KSÜ Tarım ve Doğa Derg 28 (5), 1296-1307, 2025
KSU J. Agric Nat 28 (5), 1296-1307, 2025
DOI:10.18016/ksutarimdoga.vi.1677424

Buğday Çeşidi ve Çimlendirmenin Sıvı Hamur Fermantasyonuna Etkileri

Doğanay YÜKSEL[1] ✉, Sabahattin CÖMERTPAY[2], Ahmet Levent İNANÇ[3]
[1,3]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye [2]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Türkiye
[1]https://orcid.org/0000-0002-1926-5573, [2]https://orcid.org/0000-0003-4850-6927, [3]https://orcid.org/0000-0002-7363-5096
✉: dyuksel@ksu.edu.tr

ÖZET

Çimlendirilmiş iki farklı buğday çeşidine (ZDEB-103 ve B35K) ait unların sıvı hamur fermantasyonu üzerine etkilerini araştırmak için iki aşamalı işlem gerçekleştirilmiştir. İlk aşama, en iyi çimlendirme süresini belirleme aşamasıdır. Çimlendirilen (1-7 gün) buğdaylarda suda çözünür protein (SÇP), toplam serbest amino asit (TSAA) miktarları ve proteolitik aktivite düzeyleri belirlenmiştir. Çimlenme süresi arttıkça, ZDEB-103 çeşidinin TSAA ve SÇP miktarlarının da arttığı tespit edilmiştir. Çimlendirmenin 2. gününden itibaren tüm zaman noktalarında, B35K çeşidinin proteolitik aktivitesi ZDEB-103 çeşidine kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Bu aşamada her iki çeşit için de ideal çimlendirme süresi 4 gün olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada, çimlendirilmiş (4 gün) ve çimlendirilmemiş (kontrol) buğdaylarla hazırlanan unların kullanıldığı Tip II hamurlarda, 24 saat spontan ve kültür (*Lactobacillus paracasei*) fermantasyonu gerçekleştirilmiştir. Fermantasyon sürecinde pH, toplam titre edilebilir asitlik (TTA), SÇP, TSAA düzeyleri ve laktik asit bakterileri (LAB) gelişimi takip edilmiştir. Çimlendirme uygulaması hamurların TSAA ve SÇP düzeylerinde artış sağlamış, LAB gelişimini desteklemiş ve pH düşüşünü hızlandırarak TTA seviyesini yükseltmiştir. En düşük pH (3.36) ve en yüksek TTA (22.37 mL) değerleri çimlendirilmiş ZDEB-103 tam buğday unu ile hazırlanan kültür fermantasyonu örneklerinde elde edilmiştir. Bu bulgular, çimlendirilmiş buğday unlarından elde edilen Tip II hamurların kurutulmuş formlarının, tarhana ve ekşi maya ekmek gibi geleneksel fermente ürünlerin duyusal, besinsel ve biyoyarayışlılık özelliklerini iyileştirebileceğini göstermektedir.

Gıda Bilimi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi
Geliş Tarihi : 16.04.2025
Kabul Tarihi : 27.06.2025

Anahtar Kelimeler
[Çimlendirme
Tip II ekşi hamur
Laktik asit bakterisi
Biyoyarayışlılık
Proteolitik aktivite]

Effects of Wheat Cultivar and Germination on Liquid Dough Fermentation

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of flours obtained from two wheat cultivars (ZDEB-103 and B35K), subjected to a germination pre-treatment, on liquid sourdough fermentation. In the first stage, whole wheat flours prepared from wheat grains germinated for 1–7 days were analyzed for water-soluble protein (WSP), total free amino acid (TFAA) contents, and proteolytic activity. In ZDEB-103, TFAA and WSP levels increased more markedly with germination time, whereas B35K exhibited higher proteolytic activity throughout the germination period. At the end of the first stage, the optimal germination period was determined as 4 days. In the second stage, semi-liquid Type II sourdoughs were prepared using both germinated (4 days) and non-germinated (control) flours and subjected to 24-hour fermentation, either spontaneously or with *Lactobacillus paracasei* inoculation. During fermentation, pH, total titratable acidity (TTA), TFAA, WSP levels, and lactic acid bacteria (LAB) growth were monitored. Germination enhanced TFAA and WSP levels, supported LAB development, and accelerated pH decrease, TTA increase. The lowest pH (3.36) and highest TTA (22.37 mL) values were recorded in

Food Science

Research Article

Article History
Received : 16.04.2025
Accepted : 27.06.2025

Keywords
[Germination
Type-II sourdough
Lactic acid bacteria
Bioavailability
Proteolytic activity]

the inoculated sourdough sample prepared with germinated ZDEB-103 flour. Results indicate that, dried forms of Type II sourdoughs derived from germinated whole wheat flours may improve the sensory, nutritional and bioavailability characteristics of traditional fermented products such as tarhana and sourdough bread.

