

KONVEKSİYONEL ve AKIŞKAN YATAKLI SİSTEMLERDE BAZI SEBZELERİN KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

İnci Çınar*

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi / *Received*: 19.11.2013

Düzeltilerek Geliş tarihi / *Received in revised form*: 07.01.2014

Kabul tarihi / *Accepted*: 17.01.2014

Özet

Bu çalışmada konveksiyonel ve akışkan yataklı kurutma sistemleri kullanılarak ıspanak, pazı ve pırasanın 70 °C'deki kuruma karakteristikleri belirlenmiş ve deneysel veriler 6 farklı ince tabaka kurutma modeline uyarlanmıştır. Kuruma periyodu sonunda ıspanak, pazı ve pırasanın konveksiyonel kurutucudaki % ağırlık (su) kayıpları sırasıyla % 49.30, 40.85 ve 23.97 iken akışkan yataklı kurutucuda ise % 81.50, 80.90 ve 81.70 olmuştur. Ispanak, pazı ve pırasada 0.99, 0.97 ve 0.96 olan başlangıç su aktivitesi değerleri konveksiyonel kurutma sonunda 0.93, 0.93 ve 0.91 ve akışkan yataklı kurutma sonunda 0.30, 0.27 ve 0.48 olmuştur. Akışkan yataklı kurutma sistemi konveksiyonel sisteme göre daha efektif bir kuruma sağlamıştır. Kurutma karakteristikleri konveksiyonel kurutmada en iyi Wang-Singh modeli ve akışkan yataklı kurutmada logaritmik model ile ifade edilmiştir ($R^2 > 0.999$). Örneklerin su aktivitesi değerleri ve ağırlık kaybı ilişkisi uyum içindedir.

Anahtar kelimeler: Sebze, konveksiyonel kurutma, akışkan yataklı kurutma, model.

DETERMINATION of SOME VEGETABLE DRYING CHARACTERISTICS in CONVECTIONAL and FLUIDIZED BED DRYING SYSTEMS

Abstract

Drying characteristics of spinach, swiss chard and leek were determined both in convectional and fluidized bed dryers at 70 °C and experimental moisture data were fitted into thin layer drying models. Percentage of weight loss of spinach, swiss chard and leek samples were 49.30, 40.85 ve 23.97% in convectional drying whereas 81.50, 80.90 ve 81.70% in fluidized bed drying, respectively. Initial water activity of spinach, swiss chard and leek samples were 0.99, 0.97 and 0.96 while final water activities were 0.93, 0.93 and 0.91 for convectional drying and 0.30, 0.27 and 0.48 for fluidized bed drying at the end of drying period. Fluidized bed drying was found to be more efficient than convectional drying. Wang-Singh model for convectional drying and logarithmic model for fluidized bed drying provided a good fit for the experimental data ($R^2 > 0.999$). Water activity and percentage of weight loss values were in good agreement.

Keywords: Vegetable, convectional drying, fluidized bed drying, model.

*Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author*;

✉ icinar@ksu.edu.tr,

☎ (+90) 344 280 2087,

☎ (+90) 344 280 2002

GİRİŞ

Ekolojisi ve coğrafi konumu sayesinde yurdumuzun sebze üretimi önemli miktar ve çeşitlilikte olup tarımsal üretimimizde önemli yer tutmaktadır. Ülkemizde üretilen ve ihraç edilen tarımsal organik ürünlerin çoğunluğunu yaş ve kuru sebze ve meyveler oluşturmaktadır (1). 2012 yılı verilerine göre sebze üretimimiz bir önceki yıla göre %0.7 artarak 27.8milyon ton olarak gerçekleşmiştir (2). Ülke ekonomisinde önemli paya sahip olan kuru sebzelerin dünya pazarlarındaki yeri önemlidir. Mevcut pazarların elde tutulması ve yeni pazarların oluşturulabilmesi için ürünlerin hijyenik koşullarda, sağlıklı, güvenli ve kaliteli olarak işlenmesi son derece önemlidir (3). Tarımsal ürünlerin katma değerli işlenmiş ürünlere dönüştürülmesi amacıyla yaygın olarak konserveleme, dondurma, kurutma vb. bazı geleneksel ve/veya gelişmiş teknolojik yöntemler bulunmaktadır. Bu açıdan kurutma teknolojisi besinsel içeriğin, fiziksel ve kimyasal yapı ile duyuşal özelliklerin muhafazası, azalan kütle ile paketleme, depolama ve taşıma kolaylığı gibi avantajları ile en uygun prosestir (4-6).

