



PROTEİNCE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ İZMİR GEVREĞİNİN KURUMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

THE DETERMINATION OF DRYING BEHAVIOR OF ENRICHED İZMİR GEVREK WITH PROTEIN

Gülsüm Merve TURKUT^{1*}, Hülya ÇAKMAK¹, Şebnem TAVMAN²

¹Gıda Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
g.merve.turkut@hotmail.com

² Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
hulya.cakmak@ege.edu.tr, sebnem.tavman@ege.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 11.06.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 29.09.2015
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.57615
Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

Öz

Bu çalışmada, kahvaltılarda sıkça tüketilen İzmir gevreği, farklı oranlarda süt ürünleri (İzmir tulumu, süt tozu ve peynir altı suyu tozu) kullanılarak proteince zenginleştirilmiş ve 5 mm kalınlığa sahip disk şeklinde dilimlenen gevrekler 140, 150 ve 160°C'de konveksiyonlu fırında kurutma işlemi uygulanmıştır. Çerezlerin kuruma davranışları literatürde sıkça kullanılan 6 farklı ince tabaka kuruma modeli ile incelenmiştir. Denenen modeller arasında Page modelinde en yüksek düzeltilmiş belirleme katsayısı ile en düşük indirgenmiş ki-kare ve en düşük kök ortalama kare hatası değerleri elde edilmiştir. Çerezlerin etkin difüzyon katsayıları hesaplanmış olup, Arrhenius eşitliği ile aktivasyon enerjileri belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: İnce tabaka modeli, Difüzyon, Protein, Zenginleştirme

Abstract

In this study, İzmir gevrek -highly consumed at the breakfasts- was enriched with dairy proteins by using dairy products (İzmir tulum cheese, milk powder and whey powder) at different levels and 5 mm thick disc-shaped sliced gevrek was dried at three different temperatures (140, 150 and 160°C) in a convection oven. The drying characteristics of snacks were examined with six different thin-layer drying models that are commonly used in literature. The Page model gave a better fit to experimental drying data and had the highest adjusted R-square with the lowest reduced chi-square and root mean square error values as compared to other models. The effective diffusion coefficient was calculated and the activation energy was derived from Arrhenius equation.

Keywords: Thin-layer model, Diffusion, Protein, Enrichment

1 Giriş

Ülkemizde ve dünyada değişen yaşam tarzı, eğitim, gelir ve tüketime bağlı olarak son 20 yılda yüksek karbonhidrat, yağ ve şeker içeren hazır atıştırmalık gıda çeşitlerine yönelim artmıştır [1],[2]. Atıştırmalık gıdaların tüketime hazır olması ve nispeten daha düşük maliyetlerde üretilmeleri [3], tüketicinin yemek alışkanlıklarını bu doğrultuda değiştirmeye yönlendirmektedir. Bununla birlikte, bu gıdaların sıklıkla tüketilmeleri sonucunda sahip oldukları yüksek karbonhidrat ve yağ içeriği aşırı kilo alınma veya obeziteye neden olmaktadır [4]. Protein gibi fonksiyonel besin öğeleri kullanılarak besin değeri düşük gıdaların proteince zenginleştirilmesi gıda endüstrisinde artan oranda talep görmektedir [5],[6]. Tüketilen gıdaların doyurucu niteliğinin yanı sıra besin değerindeki artış da insan sağlığı için önem arz etmektedir. Gıda endüstrisinde özellikle süt ürünlerinin protein değerlerinden yararlanılarak gıdaların besin içeriği arttırılmaya çalışılmaktadır. Türkiye'deki "hızlı tüketim" ürünleri patates kızartması, tost, poğaç, bökrek şeklinde sınıflandırılırken [7], ülkemizin "geleneksel lezzetleri" arasında yer alan simit de; -İzmirliilerin deyimi ile gevrek-atıştırmalık, ucuz ve doyurucu niteliği ile bu grupta yer almaktadır. Halkımız tarafından sıklıkla tüketilen gevreğin %56.08-63.95 karbonhidrat ve %8.54-9.98 protein içeriğine sahip olduğu bilinmektedir [8].

Endüstriyel koruma yöntemlerinden biri olan kurutma işlemi gıdalardaki fiziksel, kimyasal veya mikrobiyolojik bozulma reaksiyonlarını minimize etmek amacıyla, gıdadaki nem miktarının azaltılması işlemi olarak tanımlanabilmektedir. Kurutma işlemi özellikle ürünlerin raf ömrünün uzatılması amacıyla gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Kuruma işlemi sırasında karmaşık ısı ve kütle transfer mekanizmaları gerçekleşmektedir ve bu mekanizmaların parametrelerinin bilinmesi uygun ekipman seçimi, kaliteli ürün üretimi ve depolama şartlarının belirlenmesi amacıyla önem arz etmektedir. Bu amaçla matematiksel modeller gıdaların içindeki nem transferine ilişkin gerekli bilgileri sağlamaktadır. İnce tabaka kurutma yöntemi, literatürde yaygın olarak kullanılan kuruma davranışını temsil eden yöntemler arasında yer almaktadır ve gıdaların kuruma davranışları belirlenirken Fick' in ikinci kanunundan türetilen bu denklemlerden yararlanılmaktadır [2],[9]-[11]. Literatüre tam buğday unu karışımı ile üretilen baget ekmeği [12], tavuk eti ile zenginleştirilmiş baget ekmeği [2], fındık [9], zeytin yaprağı [13], defneyaprağı [14], sarımsak [15] ve patlamış mısır [16] gibi birçok ürünün kurutma işlemi sırasında gerçekleşen nem difüzyonu Fick' in ikinci kanunundan türetilen basitleştirilmiş denklemlerle hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, İzmir tulum peyniri, süt tozu ve peynir altı suyu tozu ile proteince zenginleştirilmiş gevreklerin kurutulması ile üretilen çerezlerin kuruma davranışlarının incelenmesi,

deneysel verilere farklı matematiksel modellerin uygulanması, difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjilerinin hesaplanması amaçlanmıştır.