Atıf İçin : Yüksel, D., Cömertpay, S & İnanç, A.L (2025). Buğday Çeşidi ve Çimlendirmenin Sıvı Hamur Fermantasyonuna Etkileri. *KSÜ Tarım ve Doğa Derg 28* (5), 1296-1307. DOI: 10.18016/ksutarimdoga.vi.1677424.
To Cite: Yüksel, D., Cömertpay, S & İnanç, A.L (2025). Effects of Wheat Cultivar and Germination on Liquid Dough Fermentation. *KSU J. Agric Nat 28* (5), 1296-1307. DOI: 10.18016/ksutarimdoga.vi.1677424.

GİRİŞ

Ekşi hamur fermantasyonu, laktik asit bakterileri ve/veya mayalarla yürütülen, buğday ve diğer tahıl unlarının duyusal, besinsel ve teknolojik özelliklerini iyileştiren doğal ve güvenilir bir biyokimyasal dönüşüm prosesidir. Fermantasyon koşulları ve kullanım amaçlarına göre ekşi hamurlar Tip I, II ve III olarak sınıflandırılır (De Vuyst ve ark., 2017). Endüstriyel üretimde yaygın kullanılan Tip II sistemler, hamur verimi 200'ün üzerinde olan yarı sıvı yapılardır ve 30-37 °C'de uzun süreli fermantasyonla hazırlanır (Van Kerrebroeck ve ark., 2017). Bu sistemlerde, yüksek asidik ortama dayanıklı *Lactobacillus paracasei* gibi LAB suşları tercih edilir (Arendt ve ark., 2007).

Hamur fermantasyonu sırasında mikrobiyota ile tahıl enzimleri arasında dinamik bir etkileşim gerçekleşmektedir. Tahıl enzimleri, fermantasyon sürecinde bakteriyel büyüme için gerekli substratları sağlayarak biyokimyasal dönüşümlere katkıda bulunur (Gänzle, 2013). Buna karşılık, gelişen asidifikasyon un kaynaklı proteazların optimum aktivite göstermesine olanak tanır ve enzimlerin fermantasyon süresi boyunca aktif kalmalarını sağlayarak un proteinlerinin sindirilebilirliğini iyileştirir (Loponen ve ark., 2007). Aynı zamanda, tahıl fermantasyonu sırasında gerçekleşen biyokimyasal dönüşümlerde, fitik asit gibi anti-besinsel bileşiklerin miktarı azalır, gama-aminobütirik asit, konjuge linoleik asit, kısa zincirli yağ asitleri ve ekzopolisakkaritler gibi biyoaktif bileşikler ortaya çıkar (Yüksel & İnanç, 2022). Bu bileşiklerin bağışıklık sistemini destekleme, metabolik sağlık göstergelerini iyileştirme ve kronik hastalıkların önlenmesine katkı sağlama potansiyeli taşıdığı belirtilmektedir (Gobbetti ve ark., 2010; Marco ve ark., 2017; Da Ros ve ark., 2021; Leeuwendaal ve ark., 2022).

Tahılların biyoyararlanımını artıran bir diğer uygulama ise tanenin çimlendirilmesidir (Ünsal ve ark., 2020). Bu süreçte tanede depolanan proteinler oligopeptitlere, kısa peptit zincirlerine ve amino asitlere, nişasta ve nişasta dışı polisakkaritler maltoz, maltodekstrin ve indirgen şekerlere parçalanırken, hücre duvarı polisakkaritlerine bağlı fenolik bileşikler serbest hale geçer (Montemurro ve ark., 2019). Çimlendirme, yalnızca diyet lifi, serbest amino asit, fenolik bileşik ve antioksidant aktivite seviyelerini artırmakla kalmaz, aynı zamanda anti-besinsel bileşiklerin miktarını da azaltır (Świeca & Dziki, 2015; Van Hung ve ark., 2015; Lemmens ve ark., 2018). Bu yönleriyle çimlendirme işlemi tahılların besin değerini ve sağlık destekleyici özelliklerini iyileştirmek için kullanılan basit, düşük maliyetli ve etkili bir uygulamadır.

