

UN PARTİKÜL BOYUTUNUN EKMEĞİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE RAF ÖMRÜ ÜZERİNE ETKİSİ

Sultan Arslan Tontul*, Hümeysra Çetin Babaoğlu

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 42130 Konya, Türkiye

Geliş / *Received*: 20.02.2019; Kabul / *Accepted*: 10.09.2019; Online baskı / *Published online*: 19.09.2019

Arslan-Tontul, S., Çetin-Babaoğlu, H. (2019). Un partikül boyutunun ekmeğin fiziksel özellikleri ve raf ömrü üzerine etkisi. *GIDA* (2019) 44 (5): 898-906 doi: 10.15237/gida.GD19045

Arslan-Tontul, S., Çetin-Babaoğlu, H. (2019). Effect of flour particle size on physical properties and shelf life of bread. GIDA (2019) 44 (5): 898-906 doi: 10.15237/gida.GD19045

ÖZ

Bu çalışmada farklı partikül boyutuna sahip unlar ile üretilen ekmeklerin depolanması sırasında meydana gelen fiziksel değişimlerin belirlenmesi ve bayatlamının kinetik olarak modellenmesi amaçlanmıştır. Farinograf ve ekstensograf testleri sonucunda ekmeğin hamurlarının un partikül boyutunun azaltılmasının, hamurun reolojik özelliklerini geliştirdiği tespit edilmiştir. Ekmeğin kabuğunun L* parlaklık, 39.83 ile 53.28 değeri arasında değişmekle birlikte partikül boyutunun azaltılması ekmeğin parlaklık değerini düşürmüştür. Tekstür profil analizi sonucunda depolanan ekmeklerin sertlik değerlerinin yaklaşık olarak 2.7 kat arttığı ve en yüksek artışın ise 150 µm altı un partiküllerinden üretilen ekmeğin örneklerinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Depolama süresince ekmeklerde nem kaybı değerleri kontrol, 150-250 µm arası ve 150 µm altı örnekler için sırasıyla %14.92, 0.53 ve 6.72 olarak tespit edilmiştir. Ekmeğin bayatlamasının Avrami kinetik modele uygunluğunun değerlendirildiği hesaplamalarda ise 1.85 ile en yüksek n değerini ve 0.13 ile en düşük k değerini düşük partikül boyutlu unlar kullanılarak üretilen ekmeğin örneklerinin aldığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ekmeğin bayatlaması, bayatlama kinetiği, Avrami, partikül boyutu, tekstür

EFFECT OF FLOUR PARTICLE SIZE ON PHYSICAL PROPERTIES AND SHELF LIFE OF BREAD

ABSTRACT

In this study, it is aimed to determine the physical changes, occurring during the storage of the breads produced with different particle size of flours and kinetic modelling of staling. The farinograph and extensograph tests of the doughs indicated that reducing the particle size of flours improved the rheological properties of the dough. According to color results, the L* brightness of the bread crust ranged from 39.83 to 53.28 and the lowest value was determined in the bread produced by fine milled wheat flour. As a result of the texture profile analysis, the hardness values of the breads increased approximately 2.7 times and the highest increase was detected in the bread samples produced from fine milled wheat flour. Moisture loss during storage were 14.92, 0.53 and 6.72% for the control sample, breads produced with flour particle size of 150-250 µm and <150 µm, respectively. Avrami kinetic model suggested that the highest n value with 1.85 and the lowest k value with 0.13 were obtained from the bread samples produced with low particle size flours.

Keywords: Bread staling, Staling kinetic, Avrami, particle size, texture

* Yazışmalardan sorumlu yazar/ *Corresponding author*

✉ sultan.arslan@selcuk.edu.tr,

☎ (+90) 332 241 0047

☎ (+90) 332 241 0108

GİRİŞ

Ekmek, ülkemiz başta olmak üzere birçok toplumda ucuz ve kolay ulaşılabilir olması ve besin öğelerini dengeli bir şekilde içermesi nedenleriyle temel besin kaynağı olarak kabul edilmektedir. Ancak taze ekmeğin çok kısa olan raf ömrü (1-2 gün), ekmeğin tüketilebilirliğini doğrudan etkilemektedir.

Günümüzde ekmeğin bayatlama mekanizması tam olarak aydınlatılmamış olmakla birlikte başta nişasta granülünün kristalizasyonu olmak üzere nişasta-gluten interaksyonları ve ekmeğin içeriği nem göçü gibi birçok faktörün rol aldığı kompleks bir olay olarak tanımlanmaktadır (Fadda, Sanguinetti vd., 2014). Bayatlama fiziksel bir bozulma olup ürünün raf ömrünü doğrudan etkilemekte ve ekmeğin yenme kalitesini ciddi oranda azaltmaktadır. Bayatlama sonucu tüketilemeyen ekmeğin, yüksek miktarda ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Limanond vd., 2002; Smith ve Johansson, 2004). Toprak Mahsulleri Ofisi'nin verilerine göre günde yaklaşık 5 milyon ekmeğin çöpe atılmaktadır. 2010 yılında yapılan bir araştırmaya göre İngiltere'de yıllık olarak üretilen 39 milyon ekmeğin yaklaşık 10 milyonunun, bayatlama temelli fiziksel bozulmalar sonucu tüketilemeyerek israf edildiği bildirilmiştir (Amigo vd., 2016). Başka bir çalışmada ise Amerika Birleşik Devletleri, Meksika ve Latin Amerika ülkelerinde yıllık 450 milyon ton tortilla ekmeği üretilmekte ve bunun yaklaşık olarak %4'ü (18 milyon ton) bayatlama nedeniyle tüketilmemektedir (Limanond vd., 2002). Günümüzde gıda endüstrisi ve bilimi, ekmeğin bayatlamasını geciktirici katkı maddelerinin geliştirilmesi, proses basamaklarının iyileştirilmesi ve bu sayede israf kaynaklı para, enerji ve gıda kaybının azaltılması konuları üzerine yoğun çalışmalar yürütmektedir (Amigo vd., 2016).