2 Materyal ve Yöntem

2.1 Materyal

Gevrek üretimi için Tip 650 buğday unu (%13.95 nem, %11 protein, %0.6 kül), tuz, su, bitkisel katı ve sıvı yağ, maya, şeker, İzmir tulumu (İT), süt tozu ve peynir altı suyu (PAS) tozu kullanılmıştır. Un (Has Un, İzmir), tuz, bitkisel katı ve sıvı yağ, maya, şeker, İT yerel marketlerden, süt tozu ve PAS tozu Pınar Süt A.Ş. (İzmir, Türkiye) temin edilmiştir.

2.2 Zenginleştirilmiş Gevrek Üretimi ve Kurutulması

Zenginleştirilmiş gevrek hamurları geleneksel İzmir Gevreği üretim işlemine uygun olarak Tablo 1' de belirtilen hamur formülasyonlarına göre üretilmiştir.

Tablo 1: Proteince zenginleştirilmiş İzmir gevreği formülasyonları.

% Bileşen	Kontrol	% 5 Süt tozu	% 5 PAS tozu	%5 İT	%10 İT	%15 İT
Un	100	95	95	100	100	100
Su	45	45	45	45	45	45
Tuz	1	1	1	1	1	1
Yağ	2	2	2	2	2	2
Maya	1	1	1	1	1	1
Şeker	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Süt tozu	-	5	-	-	-	-
PAS tozu	-	-	5	-	-	-
İzmir Tulumu	-	-	-	5	10	15

Kontrol örneği üretilirken hamuru oluşturan tüm bileşenler 20 dakika süre ile yoğurulmuştur (SPM-250, Fimak, Türkiye). Zenginleştirilmiş örneklerin üretimi sırasında % 5 oranında PAS ve %5 süt tozu hamura un ile birlikte ilave edilirken %5-10-15 İzmir tulumu yoğurma işleminin bitiminden 5 dakika önce ilave edilmiştir. Böylelikle diğer bileşenlerin hamur içerisinde etkin bir şekilde karışması sağlanmıştır. Yoğurma süresinin sonunda 1. fermantasyon aşamasında 15 dakika oda sıcaklığında dinlenen hamurlar 100'er gram kesilerek halka şekline getirilmiştir. Halka şekli verilen hamur, susam ile karıştırılan pekmezli suya batırılmış ve son fermantasyon aşamasını gerçekleştirmek üzere 40°C ve %80 bağıl neme ayarlanmış fermantasyon kabinin alüminyum tepsilerde 40 dakika bekletilmiştir. Fermantasyon sonunda 300°C'de 20 dakika pişirilmiştir (FG200, Fimak, Türkiye). Zenginleştirilmiş gevrekler oda sıcaklığında soğutulduktan sonra, 5 mm kalınlığında ve yaklaşık 3 cm çapında disk şeklinde dilimlenerek konveksiyonlu fırında 140, 150 ve 160°C'de her 3 dakikada bir tartım alınmış ve gevrek dilimleri sabit tartıma ulaşana kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Çalışma sırasındaki analizler üç paralel iki tekerrür halinde gerçekleştirilmiş ve sonuçlar bu verilerin ortalamaları olarak verilmiştir.

2.3 Kurutmanın Matematiksel Modellenmesi

Bu çalışmada, farklı çeşit ve oranlarda süt ürünü kullanılarak proteince zenginleştirilmiş çerezlerin kuruma davranışlarının tanımlanması amacıyla Fick' in ikinci kanunu (Denklem 1)

kullanılmıştır.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{etkin} \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \quad (1)$$

Denklemde M boyutsuz nem oranı, D_{etkin} çerezlerin etkin difüzyon katsayısı (m^2/s), t süre (s) ve x ürün kalınlığını (m) ifade etmektedir. Serinin çözümü sırasında kuruma işleminin sadece difüzyon ile gerçekleştiği, kuruma sırasındaki hacim değişiminin ihmal edilebilir boyutta olduğu ve işlemin sabit sıcaklıkta ve basınçta gerçekleştiği varsayımlarında göz önüne alınmıştır [2],[9],[17]. Sonsuz levha için bu serinin seri çözümü Denklem (2)'de gösterilmiştir.

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

Denklemdeki MR boyutsuz nem oranını, M_0 başlangıç nem içeriğini (kg su/kg kuru madde), M_e denge nem içeriğini (kg su/kg kuru madde), M herhangi bir andaki nem içeriğini (kg su/kg kuru madde) ve L buharlaşmanın tek yönden gerçekleştiği durumlarda levhanın kalınlığını göstermektedir. Uzun kuruma sürelerinin söz konusu olduğu işlemlerde, serinin sadece ilk terimi kullanılarak ürünlerin etkin difüzyon katsayısı (D_{etkin}) hesaplanmaktadır (Denklem 3) [2],[17].