Kurutma kompleks yapısıyla birçok bilim insanının uzun yıllardır ilgisini çekmektedir. Kurutma işleminde uzun yıllardan beri süregelen temel araştırma alanı kurutma havası koşulları, kurutucu tipleri, enerji maliyeti ve gıda kalitesini etkileyen parametrelerin belirlenmesi olmuştur. Kurutma metodu ve parametrelerinin seçimi son ürünün tat, renk ve besinsel içeriği açısından son derece önemlidir, optimum koşullar sağlanmazsa son üründe yağın densitesi ve su tutma kapasitesinde azalmalara, çözünen bileşen kayıplarına sebep olmaktadır (7, 8).

Kurutma işlemi farklı teknikler ve sistemlerle yapılabilmektedir. Doğrudan güneşte kurutmanın olumsuzlukları dikkate alındığında, daha kısa sürelerde ve standart kalitede kurutulmuş ürün elde edebilmek için yapay kurutucuların kullanılmasının gerekliliği kaçınılmazdır. Uygulanabilirlik ve ekonomiklik gibi avantajları sebebiyle gıda kurutmada konveksiyonel kurutucular en çok tercih edilen kurutucu tipleridir (9). Konveksiyonel kurutmada, kaliteli kurutulmuş ürünün enerji efektif olarak elde edilmesinde en önemli adım kurutma karakteristiklerinin belirlenmesidir. Birçok sebzeyle başarıyla uygulanmış konveksiyonel kurutmada kurutma

modelleri yardımıyla gıdada kurutma sırası ve sonrasında oluşan değişimler çalışılmış ve konuyla ilgili literatüre geniş yer verilmiştir (10-14). Konveksiyonel kurutmada en önemli iki parametre kurutucu hava sıcaklığı ve ürünün nem içeriğidir (15).

Konveksiyonel kurutmaya bir alternatif olan akışkan yataklı kurutmanın temel prensibi yüksek hız ve sıcaklıktaki kurutucu havanın gıda ile teması ve geniş yüzey alanı sayesinde gıdadaki suyun hızla uzaklaştırılmasını sağlayarak ısının gıdadaki olumsuz etkilerini azaltmaktır (16). Kuruma hızı yüksek olduğu için konveksiyonel kurutmaya göre daha ekonomik, hassas ve homojen bir proses olup daha düşük son nem içeriğine sahip ürün eldesi mümkündür (17, 18). Bu anlamda akışkan yataklı kurutucular bilinen en efektif ve geniş yelpazede gıdalara uygulanabilen kurutma sistemlerindedir (19). Akışkan yatak sayesinde gıdanın kolayca taşınması, yüklenip boşaltılması ve çok etkin karıştırma etkisi sağlanması sistemin diğer avantajlarından (20-22). Akışkan yataklı sistemlerle sebze kurutmada modelleme çalışmaları Bialobrzewski ve ark. (23) ile Jaros ve Pabis (22) tarafından özetlenmiş, Bancelos ve ark.(24) ise akışkan yataklı sistemdeki parçacığın lokal ısı transfer katsayısını hesaplamıştır.

Literatürde kurutma çalışmaları çok yaygın olmasına rağmen ıspanak, pazı ve pırasa kurutma çalışmaları kısıtlıdır. Son çalışmalar ıspanakta ozonlamanın mikrobiyel kalite ve kimyasal özelliklere etkisi (25), kuruma kinetiklerinin kimyasal kompozisyona bağlılığı (26), mikrodalga kurutmanın rehidrasyon yeteneğine etkileri (27), E coli inaktivasyonu (28) ve antimikrobiyel komponent ekstraksiyonu (29) üzerine, pırasada antioksidanların depolama sırasındaki değişimi (30), antioksidan kapasitesi (31), dondurularak kurutulmuş pırasa tozunun fermente sosis karakteristiğine etkileri (32), haşlama ve dilim kalınlığının kuruma karakteristiklerine etkisi (33) üzerine ve pazıda ise minimal işlem görmüş tüketime hazır pazının antioksidan aktivitesi (34) ve haşlamada duyuşal ve biyokimyasal değişimler (35) üzerine yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmanın amacı seçilmiş sebzelerin konveksiyonel ve akışkan yataklı sistemlerdeki kuruma karakteristiklerini kıyaslamalı olarak belirlemek ve deneysel verileri literatürden seçilmiş

