



Otoklavlama-Retrogradasyon yöntemi uygulanarak pirinç nişastasından elde edilen enzime dirençli nişastanın ekmek hamuru reolojisi ve ekmeğin bazı kimyasal özellikleri üzerine etkisi

Effects of enzyme-resistant starch obtained from rice starch by autoclaving-retrogradation method on the rheology of bread dough and some chemical properties of bread

Ayşe DEMİREKİN^{1*}, Hülya GÜL²

^{1,2}Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
d.aysse32@gmail.com, hulyagul@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 11.06.2020
Kabul Tarihi/Accepted: 16.10.2020

Düzeltilme Tarihi/Revision: 29.09.2020

doi: 10.5505/pajes.2020.25738
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışma ile son yıllarda popülaritesi hızla artan ürünlerden olan enzime dirençli nişastanın (EDN) otoklavlama-retrogradasyon (OR) yöntemi ile eldesi ve ekmek hamurunun reolojik özellikleri ile ekmeğin bazı kimyasal özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Başlangıçta bileşiminde EDN bulunmayan saf pirinç nişastasına OR yöntemi uygulandığında içeriğinde %0.57 oranında EDN oluşmuştur. OR uygulanmış EDN (ORN)'nin nem, kül ve toplam nişasta içeriği sırasıyla %8.74, %0.50, %70.82 olarak bulunmuştur. Elde edilen ORN, ekmeklik buğday unu ile yer değiştirme prensibine göre %0, %2, %4 ve %6 oranlarında buğday ununa ilave edilmiştir. Amilograf, Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik testi ve Chen-Hoseney hamur yapışkanlık testleri (CHT) ile farklı oranlarda ORN eklenerek oluşturulan ekmek hamurunun reolojik özellikleri ölçülmüştür. Jelatinizasyonun maksimum noktasındaki viskozite %6 ilave oranında en düşük değeri (782 B.U.) alırken %2 ilave oranında maksimum kuvvet (Rmax) en yüksek değeri (65.96 g) almıştır. Uzayabilirlik yeteneği %2 ilave oranında kontrol örneğine benzer değerde iken %4 ve %6 oranlarında artmıştır. Yapışkanlık, adezyon kuvveti ve hamur gücü parametreleri üzerine %2 oranında eklenen dirençli nişastanın etkisi olmazken eklenme oranı %4 ve %6'ya çıkarıldığında değerler yükselmiştir. %0, %2, %4 ve %6 oranlarında ORN eklenerek üretilen ekmeklerin dirençli nişasta miktarı ilave oranıyla orantılı olarak artmıştır. Sonuç olarak OR yöntemi ile pirinç nişastasından EDN elde edilebileceği ve %2 oranında ekmek hamuruna eklenen bu ORN'nin reolojik özellikler bakımından kontrol örneğe yakın değerler içerdiği, ancak ekmekte önemli düzeyde diyet lif artışı sağlanabilmesi için ORN'nin en az %6 oranında ilave edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen EDN fırıncılık ürünlerinin fonksiyonel özelliklerini geliştirmede değerli bir bileşen olarak kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Pirinç nişastası, Dirençli nişasta, Otoklavlama-Retrogradasyon, Ekmek hamuru.

Abstract

This study was aimed to investigate the effects of enzyme resistant starch (ERS) which is rapidly growing product in recent years obtained by autoclaving-retrogradation (AR) method, on the rheological properties of bread dough and some chemical properties of bread. In pure rice starch (PRS), while there was not ERS found at the beginning, 0.57% ERS was occurred after AR application. moisture, ash and total starch content of AR applied ERS (A-ERS) were found as 8.74%, 0.50%, 70.82% respectively. A-ERS was added in to wheat flour at 0%, 2%, 4% and 6% levels replacement with wheat flour. Effects of A-ERS on dough rheological properties was evaluated by using amylograph, Kieffer dough and gluten extensibility rig (KER) and Chen-Hoseney Dough Stickiness Rig tests (CHT). The lowest amylograph peak viscosity (782 B.U.) was observed when A-ERS was added at 6% concentration and the maximum force (Rmax) measured with KER was shown the highest value as 65.96 g by the addition of 2% A-ERS. The extensibility increased with the addition of 4% and 6% A-ERS while at 2% addition level it was given the similar values with control sample. CHT tests showed that inclusion of 2% A-ERS didn't cause any significant change on the stickiness, work of adhesion and dough strength but significant increase on these parameters were observed as the level of A-ERS increased from 2 to 4 and 6% respectively. The amount of resistant starch present in the chemical composition of the bread increased proportionally with the addition rate of A-ERS. As a result; RS was occurred with AR application, substitution at 2% of A-ERS gave rheological values at least as good as the control sample. However, in order to achieve significant dietary fiber increase in bread, it was concluded that A-ERS should be added at least 6% level. Thus it can be suggested that A-ERS can be used as a valuable ingredient to enhance the functional properties of bakery products.

Keywords: Rice starch, Resistant starch, Autoclaving-Retrogradation, Bread dough.