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 D_{etkin} t}{4L^2}\right) \quad (3)$$

Zenginleştirilmiş gevreklerin kuruma davranışlarını temsil edecek en uygun ince tabaka modelinin belirlenmesinde literatürde sıklıkla kullanılan altı farklı model (Tablo 2), Matlab 7.12.0 (MathWorks Inc, USA) yazılımı kullanılarak denlenmiştir. Çerezlere uygulanan modellerin $adj - R^2$, X^2 ve $RMSE$ değerinin Denklem (4-6)'ya göre hesaplanmıştır.

$$adj - R^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{N - 1}{N - m - 1} \quad (4)$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{tahmin,i})^2}{N - n} \quad (5)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{tahmin,i})^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

$MR_{tahmin,i}$ tahmini nem oranı, $MR_{deneysel,i}$ deneysel nem oranı, N gözlem sayısı, n sabit sayısı ve m regresyon parametresi sayısını ifade etmektedir [2],[12].

Tablo 2: Kuruma eğrilerine uygulanan matematiksel modeller.

Model adı	Model denklemi	Kaynaklar
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	[2],[13],[14]
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	[2],[13],[14]
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	[2],[13],[14]
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	[2]-[13]
İki terimli	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	[2],[13],[14]
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n t) + bt$	[2],[14]

2.4 Etkin Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Çerezlerin deneysel kuruma eğrileri kullanılarak, süreye karşılık $\ln(MR)$ grafiğinin eğiminden (Denklem 7) etkin difüzyon katsayısını (D_{etkin}) hesaplanmaktadır.

$$k = [(\pi^2 D_{etkin}) / (4L^2)] \quad (7)$$

k ; süreye karşılık $\ln(MR)$ grafiğinin eğimini ifade etmektedir.

Etkin difüzyon katsayısının sıcaklığa bağımlılığı Arrhenius eşitliği ile ifade edilmekte olup [18],[19] ve çerezlerin aktivasyon enerjileri Denklem (8) kullanılarak hesaplanmıştır.

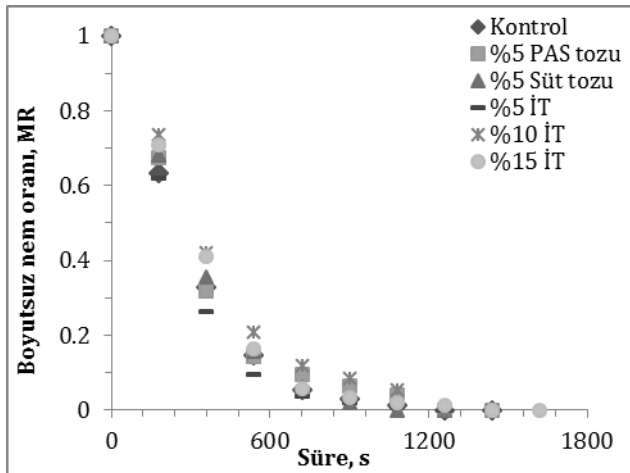
$$D_{etkin} = D_o \exp(-E_a/RT) \quad (8)$$

Burada D_o ferans difüzyon katsayısını (m^2/s), E_a aktivasyon enerjisini (kJ/mol), T mutlak sıcaklığı (K) ve R gaz sabitini ($8.314 kJ/molK$) göstermektedir.

3 Sonuçlar ve Tartışma

3.1 Kurutma Kinetiği

Gevreklerin kuruma davranışlarının incelenmesi amacıyla her 3 dakikada bir alınan ağırlık değerleri kullanılarak birim sürede uzaklaşan nem miktarı hesaplanmıştır. Başlangıç nem içerikleri 0.291-0.349 kg su/ kg kuru madde arasında değişen örneklerden en yüksek değere %15 İT içeren gevrek örneklerinin sahip olduğu tespit edilmiştir. Kurutma süresine karşı nem içeriği grafiği çizildiğinde sıcaklık artışı ile örneklerin kuruma sürelerinin azaldığı ve 15-24 dakika arasında sabit akı bölgesine ulaştıkları görülmüştür (Şekil 1-3). Kontrol örneği ve %5 İT ile zenginleştirilen çerezlerin 140 ve 150°C'deki, %5 süt tozu ve PAS, %10 ve 15 İT ile zenginleştirilen çerezlerin ise tüm sıcaklıklardaki kuruma hızı hem azalan hem de sabit akı bölgesinde gerçekleşmiştir. Ayrıca kontrol örneği ve %5 İT ile zenginleştirilen örneklerin 160°C'deki kuruma hızlarının yalnızca azalan akı bölgesinde olduğu gözlemlenmiştir.

