi dışında da tüketebilmek için raf ömrünün uzatılması gerekmektedir. Bu nedenle hem ilk yatırım maliyetlerinin düşük ve enerji tüketiminin az olması hem de işlemlerin kolay olmasından dolayı bezelyelerin kurutularak saklanması soğukta muhafazaya göre daha uygun bir yöntemdir.

Kurutma işlemi, tarımsal ürünlerin bünyelerindeki mevcut serbest suyun büyük bir kısmının uzaklaştırıldığı ve ürünün bozulmadan saklanabileceği kritik bir nem seviyesine kadar düşürüldüğü işlemdir. Kurutma işlemi esnasında üründe bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerde değişim görüldüğü ve bununla beraber ısı-kütle difüzyon olayının aynı anda gerçekleştiği bir termal işlemdir [4]. Kurutulan ürünler taşıma işlemleri için daha hafif ve depolama için ise daha az yer kaplaması açısından önemli avantajlar sunmaktadır [5-6]. Tarımsal ürünlerin kurutulması işleminde birçok farklı ısı kaynağı kullanılmaktadır. Literatürde yaklaşık 500 farklı kurutucu tipinin bulunduğu ve bunların ise ortalama 100 tanesinin yaygın olarak kullanıldığı ifade edilmektedir [7-8]. Ülkemizde yapılan kurutma işlemleri genellikle açıkta (güneşte, gölgede) ve yapay sıcak hava kullanılarak yapılan konvektif kurutma yöntemleri tercih edilmektedir. Açıkta kurutma yöntemlerinin ucuz ve pratik olmasına rağmen, homojen su içeriğine sahip son ürünlerin elde edilememesi ve çevreden bulaşan yabancı mikroorganizmalar dolayı hijyenik olmaması gibi bazı olumsuz durumlarda mevcuttur [9-11]. Zorlanmış sıcak havalı yapay kurutma yönteminde ise daha üniform bir kurutma işlemi ve daha sağlıklı kuru ürünler elde edilebilme açısından doğal kurutma yöntemlerine göre daha üstündür [12-13]. Bundan sebeple kurutma yöntemi ve sıcaklık faktörleri ürünlerin kuruma süresi ve son kalite değerlerinde etkili olan en önemli faktörlerdendir.

Bu çalışmada, bezelye taneleri sıcak havalı yapay bir kurutucu ile farklı kurutma havası sıcaklıklarında kurutularak, ürünün sıcaklığa bağlı kuruma süreleri, efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi değerleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kurutulacak Ürün

Çalışmada kullanılan bezelye Tokat'ta bulunan yerel bir marketten satın alınarak Gaziosmanpaşa Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği kurutma laboratuvarına getirilmiştir. Kurutma işlemleri sonlanana kadar bezelye taneleri $+4 \pm 0.5$ °C sıcaklığa sahip ortamda muhafaza edilmiştir [14].

2.2. Nem Tayini

Taze ürünlerin % nem içeriklerini (y.b.) belirlemek için ortalama 15'er g örnek kullanarak dörder tekerrür şeklinde gerçekleştirilmiştir. Nem tayini işlemi 70 °C sıcaklığa ayarlanmış bir etüvde gerçekleştirilerek belirli aralıklarda ürünler fırından çıkartılıp tartılarak ağırlığı sabitlenene kadar işleme devam edilmiştir [15].

2.3. Kurutma İşlemi

Çalışmada, yapay sıcak havalı konvektif bir kurutucu ile 50, 60 ve 70 °C kurutma sıcaklıklarında, ürün nemi yaş baza (y.b.) göre % 10-13 seviyelerine kadar kurutulmuştur. İncelenen özellikler olarak ürünün ortalama kuru süreleri, yaş baza göre yüzde son nem değerleri, ağırlık değişimleri, efektif difüzyon ve aktivasyon enerjisi değerleri belirlenmiştir [16-17].

2.4. Kurutucu

Kurutma işlemleri Şimşek Labortechnik marka ST-055 kabin kurutucuda gerçekleştirilmiştir. ST-055 tip kurutucuda kurutma havası sıcaklığı 150 °C sıcaklığa kadar ayarlanabilme özelliği bulunmaktadır.