ince tabaka modellerine uygulayarak kuruma karakteristiklerini en iyi ifade eden modeli oluşturmaktır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Yörede yetiştiriciliği yapılan kış sebzelerinden olan ıspanak, pazı ve pırasa örnekleri lokal marketten alınmış, laboratuvara getirilerek yıkanıp ayıklandıktan sonra analizlere kadar 4 ± 0.1 °C'deki buzdolabında bekletilmiştir. Analiz öncesinde sebzeler kesme tahtası üzerinde 0.5×10.0 cm'lik şeritler halinde kesilerek bekletilmeden ağırlık ve su aktivitesi ölçümleri yapılmıştır.

Kurutma Denemeleri

Konveksiyonel tepsili kurutma (Binder marka KBF720 model) prosesinde, hazırlanan örnekler ortalama 15 g'lık partiler halinde hazırlanarak kurutucu tepsinine ince tabaka halinde serilerek kurutulmuştur. Akışkan yataklı kurutmada (Sherwood marka M501 model) 5-50g numuneye uygun özellikteki 250 ml'lik mini tüpler kullanılmış, kurutma denemeleri 1.88 m/s'lik (blower set value 30) hava hızında gerçekleştirilmiş ve 15 g olarak tartılan örnekler kurutucu haznesine yerleştirilerek doğrudan kurutmaya başlanmıştır. Her iki sistemde de kurutma sıcaklığı kıyaslama açısından yaygın kurutma sıcaklığı olan 70 °C'ye ayarlanmış, kurutma toplam 1h sürmüştür ve 5'er dak aralıklarla ağırlık ve su aktivitesi (aw) değişimleri kaydedilmiştir. Tüm kurutma denemeleri 3 paralelli ve 3 tekerrürlü

olarak yürütülmüştür. Örneklerin ağırlık kaybı ortalamalarının kurutma süresine karşı grafiğe işlenmesiyle elde edilen kurutma eğrilerinden kuruma karakteristikleri belirlenmiş ve deneysel veriler literatürdeki ince tabaka kurutma modellerine uyarlanarak (Çizelge 1) kurutma karakteristiğini en iyi ifade eden modeller SIGMA PLOT 10.0 paket programının non-lineer regresyon analizi ile belirlenmiştir.

Su Aktivitesi Ölçümü

Kurutma sistemlerinden 5 dak aralıklarla alınan örneklerin su aktiviteleri Decagon marka AquaLab 4TE model su aktivitesi ölçer ile belirlenmiştir. Buna göre örnekler cihazın haznesine alınarak 20 °C'deki su aktiviteleri LCD ekrandan okunmuştur.

SONUÇ ve TARTIŞMA

Konveksiyonel ve akışkan yataklı kurutma sistemlerinde ıspanak, pazı ve pırasa örneklerinin 70 °C'deki kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi için 1h'lik toplam kurutma periyodu boyunca 5 dak aralıklarla belirlenen yaş bazda %ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Konveksiyonel ve akışkan yataklı sistemlerde kurutma süresinin ıspanak, pazı ve pırasanın ağırlık kaybına etkileri Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre her iki kurutma sisteminde de kurutma süresindeki artış ağırlık (su) kaybını arttırmış ve bu ağırlık kaybı akışkan yataklı sistemde daha yüksek olmuştur. Akışkan yataklı sistemlerde kurutma havası adeta sebzeleri askıda tutarak her bir sebze parçasının ısı ile doğrudan temasını sağladığından ısı-kütle transferi daha hızlı gerçekleşmiş ve daha etkin bir kuruma