Ekmek bayatlaması doğrudan nişasta retrogradasyonu ile ilişkili olup ilerleyen aşamalarda ise ortamda bulunan gluten ile interaksyonun artması sonucunda geri dönüşümsüz bir hal almaktadır. Nişasta, sulu ortamda ısıtıldığı zaman su alarak şişmekte ve belirli bir sıcaklık noktasından sonra jelatinize olmaktadır. Jelatinize olmuş nişasta erime

sıcaklığının altında bir dereceye kadar soğutulduğunda fiziksel yapısı bozulan amiloz ve amilopektin fraksiyonları yoğun bir şekilde kümeleşerek gıda matrisinin viskozitesinin artmasına ve jelin sıkışmasına neden olmaktadır. Bu olgunun tamamına birden retrogradasyon adı verilmekte olup gıda endüstrisi için büyük önem taşımaktadır (Atwell vd., 1988; Amigo vd., 2016).

Bayatlama ekmeğin içi ve dışında ayrı ayrı gerçekleşmektedir. Bayatlama boyunca ekmeğin içeriği sertlik kazanırken ekmeğin kabuğu ise tam tersine yumuşamaktadır. Ekmeğin kabuğu higroskopik özellikte birçok madde içerdiğinden hızlı nem çekme özelliğine sahiptir. Dolayısıyla bayatlama sırasında ekmeğin içerisinde bulunan su, sürekli ekmeğin kabuğuna difüze olmaktadır. Ekmeğin içerisinden kabuğa su geçişi, depolanmanın son zamanlarında artmakta ve biyopolimer ağ içerisindeki su miktarının azalmasıyla hızlanmaktadır (Ercan ve Özkaya, 1985). Nişasta granülünün amiloz fraksiyonunda gelişen retrogradasyon çok hızlı olup, neredeyse fırın çıkışından sonra bir kaç saatte tamamlanırken, bu süre amilopektin için haftaları bulabilmektedir (Leon vd., 2006).

Günümüzde, fazla miktarda üretimi yapılan ekmeğin gibi fırıncılık ürünleri ekonomiye önemli bir gelir katkısı ve iş gücü sağlamaktadır. Ekmeğin satın alınma tercihini etkileyen en temel özellik tazeliliği olduğundan, yenilebilir kalitesinin kaybedilmeden uzun bir raf ömrü sağlanması gıda bilimi ve endüstrisi açısından önemli bir konudur. Ekmeğin bayatlaması ile ilgili çalışmalar çok uzun yıllardır süregelmeyle birlikte unun partikül boyutunun bayatlama üzerine etkisinin araştırıldığı çok sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda genellikle jet değirmenlerde çok küçük mikron boyutuna öğütülen un örneklerinin ekmeğin kalitesi üzerine etkileri incelenmiştir (Protonotariou vd., 2015; Vouris vd., 2018). Bu çalışmada 250-150 µ arası ve 150 µ üstü partikül boyutuna sahip unlar ile üretilen ekmeklerin depolanması sırasında meydana gelen fiziksel değişimlerin belirlenmesi ve bayatlamasının kinetik olarak modellenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Araştırmada kullanılan ekmeçlik un (protein %12.2, yağ %1.5, kül %0.8) Söke Un Fabrikası'ndan (Aydın, Türkiye) temin edilmiştir. Ekmeçlik un 250 ve 150 µ boyutundaki eleklerden (Retsch, Haan, Almanya) elenerek partikül boyutu ayarlanmıştır. Ekmeçlik üretiminde kullanılan diğereç hammaddeleer (tuz, maya ve su) yerel marketleerden temin edilmiştir.

Yöntem

Ekmeç Üretimi

Ekmeç üretimi için 1000 g un, 40 g maya, 15 g tuz ve farinograf cihazında her bir un partikül boyutu için belirlenen miktarda su (kontrol 540 mL, 150-250 µ arası 530 mL ve 150 µ altı 550 mL) hamur yoğurma makinesine (Major, Kenwood, İngiltere) aktarılaraq 5 dak yoğrulmuştur. Yoğrulduktan sonra makineden alınan hamur 30 dak kitle fermantasyonuna bırakılmıştır. Fermantasyon sonunda rol ekmeç üretmek üzere 100 g ağırlığında hamurlar kesilerek, küresel şekil verilmiş ve 15 dak ara fermantasyon uygulanmıştır. Süre sonunda tekrar elle şekil verilerek havalandırılan hamurlar tavaya alınmış ve 30°C'de %80 nem altında 1 saat süre ile son fermantasyona bırakılmıştır. Fermantasyon sonunda tavalar 250°C'de döner ekmeç pişirme fırınında (Fimak, Konya, Türkiye) 20 dak pişirilerek ekmeç üretimi gerçekleştirilmiştir. Pişirme sonunda 150 µ altı, 150-250 µ arası ve eleme yapılmamış un pasajı olarak (kontrol) toplamda üç farklı boyutta un kullanılarak ekmeç üretimi gerçekleştirilmiştir (Elgün ve Ertugay, 2002).