1 Giriş

Dünya üzerinde beslenme alışkanlıkları toplumdan topluma değişiklik göstermesine rağmen tahıl ürünleri beslenme piramidinin ilk basamağını oluşturmaktadır. Tahıllar, karbonhidrat kaynaklı temel enerji sağlayıcı olmasının yanı sıra yüksek miktarda protein içerirler [1]. Hububatların temel bileşeni olan nişasta, makromoleküler düzeyde ve yarı kristal

formda olup soğuk suda çözünmeyen ancak suya bağlanabilen hidroksil grupları içeren karbonhidrat çeşididir [2].

Nişasta granüllerinin sindirim oranı granülün boyutu, yapısı ve yüzeyine, nişasta bileşimine, kristal polimorfun tipine göre değişmektedir [3]. Nişasta sindirim oranı ve hızına göre YSN (yavaş sindirilen nişasta), HSN (hızlı sindirilen nişasta) ve DN (dirençli nişasta) olmak üzere 3 ayrı grupta incelenir [4]. Nişastanın bu üç fraksiyonunun ölçümü enzimatik hidroliz

*Yazışılan yazar/Corresponding author

esnasında yapılır. İşlenmiş gıdaların birçoğunda YSN ve DN bir arada bulunur ve miktarları HSN miktarı ile ters orantılı olarak değişir [5]. Dirençli nişasta ince bağırsak boyunca α -amilaz enzimlerinden etkilenmeyerek sindirilmeden kalın bağırsağa gelen ve burada fermente edilebilen nişasta çeşididir. Bu sayede hipoglisemik indeks metabolizması kontrolünde, kolon kanseri, ülser gibi sindirim sistemi hastalıklarının önüne geçilmesinde ve tedavi edilmesinde, diyabet ve kontrolsüz ağırlık artışı gibi problemlerin engellenmesinde pozitif etkileri vardır. Potansiyel prebiyotik olarak gösterilen DN'nin azalan sindirimi; nişastanın botanik kökeni, fizyolojisi, gıdanın yapısı ve proses özelliklerine göre değişiklik gösterir [6]-[8].

Isıtma ve soğutma döngüsüne dayanan ısı-nem uygulamaları, ekstrüzyon, tavlama, gibi işlemlerin yanında ultrases, ısınlama ve asit ilavesi gibi uygulamaların ayrıca depolama koşullarının, tahıl nişastalarının kompleks yapılarını değiştirerek sindirilebilirliğini düzenlemede, dirençli nişasta haline getirilmesinde etkili olduğu gözlemlenmiştir [9]-[12].

Hamur esas olarak nişasta, su ve glutenden oluşan viskoelastik biyomer bir yapı olup kompleks katı benzeri bir matrikstir. Un ve unlu mamullerin ara ürünü olup karıştırma ve gelişme sürecindeki reolojik ve jelleşme davranışı, işlenebilirliğini, nihai ürünün tekstürel özelliklerini ve kalitesini etkilediği için ekmeğe üretiminde önemli bir yere sahiptir [13]-[16]. Ekmeğe hamurunun reolojik özellikleri fırıncı için mekanik işleme sırasında hamurun davranışını belirlemek ve oluşma-pişme aşamasında gözenek büyümesini ve stabiliteyi ayarlamak bakımından önemlidir [17].

Ekmeğe günlük beslenme programında protein ve kalori ihtiyacını karşılayan karbonhidratça zengin temel besin kaynaklarından biridir. Son zamanlarda tüketici ihtiyaçlarına uyumlu üretim faaliyetlerine geçiş doğrultusunda fırıncılık ürünlerine katkı maddeleri eklemek yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Amaç hamurun reolojik özelliklerini iyileştirmek, taze ekmeğin kalitesini artırmak, raf ömrünü uzatmak ve sağlığa faydalı hale getirmektir [18].

Bu çalışmanın ilk aşamasında pirinç nişastası otoklavlama-retrogradasyon işlemi (OR) ile modifiye edilerek içeriğinde dirençli nişasta oluşumu hedeflenmiştir. Sonraki aşamada ise elde edilen dirençli nişastalar belli oranlarda ekmeğe buğday ununa eklenerek hamurda amilograf analizi, yapışkanlık ve Kieffer-gluten uzayabilirlik testleri yapılmıştır. Söz konusu testler ile saf pirinç nişastasından OR uygulaması ile elde edilen dirençli nişastanın ekmeğe hamurunun reolojik özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi, dolayısıyla sağlık için yararlı, diyet lif açısından zenginleştirilmiş ekmeğe üretimi için en uygun formülasyonun oluşturulması amaçlanmıştır. Son aşamada ise tüketicinin özel diyet gereksinimlerine cevap veren formülasyondaki ekmeğelerde meydana gelen kimyasal değişimler değerlendirilmiştir.

2 Materyal ve metod

2.1 Materyal

Materyal olarak; saf pirinç nişastası (Kimbiotek, İstanbul), katkısız ekmeğe buğday unu (Hediye Un Fabrikası, Isparta), TS 933 yemeklik tuz standardına uygun tuz ve TS 266 içme suyu standartına uygun içme suyu kullanılmıştır. Yeni öğütülmüş un yaklaşık 3 hafta oda sıcaklığında olgunlaştırıldıktan sonra kullanılmıştır.