Çizelge 1. İnce tabaka kurutma modelleri

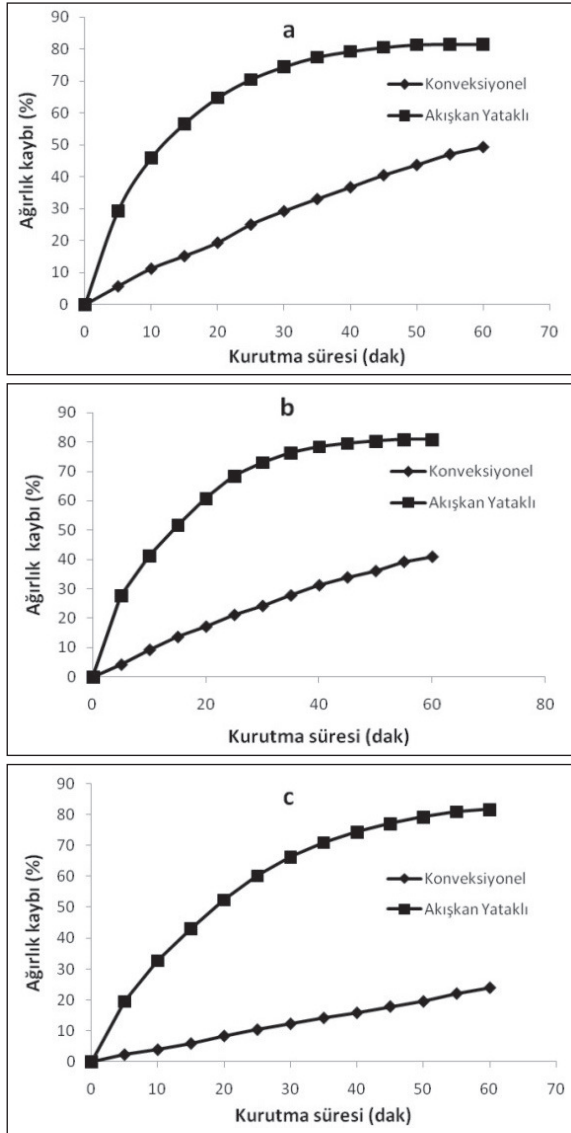
Table 1. Thin layer drying models

Model eşitliği Model equation	Model adı Model name	Kaynak References
$MR = a \exp(-kt)$	Handerson ve Pabis	Singh ve Pandey(11) Doymaz (33)
$MR = a \exp(-kt) + b$	Logaritmik Logarithmic	Toğrul ve Pehlivan (39)
$MR = 1 + at + bt^2$	Wang ve Singh	Goyal ve ark. (40)
$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-k_1t)$	İki terimli Two Term	Özdemir ve Devres (41) Babalıs ve ark. (42)
$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-bt)$	Verma	Doymaz (33)
$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	İki terimli eksponansiyel Two Term Exponential	Babalıs ve ark. (42) Kumar ve ark. (43)

*a,b: kurutma katsayısı (-); k,k₁:kurutma sabiti (1/dak) MR:boyutsuz nem oranı= $M_t M_e / M_i - M_e$ ve M_t : t zamanındaki nem içeriği (kgsu/kgkurumadde), Me: denge nem içeriği, Mi:başlangıç nem içeriği.

*a,b: drying coefficients (-); k,k₁:drying constant (1/dak) MR:dimensionless moisture ratio= $M_t M_e / M_i - M_e$, M_t : moisture content at time t (kgwater/kgdry matter), Me: equilibrium moisture content, Mi:initial moisture content.

sağlamıştır. Toplam kurutma süresi boyunca ağırlık kayıpları akışkan yataklı sistemde pırasada %81.70, ıspanakta %81.50 ve pazıda %80.90 olarak gerçekleşmiş, konveksiyonel kurutma sisteminde ise ıspanak %49.30, pazı %40.85 ve pırasa %23.97 oranında ağırlık kaybetmiştir.