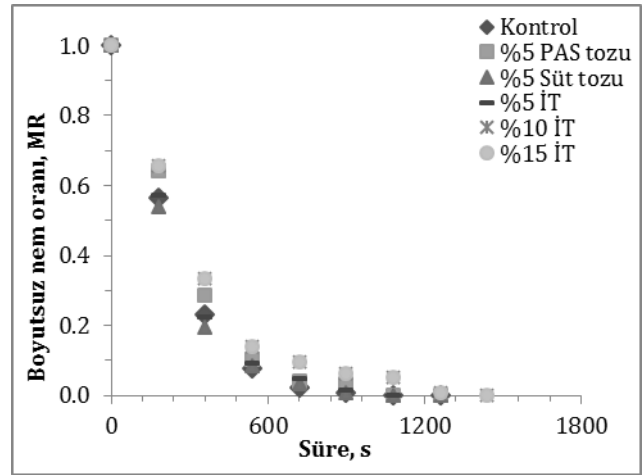


Şekil 1: Çerezlerin 140° C'deki kuruma eğrileri.

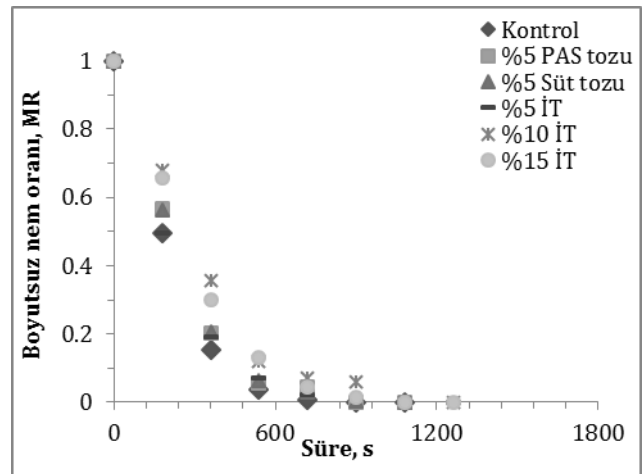
3.2 Kurumunun Matematiksel Modellemesi

Zenginleştirilmiş gevreklerin kuruma davranışlarının modellenmesi sırasında nem difüzyonunun tek yönden

gerçekleştiği kabul edilmiştir. Kuruma eğrilerine uygulanan matematiksel modellerin (Tablo 3-8) çoğu kurutulmuş örneklerin deneysel kuruma eğrileri ile uyumluluk göstermesine karşın en uygun modelin seçilmesinde $adj - R^2$ ve indirgenmiş X^2 değerleri öncelikli kriter olarak kullanılmıştır. İndirgenmiş X^2 , deneysel ile teorik değerler arasındaki sapmanın karesini ifade etmektedir ve X^2 değerinin düşük olması modelin deneysel veriler ile uyumluluğunu göstermektedir [9],[14]. Çerezlere uygulanan modellerin istatistiksel sonuçları ve model parametreleri Tablo 3-8'de belirtilmiş olup istatistiksel sonuçlar dikkate alındığında Page modelinin kurutulan tüm örneklerin kuruma davranışını temsil eden en uygun model olduğu görülmüştür (Tablo 3). Ayrıca, Page modeli için 140-150 ve 160°C'deki tahmini ve deneysel nem oranlarının karşılaştırılması Şekil 1-3' de yer almaktadır. Verilerin genellikle 45° doğrusu etrafında yığıldığı görülmektedir (Şekil 4-6). Bu sonuç, Page modelinin tüm kurutma sıcaklıklarında tüm örnekler için kuruma davranışlarını temsil edebileceğini göstermektedir. Yapılan diğer çalışmalarda amarant unu ile üretilen ekşi maya hamurunun [20], patlamış mısırın [16] ve safran [21] gibi farklı gıdaların kuruma kinetiği incelendiğinde en uygun modelin Page modelinin olduğu görülmüştür.



Şekil 2: Çerezlerin 150° C'deki kuruma eğrileri.



Şekil 3: Çerezlerin 160° C'deki kuruma eğrileri.

Tablo 3: Zenginleştirilmiş gevreklerin Page model parametreleri.

Örnek	Sıcaklık (°C)	<i>k</i>	<i>n</i>	X^2	<i>adj</i> – R^2	<i>RMSE</i>
Kontrol	140	0.000520	1.304	0.000014	0.9999	0.0033
	150	0.000486	1.361	0.000002	0.9999	0.0012
	160	0.000454	1.413	0.000193	0.9999	0.0117
%5 Süt tozu	140	0.000213	1.142	0.000007	0.9999	0.0024
	150	0.000726	1.303	0.055960	0.9991	0.2048
	160	0.000350	1.427	0.000051	0.9996	0.0060
%5 PAS tozu	140	0.000516	1.296	0.000291	0.9948	0.0147
	150	0.000238	1.453	0.001569	0.9991	0.0343
	160	0.000324	1.441	0.009633	0.9986	0.0829
%5 İT	140	0.000281	1.435	0.000457	0.9997	0.0088
	150	0.000641	1.309	0.000130	0.9990	0.0098
	160	0.001269	1.217	0.000007	0.9999	0.0023
%10 İT	140	0.000319	1.139	0.000418	0.9967	0.0180
	150	0.000741	1.235	0.000514	0.9957	0.0199
	160	0.000232	1.430	0.000495	0.9964	0.0192
%15 İT	140	0.000128	1.512	0.000169	0.9988	0.0114
	150	0.000170	1.464	0.000014	0.9999	0.0033
	160	0.000233	1.447	0.000034	0.9998	0.0050

Tablo 4: Zenginleştirilmiş gevreklerin Lewis model parametreleri.