2.2 Metod

2.2.1 Otoklavlama-retrogradasyon yöntemi

Saf pirinç nişastasından (SPN) dirençli nişasta elde edilmesinde otoklavlama-retrogradasyon ikili uygulaması ile dirençli nişasta (ORN) elde edilmiştir. Dirençli nişasta elde edilmesinde Dündar ve Göçmen [19] tarafından belirtilen yöntem bazı modifikasyonlar yapılarak uygulanmıştır. Dirençli nişasta elde etmek amacıyla; 20 g pirinç nişastası 80 ml içme suyu ile karıştırılıp (nişasta: su, 1:4) 121 °C'de otoklav çıkış süresi dahil olmak üzere 30 dk. basınç altında otoklavda (Nastechnic ERT-60) pişirilmiştir. Otoklavlanan nişasta oda sıcaklığında soğutulduktan sonra 4 °C'de 24 sa. bekletilmiştir. Daha sonra oluşan jel 1:2 oranında içme suyu ile karıştırılıp otoklavlama-soğutma döngüsü bir kez daha tekrar edilmiştir. Bu döngü tamamlandıktan sonra su-nişasta karışımı 45°C'lik etüvde kurutulmuştur. Kurutulduktan sonra labotaruvar tipi kesmeli öğütücüde (Retsch SM 300, Haan, Almanya) partikül boyutu 125-200 μ m aralığında olacak şekilde öğütülmüş ve denemelerde kullanılmak üzere buzdolabı koşullarında (5-10 gün) muhafaza edilmiştir.

2.2.2 Pirinç nişastası örneklerinin kimyasal bileşiminin belirlenmesi

SPN ve ORN örneklerinde nem (Metot 44-01.01; AACC, 2001), kül (Metot 08-01.01;AACC, 2001), toplam nişasta ve dirençli nişasta (Metot 32-40.01;AACC, 2001) analizleri yapılmıştır.

2.2.3 Reolojik analizler

Ekmeğe hamurunun reolojik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla; otoklavlama-retrogradasyon yöntemi ile elde edilen dirençli nişasta örneği katkısız ekmeğe buğday ununa, un ile yer değiştirme prensibine göre %0, 2, 4 ve 6 olmak üzere dört farklı oranda ilave edilerek hazırlanan hamurlarda aşağıda ayrı başlıklar halinde verilen reolojik analizler gerçekleştirilmiştir.

2.2.3.1 SMS/Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik testi

Buğday unu ve dirençli pirinç nişastası karışımları ile hazırlanan hamurların tekstür analiz cihazında (TAXT Plus, Stable Micro Systems Ltd. Godalming, Surrey, İngiltere) SMS/Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik probu (SMS/Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig) kullanılarak (ön test hızı 2.0 mm/s, test hızı 3.3 mm/s, son test hızı 10.00 mm/s, aralık 75 mm, 5 kg'lık yük hücresi) hamurun uzamaya karşı gösterdiği direnç (Rmax), uzayabilirlik (Ext) ve kurve altındaki alan (A) değerleri ölçülmüştür [20].

2.2.3.2 Amilograf analizi

Ekmeğe buğday unu (kontrol) ve buğday ununa farklı oranlarda (%2, 4 ve 6) ORN ilave edilerek hazırlanan karışımların amilograf analizi amilograf cihazı (Brabender Amylograf, Kansas, ABD) ile AACC 22-10.01 Metodu'na göre test edilmiştir. Amilograf analizi ile örneklerin jelatinizasyona başlama sıcaklığı (°C), jelatinizasyon sıcaklığı (°C) ve maksimum jelatinizasyon derecesi (B.U.) gibi özellikleri belirlenmiş ve birbiriyle karşılaştırılmıştır.

2.2.3.3 Hamur yapışkanlık testi

Buğday unu ve dirençli pirinç nişastası karışımları ile hazırlanan hamurların tekstür analiz cihazında (TAXT Plus, Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, İngiltere) yapışkanlık probu (Chen-Hoseney Dough Stickiness Rig (A/DSC) kullanılarak (ön test hızı 0.5 mm/sn, test hızı

0.5 mm/s, son test hızı 10.00 mm/s, aralık 4 mm, kuvvet 40 g, 5 kg'lık yük hücresi) yapışkanlık (g), adezyon (g.s) ve hamur gücü (mm) değerleri belirlenmiştir [21].

2.2.4 Ekmek yapma yöntemi

Ekmek yapma işlemi otomatik ekmek yapma makinasında (Beko BKK-2500 Ekmaker, İstanbul), standart program ve orta pişirme ayarları (3 sa.) seçilerek yapılmıştır. Kontrol ekmeği için 300 g ekmeklik katkısız buğday unu, dirençli nişasta katkılı ekmekler için un ile ikame olarak %2, 4 ve 6 oranlarında DN ilave edilerek hazırlanmış un karışımları kullanılmıştır. Ekmek yapma makinasının haznesine un ve/veya un-dirençli nişasta karışımları, un esasına göre %4 maya (Marmara maya, TS 3522, TSE, 1992-pres yaş maya standardına uygun), %1.5 tuz ve farinografa belirlenen oranda içme suyu eklenip sırasıyla karıştırma, fermantasyon gibi ön işlemlerden geçtikten sonra pişirme işlemiyle ekmek hazırlanmıştır. Ekmek üretimi sonrasında ekmekler hazneden çıkarılmış oda sıcaklığına gelene kadar soğutulduktan sonra analiz yapılıncaya kadar polietilen ambalajlarda muhafaza edilmişlerdir.