Bu çalışmada, *(i)* ZDEB-103 ve B35K çeşitlerinden elde edilen unlarda çimlendirme sürecinde gerçekleşen biyokimyasal değişimlerin (serbest amino asit ve suda çözünen protein miktarı, proteolitik aktivite düzeyi) izlenerek ideal çimlenme süresinin belirlenmesi ve *(ii)* bu unlarla hazırlanan Tip II sıvı hamurlarda, çimlendirme, buğday çeşidi ve fermantasyon koşullarının asitlik ve besinsel parametreler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, tarhana ve ekşi maya ekmek gibi geleneksel fermente ürünlerin besinsel ve biyoyarayışlılık özelliklerini iyileştirmeye yönelik Tip II hamur formülasyonlarının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, ZDEB-103 ve B35K buğday çeşitleri 7 gün süreyle çimlendirilmiş; bu süreçte, bir gün arayla alınan örnekler kurutulmuş, sürgün ve kök kısımları uzaklaştırılarak tam buğday unları elde edilmiştir. Farklı çimlenme sürelerine ait unlarda toplam serbest amino asit (TSAA), suda çözünür protein (SÇP) ve proteolitik aktivite düzeyleri belirlenerek, ideal çimlendirme süresi tespit edilmiştir. Belirlenen süre boyunca çimlendirilen (4 gün) buğdaylardan elde edilen unlarla Tip II sıvı hamur formülasyonları oluşturulmuş ve 37 °C'de spontan veya kültür (*Lactobacillus paracasei*) fermantasyonu gerçekleştirilmiştir. Fermantasyon süreci (24 saat) boyunca, pH, toplam titre edilebilir asitlik (TTA), TSAA, SÇP düzeyleri ile laktik asit bakterisi (LAB) gelişimi izlenmiştir. Çimlendirilmiş buğday unlarının çeşit farklılığı temelinde Tip II hamur sistemlerinde değerlendirilmesi, çalışmanın özgün katkısını oluşturmaktadır.

MATERYAL ve METOD

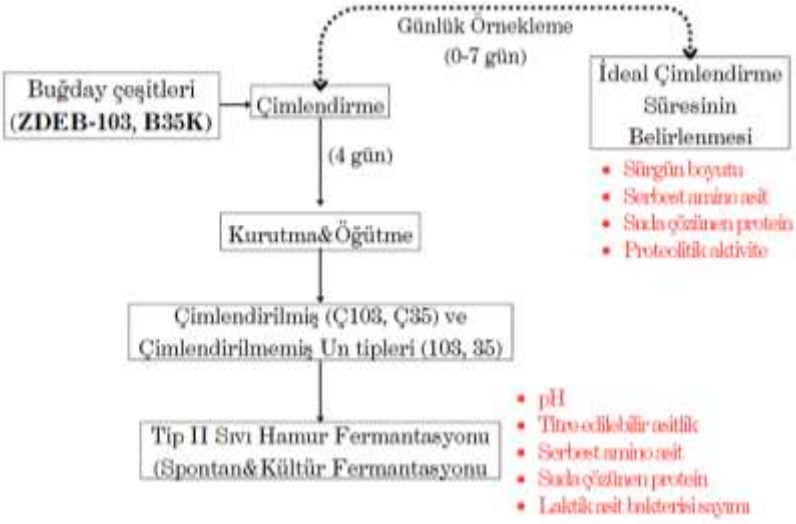
Biyolojik Örnekler ve Deneysel Tasarım

Tip II sıvı hamur fermantasyonunda starter kültür olarak kullanılan *Lactobacillus paracasei* türü Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (KSÜ) Gıda Mühendisliği Bölümünün kültür stoklarından, un

tiplerinin üretiminde kullanılan buğday çeşitleri (ZDEB-103, B35K), 2022 yılında hasat edilen örneklerden temin edilmiş olup, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü'nden Prof. Dr. Ziya Dumlupınar tarafından sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan buğday çeşitleri ve çimlendirme ön işlemi ile elde edilen un tipleri Çizelge 1'de, genel yöntem akışı ise Şekil 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Buğday çeşitleri ve un tipi kodları
Table 1. Wheat cultivars and flour type codes