Örnek	Sıcaklık (°C)	<i>k</i>	X^2	<i>adj</i> – R^2	<i>RMSE</i>
Kontrol	140	0.003203	0.003411	0.9905	0.0550
	150	0.003925	0.001297	0.9902	0.0336
	160	0.004658	0.004711	0.9906	0.0635
%5 Süt tozu	140	0.003029	0.002726	0.9804	0.0488
	150	0.004110	0.000947	0.9929	0.0287
	160	0.004041	0.001841	0.9873	0.0397
%5 PAS tozu	140	0.003026	0.002726	0.9867	0.0488
	150	0.003415	0.003737	0.9829	0.0571
	160	0.004049	0.009552	0.9862	0.0904
%5 İT	140	0.003564	0.001753	0.9860	0.0394
	150	0.003825	0.001083	0.9917	0.0307
	160	0.004377	0.000433	0.9966	0.0194
%10 İT	140	0.002561	0.002161	0.9831	0.0438
	150	0.003023	0.001164	0.9903	0.0321
	160	0.003041	0.002789	0.9796	0.0494
%15 İT	140	0.002837	0.002875	0.9770	0.0536
	150	0.002829	0.002773	0.9790	0.0496
	160	0.003294	0.002470	0.9821	0.0464

Tablo 5: Zenginleştirilmiş gevreklerin Henderson ve Pabis model parametreleri.

Örnek	Sıcaklık (°C)	<i>k</i>	<i>a</i>	X^2	<i>adj</i> – R^2	<i>RMSE</i>
Kontrol	140	0.003275	1.028	0.001225	0.9901	0.0308
	150	0.003992	1.022	0.001427	0.9892	0.0327
	160	0.004712	1.016	0.001605	0.9891	0.0338
%5 Süt tozu	140	0.003128	1.041	0.002854	0.9795	0.0462
	150	0.004165	1.017	0.001023	0.9921	0.0277
	160	0.004111	1.023	0.002095	0.9855	0.0386
%5 PAS tozu	140	0.003106	1.032	0.002870	0.9862	0.0463
	150	0.003505	1.034	0.004063	0.9816	0.0551
	160	0.00412	1.023	0.011249	0.9842	0.0896
%5 İT	140	0.003648	1.030	0.001857	0.9852	0.0380
	150	0.003886	1.020	0.001190	0.9909	0.0298
	160	0.004415	1.011	0.001461	0.9962	0.0331
%10 İT	140	0.002657	1.044	0.002134	0.9833	0.0407
	150	0.003090	1.026	0.001223	0.9898	0.0308
	160	0.003137	1.039	0.002962	0.9783	0.0471

Tablo 5: Zenginleştirilmiş gevreklerin Henderson ve Pabis model parametreleri (devamı).

Örnek	Sıcaklık (°C)	<i>k</i>	<i>a</i>	X^2	<i>adj</i> – R^2	RMSE
%15 İT	140	0.002945	1.048	0.002886	0.9769	0.0506
	150	0.002935	1.047	0.002792	0.9789	0.0466
	160	0.002949	1.049	0.004689	0.9920	0.0593

Tablo 6: Zenginleştirilmiş gevreklerin Logaritmik model parametreleri.

Örnek	Sıcaklık (°C)	<i>k</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	X^2	<i>adj</i> – R^2	RMSE
Kontrol	140	0.003275	1.028	1.384 ⁻¹⁰	0.004873	0.9901	0.0569
	150	0.003991	1.022	5.036 ⁻¹²	0.001713	0.9838	0.0327
	160	0.004712	1.016	4.477 ⁻¹³	0.001964	0.9891	0.0335
%5 Süt tozu	140	0.003128	1.041	1.697 ⁻¹³	0.003424	0.9795	0.0462
	150	0.004165	1.017	3.616 ⁻¹¹	0.001228	0.9921	0.0277
	160	0.004112	1.023	2.431 ⁻¹¹	0.659300	0.9855	0.6137
%5 PAS tozu	140	0.003106	1.032	2.345 ⁻⁷	0.003444	0.9839	0.0463
	150	0.003506	1.034	2.968 ⁻⁹	0.004882	0.9816	0.0552
	160	0.004121	1.023	2.257 ⁻¹¹	0.014077	0.9842	0.0896
%5 İT	140	0.003649	1.030	1.818 ⁻¹¹	0.002167	0.9852	0.0380
	150	0.003886	1.020	7.684 ⁻¹⁰	0.010007	0.9909	0.0790
	160	0.004415	1.011	6.576 ⁻¹²	0.000581	0.9962	0.0190
%10 İT	140	0.002658	1.044	1.021 ⁻¹¹	0.002490	0.9833	0.0407
	150	0.003090	1.026	4.086 ⁻¹⁰	0.001427	0.9898	0.0308
	160	0.003137	1.039	5.607 ⁻¹²	0.003554	0.9783	0.0471
%15 İT	140	0.002946	1.048	2.612 ⁻¹¹	0.003298	0.9769	0.0506
	150	0.002936	1.047	1.028 ⁻¹³	0.003258	0.9789	0.0466
	160	0.003386	1.037	2.618 ⁻⁹	0.003155	0.9810	0.0443

Tablo 7: Zenginleştirilmiş gevreklerin Midilli et al. model parametreleri.