2.2.4.1 Ekmek örneklerinde yapılan kimyasal analizler

Kontrol ekmeğinde ve ORN eklenmiş ekmek örneklerinde; nem (AACC Metot 44-01.01), kül (AACC Metot 08-01.01), protein (AOAC Metot 920.87) ve toplam diyet lif (AACC Metot 32-07.01) analizleri yapılmıştır.

2.2.5 İstatiksel analizler

Dirençli nişasta ve üretilen ekmek örneklerinin ölçülen tüm özelliklerine ilişkin olarak elde edilen verilerin (tüm analizler 3 tekrerrür olarak yapılmıştır) varyans analizleri Duncan testine göre yapılmıştır. Analizler için SPSS (16.0 Ver.) istatistik paket programından faydalanılmıştır.

3 Araştırma bulguları ve tartışma

3.1 SPN ve ORN örneklerinin kimyasal bileşimi

SPN (kontrol) ve ORN örneklerinin kimyasal bileşimine dair bazı özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

SPN'ye uygulanan yöntemin örneğin nem miktarını artırdığı (%8.74) görülmüştür. Kül değerleri bakımından karşılaştırıldığında ise kontrol örneğinin kül değeri ile ORN örneğinin kül değerleri arasında önemli bir fark görülmemiştir. Ashogbon ve diğ. [22] yaptıkları bir çalışma ile karşılaştırıldığında; SPN nem miktarının araştırmacıların sonuçlarına göre (%10.40-12.77) daha düşük (%6.71), kül miktarının (%0.20-0.24) ise daha yüksek değer (%0.46) aldığı görülmüştür. Bu durum kullanılan ham maddenin farklı olmasından kaynaklanan ve beklenen bir sonuçtur.

Tablo 1. SPN ve ORN örneklerinin kimyasal bileşim değerleri.

Table 1. Chemical composition values of PRS and A-ERS samples.

Analizler	Nişasta Örnekleri	
	SPN	ORN
Nem (%)	6.71 ^b ±0.15	8.74 ^a ±0.77
Kül (%)	0.46 ^a ±0.02	0.50 ^a ±0.05
Toplam Nişasta (%)	75.49 ^a ±0.01	70.82 ^b ±0.06
Dirençli Nişasta (%)	0 ^b	0.57 ^a ±0.01

SPN: Saf pirinç nişastası. ORN: Otoklavlama-retrogradasyon ikili uygulaması ile elde edilen dirençli nişasta.

SPN ve ORN örneklerinin toplam nişasta içerikleri sırasıyla %75.49 ve %70.82 olarak belirlenmiştir. Pirinç tanesi içeriğinde otoklavlama-soğutma işleminden sonra meydana gelen değişimlerin incelendiği bir çalışmada; işlem süresinin artması ile birlikte toplam nişasta oranının düştüğü belirtilmiştir

[23]. SPN örneğinde başlangıçta dirençli nişasta bulunmazken, ORN sonucunda %0.57 oranında dirençli nişasta oluştuğu görülmüştür. Bu sonuç pirinç nişastasından dirençli nişasta elde edilmesi için otoklavlama-retrogradasyon işleminin kullanılabilirliğini göstermiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgular; düşük miktarda dirençli nişastaya sahip buğday ve mısır nişastalarının otoklavlama-soğutma döngüsüyle dirençli nişasta miktarının arttığını bildiren Xue ve diğ. [24] tarafından yapılan bir çalışma ile paralellik göstermektedir.

3.2 Hamur örneklerinde yapılan reolojik analiz sonuçları

3.2.1 SMS/Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik değerleri

Dirençli nişasta eklenen hamurların reolojik özelliklerinden olan uzamaya karşı gösterdikleri maksimum direnç (Rmax, g), uzayabilirlik (Ext, mm) ve pozitif alan değerleri (A, g.s) Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Otoklavlama-retrogradasyon ikili uygulaması ile elde edilen dirençli nişastanın Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik özellikleri üzerine etkisi.

Table 2. Effect of resistant starch obtained by autoclaving-retrogradation method on Kieffer dough and gluten extensibility properties.

Örnek Çeşidi	İlave Oranı (%)	Rmax ¹ (g)	Ext (mm)	A (g.s)
Kontrol	0	53.90 ^b ±2.23	19.30 ^c ±0.97	418.50 ^c ±4.14
ORN	2	65.96 ^a ±3.14	20.34 ^{bc} ±0.87	438.03 ^{bc} ±5.17
	4	46.80 ^c ±3.11	28.37 ^a ±1.47	589.68 ^a ±7.14
	6	46.20 ^c ±2.87	21.43 ^b ±1.14	455.59 ^b ±4.78

Rmax: Uzamaya karşı gösterilen maksimum direnç. Ext: uzayabilirlik. A: kurve altındaki alan. ORN: Otoklavlama-retrogradasyon ikili uygulaması ile elde edilen dirençli nişasta. ¹: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki farklar 0.01 güven sınırına göre önemsizdir.

%2 ORN ilavesi, katkısız una göre hamurda Rmax değerini önemli ölçüde artırırken (sırasıyla 65.96 g ve 53.9 g, p<0.01), diğer ilave oranlarında düşüş gözlenmiştir. ORN ilavesinin Ext ve A parametrelerine etkisi incelendiğinde; kontrol hamuruna göre en fazla artışın %4 ORN ilavesinde olduğu görülmüştür (p<0.01). Ext ve A değerleri kontrol örneğinde 19.3 mm ve 418.5 g.s iken %2, 4 ve 6 oranlarında ORN eklendiğinde sırasıyla 20.34, 28.37 ve 21.43 mm ve 438.03, 589.68 ve 455.59 g.s olarak saptanmıştır.