Buğday Çeşidi Kodu	Ön İşlem	Un Tipi Kodu
ZDEB-103	İşlem görmemiş	103
ZDEB-103	Çimlendirilmiş	Ç103
B35K	İşlem görmemiş	35
B35K	Çimlendirilmiş	Ç35



Şekil 1. Yöntem akış şeması
Figure 1. Experimental procedure flowchart

Çimlendirme İşlemi

Çimlendirme işlemi, literatürdeki benzer çalışmalar temel alınarak belirlenen süre boyunca, Montemurro ve ark. (2019) tarafından kullanılan yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Taneler, %0.01 (h/h) Tween 20 içeren %1.25'lik (h/h) NaOCl çözeltisi ile, tane: çözelti oranı 1:3 (a/h) olacak şekilde 20 dakika muamele edilerek sterilizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlemin etkinliği, tanelerin triptik soy agara (1/10 kuvvetinde) bastırılmasının ardından, 30 °C'de 48 saat inkübasyon süresi sonunda değerlendirilmiştir.

Çimlendirilmeden kullanılan taneler, 50 °C'de %10-14 nem içeriğine ulaşana kadar kurutulmuştur. Çimlendirme için ayrılan taneler, tane:su oranı 1:3 (a/a) olacak şekilde steril suyla ıslatılmış, 20 °C'de 24 saat hidrasyona bırakılmıştır. Süre sonunda su uzaklaştırılmış, taneler çimlendirme başlangıcından itibaren 7 gün boyunca her gün örnekleme yapılacak şekilde gruplandırılarak çimlendirilmiştir (21.5 °C, %85 bağıl nem). İdeal çimlendirme süresinin belirlenmesine yönelik olarak, 24 saatlik aralıklarla, filizlenen elli adet buğday tanesi rastgele seçilmiş ve tane boyutu ile sürgün uzunluğu kaydedilmiştir (Ohm ve ark., 2016). Çimlendirme süresi dolan gruptaki örnekler, aynı kurutma metodu ile kurutulmuştur. Nemi ayarlanan tanelerin kök ve sürgün kısımları, elek üzerinde mekanik olarak uzaklaştırıldıktan sonra, taneler 0.75 mm elek boyutuna sahip değirmende (Retsch, SK100, Almanya) öğütülmüştür.

Toplam Serbest Amino Asit Miktarı Analizi

Toplam serbest amino asit (TSAA) düzeyleri, Adler-Nissen (1979)'in tanımladığı trinitrobenzen sülfonik asit (TNBS) yöntemi temel alınarak yapılan modifikasyonlarla belirlenmiştir. TNBS reaktifi (Sigma, P2297, A.B.D.) 0.2 M sodyum fosfat tamponu (pH 8) içinde %0,1'lik (h/h) derişimde hazırlanmıştır. Standart çalışma eğrisi 3.75-60 mM derişim aralığında 10 mM HCl içinde hazırlanan L-lösin çözeltisi ile oluşturulmuş, absorbans ölçümleri hemoglobin muamelesi prosedüründen sonra gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 200 µL TNBS reaktifi ve 50 µL L-lösin çözeltisi veya test örneği Eppendorf tüplerine aktarılmış ve vortekslenmiştir. Karışım 50 °C'de 60 dakika inkübe edildikten sonra tüplere 1 mL 0.2 M HCl eklenmiştir. Absorbans ölçümü 340 nm'de gerçekleştirilmiştir

(Shimadzu, UV-1800, Japonya). Sonuçlar, bir kilogram unda bulunan L-lösin eşdeğeri gram amino asit şeklinde ifade edilmiştir.