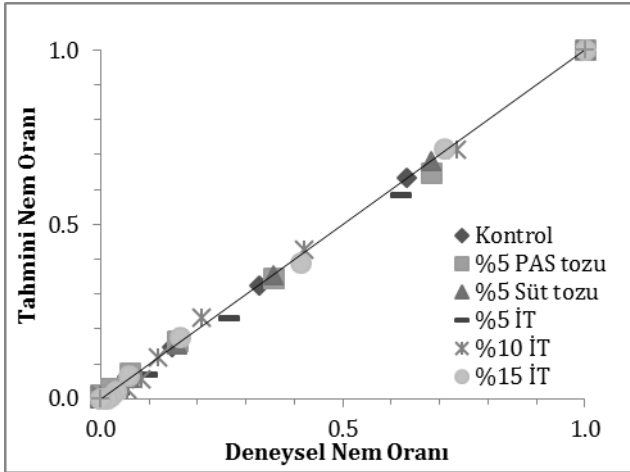
Örnek	Sıcaklık (°C)	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	X^2	<i>adj</i> – R^2	RMSE
Kontrol	140	0.000519	1.305	0.999	2.216×10 ⁻⁸	0.000019	0.9998	0.0032
	150	0.000487	1.361	0.999	2.655×10 ⁻¹⁴	0.000003	0.9999	0.0012
	160	0.021560	0.726	0.888	2.337×10 ⁻¹¹	0.015843	0.9172	0.0824
%5 Süt tozu	140	0.002391	1.043	1.027	2.308×10 ⁻¹⁴	0.393739	0.9805	0.4437
	150	0.011400	0.826	0.997	2.294×10 ⁻¹⁴	0.004447	0.9725	0.0471
	160	0.000326	1.440	1.001	4.755×10 ⁻⁶	0.000070	0.9995	0.0055
%5 PAS tozu	140	0.000394	1.347	1.005	1.314×10 ⁻⁵	0.000544	0.9939	0.0165
	150	0.004707	0.951	1.037	2.312×10 ⁻¹⁴	0.007351	0.9719	0.0606
	160	0.000291	1.462	1.001	6.780×10 ⁻⁶	0.016032	0.9980	0.0828
%5 İT	140	0.000266	1.445	1.001	3.624×10 ⁻⁶	0.000043	0.9997	0.0049
	150	0.000598	1.322	1.001	4.221×10 ⁻⁶	0.000180	0.9986	0.0095
	160	0.001264	1.218	1.000	2.845×10 ⁻⁷	0.000010	0.9999	0.0023
%10 İT	140	0.000284	1.362	1.005	7.590×10 ⁻⁶	0.000539	0.9958	0.0173
	150	0.000546	1.292	1.003	1.395×10 ⁻⁵	0.000564	0.9953	0.0177
	160	0.000197	1.461	1.001	8.572×10 ⁻⁶	0.000691	0.9949	0.0185
%15 İT	140	0.000115	1.530	0.996	3.641×10 ⁻⁶	0.000182	0.9985	0.0104
	150	0.000169	1.465	1.000	6.445×10 ⁻⁷	0.000019	0.9999	0.0033
	160	0.014480	0.762	1.042	2.337×10 ⁻¹⁴	0.011692	0.9322	0.0064

Tablo 8: Zenginleştirilmiş gevreklerin İki terimli model parametreleri.

Örnek	Sıcaklık (°C)	<i>k</i> ₀	<i>k</i> ₁	<i>a</i>	<i>b</i>	X^2	<i>adj</i> – R^2	RMSE
Kontrol	140	0.003275	0.327500	0.513	0.513	0.001715	0.9862	0.0308
	150	0.003990	0.003990	0.510	0.510	0.002141	0.9838	0.0327
	160	0.004719	0.004719	0.509	0.509	0.002619	0.9817	0.0335
%5 Süt tozu	140	0.003119	0.003137	0.520	0.520	0.004281	0.9692	0.0462
	150	0.004172	0.004172	0.509	0.509	0.001536	0.9881	0.0277
	160	0.004115	0.004116	0.512	0.512	0.003492	0.9758	0.0386
%5 PAS tozu	140	0.003103	0.003104	0.515	0.516	0.004316	0.9806	0.0464
	150	0.003505	0.003506	0.516	0.517	0.006099	0.9725	0.0552
	160	0.004129	0.004130	0.511	0.511	0.018725	0.9737	0.0895

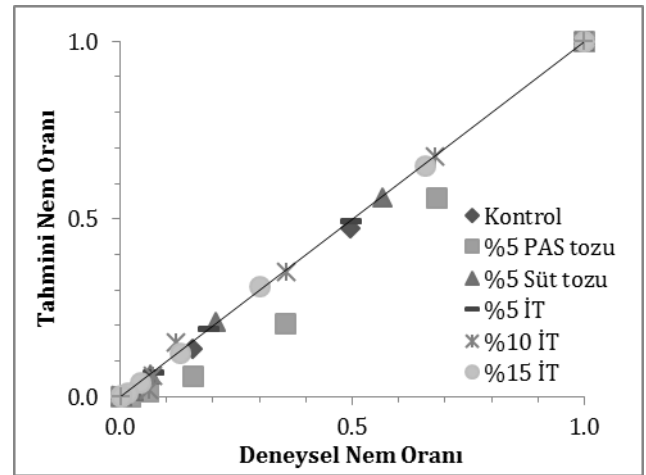
Tablo 8: Zenginleştirilmiş gevreklerin İki terimli model parametreleri (devamı).