Üretimde arzu edilen optimum Ext değerleri ürüne göre farklılık gösterir. Ekmek yapımında, son fermantasyon boyunca ve pişmenin ilk devrelerinde oluşan gaz hücrelerinin hamur ağırlığı altında çökmemesi için Rmax ve Ext değerlerinin yüksek olması gerekmektedir [25]. Rmax, Ext ve A değerlerinin artışı göz önüne alındığında %2 ORN ilavesinin ekmek yapımında kontrol örneğine göre daha olumlu sonuç vereceği söylenebilir.

3.2.2 Amilograf değerleri

Farklı oranlarda ORN ilave edilerek hazırlanan hamur örneklerinde yapılan amilograf analizi sonucunda elde edilen bulgular Tablo 3'te verilmiştir. Dirençli nişasta ilave edilmeyen sadece ekmeklik buğday örneği ile hazırlanan hamur örnekleri kontrol örneği olarak adlandırılmıştır.

Amilograf analiz sonuçları onların alfa-amilaz aktiviteleri ve ilk fırın fazında hamurun davranışı hakkında bilgi vermektedir. PİK viskozitesi nişasta granüllerinin fiziksel parçalanma öncesi serbestçe şişme yeteneğini göstermektedir. PİK viskozitesi

yüksek olan unlar çok düşük alfa amilaz aktivitesine sahip olup bu undan elde edilen ekmeğin parçalanma eğilimine, kuru ekmeğin kalitesine ve kısa raf ömrüne sahiptir. Yüksek viskoziteye sahip ürün eldesi yüksek şişme gücüne sahip nişastadan sağlanır. Ekmeğin yapım kalitesi iyi olan buğday unu 300-700 B.U. aralığında jelatinizasyon maksimum viskozitesine sahip olmalıdır [26]-[27].

Tablo 3. Otoklavlama-retrogradasyon ikili uygulaması ile elde edilen dirençli nişastanın ekmeğin hamurunun amilograf özellikleri üzerine etkisi.

Table 3. Effect of resistant starch obtained by autoclaving-retrogradation method on amylograph properties of bread dough.

Örnek Çeşidi	İlave Oranı (%)	Jelatinizasyon başlangıç sıcaklığı ¹ (°C)	Jelatinizasyon pik sıcaklığı (°C)	Jelatinizasyonun maksimum noktasındaki viskozite (B.U.)
Kontrol	0	60.5 ^c ±0.1	87.1 ^c ±0.2	865 ^b ±10
ORN	2	66.8 ^a ±0.3	88.0 ^b ±0.2	877 ^a ±11
	4	64.1 ^b ±0.1	88.1 ^b ±0.1	860 ^b ±7
	6	64.5 ^b ±0.2	88.4 ^a ±0.2	782 ^c ±10

ORN: Otoklavlama- retrogradasyon ikili uygulaması ile elde edilen dirençli nişasta.
¹: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki farklar 0.01 güven sınırına göre önemsizdir.

Jelatinizasyonun maksimum noktasındaki viskozite için amilogramdan elde edilen tüm verilerde örnekler arasındaki farklılık önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. ORN'nin eklendiği hamurlarla kontrol örneği ile karşılaştırıldığında tüm ilave oranlarında jelatinizasyon başlangıç sıcaklığının arttığı görülmüştür. Ancak kontrol örneğe göre (60.5 °C) en fazla artış 66.8 °C ile %2 ilave oranında meydana gelmiştir. Tüm ilave oranları jelatinizasyon pik sıcaklığını yükseltmiş ve ilave oranı arttıkça bu değer sınırlı düzeyde de olsa bir artış sergilemiştir. Jelatinizasyonun maksimum noktasındaki viskozite kontrol örneğinde 865 B.U. iken, %2 ilave oranında artarak 877 B.U'ne yükselmiş %4 ORN eklendiğinde neredeyse hiç değişmemiş ancak %6 ilave oranında 782 B.U. olarak tüm örneklerdeki en düşük değeri almıştır.

Hassan ve diğ.'nin [28], %5 mercimek unu ilave edilmiş buğday ununa tapiyoka, pirinç, buğday, sorgum ve darı nişastası çeşitlerini farklı oranlarda ekleyerek hamurun reolojik özelliklerini inceledikleri bir çalışmada; kontrol örneğe ait amilograf değerleri jelatinizasyona başlama sıcaklığı 63.9 °C iken %5-10-15 oranlarında pirinç nişastası eklenmesiyle sırasıyla 64.3 °C, 64.5 °C, 64.0 °C, jelatinizasyon pik sıcaklığını ise 91.3 °C iken sırasıyla 90.6 °C, 91.3 °C, 91.1 °C olarak bildirilmiştir.