2.5. Difüzyon Katsayısının (D_{eff} , m^2/s) Belirlenmesi

Efektif difüzyon katsayısının hesaplanmasında ürün doku yapısının korunduğu ve nemin sadece difüzyon yolu ile ortamdaki uzaklaştığı varsayım bilgisi kabul edilerek 3 numaralı eşitlik kullanılarak belirlenmektedir [18].

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[(2n+1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right] \quad (1)$$

1 numaralı eşitlikte D_{eff} ; efektif difüzyon değerini (m^2/sn), L ; ürünün dilim kalınlığının (m) yarısını ifade etmektedir. Eşitlik matematiksel kurallara göre düzenlendikten sonra elde edilen 2 numaralı eşitliğin doğal logaritması alınarak 2 numaralı eşitlik elde edilmektedir [19-21].

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

$$\ln ANO = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \quad (3)$$

Burada;

ANO: Alınabilir nem oranı

Elde edilen ayrılabilir nem oranı (ANO) değerleri, kuruma sürelerine göre bir doğru grafiği oluşturulduğunda doğruların eğimlerinden D_{eff} değerleri hesaplanmaktadır [22].

2.6. Aktivasyon Enerjisi (E_a , kJ/mol) Değerinin Belirlenmesi

Belirlenen efektif difüzyon katsayısı değerinin sıcaklığa bağlı değişimi Arrhenius eşitliği kullanılarak ifade edilmektedir [23].

$$D_{eff} = D_0 \exp \left(-\frac{E_a}{RT} \right) \quad (4)$$

4 numaralı eşitliğe göre, D_0 ; difüzyon katsayısını (m^2/s), R ; gaz sabitini (8.3143 kJ/mol K), E_a ; aktivasyon enerjisini (kJ/mol) ve T (K°) ise kurutma havası sıcaklığını ifade etmektedir. Aktivasyon enerjisi (E_a) değeri, efektif difüzyon (D_{eff}) katsayısının

matematiksel olarak doğal logaritması hesaplandıktan sonra $1/T$ değerlerine karşı çizilen doğrunun eğiminden hesaplanmaktadır [24].

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kuruma Verileri

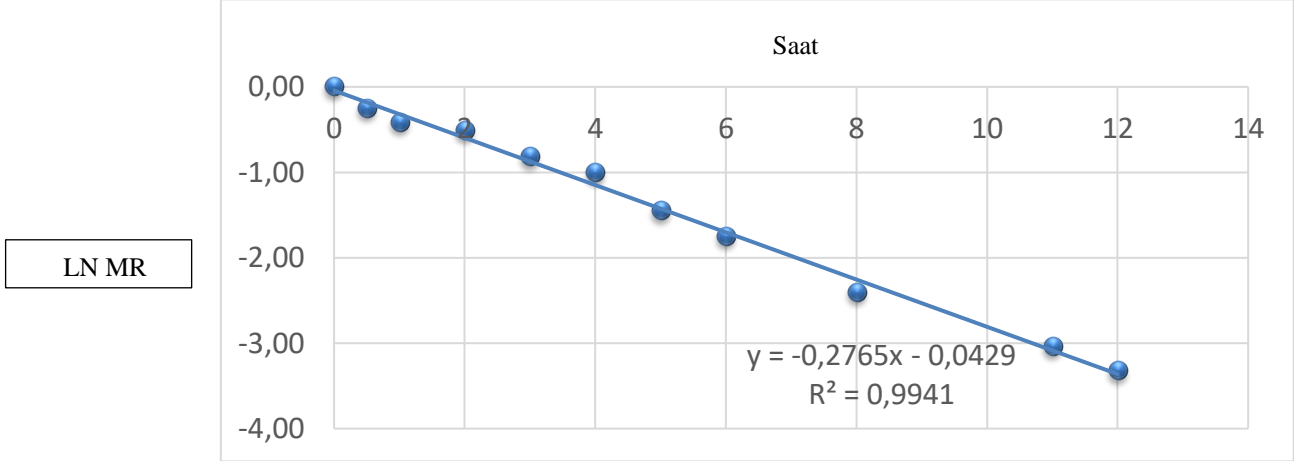
Kurutma materyalinin ortalama nem içeriği (y.b.) % 76.82 olarak belirlenmiştir. Kurutma işlemlerinde sıcaklık değerlerine göre ortalama son nem oranları (y.b.) ve kuruma süreleri belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Bezelyenin belirlenen ortalama kuruma süreleri