Hamurun reolojik özelliklerinin belirlenmesi

Farklı boyutlarda un kullanılarak hazırlanan ekmeç hamurlarının su absorpsiyonu, gelişme süresi, stabilitesi ve yumuşama derecesi farinograf cihazı ile (Brabender OHG, Duisburg, Almanya); uzamaya karşı gösterdiği direnç, uzama kabiliyeti ve enerji değereç gibi diğereç reolojik özellikleri ise ekstensograf cihazı (Brabender OHG, Duisburg, Almanya) ile belirlenmiştir (AACC, 2000).

Spesifik hacim analizi

Piştirilen ekmeçleerin spesifik hacim değereçleri, kolza tohumu ile yer değıştirme prensibine göre

ölçülen hacmin, ekmeçin ağırlığına oranlanması sonucu cm³/g olarak hesaplanmıştır (Ho vd., 2013).

Renk analizi

Ekmeçleerin rengi, renk ölçer (Chroma meter CR-400, Konica Minolta, Japonya) kullanılarak, ekmeç kabuğu ve içinde ayrı ayrı 3 farklı noktadan L*, a* ve b* değereçlerinin ölçülmesi ile belirlenmiştir.

Nem kaybı

Ekmeç örnekleerin nem kaybı değereç depolama başlangıcında (0. gün) ve sonunda (6. gün) alınan örnekleerin kurumadde miktarlarının oranlanması ile % olarak hesaplanmıştır (Correa ve Ferrero, 2015).

Tekstür analizi

Ekmeçleerin tekstür profil analizi (TPA), tekstür analiz cihazı (TA, Stable Microsystems, Godalming, Surrey, İngiltere) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pişirme sonrasında ve 6 gün oda sıcaklığında depolanan ekmeç örnekleeri, 2.5 mm genişliğinde dilimlenmiş ve ekmeç içereçsinin sertlik, kohezif yapışkanlık, elastikiyet, sakızimsılık, çignenebilirlik ve esneklik özelliklerinde meydana gelen değışimler takip edilmiştir. Analiz sırasında 12.5 mm çapında silindirik prob ve 5 kg'lık yük hücresi kullanılmıştır. TPA test öncesi prob hızı 2 mm/s, test hızı 3 mm/s, test sonrası hızı 3 mm/s, bekleme süresi 5 s, tetik kuvveti 10 g ve deformasyon oranı ise %50 olacak şekilde ayarlanmıştır (Gambaro vd., 2002).

Bayatlama kinetiğı

Ekmeç örnekleerinin bayatlama kinetiğı, Avrami matematik modeli kullanılarak Eşitlik 1'de verilen formüle göre belirlenmiştir. Piştirilen ekmeç örnekleeri 6 günlük süre boyunca oda sıcaklığında depolanmış ve her depolama gününde TPA cihazı kullanılarak ekmeç içi sıklık değereçleri tespit edilmiştir. Analiz sırasında 12.5 mm silindirik prob ve 5 kg yük hücresi kullanılmıştır. TPA test hızı 1.7 mm/s ve deformasyon oranı %40 olacak şekilde ayarlanmıştır (AACC, 2000). Model sonunda hesaplanan k ve n değereçlerinin düşük olması, ekmeçleerin daha geç bayatladığı anlamına

gelmektedir (Armero ve Collar, 1998; Russell, 1983).

$$\theta = \frac{T_{\infty} - T_t}{T_{\infty} - T_0} = e^{-kt^n} \quad \text{Eşitlik (1)}$$

θ: Kristalizasyon derecesi

T₀: Pişirme sonunda ekmeklerin sıklık derecesi

T_t: Ekmeklerin t zamanındaki sıklık derecesi

T_∞: Depolama sonundaki sıklık değeri

k: Reaksiyon sabiti

n: Avrami katsayısı

İstatistiksel analizler

Ekmek üretimi iki tekerrürlü ve analizler ise iki paralel halinde yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen verilere varyans analizi ve önemli bulunan faktörlere ise Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi uygulanmıştır. Tüm istatistik hesaplamalar SAS istatistik programı ile gerçekleştirilmiş olup değerler ortalama ± standart sapma şeklinde düzenlenmiştir.

TARTIŞMA ve BULGULAR

Farklı un partikül boyutunun ekmek hamur reolojisi üzerine etkisi

Kontrol, 150-250 μ arası ve 150 μ altı un örnekleri ile hazırlanan ekmek hamurlarının farinograf ve

ekstensograf cihazında belirlenen reolojik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Farinograf değerleri incelendiğinde 150-250 μ arası partikül boyutuna sahip unlar ile hazırlanan hamur formülasyonunun, su absorpsiyon değerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Buna karşın hiç eleme yapılmamış kontrol unu ve daha küçük boyuttaki un formülasyonlarının su absorpsiyon değerleri benzer şekilde ölçülmüştür. Bu durumun nedeni ise partikül boyutunun küçülmesi sırasında nişasta granülünün daha fazla zedelenmesi ve artan yüzey alanı ile birlikte su tutma kapasitesinin de artmasıdır. Yapılan bir çalışmada tam buğday unu jet değirmenlerde öğütülerek farklı partikül boyutlarına sahip tam buğday unları elde edilmiş ve bu unların reolojik özellikleri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda partikül boyutunun küçülmesiyle birlikte yüzey alanının arttığı ve bunun örneklerin su tutma kapasitesini artırıcı bir rol oynadığı bildirilmiştir (Protonotariou vd., 2015). Farklı öğütme teknikleri ile elde edilen ekmeklik unların partikül boyutu; unun su absorpsiyon yeteneği, zedelenmiş nişasta miktarı, jelleşme özellikleri ve hamurun reolojik özellikleri üzerine doğrudan etkili olmaktadır (Vouris vd., 2018).