Kontrol örneğe ait değerler, ekmeğin hamuru reolojisi ile ilgili yapılan bir çalışmadaki son üründe somun hacmi parametresinde en yüksek değeri alan buğday ununa ait amilogram testi sonuçları ile (jelatinizasyona başlama sıcaklığı 60.95 °C, jelatinizasyon pik sıcaklığı 87.1 °C ve maksimum noktadaki viskozite 937.5 B.U.) benzerlik göstermektedir [29]. Ekmeğin hamuruna %0'dan %6'ya kadar artan oranda dirençli nişasta eklenmesi, nişasta granüllerinin şişmeye ve parçalanmaya karşı dayanıklılığını artırarak jelatinizasyon başlama sıcaklığını ve jelatinizasyon pik sıcaklığını yükseltmiştir. Hamur, nem içeriği yüksek dirençli nişasta eklenmesi sonucu daha fazla hidratlanır. Bu olay nişastanın jelatinleşmesini kolaylaştırır ve nişasta granüllerinin şişme derecesini arttırarak maksimum noktadaki viskoziteyi yükseltir.

%2 ve %4 ORN ilavesinin jelatinizasyon başlama sıcaklığını yükseltmesine rağmen maksimum noktadaki viskozite değerlerini çok fazla değişime uğratmaması ekmeğin formülasyonuna eklenebileceğini göstermiştir.

3.2.3 Hamur yapışkanlık değerleri

Yapışkanlık gıdanın ekipman yüzeyi, dil, diş, damak, parmak gibi yüzeylere bıraktığı etki olarak tanımlanır. İşleme ve ekmeğin kalitesi üzerine olumsuz etkileri olan yapışkanlık, hamur kuvvetinde, ekmeğin hacminde ve hamur karışma toleransında azalmaya sebep olur [30]. Adezyon kuvveti hamurun elastik veya viskoz yapıda olup yüzeyden ayrılması ile ilgilidir [31].

Dirençli nişasta eklenen hamurların hamur yapışkanlık (g), adezyon kuvveti (g.s) ve hamur gücü (mm) değerleri Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4. Dirençli nişastanın ekmeğin hamurunun yapışkanlık, adezyon ve gücü üzerine etkisi.

Table 4. Effect of resistant starch on stickiness, adhesion and strength of bread dough.

Örnek Çeşidi	İlave Oranı ¹ (%)	Yapışkanlık (g)	Adezyon (g.sn)	Hamur Gücü (mm)
Kontrol	0	6.97 ^c ±0.7	0.22 ^c ±0.02	0.52 ^c ±0.02
ORN	2	6.70 ^c ±0.5	0.20 ^c ±0.02	0.47 ^c ±0.01
	4	27.36 ^b ±3.2	2.14 ^b ±0.03	1.67 ^b ±0.03
	6	30.97 ^a ±4.1	3.45 ^a ±0.05	2.36 ^a ±0.06

ORN: Otoklavlama- retrogradasyon ikili uygulaması ile elde edilen dirençli nişasta. ¹: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki farklar 0.01 güven sınırına göre önemsizdir.

%2 ORN ilavesinin hamurun yapışkanlığı, adezyon ve hamur gücü üzerine etkisi olmazken, diğer ilave oranlarının bu parametreleri önemli oranda fazlalattığı gözlenmiştir ve ilave miktarıyla orantılı bir artış söz konusudur. Yapışkanlığın %4 ORN ilavesinde 27.36 g ve %6 ORN ilavesinde 30.97 g değerlerini alması ilave edilen nişasta miktarı arttıkça absorplanan su miktarının da artmasıyla ilişkilendirilebilir.

Tablo 4'te adezyon kuvvetinin ve hamur gücünün hamur yapışkanlığı arttıkça fazlalattığı görülmektedir. %4-6 ORN ilave miktarında hamura daha fazla kuvvet uygulanacağı ve bunun enerji kaybı olacağı göz önüne alınarak ve aynı zamanda %2 ORN ilavesinin hamurun yapısını bozmadan kontrol örneğe en yakın değere sahip olduğu düşünüldüğünde ekmeğe ilave edilebilecek dirençli nişasta oranı olduğu söylenebilir.

Mercimek ve keçiyoynuzu unuyla diyet lif bakımından zenginleştirilen beyaz ekmeğin fonksiyonel, besinsel ve teknolojik özelliklerinin incelendiği bir çalışmada; rafine keçiyoynuzu eklenen hamurda yapışkanlığın %10 arttığı belirlenmiştir [32].

3.3 Ekmeğin örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları

Kontrol ekmeği ve %2, 4 ve 6 oranlarında ORN eklenmiş ekmeğin örneklerine ait kimyasal analiz değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Ekmeğin nem değerlerinde, kontrol ekmeğine (%19.5) göre ORN ilave oranındaki artışla orantılı artma söz konusudur. Kontrol ekmeğe ait kül değeri %0.82 iken, ilave miktarıyla orantılı olacak şekilde ORN'li ekmeğin %1.30-1.70-1.90 değerini almıştır. Diyet lif miktarı ise ORN ilavesi ile birlikte yükselmiştir. En yüksek diyet lif değeri %6 oranında ORN ilave edilen ekmeğin %4.12 olarak belirlenmiştir. Kontrol ekmeğinde %8.4 olan protein değeri, ORN eklenen ekmeğin sırasıyla %8.7-7.65-7.65 değerini almıştır.

Tablo 5. Kontrol ve ORN ilaveli ekmeğin kimyasal analiz değerleri.

Table 5. Chemical analysis values of control and A-ERS added bread samples.