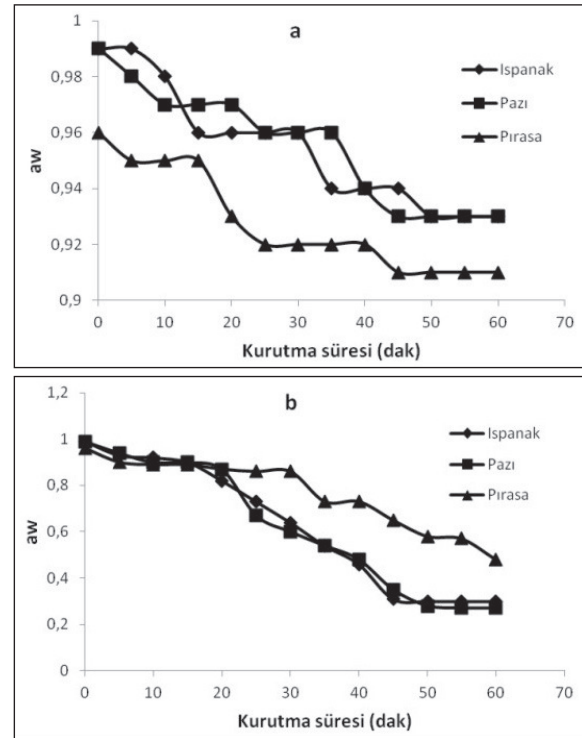


Şekil 1. Konveksiyonel ve akışkan yataklı sistemlerde kurutma süresinin ıspanak (a), pazı (b) ve pırasanın (c) % ağırlık kaybına etkileri.

Figure 1. Effect of drying time on percentage of weight loss of spinach (a), swiss chard (b) and leek (c) in convective and fluidized bed drying systems

Kurutmanın etkinliğinin tespitinde su içeriği yanında su aktivitesinin de ölçülmesi oldukça önemlidir. Gıda stabilitesinin sağlanması hem su içeriğinin hem de su aktivitesinin kontrolü

ile mümkündür. ıspanak, pazı ve pırasanın konveksiyonel ve akışkan yataklı sistemlerde kurutulmasında kurutma süresinin su aktivitesine etkileri Şekil 2'de verilmiştir. Kurutma öncesinde su aktivitesi ıspanak ve pazıda 0.99, pırasada 0.96 olarak ölçülmüştür. Konvektif kurutma sonrasındaki su aktivitesi değerleri ıspanak, pazı ve pırasada sırasıyla 0.93, 0.93 ve 0.91 iken akışkan yataklı kurutma sonrasında 0.30, 0.27 ve 0.48 olmuştur. Akışkan yataklı kurutmada ulaşılan su aktivitesi değerlerinin örneklerin daha stabil olarak depolanmasını sağlayan sınır değerlere konveksiyonel kurutmadan daha yakın olduğu görülmektedir. Bu açıdan ıspanak, pazı ve pırasada çalışma koşulları altında akışkan yataklı kurutma konveksiyonel kurutmadan daha etkin bir kurutma sağlamıştır.



Şekil 2. ıspanak, pazı ve pırasanın konveksiyonel (a) ve akışkan yataklı (b) sistemlerde kurutulmasında kurutma süresinin su aktivitesine etkileri.

Figure 2. Effect of drying time on water activities of spinach, swiss chard and leek in convective (a) and fluidized bed (b) drying systems

Kurutma karakteristiğini modellemek amacıyla ıspanak, pazı ve pırasanın konveksiyonel ve akışkan yataklı sistemlerde kurutulmasında deneysel kurutma verileri ince tabaka kurutma

modellerine uyarlanmış ve model katsayıları hesaplanmıştır (Çizelge 2). Çalışma koşullarında tüm örneklerin deneysel verilerinin modellerle uyumu yüksek olmakla beraber ($R^2 > 0.99$) akışkan yataklı kurutmada Wang-Singh modeli ıspanak ($R^2=0.93$) ve pazı ($R^2=0.95$) için ve iki terimli eksponansiyel model ise ıspanak ($R^2=0.97$) için deneysel verileri diğer modeller kadar iyi yansıtmamıştır. En uyumlu modellerin seçilmesinde R^2 değeri yanında model katsayısı terim sayısının düşük olmasına ve dolayısıyla hesaplama kolaylığı sağlamasına dikkat edilmiştir. Benzer uyumu sağlayan modeller içinden kurutma model katsayısı sayısı düşük olanı seçilmiştir. Buna göre tüm örneklerin konveksiyonel kurutulmasında deneysel verileri en iyi yansıtan model Wang-Singh modeli iken akışkan yataklı kurutmada logaritmik model daha uygun bulunmuştur ($R^2 > 0.999$). En uygun modellerin kurutma katsayıları (a ve b) her sebze örneği için diğer model katsayılarına göre daha düşük bulunmuştur. Kurutma etkinliği arttıkça kurutma katsayıları düşmektedir.