Çizelge 1. Farklı un partikül boyutunun ekmek hamurunun reolojik özellikleri üzerine etkisi
Table 1. The effect of flour particle size on reological properties of bread dough

Un boyutu Flour particle size	Farinograf değerleri			Ekstensograf değerleri		
	Su absorpsiyonu (%) Water absorption (%)	Gelişme süresi (dk) Dough development time (min)	Stabilite (dk) Stability (min)	Enerji (cm ²) Area (cm ²)	Uzamaya karşı direnç (BU) Resistance to extension (BU)	Uzayabilirlik (mm) Extensibility (mm)
Kontrol	54.1±0.05 ^{ab}	2.2±0.05 ^a	4.2±0.15 ^b	130±0.0 ^a	1062±41 ^a	99±0.00 ^b
150-250 μ arası	53.2±0.10 ^b	1.7±0.00 ^b	11.1±0.05 ^a	111±1.5 ^b	832±37 ^b	105±1.50 ^b
150 μ altı	54.8±0.40 ^a	1.7±0.00 ^b	3.5±0.25 ^c	129±0.25 ^a	758±16 ^b	125±2.52 ^a

^a Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak farklıdır. (P <0.05)

^a Values in the same column followed by different letters are significantly different (P <0.05)

Partikül boyutu hamur formülasyonlarının gelişme sürelerini etkilememiş olup bu süre, formülasyonunda 150-250 µ arası ve 150 µ altı un kullanılan hamurlar için 1.7 dk ve kontrol örneği için ise 2.2 dak olarak belirlenmiştir. Ayrıca 150-250 µ arası un kullanılarak hazırlanan ekmeğin hamurlarının yumuşama derecesinin daha düşük (54 BU) buna karşın stabilitesinin daha yüksek (11.1 dak) olduğu tespit edilmiştir. Diğer formülasyonlarda oransal olarak daha fazla su kullanılması hamurların stabilitesi üzerine olumsuz bir etkide bulunmuştur. Tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, büyük un partikül boyutunun daha düşük su absorpsiyon değerine sahip olduğu buna karşın hamur stabilitesini arttırdığı tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar başka araştırmacılar tarafından da tespit edilmiş olup Protonotariou vd. (2015), ileri derecede öğütülen tam buğday unlarının stabilize değerinin, kontrol örneklerine göre daha düşük olduğunu rapor etmiştir. Bu durumun ise ileri öğütme sonucu ortaya çıkan ısının gluten ağ yapısına zarar vermesinden ve protein yapısını zayıflatmasından kaynaklanabileceği ortaya konulmuştur. Moreira vd. (2010) kestane unu içeren hamur

formülasyonlarında hamur stabilitesinin un partikül boyutundaki artış ile doğru orantılı olarak azaldığını rapor etmiştir.

Ekstensograf verileri değerlendirildiğinde 150-250 µ arası boyuttaki unlar ile hazırlanan hamurların enerji değerinin, diğer örneklere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Un partikül boyutunun azalması hamurların uzamaya karşı gösterdiği direnci azaltırken uzayabilme kapasitesini ise arttırmıştır. Böylece un partikül boyutunun azalması hamurun işlenebilirliğini ve elastikiyetini arttırmıştır. Maksimum direnç ise uzamaya karşı direnç ile benzer şekilde en yüksek kontrol örneğinde tespit edilmiştir.

Farklı un partikül boyutunun ekmeğin renk değerleri üzerine etkisi

Ekmeğin renk değerlerinin L*, a* ve b* renk değerlerindeki değişim Çizelge 2'de verilmiştir. Farklı un partikül boyutunun ekmeğin kabuğunun L* ve b* renk değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) bir etkisinin olduğu ancak a değeri üzerine önemli ($P > 0.05$) bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Farklı un partikül boyutunun ekmeğin fiziksel özellikleri üzerine etkisi

Table 2. The effect of flour particle size on the physical properties of bread

Un boyutu Flour particle size	Spesifik hacim (cm ³ /g) Specific volume (cm ³ /g)	Ekmeğin kabuğunun renk değerleri Colour values of bread crust			Ekmeğin içi renk değerleri Colour values of bread crumb		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
Kontrol	3.59±0.08 ^b	53.28±0.27 ^a	11.76 ± 0.39 ^a	28.22±0.27 ^a	71.84±0.43 ^a	-0.77±0.01 ^a	16.50 ± 0.33 ^a
150-250 µ arası	4.04±0.30 ^a	46.90±0.69 ^a	12.89 ± 0.64 ^a	25.16±0.16 ^{ba}	70.04±0.72 ^a	-1.07±0.07 ^a	16.33 ± 0.62 ^a
150 µ altı	3.25±0.24 ^c	39.83±2.48 ^b	12.42 ± 1.41 ^a	18.64±2.89 ^b	69.18±1.99 ^a	-1.09±0.11 ^a	15.81 ± 0.52 ^a