Kurutma sıcaklıkları (°C)	Son nem değerleri (y.b.)	Ortalama kuruma süresi (saat)
50	10.74	12
60	11.31	6
70	10.42	4

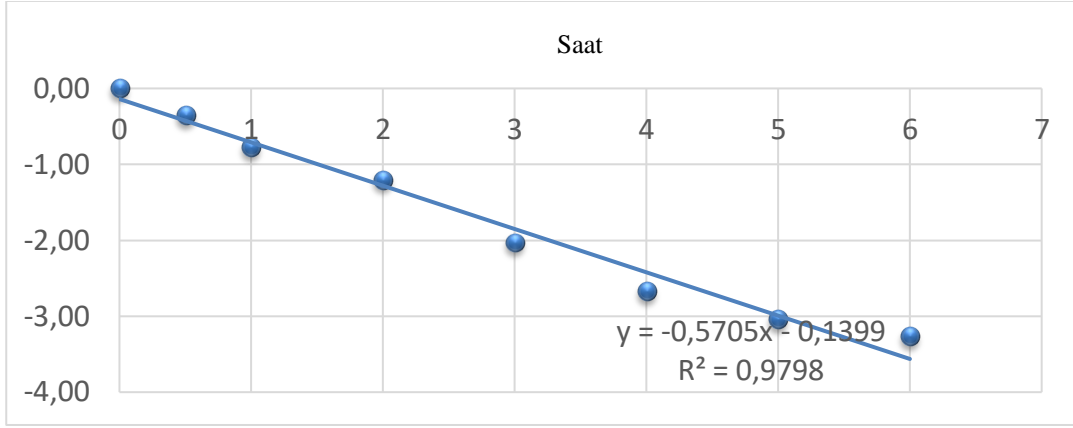
Çizelge 1'e göre, çalışmada en yüksek ve en düşük ortalama kuruma süreleri sırasıyla, 12 ve 4 saat olarak belirlenmiştir. 50 °C kurutma havası sıcaklığında yapılan kurutma işlemine göre, kurutma sıcaklığı 70 °C sıcaklığa çıkartıldığında kuruma süresinin ortalama % 66.67 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Kurutulan ürünlerin ortalama son nem değerlerinin (y.b.) % 10-13 arasında olduğu değiştiği görülmüştür. Verilere göre, kurutma sıcaklığının ürünün kurumasında önemli bir etken olduğu ifade edilebilir. [25]'de belirtilen çalışmada, sıcak hava ve mikrodalga yöntemlerini kullanarak latin çičeđi bitkisinin kurutulması işleminde mikrodalga gücünün ve kurutma havası sıcaklığının ürünün kurumasında önemli bir faktör olduğunu tespit edilmiştir. [26]'da ifade edilen çalışmada, kuzukulağı bitkisini 40, 50 ve 60 °C sıcaklık ve 1 m/s² hava hızları altında kurutularak sıcaklık ve hava hızının artması ürünün kuruma süresini azalttığını ifade edilmiştir. Benzer bulgular [14, 27, 28, 29]'da belirtilen çalışmalarda tespit edilmiştir.

Çalışmada, kurutma havası sıcaklık değerlerine göre belirlenen efektif difüzyon eğrileri sırasıyla şekil 1, 2 ve 3'te verilmiştir.



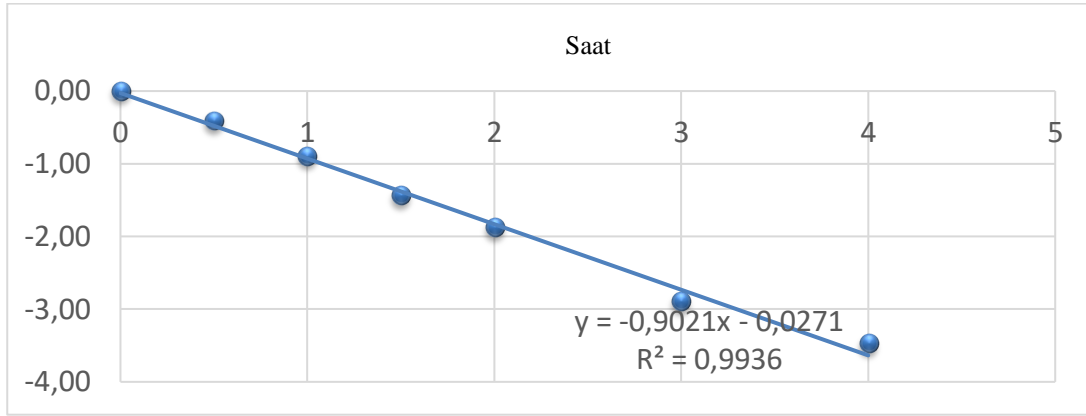
Şekil 1. 50 °C sıcaklıkta kurutulan bezelye tanelerine ait efektif difüzyon eğrisi