Proteolitik Aktivite Analizi

Analizler Loponen ve ark. (2007) tarafından bildirilen, hemoglobinin substrat olarak kullanıldığı, hemoglobinden serbest kalan amino asit miktarına dayalı bir yöntemle belirlenmiştir. İlk aşamada, un tiplerinin enzim ekstraktları hazırlanmıştır. Kuru madde esasına göre 4 g un, 50 mL'lik polipropilen tüplere tartılmış ve üzerine +4 °C'de 20 mL 0.1 M sodyum asetat tamponu (pH 4.7) eklenmiş, orbital çalkalayıcıda +5 °C'de 35 dakika ekstraktsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Süre sonunda, tüpler 6250xg'de 12 dakika santrifüjlenmiş ve elde edilen süpernatantlara, 12.000xg'de 15 dakika olmak üzere ikinci bir santrifüj işlemi uygulanmıştır. Son olarak, ekstraktlar 0.45 µm PVDF filtreden geçirildikten sonra -20 °C'de muhafaza edilmiştir.

Hemoglobin ile muamele edilmiş un ekstraktlarının toplam proteolitik aktivitesi, Brijs ve ark. (2002) tarafından bildirilen yöntemde değişiklikler yapılarak belirlenmiştir. Analiz için %1 (a/h) hemoglobin çözeltisi, 0.2 M sodyum asetat tamponu (pH 4) ile hazırlanmıştır. Çözeltiden 250 µL alınarak, 200 µL 0.2 M sodyum asetat tamponu ve 50 µL un ekstraktı ile Eppendorf tüplerine aktarılmış, tüpler vortekslendikten sonra 40 °C'de 150 dakika inkübe edilmiştir. Süre sonunda tüplere, 250 µL, %10 (a/h) TCA çözeltisi (+4 °C) eklenmiş ve tüpler 10.000xg'de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Üst faz alınarak TSAA analizi için kullanılmıştır. Un ekstraktlarının toplam proteolitik aktivitesi, hemoglobin ile muamele edilmiş ve edilmemiş un ekstraktlarının TSAA miktarlarının birbirinden çıkarılması ile hesaplanmıştır. Hemoglobin kaynaklı ölçüm hatasını gidermek amacıyla, un ekstraktı yerine 0.1 M sodyum asetat tamponu (pH 4.7) içeren negatif kontrol örneği hazırlanmış ve prosedürün geri kalanı aynı şekilde uygulanmıştır.

Suda Çözünür Protein Miktarı Analizi

Un ekstraktlarında protein-peptit miktarı bişinkoninik asit (BCA) yöntemiyle mikroplaka okuyucu spektrofotometrede (Moleculer Devices, Spectramax 384 Plus, ABD) belirlenmiştir (Dallas ve ark., 2015). BCA protein test kitinde (Thermo Fisher, 23227, A.B.D.) bulunan test sıvıları A ve B, hacimce 1:50 oranında karıştırılarak BCA test reaktifi hazırlanmıştır. Mikroplaka kuyucuklarına 200 µl BCA test reaktifi aktarıldıktan sonra kuyucuklara 25 µL test örneği pipetlenmiştir. Mikroplaka 37 °C'de 30 dakika inkübe edildikten sonra, 562 nm dalga boyunda absorbans ölçümü yapılmıştır. Test örneklerinin ve reaktifin kontrol kuyucuklarında sırasıyla 0.1 M sodyum asetat tamponu (pH 4.7) ve azotlu bileşen ekstraktsiyon çözeltisi (%1 TCA ve etanol çözeltisi) kullanılmıştır. Absorbans değerleri, sığır serum albümini (SSA) ile oluşturulan lineer regresyon eğrisi kullanılarak konsantrasyon değerlerine dönüştürülmüştür. Regresyon eğrisi, 0.1 M sodyum asetat tamponu (pH 4.7) ile SSA stok çözeltisinden (2 mg mL^{-1}) hazırlanan 25-2000 µg mL^{-1} aralığındaki derişimler kullanılarak hazırlanmıştır.