^a Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak farklıdır. ($P < 0.05$)

^a Values in the same column followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$)

L* renk değeri 0 ile 100 arasında değişmekte ve gıdanın parlaklığı hakkında fikir vermektedir. Çalışmada üretilen ekmeğin renk değerlerinin kabuk rengi 39.83 ile 53.28 değeri arasında değişmekte olup en düşük L* değeri, 150 µ altında un partikül boyutuna sahip ekmeğin renk değerinde tespit edilmiştir. Partikül boyutunun küçülmesi ile birlikte nişasta zedelenmesi artmakta ve dekstrin gibi Maillard reaksiyonunu aktivitesi yüksek şekerler ortamında birikmektedir. Fırın sıcaklığında ekmeğin ortamında

bulunan serbest amino asitler ve şekerler Maillard reaksiyonlarına girerek esmer renkli melanoidin bileşiklerini oluşturmaktadır. Bu nedenle küçük partikül boyutuna sahip unlar ile üretilen ekmeğin kabukları daha koyu bir renge sahip olmaktadır. Yapılan bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiş olup formülasyonda düşük partikül boyutlu un oranı arttıkça pişirilen ekmeğin L* değerinde bir düşüş tespit edilmiştir (Vouris vd., 2018).

b* renk değeri gıdaların sarı (+) ve mavi (-) renk yoğunluğu hakkında bilgi vermektedir. Çalışmada üretilen ekmeğin b* renk değeri 18.64 ile 28.22 arasında değişmekte olup en düşük değer, 150 µ altında un partikül boyutuna sahip ekmeklerde tespit edilmiştir. Bu durumun ise yine parlaklık değerini etkileyen nedenlerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Ekmeklerin a* renk değeri ise ortalama 12.36 olarak tespit edilmiştir. Protonotariou vd. (2015) partikül boyutu azalmasıyla birlikte ekmeklerin L* değerinin azaldığını, buna karşın kırmızılık ve sarılık değerlerinin arttığını tespit etmiştir.

Yapılan renk analizi sonucunda ekmeğin içi L*, a* ve b* değerlerinin, farklı un partikül boyutundan istatistiksel olarak önemli ($P > 0.05$) düzeyde etkilenmediği ve bu değerlerin ise sırasıyla 70.35, -0.98 ve 16.21 olduğu tespit edilmiştir.

Farklı un partikül boyutunun ekmeğin spesifik hacim değerleri üzerine etkisi

Ekmek örneklerinin spesifik hacim değerlerindeki değişim Çizelge 2'de verilmiştir. Un partikül boyutunun, ekmeklerin spesifik hacim değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) bir etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir.

150 µ altında partikül boyutuna sahip un örnekleri ile üretilen ekmeklerin spesifik hacim değeri 3.25 cm³/g ile en düşük değeri alırken, daha büyük partikül boyutuna sahip un örnekleri ile üretilen ekmeklerin spesifik hacim değeri 4.04 cm³/g olarak tespit edilmiştir. Jet değirmenlerde

öğütülerek partikül boyutu küçültülen unların formülasyonda kullanılması ile ekmeğin spesifik hacim değerinin azaldığını rapor eden benzer çalışmalar mevcuttur (Protonotariou vd., 2015; Vouris vd., 2018). Bu durumun nedeni ise un partikül boyutunun küçülmesi ile birlikte su absorpsiyon değerinin artması ve sonuç olarak daha yüksek viskoziteye sahip ekmeğin hamurunun elde edilmesi olarak gösterilmektedir (Vouris vd., 2018). Tam buğday unu kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda bunun nedeninin kepek fraksiyonunun partikül boyutunun ileri düzeyde küçülmesi ve bu parçacıkların gluten arabinoksilan interaksiyonunu arttırmasından kaynaklandığı rapor edilmiştir (Noort vd., 2010). Ayrıca glutensiz ekmeğin üretimini amaçlandığı bir başka çalışmada da daha küçük partikül boyutuna sahip pirinç ve mısır unu ile üretilen ekmeklerin gaz tutma kapasitesinin oldukça az olduğu bildirilmiştir (De la Hera vd., 2013; Hera vd., 2013).

Farklı un partikül boyutunun ekmeğin tekstürel özellikleri üzerine etkisi

Ekmek örneklerinin sertlik, esneklik, iç yapışkanlık, sakızimsılık, çiğnenebilirlik ve elastikiyet gibi tekstürel özelliklerine ait veriler Çizelge 3'te verilmiştir. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre farklı un partikül boyutu ve depolama süresi ekmeğin sertlik, çiğnenebilirlik değerleri üzerine önemli ($P < 0.01$) bir etkide bulunurken elastikiyet, iç yapışkanlık ve esneklik değerlerini etkilememiştir ($P > 0.05$).