LN MR



Şekil 2. 60 °C sıcaklıkta kurutulmuş bezelye tanelerine ait efektif difüzyon eğrisi

LN MR



Şekil 3. 70 °C sıcaklıkta kurutulmuş bezelye tanelerine ait efektif difüzyon eğrisi

Kurutma sıcaklıklarına göre elde edilen efektif difüzyon eğrileri içerisinde en yüksek kararlılık değeri (R^2) 50 °C kurutma havası sıcaklığında belirlenmiştir. Literatürde; [30]'da belirtilen çalışmada, beş farklı (40, 50, 60, 70 ve 80 °C) kurutma sıcaklığında kurutulmuş elmanın kurutma havası sıcaklığı ürünün efektif difüzyon değerini etkilediği ve sıcaklık değerinin artmasıyla da efektif difüzyon değerinin arttığını ve en yüksek 80 °C kurutma sıcaklığında belirlendiği ifade edilmiştir. [31]'de ifade edilen çalışmada, üç farklı kurutma sıcaklığında (40, 50 ve 60 °C) kurutulmuş zencefilin efektif difüzyon değerinin kurutma sıcaklığı tarafından etkilendiği ve en yüksek değer ise 60 °C sıcaklıkta yapılan işlemde tespit edilmiştir. [32], üç farklı (25, 35, 45 °C) kurutma sıcaklıklarında kurutulmuş bamyanın efektif difüzyon değeri sıcaklık değerleri tarafından etkilendiği ve en yüksek efektif difüzyon değerinin ise 45 °C kurutma sıcaklığında belirlenmelerini ifade etmişlerdir.

Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş bezelye tanelerinin efektif difüzyon ve aktivasyon enerjisi değerleri belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Belirlenen efektif difüzyon ve aktivasyon enerjisi değerleri

Kurutma sıcaklıkları (°C)	Efektif Difüzyon (m^2/sn)	Aktivasyon Enerjisi (kJ/mol)
50	18×10^{-7}	54.72
60	37×10^{-7}	
70	5.86×10^{-6}	

Çizelge 2' ye göre belirlenen efektif difüzyon değerlerinin 37×10^{-7} - 5.86×10^{-6} m^2/s aralığında değiştiği ve aktivasyon enerjisi (E_a) değerinin ise, 54.72 kJ/mol olduğu belirlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda, konvektif bir kurutucu ile yaptıkları kurutma çalışmasında patatesin aktivasyon enerji değerinin 39.49 kJ/mol olduğu belirlenmiştir [10]. Hurma kurutma çalışmasında ürünün aktivasyon enerji değerini 43.26 kJ/mol olarak tespit etmişlerdir [32]. Yapılan kurutma çalışmasında sarımsağın aktivasyon enerji değerini 30.58 kJ/mol olarak bulmuşlardır [33]. Yaptıkları kurutma şartları altında kuşburnu meyvesinin aktivasyon enerji değerini 42.83 kJ/mol olarak belirlemişlerdir [28]. Yapılan çalışmalarda belirlenen değerler bezelyeden suyun uzaklaştırılması için gerekli enerji değerinden daha düşük olduğunu göstermektedir. Patates, hurma, sarımsak ve kuşburnu meyvelerinde belirlenen değerlerin düşük çıkmasının sebebi, iç doku yapılarının bezelyeye göre daha yumuşak ve gözenekli olması kurutma işlemini kolaylaştırdığını ve gerekli enerji değerinin ise daha az değerlerde kalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bezelyenin uygun koşullarda bozulmadan tüketilebilmesi için kurutulması gerekmektedir. Kurutma sektöründe var olan işletmelerin enerji tüketim maliyetleri açısından kurutulacak ürünlerin bazı özelliklerinin bilinmesi önemlidir.