Son yıllarda ıspanak, pazı ve pırasa kurutma ve modelleme üzerine yapılan çalışmalardan Doymaz (33) pırasada haşlama ön işleminden sonraki kurutmada Midilli modelinin, Krokida ve ark (36) ıspanak ve pırasanın kurumasında GAB modelinin, Alibaş Özkan ve ark. (37) ıspanağın mikrodalga kurutulmasında Page modelinin, Karaaslan ve Tunçer (38) mikrodalga ve fan destekli mikrodalga sistemlerle ıspanak kurutmada Midilli-Küçük modelinin deneysel verilere en iyi uyumu sağladığını belirtmişlerdir. Kurutucu sistem ve kurutma koşulları değiştiğinde en uygun model, kuruma karakteristiğine bağlı olarak, farklılıklar göstermekle beraber zamana bağlı eksponansiyel ağırlık kaybı gözlenmektedir. Deneysel ve hesaplanmış veriler bu açıdan literatürle uyum içindedir.

Sonuç olarak endüstriyel üretimde yaygın kurutma sıcaklığı olan 70 °C'deki kurutma koşulları altında, ıspanak, pazı ve pırasa kurutmada akışkan yataklı sistem konveksiyonel kurutma ile kıyaslandığında

Çizelge 2. Ispanak, pazı ve pırasanın konveksiyonel ve akışkan yataklı sistemlerdeki kurutma model katsayıları
Table 2. Drying model coefficients of spinach, swiss chard and leek in convectional and fluidized bed drying

Model	Konveksiyonel Kurutma Convectional Drying			Akışkan Yataklı Kurutma Fluidized Bed Drying		
	Ispanak spinach	Pazı swiss chard	Pırasa leek	Ispanak spinach	Pazı swiss chard	Pırasa leek
Handerson-Habis	R^2	0.9954	0.9996	0.9971	0.9990	0.9976
	a	1,0196	1.0030	1.0066	0.9892	1.0086
	k	0,0187	0.0136	0.0066	0.0797	0.0519
Logaritmik Logarithmic	R^2	0.9993	0.9996	0.9991	0.9990	0.9995
	b	-0.4307	-0.0119	-4.1835	-0.0034	-0.0143
	a	1.4300	1.0144	5.1822	0.9913	1.0001
	k	0.0111	0.0134	0.0011	0.0788	0.0461
Wang-Singh	R^2	0.9993	0.9995	0.9991	0.9347	0.9598
	a	-0.0155	-0.0130	-0.0058	-0.0480	-0.0458
	b	6.6092E-005	6.1804E-005	4.130E-006	0.0006	0.0005
İki Terimli Two Term	R^2	0.9939	0.9996	0.9971	0.9944	0.9976
	a	0.4822	0.4529	0.4467	0.0511	0.4891
	k	0.0187	0.0136	0.0066	0.4103	0.0712
	b	0.5375	0.5501	0.5599	0.9484	0.5022
	k_1	0.0187	0.0136	0.0066	0.0766	0.0712
Verma	R^2	0.9938	0.9995	0.9961	0.9995	0.9975
	a	0.4672	0.4522	0.4441	0.0511	0.4942
	k	0.0181	0.0135	0.0065	0.0766	0.0718
	b	0.0181	0.0135	0.0065	0.0766	0.0718
İki Terimli Two Term	R^2	0.9992	0.9996	0.9961	0.9766	0.9989
	a	1.6537	1.3344	0.9999	0.7175	1.5025
Eksponansiyel Exponential	b	0.0250	0.0150	0.0065	0.0889	0.0610

daha etkin bir kurutma sağlamıştır. Akışkan yataklı sistemde aynı oranda ağırlık kaybı için gereken kurutma süresinin konveksiyonel sisteme göre daha kısa olması bir yandan kuruma süresini kısaltırken diğer yandan da enerji ihtiyacını düşürebilmektedir. Yine ağırlık kayıplarının yanısıra akışkan yataklı kurutma daha düşük su aktivitesi değerleri vermekte dolayısıyla örneklerin daha stabil olarak depolanması mümkün olabilmektedir. Konveksiyonel kurutmada Wang-Singh modeli, akışkan yataklı kurutmada ise logaritmik model deneysel verilere en uygun modeller olmuştur.