Tip II Sıvı Hamur Fermantasyonu

Her bir un tipi için bir kontrol (spontan) ve iki paralel kültür fermentasyonu olmak üzere üç farklı Tip II sıvı hamur denemesi eş zamanlı yürütülmüştür. *Lactobacillus paracasei* kültürü, MRS broth besiyerinde iki ardışık 24 saatlik ön canlandırmanın ardından taze besiyeri ortamına inoküle edilmiş ve OD_{620}=1'e ulaştığında 20 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7) ile yıkanmıştır. Hücre pelletleri eş hacimde steril saf suda süspanse edildikten sonra hamur formülasyonlarında kullanılmıştır. Çimlendirme işlemleri başlığı altında yürütülen çalışmalara dayanarak ideal çimlendirme süresi 4 gün olarak belirlenmiştir. ZDEB-103 ve B35K çeşidi buğdayların çimlendirilmemiş veya 4 gün çimlendirilmiş formlarının tam buğday unları ile, hamur verimi ([toplam hamur ağırlığı/un ağırlığıX100]) 450 olan sıvı hamurlar hazırlanmıştır. Bu amaçla, 60 g un (103, Ç103, 35 ve Ç35), spontan fermantasyon örneklerinde 210 mL steril saf suyla, *Lactobacillus paracasei* inoküle edilen kültür fermantasyonu örneklerinde ise 194 mL steril saf su ve 16 mL kültür sıvısıyla karıştırılmıştır. Fermantasyon işlemi, 37 °C'de ve hava geçirmeyecek şekilde kapatılmış otoklav şişelerinde, hamurların pH düzeylerinin büyük ölçüde sabitlendiği 24 saatlik süre boyunca gerçekleştirilmiştir.

Sıvı Hamurlarda Toplam Titre Edilebilir Asitlik ve pH Düzeyi

Hamurlarda pH düzeyi, İbanoğlu ve ark. (1999) tarafından tanımlanan yönteme göre belirlenmiştir. Bu amaçla, 5 g örnek 100 mL saf su ile seyreltilerek homojenlik sağlandıktan sonra dijital pH metre (Eutech Instruments, CyberScan pH 300, Singapur) ile ölçüm yapılmıştır. Toplam titre edilebilir asitlik (TTA) miktarı TS 2282 Tarhana Standardına uygun olarak belirlenmiştir (TSE, 2004). Bu amaçla, 10 g sıvı hamur örneği 50 mL %67'lik nötralize etil alkol ile karıştırılarak 5 dakika çalkalanmıştır. Süzülen karışımdan alınan 10 mL süzüntü, 200 mL saf su ile seyreltilmiş ve birkaç damla %1'lik fenolftalein eklendikten sonra 0.1 N NaOH ile titre edilmiştir. NaOH sarfiyatı 5 ile çarpılarak asitlik derecesi "mL" cinsinden ifade edilmiştir.

Sıvı Hamurlarda Laktik Asit Bakterisi Sayımı

Laktik asit bakterisi (LAB) sayımı, Reale ve ark. (2021) tarafından bildirilen yönteme göre yapılmıştır. Bu amaçla 10 g sıvı hamur örneği 90 mL steril fizyolojik su (8.5 g L^{-1} NaCl) ile 2 dakika homojenize edilmiş ve yayma plak yöntemiyle üç paralel ekim yapılmıştır. Laktik asit bakterilerinin sayımı, siklohekzimid (4 mg 100 mL^{-1}) içeren MRS agarda (Condalab, İspanya) yapılmış ve anaerobik koşulların sağlanması amacıyla ekim sonrası petri kaplarına ikinci bir MRS agar katmanı dökülmüştür. Sayım işlemi, 37 ^{o}C'de 48 saat inkübasyon süresi sonunda gerçekleştirilmiştir.

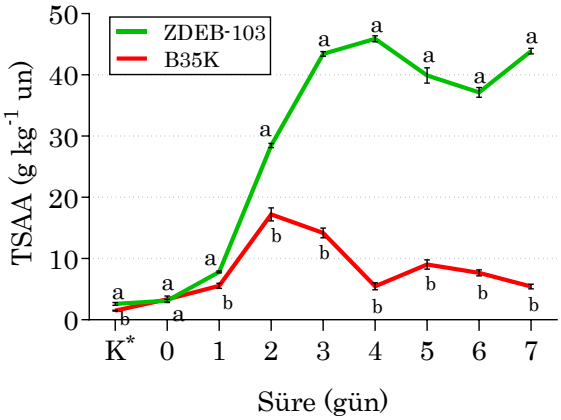
İstatistiksel Analizler

Verilerin istatistiksel değerlendirmeleri JMP yazılımı (SAS Institute, Versiyon 16.2) ile yapılmıştır (JMP, 2022). Verilerin analizinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmış, ortalamalar arasındaki farklılıklar %5 önem düzeyinde Tukey-Kramer HSD ve bağımsız örneklem t-testi ile belirlenmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Unlarda Serbest Amino Asit Düzeyi