Çizelge 3. Farklı un partikül boyutunun depolama süresince ekmeğin tekstürel özellikleri üzerine etkisi

Table 3. The effect of flour particle size on the texture of bread during storage

Un boyutu <i>Flour particle size</i>	Depolama <i>Storage</i>	Sertlik (g) <i>Hardness (g)</i>	Elastikiyet <i>Springiness</i>	İç yapışkanlık <i>Cohesiveness</i>	Çiğnenebilirlik <i>Chewiness</i>	Esneklik <i>Resilience</i>
Kontrol	0. gün	822±44.86 ^{bB}	1.02±0.02 ^{aA}	0.82±0.00 ^{aA}	793±56 ^{bAB}	0.32±0.02 ^{aA}
	6.gün	2999±96.34 ^{aA}	0.96±0.00 ^{aA}	0.78±0.00 ^{bA}	2263±58 ^{aA}	0.33±0.01 ^{aA}
150-250 µ arası	0. gün	759±11.80 ^{bB}	1.11±0.14 ^{aA}	0.75±0.04 ^{aAB}	654±84 ^{bB}	0.27±0.00 ^{aA}
	6.gün	2335±85.26 ^{aB}	0.96±0.01 ^{aA}	0.74±0.02 ^{aA}	1669±7.1 ^{aB}	0.30±0.01 ^{aA}
150 µ altı	0. gün	1467±126 ^{bA}	0.98±0.00 ^{aA}	0.64±0.06 ^{aB}	919±1.0 ^{bA}	0.23±0.04 ^{aA}
	6.gün	3080±185 ^{aA}	0.88±0.02 ^{aA}	0.78±0.00 ^{aA}	2118±38 ^{aA}	0.36±0.04 ^{aA}

^a Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak farklıdır. ($P < 0.05$). a-b, aynı un partikül boyutuna sahip unlar ile üretilen ekmeğin farklı günlerdeki tekstür parametresi ortalamalarına aittir. A-B, farklı un partikül boyutuna sahip unlar ile üretilen ekmeğin aynı günlerdeki tekstür parametresi ortalamalarına aittir.

^a Values in the same column followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$). a-b, within each column shows statistical differences between average of breads produced by same particle size with different sampling days. A-B, within each column shows statistical differences between average of breads produced by same sampling days with different particle size.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre 6 günlük depolama sonunda, 150-250 μ arası un partiküllerinden üretilen ekmeğin sertlik değeri, kontrol ve 150 μ altı un kullanılarak üretilen ekmeklere göre daha düşük olarak tespit edilmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere un partikül boyutunun artması depolama süresince ekmeğin sertleşme oranını azaltmaktadır. Ayrıca, tüm ekmeğin çeşitlerinin sertlik değeri 6 günlük depolama süresince yaklaşık 2.7 katına çıkmıştır. Jet öğütme tekniği ile partikül boyutları 21-75 μ arasına küçültülen ekmeklik unlar ile yapılan bir çalışmada ekmeğin formülasyonunda düşük partikül boyutlu un oranının artmasıyla birlikte ekmeğin içi ve kabuğunun sertlik değeri artmış çığnenebilirlik ve elastikiyet özellikleri ise kötüleşmiştir (Vouris vd., 2018). Yine jet öğütme ile farklı partikül boyutlarına sahip tam buğday ekmeklerinin tekstür ölçümleri sonucunda daha düşük boyuta sahip unlar ile elde edilen ekmeklerin sertlik değerinin kontrol örneklerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Protonotariou vd., 2015). Depolama sırasında meydana gelen nişasta retrogradasyonu sonucu ürünün daha sert ve katı bir görünüm kazandığı bilinmektedir (Limanond vd., 2002).

Sertlik parametresi gibi depolama sonunda en düşük çığnenebilirlik değerleri de 150-250 μ arası un partiküllerinden üretilen ekmeğin örneklerinde elde edilmiş olup bu değer 1669 g olarak tespit edilmiştir. Depolama süresince çığnenebilirlik değerleri sırasıyla yaklaşık olarak 2.5 kat artış göstermiştir. Benzer sonuçlar başka araştırmacılar tarafından da tespit edilmiş olup Vouris vd. (2018) 5 günlük depolama boyunca ekmeğin örneklerinin sertlik ve çığnenebilirlik değerlerinin süre ile doğru orantılı olarak depolama sonuna kadar artış gösterdiğini bildirmiştir. Taze ekmekte bulunan

amorf formdaki nişasta kristal formuna göre daha fazla su tutma kapasitesine sahip olup bu özellik ekmeğe yumuşaklık ve elastikiyet sağlamaktadır. Ancak bayatlama sırasında retrogradasyonla birlikte nişasta polimerinin su tutma kapasitesi azalmakta ve kristalleşerek yeniden düzenlenmektedir. Nişastanın kaybettiği bu su ise gluten ağı tarafından hapsedilmekte ve sonuç olarak ekmeğin içi sert elastik olmayan bir yapı kazanmaktadır (Ercan ve Özkaya, 1985).

Ekmeğin örneklerinin ortalama elastikiyet, iç yapışkanlık ve esneklik değerleri ise sırasıyla, 0.99, 0.75 ve 0.30 olarak tespit edilmiş olup depolama süresince de önemli bir değişim göstermemişlerdir.