Örnek	Sıcaklık (°C)	k_0	k_1	a	b	X^2	$adj - R^2$	RMSE
%5 İT	140	0.003649	0.003647	0.515	0.515	0.002597	0.9792	0.0379
	150	0.003888	0.003884	0.509	0.510	0.001907	0.9863	0.0308
	160	0.004416	0.004414	0.505	0.505	0.000921	0.9943	0.0214
%10 İT	140	0.002660	0.002660	0.522	0.522	0.002988	0.9766	0.0407
	150	0.003090	0.003090	0.512	0.512	0.001712	0.9858	0.0308
	160	0.003128	0.003146	0.519	0.519	0.004443	0.9675	0.0471
%15 İT	140	0.004344	0.002936	0.698	1.044	0.003851	0.9692	0.0480
	150	0.002934	0.002937	0.523	0.523	0.003909	0.9704	0.0466
	160	0.003389	0.003390	0.518	0.518	0.003939	0.9714	0.0443

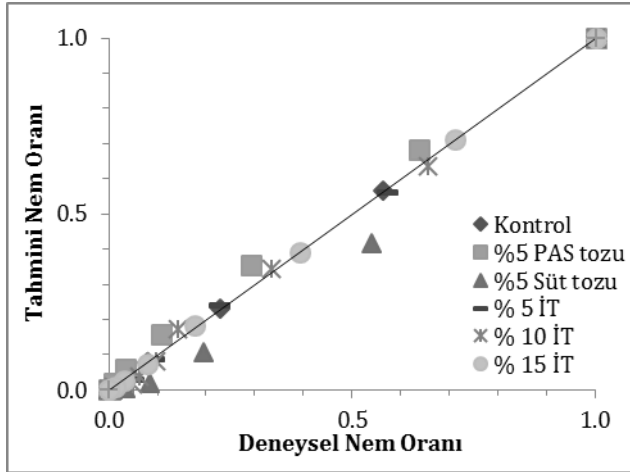


Şekil 4: Çerezlerin 140°C'deki deneysel ve tahmini Page modeli nem oranları.

m^2/s [2] ve tam buğday karışımı ile üretilen baget ekmekleri için [12], 170–210°C arasındaki kuruma sıcaklıkları için difüzyon katsayılarının 3.181×10^{-8} ile $4.863 \times 10^{-8} m^2/s$ arasında olduğu bildirilmiştir.



Şekil 6: Çerezlerin 160°C'deki deneysel ve tahmini Page modeli nem oranları.



Şekil 5: Çerezlerin 150°C'deki deneysel ve tahmini Page modeli nem oranları.

Tablo 9: Zenginleştirilmiş gevreklerin difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjileri.

Örnek	Sıcaklık (°C)	D_{etkin} (m^2/s)	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
Kontrol	140	4.46×10^{-8}	32.78
Kontrol	150	5.75×10^{-8}	
Kontrol	160	6.93×10^{-8}	
%5 Süt tozu	140	4.46×10^{-8}	13.89
%5 Süt tozu	150	5.12×10^{-8}	
%5 Süt tozu	160	5.37×10^{-8}	
%5 PAS tozu	140	2.73×10^{-8}	38.12
%5 PAS tozu	150	3.95×10^{-8}	
%5 PAS tozu	160	4.56×10^{-8}	
% 5 İT	140	4.73×10^{-8}	7.34
% 5 İT	150	5.02×10^{-8}	
% 5 İT	160	5.22×10^{-8}	
% 10 İT	140	2.74×10^{-8}	17.17
% 10 İT	150	3.14×10^{-8}	
% 10 İT	160	3.45×10^{-8}	
% 15 İT	140	3.92×10^{-8}	17.57
% 15 İT	150	4.25×10^{-8}	
% 15 İT	160	4.96×10^{-8}	

3.3 Etkin Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi

Zenginleştirilmiş gevrekler 140, 150 ve 160°C'de uygulanan kurutma işleminin sonucunda difüzyon katsayıları Denklem (8)'e göre hesaplanmıştır. Tüm örneklerin difüzyon katsayılarının sıcaklığa bağlı olarak arttığı Tablo 9'da da görülmektedir. Literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde soya ve buğday unu ile üretilen atıştırmalık çerezlerin 200–240°C'deki difüzyon katsayıları 1.156×10^{-10} ile $2.586 \times 10^{-10} m^2/s$ [22], tavuk eti ile zenginleştirilmiş beyaz undan üretilen baget ekmeği dilimlerinin 170–210°C arasındaki kuruma sıcaklıkları için 4.458×10^{-8} ile 8.308×10^{-8}

Çerezlerin kuruma davranışlarını incelemek ve kuruma parametrelerini belirlemek amacıyla literatürde sıkça kullanılan 6 farklı ince tabaka kuruma modeli arasından Page

modeli, en yüksek düzeltilmiş belirlleme katsayısı ($adj - R^2$) ile en düşük indirgenmiş ki-kare (X^2) ve en düşük kök ortalama kare hatası ($RMSE$) değerlerini göstermiştir. Çerezlerin etkin difüzyon katsayı değerleri 2.73×10^{-8} ile 6.93×10^{-8} m²/s arasında değişirken, difüzyon katsayısının sıcaklıkla değişimi Arrhenius eşitliği ile tanımlanmış olup ve aktivasyon enerjileri 7.34 ile 38.12 kJ/mol arasında bulunmuştur. Çalışmada elde edilen bulgular gıdaların kuruma davranışlarının incelendiği diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında benzer verilerin elde edildiği görülmüştür.