Bu çalışmada;

1) En uzun kurutma işleminin 50 °C sıcaklıkta olduğu ve ortalama 720 dakika da kuruduğu belirlenirken, en kısa kurutma işleminin ise, 70 °C sıcaklıkta ortalama 240 dakika da gerçekleştiği tespit edilmiştir.

2) Bezelye tanelerine ait efektif difüzyon değerlerinin sıcaklıkla beraber arttığı görülürken, değerlerin 37×10^{-7} - 5.86×10^{-6} m²/s arasında değiştiği bulunmuştur.

3) Belirlenen aktivasyon enerjisi değerinin ise; 54.72 kJ/mol olduğu bilgisine ulaşılmıştır.

Belirlenen sonuçlar doğrultusunda bezelyenin kurutulması (50, 60 ve 70 °C) değerlendirilmesi amaçlandığı bir durumda 70 °C kurutma sıcaklığının seçilmesi önerilebilir.

Referanslar

- [1] Türkiye İstatistik Kurumu, “Bitkisel üretim göstergeleri”. www.turkiye.gov.tr/ (Erişim Tarihi: 15/12/2018), 2018.
- [2] Anonim, “Bezelye”. tr.wikipedia.org (Erişim Tarihi: 10/01/2019), 2018a.
- [3] Anonim, “Bezelye, Özellikleri ve Faydaları” - bezelye.org. www.bezelye.org/ (Erişim Tarihi: 10/01/2019), 2018b.
- [4] P.S. Pisalkar, N.K. Jain, S.K. Jain,. “Osmo-air drying of aloe vera gel cubes”. Journal of food science and technology-mysore, 48-2, 183-189, 2011.
- [5] R. Dandamrongrak, G. Young, R. Mason, “Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models”. Journal of Food Engineering, 55(2), syf: 139-146, 2002.
- [6] Y. Ando, S. Hagiwara, H. Nabetani, I. Sotome, T. Okunishi, H. Okadome, T. Orikasa, A. Tagawa, “Effects of prefreezing on the drying characteristics, structural formation and mechanical properties of microwave-vacuum dried apple”. Journal of Food Engineering, volume: 244, syf: 170-177, 2019.
- [7] A.S. Mujumdar, “Drying technology in agriculture and food sciences”. Science publishers, New York, syf: 191–211, ISBN-10:1578081483, 2000.
- [8] S. Şevik, “Design, experimental investigation and analysis of a solar drying system”. Energy Conversion and Management, 68, syf: 227-234, 2013.
- [9] A. Midilli, H. Küçük, Z. Yapar, “A new model for single-layer drying”. Dry Technologies, 20(7), syf. 1503-1513, 2002.
- [10] M. Aghbashlo, M.H. Kianmehr, S.R. Hassan-Beygi, “Drying and rehydration characteristics of sour cherry (Prunus cerasus L.)”. Journal of Food Processing and Preservation 34(3): 351–365, 2010.
- [11] S.P. Göztek, F. İçier, “Karbon Fiber Destekli Kabin Kurutucuda Farklı Sıcaklıklarda Elma Dilimlerinin Kurutulmasının İncelenmesi: Kurutma Karakteristikleri ve Performans Değerlendirmesi”. Akademik Gıda, 15(4), syf: 355-367, 2017.
- [12] I. Doymaz, “Effect of dipping treatment on air drying of plums”. Journal of Food Engineering, 64(4), 465–470, 2004.
- [13] H.G. Ünal, K. Saçılık, “Drying Characteristics of Hawthorn Fruits in a Convective Hot-Air Dryer”. Journal of Food Processing and Preservation, 35, syf: 272-279, 2011.
- [14] H. Polatçı, M. Taşova, “Sıcaklık Kontrollü Mikrodalg Kurutma Yönteminin Alıç (Crataegus spp. L.) Meyvesinin Kuruma Karakteristikleri ve Renk Değerleri Üzerine Etkisi”. Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(10): 1130-1135, 2017.
- [15] A. Yağcıoğlu, “Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği”. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları No: 536. Bornova, İzmir, 1999.