Farklı un partikül boyutunun ekmeğin nem kaybı üzerine etkisi

Çizelge 4'de verilmiştir. Un partikül boyutu, ekmeklerin nem kaybını istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) düzeyde etkilemiştir (Çizelge 4). Depolama süresince ekmeklerde nem kaybı değerleri kontrol, 150-250 μ arası ve 150 μ altı örnekler için sırasıyla %14.92, 0.53 ve 6.72 olarak gerçekleşmiştir. Görüldüğü üzere en düşük nem kaybı 150-250 μ arası boyuta sahip un ile üretilen ekmeklerde gerçekleşmiş olup bütüncül yapısını koruyan nişasta polimeri, formülasyonda bulunan suyu hidrate ederek ekmeğin dışına salınımını sınırlamıştır. Jet değirmende farklı partikül boyutlarında öğütülen unlar ile yapılan ekmeğin denemelerinde, daha düşük boyuta sahip ekmeklerin su salınımının daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Protonotariou vd., 2015). Yapılan bir başka çalışmada ekmeğin su içeriğinin, nişastanın düzenli yapısının bozulmasında önemli bir rol oynadığı ortaya konulmuştur (Guo vd., 2018).

Çizelge 4. Farklı un partikül boyutunun depolama süresince ekmeğin nem kaybı ve bayatlama kinetiği üzerine etkisi

Table 4. The effect of flour particle size on the moisture loss and staling kinetics of bread during storage

Un boyutu Flour particle size	Nem kaybı (%) Moisture loss (%)	Avrami model parametreleri Avrami model parameters				
		T_{∞}	T_0	n	k	R^2
Kontrol	14.91±2.03 ^a	3377.36	453.35	1.60 ^b	0.32 ^a	0.98
150-250 μ arası	0.53±0.04 ^c	2568.77	263.99	1.60 ^b	0.24 ^a	0.94
150 μ altı	6.72±0.66 ^b	4352.53	441.59	1.86 ^a	0.13 ^b	0.93

^a Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak farklıdır. ($P < 0.05$)

^a Values in the same column followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

Farklı un partikül boyutunun ekmeğin bayatlama kinetiği üzerine etkisi

Depolama süresince ekmek içi sıklık değerlerindeki değişimler genellikle Avrami matematiksel modeli kullanılarak değerlendirilmektedir. Bu eşitlik belirli katı bir matrisde meydana gelen nişasta kristalizasyon derecesinin değerlendirilmesinde kullanılmakta olup devam eden kristalizasyon, zamanın üstel ters fonksiyonu olarak ifade edilmektedir (Armero ve Collar, 1998). T_0 değeri pişirme sonundaki ekmek örneklerinin sıklık değerini, T_∞ değeri depolama sonundaki ekmek örneklerinin sıklık değerini, k kristalizasyon oran sabitini, n Avrami model katsayısını ve R^2 ise modelin uyumluluğunu ifade etmektedir. Sonuçların modele uygulanması sonucunda elde edilen k değeri ekmek içinin sıklık oranını göstermekte olup bu değer düşük olması sertleşme sürecinin dolayısı ile bayatlamının daha yavaş ilerlediğini ifade etmektedir (Amigo vd., 2016; Russell, 1983).

Non-linear regresyon analiz sonucunda elde edilen Avrami model parametreleri Çizelge 4'de verilmiştir. Depolama başında ve sonunda 150-250 μ arası un partiküllerinden üretilen ekmek örneklerinin sıklık değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu bulgu tekstür analiz sonuçları ve nem kaybı değerleri ile uyumlu olarak değerlendirilmiştir.

Avrami katsayıları incelendiğinde 150 μ altı un partiküllerinden üretilen ekmek örnekleri 1.85 değeri ile en yüksek n değerini alırken 0.13 ile en düşük k değerini almıştır. Diğer bir taraftan ise kontrol örneklerinin hem n hem de k değerlerinin yüksek olması hızlı bir nişasta kristalizasyonunun gerçekleştiğini göstermektedir. k değerinin 1'e yaklaşması bayatlamının çok hızlı olduğunu ve hatta depolamanın ilk gününde gerçekleştiğini göstermektedir (Amigo vd., 2016).

Genellikle k ve n değerlerinin her ikisinin birden yüksek olduğu gözlenmez. Bu durum ekmek içi bayatlamasının çok hızlı olduğu anlamına gelmektedir (Armero ve Collar, 1998). Kinetik hesaplama sonucunda yüksek n değeri sağlayan örneğin k değeri genellikle düşüktür. Bunun tam tersi durumlarda ise o ekmek örneği yavaş bayatlama özelliğine sahip olmaktadır (Armero ve

Collar, 1998). Bu durumda 150 μ altı un örnekleri ile üretilen ekmekler hızlı bir kristalizasyon kinetiğine sahip iken 150-250 μ arası unlar ile üretilen ekmeklerin nişasta kristalizasyon oranı daha yavaş olarak tespit edilmiştir. α -amilaz ilavesinin, ekmeğin bayatlama süresini geciktirici etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada Avrami model sabitleri olan k değerinin 0.26 ila 1.25 arasında değiştiği bildirilmiştir (Amigo vd., 2016).

SONUÇLAR

Temel bir besin maddesi olarak kabul edilen ekmeğin fiziksel raf ömrünün oldukça kısıtlı olması tüketimini olumsuz yönde etkilemektedir. Her yıl milyonlarca adet ekmek herhangi bir mikrobiyal bozulma olmaksızın bayatlama sonucu tazeliğini kaybettiğinden çöpe atılarak israf edilmektedir. Bu nedenle fazla miktarda üretilen ve tüketilen ekmeğin raf ömrünün uzatılması ülke ekonomisi açısından da önemli bir konudur.