4 Teşekkür

2209-Üniversite Öğrencileri Yurt İçi/Yurt Dışı Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında "İzmir Gevreğinin Zenginleştirilmesiyle Çerezlik Ürün Geliştirilmesi" projesiyle çalışmamızı gerçekleştirmemiz için maddi kaynak oluşturan TÜBİTAK'a ve Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi'ne katkı sağlayan tüm hakemlere ve editöre teşekkür ederiz.

5 Kaynaklar

- [1] Akbay C, Tiryaki GY, Gül A. "Consumer Characteristics Influencing Fast Food Consumption in Turkey". *Food Control*, 18(8), 904-913, 2007.
- [2] Çakmak H, Kumcuoğlu S, Tavman S. "Mathematical Modeling and Thin Layer Drying of Chicken Meat Enriched Baguette Bread Slices". *Gıda*, 39(3), 131-138, 2014.
- [3] Ahmed ZS, Abozed SS. "Functional and antioxidant properties of novel snack crackers incorporated with Hibiscus sabdariffa by-product". *Journal of Advanced Research*, 6(1), 79-87, 2015.
- [4] Piernas C, Popkin BM. "Trends in snacking among US children". *Health Affairs*, 29(3), 398-404, 2010.
- [5] Turkut GM, Kılıç Ö, İzmir Gevreğinin Zenginleştirilmesi ile Çerezlik Ürün Geliştirilmesi. Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2013.
- [6] Van der Zanden LD, Van Kleef E, De Wijk RA, Van Trijp HC. "Examining Heterogeneity in Elderly Consumers' Acceptance of Carriers for Protein-enriched Food: A Segmentation Study". *Food Quality and Preference*, 42, 130-138, 2015.
- [7] Döner Haber. "Türkiye'nin Fast Food Ürünleri" <http://www.turkdoner.com/index.php?tekh=170> (07.12.2014).
- [8] Antalya Halk Ekmek Fabrikası. "Antalya Halk Ekmek", <http://www.antalyahalkmek.com> (02.05.2015).
- [9] Özdemir M, Devres YO, "The Thin Layer Drying Characteristics of Hazelnuts During Roasting". *Journal of Food Engineering*, 42(4), 225-233, 1999.
- [10] Doymaz İ, İsmail O. "Drying Characteristics of Sweet Cherry". *Food and Bioproducts Processing*, 89(1), 31-38, 2011a.
- [11] Doymaz İ. "Thin-layer Drying Characteristics of Sweet Potato Slices and Mathematical Modelling". *Heat Mass Transfer*, 47(3), 277-285, 2011b.
- [12] Çakmak H, Tavman S. "Thin Layer Drying and Mathematical Modeling of Chicken Meat Enriched Whole Wheat Mixture Baguette Bread Slices". *7th International Ege Energy Symposium and Exhibition*, Uşak, Türkiye 18-20 Haziran 2014.
- [13] Erbay Z, İcier F. "Thin-Layer Drying Behaviors of Olive Leaves (*Olea Europaea* L.)". *Journal of Food Process Engineering*, 33(2), 287-308, 2010.
- [14] Çakmak H, Kumcuoğlu S, Tavman S. "Thin Layer Drying of Bay Leaves (*Laurus nobilis* L.) in Conventional and Microwave Oven". *Akademik Gıda*, 11(1), 20-26, 2013.
- [15] Sharma GP, Prasad S. "Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying". *Journal of Food Engineering*, 65(4), 609-617, 2004.
- [16] Doymaz İ, Pala M. "The Thin-layer Drying Characteristics of Corn". *Journal of Food Engineering*, 60(2), 125-130, 2003.
- [17] Crank J. *The Mathematics of Diffusion*. 2nd ed. London, England, Clarendon press, 1975.
- [18] Madamba PS, Driscoll RH, Buckle KA. "The Thin-layer Drying Characteristics of Garlic Slices". *Journal of Food Engineering*, 29(1), 75-97, 1996.
- [19] Ramesh MN, Wolf W, Tevini D, Jung G. "Influence of Processing Parameters on the Drying of Spice Paprika". *Journal of Food Engineering*, 49(1), 63-72, 2001.
- [20] Rózyło R, Rudy S, Krzykowski A, Dziki D. "Novel Application of Freeze-dried Amaranth Sourdough in Gluten-Free Bread Production". *Journal of Food Process Engineering*, 38(2), 135-143, 2014.
- [21] Acar B, Sadikoğlu H, Doymaz İ. "Freeze-drying Kinetics and Diffusion Modeling of Saffron (*Crocus sativus* L.)". *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(2), 142-149, 2015.
- [22] Pardeshi IL, Chattopadhyay PK. "Hot Air Puffing Kinetics for Soy-fortified Wheat-based Ready-to-Eat (RTE) Snacks". *Food Bioprocess Technology*, 3(3), 415-426, 2010.