Örnek Çeşidi	İlave Oranı (%)	Nem ¹ (%)	Kül (%)	Diyet Lif (%)	Protein (%)
Kontrol	0	19.5 ^b ±1.1	0.82 ^c ±0.05	3.79 ^b ±0.6	8.4 ^a ±0.07
	2	20.27 ^{bc} ±1.2	1.30 ^b ±0.07	3.89 ^b ±0.8	8.7 ^a ±0.06
ORN	4	21.05 ^{bc} ±0.9	1.70 ^a ±1.1	3.95 ^{ab} ±0.5	7.65 ^b ±0.04
	6	22.16 ^c ±1.3	1.90 ^a ±1.3	4.12 ^a ±0.7	7.65 ^b ±0.09

ORN: Otoklavlama- retrogradasyon ikili uygulaması ile elde edilen dirençli nişasta.
¹: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki farklar 0.01 güven sınırına göre önemsizdir.

Rosell ve Santos [33], liflerin ekmeğin fiziksel karakteristiğine etkisini inceledikleri bir çalışmada; kontrol ekmeğin nem içeriği %28.4 iken, formülasyonuna %10 dirençli nişasta eklenmesiyle artarak %32.5'e çıktığı belirlenmiştir.

Pirinç nişastasının kimyasal bileşimini yağlar, proteinler, mineraller ve nem oluşturmaktadır [34]. Kül miktarının dirençli nişasta miktarıyla artması pirinç nişastasından gelen mineral maddenin fazlaşmasıyla ilişkilendirilebilir. Başka bir çalışmada ise glutensiz ekmeğin formülasyonuna otoklavlama-retrogradasyon metodu uygulanarak oluşturulan dirençli nişastanın eklenmesiyle elde edilen ekmeğin meydana değişimler nem miktarında (%29.9'dan %30.5'e) ve toplam diyet lif miktarında (%3.4'ten %10.4'e) artış, protein miktarında (%4.3'ten %4.1'e) düşüş olarak bildirilmiştir [35].

4 Sonuçlar

Sonuç olarak bu çalışmada, pirinç nişastası otoklavlama-retrogradasyon işlemi ile modifiye edilerek dirençli nişasta üretimi başarı ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen dirençli nişastanın ekmeğin hamurunun reolojik özellikleri üzerine olumlu etkilerde bulunduğu saptanmıştır. ORN'nin farklı oranları hamurun reolojik özellikleri üzerine etkileri bakımından birbiri ile karşılaştırıldığında ise %2 ORN ilavesi ile kontrol hamurun reolojik özelliklerine yakın değerlere ulaşılmıştır. İlave miktarı arttıkça son üründe bulunan diyet lif miktarı artışı göz önüne alındığında %6 ORN eklenmesinin ekmeğin fonksiyonel özelliklerini geliştirerek son ürün eldesinde kullanılabilmesi kanaatine ulaşılmıştır.

5 Conclusions

As a result, in this study, rice starch was modified by autoclaving-retrogradation process and resistant starch production was successfully carried out. It has been determined that the resistant starch obtained has positive effects on the rheological properties of the bread dough. When the different ratios of A-ERS are compared with each other in terms of their effects on the rheological properties of the dough the values close to the rheological properties of the control dough have been reached with the addition of 2% A-ERS. Considering the increase in dietary fiber in the final product as the amount of supplement increases, it is concluded that adding 6% A-ERS can be used to obtain the final product by improving the functional properties of bread.

6 Teşekkür

Bu çalışma; Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi, tarafından FYL-2019-6938 No'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı

SDÜ Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Ayşe DEMİREKİN fikrin oluşması, analizlerin yapılması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, ve literatür taraması başlıklarında; Hülya GÜL kullanılan malzemelerin temin edilmesi, sonuçların incelenmesi ve yorumlanması, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

9 Kaynaklar

- [1] Bleakley S. *Cereal Proteins: Potential Health Applications and Allergenicities*. Editors: Hayes M. Novel Proteins for Food, Pharmaceuticals and Agriculture: Sources, Applications and Advances, 77-100, Hoboken, New Jersey, U.S, John Wiley Sons Ltd, 2018.
- [2] Balkan B. Katı Substrat Fermentasyonu ile Ham Nişastayı Parçalayan Yeni Bir Fungal Amilaz Üretimi Saflaştırılması ve Biyokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2008.
- [3] Zhu LJ, Liu QQ, Wilson JD, Gu MH, Shi YC. "Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content". *Carbohydrate Polymers*, 86(4), 1751-1759, 2011.
- [4] Dhital S, Warren FJ, Butterworth PJ, Ellis PR, Gidley MJ. "Mechanisms of starch digestion by α -amylase-structural basis for kinetic properties". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(5), 875-892, 2017.
- [5] Zhang G, Sofyan M, Hamaker BR. "Slowly digestible state of starch: Mechanism of slow digestion property of gelatinized maize starch". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), 4695-4702, 2008.
- [6] Raigond P, Ezekiel R, Raigond B. "Resistant starch in food: A review". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(10), 1968-1978, 2015.
- [7] Zaman SA, Sarbini SR. "The potential of resistant starch as a prebiotic". *Critical Reviews in Biotechnology*, 13(3), 1-7, 2015.
- [8] Demirekin A, Gül H. "Enzime dirençli nişasta ve sağlık üzerindeki etkileri". *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(2), 71-78, 2016.
- [9] Sievert D, Pomeranz Y. "Enzyme-resistant starch. I. Characterization and evaluation by enzymatic, thermo analytical and microscopic methods". *Cereal Chemistry*, 66(4), 342-347, 1989.
- [10] Parchure AA, Kulkarni PR. "Effect of food processing treatments on generation of resistant starch". *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 48(4), 257-260, 1997.
- [11] Perera A, Meda V, Tyler RT. "Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods". *Food Research International*, 43(8), 1959-1974, 2010.
- [12] Tan X, Li X, Chen L, Xie F, Li L, Huang J. "Effect of heat-moisture treatment on multi-scale structures and physicochemical properties of breadfruit starch". *Carbohydrate Polymers*, 161, 286-294, 2017.