Tüm analiz verileri birlikte değerlendirildiğinde un partikül boyutunun azalmasının ekmek hamurunun su tutma kapasitesinin yanında diğer bazı reolojik özelliklerini geliştirdiği ancak hamur stabilitesini azalttığı belirlenmiştir. Ekmek bayatlamasının Avrami kinetik model sonuçlarına göre ise 150 μ altı un örnekleri ile üretilen ekmeklerde nişasta kristalizasyon hızının 150-250 μ arası un örnekleri ile üretilen ekmeklere kıyasla daha yüksek olduğu dolayısıyla bayatlamının daha hızlı gerçekleştiği belirlenmiştir. Elde edilen bu verilerin ekmeklerin nem kaybı ve tekstür sonuçları ile de uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak ekmek üretiminde kullanılacak olan unların aşırı düzeyde öğütülerek partikül boyutunun küçültülmesi ekmek bayatlama oranını arttırmaktadır. Bu nedenle bir taraftan bayatlama oranını azaltacak diğer bir taraftan ise ekmeğin alışlagelmiş renk ve hacim gibi kalite özelliklerini arttıracak optimum un partikül boyutu seviyelerinin belirlenmesini gerektiren ileri düzey çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

AACC. (2000). American Association of Cereal Chemists, Method 54-21.01, Method 54-10.01, Method 74-10.02, Method 44-19.01, Method 10-05.01. The Association, Minnesota, USA.

- Amigo, J. M., Alvarez, A. D., Engelsen, M. M., Lundkvist, H., Engelsen, S. B. (2016). Staling of white wheat bread crumb and effect of maltogenic alpha-amylases. Part 1: Spatial distribution and kinetic modeling of hardness and resilience. *Food Chem*, 208: 318-325.
- Armero, E., Collar, C. (1998). Crumb firming kinetics of wheat breads with anti-staling additives. *J Cereal Sci*, 28(2): 165-174.
- Atwell, W.A., Hood, L.F., Lineback, D. R., Varriano-Marston, E., Zobel, H.F. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World*, 33:306-311.
- Correa, M. J., Ferrero, C. (2015). A comparative study of commercial modified celluloses as bread making additives. *Int J Food Prop*, 18(4): 849-861.
- De la Hera, E., Talegón, M., Caballero, P., Gómez, M. (2013). Influence of maize flour particle size on gluten-free breadmaking. *J Sci Food Agri*, 93(4): 924-932.
- Elgün, A., Ertugay, Z. (2002). *Tabak işleme teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Yayınları*, Erzurum, 411 s.
- Ercan, R., Özkaya, H. (1985). Ekmeğin Bayatlaması. *Gıda*, 10(6): 335-340.
- Fadda, C., Sanguinetti, A. M., Del Caro, A., Collar, C., Piga, A. (2014). Bread staling: Updating the view. *Comp Rev Food Sci Food Safety*, 13(4): 473-492.
- Gambaro, A., Varela, P., Gimenez, A., Aldrovandi, A., Fiszman, S. M., Hough, G. (2002). Textural quality of white pan bread by sensory and instrumental measurements. *J Texture Studies*, 33(5): 401-413.
- Guo, P., Yu, J. L., Wang, S. J., Wang, S., Copeland, L. (2018). Effects of particle size and water content during cooking on the physicochemical properties and in vitro starch digestibility of milled durum wheat grains. *Food Hydrocoll*, 77: 445-453.
- Hera, E. d. l., Martinez, M., Gómez, M. (2013). Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread. *LWT - Food Sci Tech*, 54(1): 199-206.
- Ho, L. H., Aziz, N. A. A., Azahari, B. (2013). Physico-chemical characteristics and sensory evaluation of wheat bread partially substituted with banana (*Musa acuminata* X *balbisiana* cv. *Awak*) pseudo-stem flour. *Food Chem*, 139(1-4): 532-539.
- Leon, A. E., Barrera, G. N., Perez, G. T., Ribotta, P. D., Rosell, C. M. (2006). Effect of damaged starch levels on flour-thermal behaviour and bread staling. *Eur Food Res Tech*, 224(2):187-192.
- Limanond, B., Castell-Perez, M. E., Moreira, R. G. (2002). Modeling the kinetics of corn tortilla staling using stress relaxation data. *J Food Eng*, 53(3):237-247.
- Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M. D., Prieto, D. M. (2010). Influence of the particle size on the rheological behaviour of chestnut flour doughs. *J Food Eng*, 100(2): 270-277.
- Noort, M. W. J., van Haaster, D., Hemery, Y., Schols, H. A., Hamer, R. J. (2010). The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality – Evidence for fibre–protein interactions. *J Cereal Sci*, 52(1): 59-64.
- Protonotariou, S., Mandala, I., Rosell, C. M. (2015). Jet milling effect on functionality, quality and in vitro digestibility of whole wheat flour and bread. *Food Bioprocess Tech*, 8(6): 1319-1329.
- Russell, P. L. (1983). A kinetic-study of bread staling by differential scanning calorimetry and compressibility measurements - the effect of different grists. *J Cereal Sci*, 1(4): 285-296.
- Smith, P. R., Johansson, J. (2004). Influences of the proportion of solid fat in a shortening on loaf volume and staling of bread. *J Food Process Preserv*, 28(5): 359-367.
- Vouris, D. G., Lazaridou, A., Mandala, I. G., Biliaderis, C. G. (2018). Wheat bread quality attributes using jet milling flour fractions. *LWT-Food Sci Tech*, 92: 540-547.