KAYNAKLAR

1. Ataseven E, Şahin A ve Yazıcı K. 2002. Bazı üzümü meyvelerin (Frenküzümü, ahududu, böğürtlen ve nar) ekolojik yetiştiriciliğe uygunluğu, Türkiye 2. Ekolojik Tarım Sempozyumu, Antalya, Türkiye, 286-295.
2. TUIK. (2012). Bitkisel Üretim İstatistikleri. www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13661. Erişim tarihi: 22.07.2013.
3. Karim MA and Hawlader MNA. 2005. Mathematical modeling and experimental investigation of tropical fruits drying, *Int J Heat Mass Trans*, 48:4914-4925.
4. Doymaz İ. 2006 . Drying kinetics of black grapes treated with different solutions, *J Food Eng*, 76:212-217.
5. Çınar İ. 2006. Meyve ve sebzelerin kurutulması. *Akademik Gıda*, v:21, s:32-34.
6. Çınar İ. 2009. Ozmotik dehidrasyon, mekanizması ve uygulamaları. *GIDA*, 34(5):325-329.
7. Rajkumar P, Kulanthaisami S, Raghavan GSV, Garipey Y and Orsat V. 2007. Drying kinetics of tomato slices in vacuum assisted solar and open sun drying methods, *Drying Tech*, 25:1349-1357.
8. Guine RPF, Pinho S and Barroca MJ. 2011. Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*). *Food Bioprod Proc*, 89:422-428.
9. Miranda M, Maureira H, Rodriguez K and Vega-Galvez A. 2009. Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties and antioxidant capacity of Aloe vera (Aloe Barbadosensis Miller) gel. *J Food Eng*, 91:297-304.
10. Brasiello A, Adiletta G, Russo P, Crescitelli S, Albanese D and Di Matteo M. 2013. Mathematical modeling of eggplant drying: shrinkage effect. *J Food Eng*, 114, 99-105.
11. Singh NJ and Pandey RK. 2011. Convective air drying characteristics of sweet potato cube (*Ipomoea batatas L.*). *Food Bioprod Proc*, in press.
12. Zielinska M and Markowski M. 2010. Air drying characteristics and moisture diffusivity of carrots. *Chem EngProc*, 49:212-218.
13. Lewicki PP. 2006. Design of hot air drying for better foods. *Trends Food Sci Tech.*, 17:153-163.
14. Doymaz I, Tugrul N and Pala M. 2006. Drying characteristics of dill and parsley leaves. *J Food Eng*, 77:559-565.
15. Mota CL, Luciano C, Dias A, Barroca MJ and Guine RPF. 2010. Convective drying of onion: Kinetics and nutritional evaluation. *Food Bioprod Proc*, 88:115-123.
16. Meziane S. 2011. Drying kinetics of olive pomace in a fluidized bed dryer. *Energy Cons Manag*, 52:1644-1649.
17. Jaiboon P, Prachayawarakorn S, Devahastin S and Soponronnarit S. 2009. Effects of fluidized bed drying temperature and tempering time on quality of waxy rice. *J Food Eng*, 95:517-524.
18. Senadeera W, Bhandari BR, Young G and Wijesinghe B. 2003. Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. *J Food Eng*, 58:277-283.
19. Hatamipour MS and Mowla D. 2002. Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. *J Food Eng*, 55:247-252.
20. Nazghelichi T, Kianmehr MH and Aghbashlo M. 2010. Thermodynamic analysis of fluidized bed drying of carrot cubes. *Energy*, 35:4679-4684.
21. Srinivasakannan C and Balasubramanian N. 2008. An analysis on modeling of fluidized bed drying of granular material. *Adv Powder Tech*, 19:73-82.
22. Jaros M and Pabis S. 2006. Theoretical models for fluid bed drying of cut vegetables. *Biosys Eng*, 93(1):45-55.