- [13] Inagaki T, Seib PA. "Firming of bread crumb with cross-linked waxy barley starch substituted for wheat starch". *Cereal Chemistry*, 69(3), 321-325, 1992.
- [14] Armero E, Collar C. "Crumb firming kinetics of wheat breads with anti-staling additives". *Journal of Cereal Science*, 28(2), 165-174, 1998.
- [15] Collar C. "Significance of viscosity profile of pasted and gelled formulated wheat doughs on bread staling". *European Food Research and Technology*, 216(6), 505-513, 2003.
- [16] Dobraszczyk BJ, Morgenstern MP. "Rheology and the bread making process". *Journal of Cereal Science*, 38(3), 229-245, 2003.
- [17] Stojceska V, Butler F, Gallagher E, Keehan D. "A comparison of the ability of several small and large deformation rheological measurements of wheat dough to predict baking behaviour". *Journal of Food Engineering*, 83(4), 475-482, 2007.
- [18] Rosell CM, Rojas JA, Benedito de Barber C. "Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality". *Food Hydrocolloids*, 15(1), 75-81, 2001.
- [19] DüNDAR AN, GÖÇMEN D. "Effects of autoclaving temperature and storing time on resistant starch formation and its functional and physico chemical properties". *Carbohydrate Polymers*, 97(2), 764-771, 2013.
- [20] Kieffer R, Wieser H, Henderson MH, Graveland A. "Correlations of the bread-making performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale". *Journal of Cereal Science*, 27(1), 53-60, 1998.
- [21] Chen WZ, Hosney RC. "Development of an objective method for dough stickiness". *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 28(5), 467-473, 1995.
- [22] Ashogbon AO, Akintayo TE. "Isolation, composition, morphological and pasting properties of starches from rice cultivars grown in Nigeria". *Starch/Stärke*, 64, 181-187, 2012.
- [23] Arns B, Bartz J, Radunz M, Evangelho JA, Pinto VZ, Zavareze ER, Dias ARG. "Impact of heat-moisture treatment on rice starch, applied directly in grain paddy rice or in isolated starch". *LWT-Food Science and Technology*, 60(2), 708-713, 2015.
- [24] Xue Q, Newman RK, Newman CW. "Effects of heat treatment of barley starches on in vitro digestibility and glucose responses in rats". *Cereal Chemistry*, 73(5), 588-592, 1996.
- [25] Larroque O, Gianibelli MC, MacRitchie F. "Protein composition for pairs of wheat lines with contrasting dough extensibility". *Journal of Cereal Science*, 29(1999), 27-31, 1999.
- [26] Shuey WC, Tipples KH. *Amylograph Handbook*, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, USA. 1980.
- [27] Rojas JA, Rosell CM, Benedito de Barber C. "Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems". *Food Hydrocolloids*, 13(1), 27-33, 1999.
- [28] Hassan EG, Mustafa AMI, Elfaki AA. "Effect of different starches on dough rheological properties of wheat flour". *Journal of Agri-Food and Applied Sciences*, 3(4), 110-117, 2015.
- [29] Komlenić DK, Ugarčić-Hardi Ž, Jukić M, Planinić M, Bucić-Kojić A, Strelec I. "Wheat dough rheology and bread quality effected by *Lactobacillus brevis* preferment, dry sourdough and lactic acid addition". *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 1417-1425, 2010.
- [30] Adhikari B, Howes T, Bhandari BR, Truong V. "Stickiness in foods: a review of mechanisms and test methods". *International Journal of Food Properties*, 4(1), 1-33, 2001.
- [31] Grausgruber H, Hatzenbichler E, Ruckebauer P. "Analysis of repeated stickiness measures of wheat dough using a texture analyzer". *Journal of Texture Studies*, 34(1), 69-82, 2003.
- [32] Turfani V, Narducci V, Durazzo A, Galli V, Carcea M. "Technological, nutritional and functional properties of wheat bread enriched with lentil or carob flours". *LWT-Food Science and Technology*, 78, 361-366, 2017.
- [33] Rosell CM, Santos E. "Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread". *Journal of Food Engineering*, 98(2), 273-281, 2010.
- [34] Amagliani L, O'Regan J, Kelly AL, O'Mahony JA. "Chemistry, structure, functionally and applications of rice starch". *Journal of Cereal Science*, 70, 291-300, 2016.
- [35] Giuberti G, Fortunati P, Gallo A. "Can Different Types of Resistant Starch Influence the in Vitro Starch Digestion of Gluten Free Breads?". *Journal of Cereal Science*, 70, 253-255, 2016.