- [16] Ş. Karagül, M. Taşova, “Determination of the Optimum Drying Method in Terms of Color Value of Cress (*Lepidium sativum* L.) Leaves Dried by Microwave Method with Pre-treatment and without Pre-treatment”. *Journal of New Results in Science*, 6 (2), 24-31, 2017.
- [17] H. Polatçı, M. Taşova, “Mikrodalga fırın ile kurutulan yenidünya (*Eriobotrya japonica* L.) meyvesinin kuruma kinetiği ve kalitesinin belirlenmesi”. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, Cilt 33, Syf: 124-130, 2018.
- [18] J. Crank, “The mathematics of diffusion”. Oxford University press, London, 1979.
- [19] I. Doymaz, “Air-drying characteristics of tomatoes”. *J. Food Eng.* 78, 1291–1297, 2007.
- [20] S. Karina, C. Guillermo, “Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper”. *LWT – Food Sciences Technologies*, 41, 789-795, 2008.
- [21] R. Haq, P. Kumar, K. Prasad, “Effect of microwave treatment on dehydration kinetics and moisture diffusivity of Asiatic Himalayan black carrot”. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(4), syf: 463-470, 2018.
- [22] E. Zakipour, Z. Hamidi, “Vakum drying characteristic of some vegetables”. *Iranian Journal of Chemistry and Engineering*, 4 (30), 97-105, 2011.
- [23] M. Karel, I. Saguy, “Effects of water on diffusion in foodsystems. İn: *Water Relationships in Foods*”. Editor Harry Levine and Louise Slade. Publ. by Springer Science Business Media, 157-173, 1991.
- [24] İ. Türker, H. İşleroğlu “Mahlep Püresinin Kızılötesi Işınım ile Kurutulması İşleminde Antosiyanin, Fenolik Madde ve Antioksidan Kapasite Değişim Kinetiği”. *Gıda Dergisi*, 42 (4), 422-430, 2017.
- [25] F. Açıkgöz Eryılmaz, T. Aktaş, Ş.Ş. Ellialtıoğlu, M. Deveci, F.H. Şahin, “Latin Çiçeğinin (*Tropaeolum Majus* L.) Kurutulmasında Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması: Kurutma Kinetiklerinin ve Bazı Kimyasal Özelliklerinin Değişimi”. Namık Kemal Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi, (Proje No: NKUBAP.42.GA.16084, 2017.
- [26] F. Açıkgöz Eryılmaz, “Kuzukulağı (*Rumex Acetosa* L.) Bitkisinin Farklı Kurutma Yöntemleri Kullanılarak Kurutulması ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi”. Namık Kemal Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi, (Proje No: NKUBAP.00.MB.AR.15.01), 2015.
- [27] M. Taşova, “Düşük ve Yüksek Sıcaklıklarda Kurutulan Patlıcan (*Solanum melongena* L.) Dilimlerinin Kurutma Kinetiği ve Renk Değerleri Açısından En Uygun Kurutma Sıcaklığının Belirlenmesi”. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2018. 11(2), Syf: 84-93, 2018.
- [28] G. Ergüneş, M. Taşova, “Kabin kurutucuda kurutulan kuşburnu (*Rosa canina* L.) meyvesinin kuruma performansı, efektif difüzyon ve aktivasyon enerjisi değerlerinin belirlenmesi”. *Akademik Ziraat Dergisi*, Cilt 7, Sayı 1, Syf: 75-82, 2018.
- [29] H. Polatçı, M. Taşova, O. Sarçoğlu, O. Taşkın, “Şeftali (*Prunus persica* L.) Posasının Farklı Sıcaklıklarda Kuruma Parametrelerinin Belirlenmesi”. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14 (3), Syf: 149-156, 2018.
- [30] E. Meisami-asl, S. Rafiee, A. Keyhani, A. Tabatabaefar, “Determination of suitable thin layer drying curve model for apple slices (variety-Golab)”. *Plant Omics Journal*, 3(3):103-108, 2010.
- [31] N. Parlak, “Akışkan Yataklı Kurutucuda Zencefilin Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi”. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi*, 29 (2), 261-269, 2014.
- [32] E. Demiray, Y. Tülek, “Güneşte Kurutulmuş Bamyaların Rehidrasyon Kinetiği”. *Akademik Gıda*, 14 (4), 368-374, 2016.
- [33] İ. Doymaz, “Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices (*Diospyros kaki* L.)”. *Energy Conver Manag*, 56, 199-205, 2012.