23. Bialobrzewski I, Zielinska M, Mujumdar AS and Markowski M. 2008. Heat and mass transfer during drying of a bed of shrinking cles - Simulation for carrot cubes dried in a spout-fluidized-bed drier. *Int J Heat Mass Trans*, 51, 4704-4716.
24. Bacelos MS, Camargo CFS, Silveira AM and Freire JT. 2011. Local heat-transfer coefficient of immersed cylindrical surface in fluidized and vibrated fluidized beds. *Chem Eng Proc*, (in press).
25. Karaca H and Velioglu YS. 2014. Effects of ozone treatments on microbial quality and some chemical properties of lettuce, spinach and parsley. *Postharvest Bio Tech*, 88:46-53.
26. Kholmanskiy AS, Tilov AZ and Soronika EY. 2013. Drying kinetics of plant products: Dependence on chemical composition. *J Food Eng*, 117:378-382.
27. Dadali G, Demirhan E and Özbek B. 2008. Effect of drying conditions on rehydration kinetics of microwave dried spinach. *Food Bioprod Proc*, 86(4):235-241.
28. Huang Y, Ye M and Chen H. 2012. Efficacy of washing with hydrogen peroxide followed by aerosolized antimicrobials as a novel sanitizing process to inactivate Escherichia coli O157:H7 on baby spinach. *Int J Food Micro*, 153(3):306-313.
29. Vazquez E, Garcia-Risco MR, Jaime L, Reglero G and Fornari T. Simultaneous extraction of rosemary and spinach leaves and its effect on the antioxidant activity of products. *The J Supercritical Fluids*, 82:138-145.
30. Bernaert N, De Clercq H, Van Bockstaele E, De Loose M and Van Droogenbroeck B. 2013. Antioxidant changes during postharvest processing and storage of leek (*Allium ampeloprasum* var. *Porrum*). *Postharvest Bio Tech*, 86:8-16.
31. Bernaert N, De Paepe D, Bouten C, De Clercq H, Stewart D, Van Bockstaele E, De Loose M and Van Droogenbroeck B. 2012. Antioxidant capacity, total phenolic and ascorbate content as a function of genetic diversity of leek (*Allium ampeloprasum* var. *Porrum*). *Food Chem*, 134(2): 669-677.
32. Tsoukalas DS, Katsanidis E, Marantidou S and Bloukas JG. 2011. Effect of freeze-dried leek powder (FDLP) and nitrite level on processing and quality characteristics of fermented sausages. *Meat Sci*, 87(2):140-145.
33. Doymaz, I. 2008. Influence of blanching and slice thickness on drying characteristics of leek slices. *Chem Eng Proc*, 47:41-47.
34. Murcia MA, Jimenez-Monreal AM, Garcia-Diz L, Carmona M, Maggi L and Martinez M. 2009. Antioxidant activity of minimally processed (in modified atmospheres), dehydrated and ready-to-eat vegetables. *Food Chem Toxicology*, 47(8): 2103-2110.
35. Aguero MV, Pereda J, Roura SI, Moreira MR and Del Valle CE. 2005. Sensory and biochemical changes in swiss chard (*Beta vulgaris*) during blanching. *LWT- Food Sci Tech*, 38(7):772-778.
36. Krokida MK, Karathanos VT, Maroulis ZB and Marinou-Kouris D. 2003. Drying kinetics of some vegetables. *J Food Eng*, 59:391-403.
37. Alibas O, Akbudak, B and Akbudak N. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. *J Food Eng*, 78:577-583.
38. Karaaslan SN and Tunçer İK. 2013. Development of drying model for combined microwave-fan assisted convection drying of spinach. *Biosystems Eng*, (in press):www.elsevier.com/locate/issn/15375110.
39. Toğrul İ and Pehlivan D. 2004. Modelling of thin tayer drying Kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *J Food Eng*, 65:413-425.
40. Goyal RK, Kingsly ARP, Manikantan MR, İlyas SM. 2007. Mathematical modelling of thin tayer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. *J Food Eng*, 79:176-180.
41. Özdemir O, Devres YO. 1999. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *J Food Eng*, 42:225-233.
42. Babalis S, Papanicolaou E, Kyriakis N and Belessiotis V. 2006. Evaluation of thin layer drying models for describing drying kinetics of figs. *J Food Eng*, 75:205-214.
43. Kumar PS, Kanwat M and Choudhary VK. 2012. Mathematical modeling and thin layer drying kinetics of bamboo slices on convective tray drying at varying temperature. *J Food Proc Preservation*, 37:914-923.