ZDEB-103 ve B35K çeşitlerinde TSAA düzeyleri, çimlendirme süresine bağlı olarak anlamlı değişim göstermiştir; $F(8,27)= 3961.74$, $p<.0001$ (ZDEB-103); $F(8, 27)= 256.97$, $p<.0001$ (B35K). Aynı zaman noktasındaki çeşitler arası farklar bağımsız örneklem t-testi ile analiz edilmiş, sonuçlar Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Çimlendirme süresine bağlı olarak TSAA düzeylerindeki değişim
Figure 2. TFAA levels as affected by germination duration

*K: Çimlendirilmeyen kontrol örneği
**Aynı zaman noktasındaki farklı harfler istatistiksel farklılığı belirtir (n=4, $p<.05$, bağımsız örneklem t-testi)

Un örneklerinin TSAA düzeyleri, çimlendirme süresine bağlı olarak iki buğday çeşidinde de başlangıçtan itibaren artış göstermiş, bu artış ZDEB-103'te çimlendirmenin 4. gününe kadar devam ederek, buğday çeşitlerinin TSAA düzeyleri arasında anlamlı farklılık ortaya çıkmıştır.

Van Hung ve ark. (2011), çimlendirmenin 48. saatinde TSAA miktarının 2.21 g kg^{-1}'dan 7.88 g kg^{-1}'a yükseldiğini bildirmiştir. Aynı araştırmacı grubunun 2015 tarihli çalışmasında ise, başlangıçta 1.30 g kg^{-1} olarak belirlenen TSAA düzeyinin 48. saatte 3.14 g kg^{-1}'a ulaştığı bulunmuştur (Van Hung ve ark., 2015). Ohm ve ark. (2016), çimlendirme sürecinin 0., 3., ve 5. günlerinde TSAA miktarını sırasıyla 0.73, 2.56 ve 4.76 g kg^{-1} düzeylerinde bildirmiştir. Mevcut çalışmada, 4 gün süreyle çimlendirilmiş ZDEB-103 çeşidinden elde edilen tam buğday ununda TSAA düzeyi 45.90±0.50 g kg^{-1} olarak belirlenmiş olup, bu değer literatürde bildirilen düzeylerin oldukça üzerindedir. Diğer taraftan, B35K buğday çeşidinde ölçülen TSAA düzeyleri literatürdeki bulgularla paralellik göstermektedir. Bu durum, çimlendirme koşulları ve ekstraktsiyon parametrelerinin yanı sıra, genotipik farklılıkların da TSAA miktarı üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir (Montemurro ve ark., 2019).

Unlarda Suda Çözünen Protein Düzeyi

ZDEB-103 ve B35K çeşitlerine ait unlarda suda çözünen protein (SÇP) düzeyleri Çizelge 2'de sunulmaktadır.

Çizelge 2. Çimlendirme süresine bağlı olarak değişen SÇP düzeyleri (g kg^{-1} un)*
Table 2. Changes in WSP levels depending on germination duration (g kg^{-1} flour)

Buğday Çeşidi *(Wheat Cultivar)*	**K**** *(Control)*	**0.gün***** *(Day 0)*	**1.gün** *(Day 1)*	**2.gün** *(Day 2)*	**3.gün** *(Day 3)*	**4.gün** *(Day 4)*	**5.gün** *(Day 5)*	**6.gün** *(Day 6)*	**7.gün** *(Day 7)*	***F* değeri** (*F*-value)
ZDEB-103	18.81 ±2.73^{fA}	16.90 ±0.40^{fA}	21.89 ±0.27^{eA}	29.01 ±0.36^{dA}	32.52 ±0.93^{cA}	38.55 ±0.56^{bA}	39.09 ±0.89^{bA}	39.27 ±0.52^{bA}	47.47 ±0.45^{aA}	$F(8,27)$= 393.92, p<.0001
B35K	12.2 ±0.78^{fB}	13.11 ±0.42^{efB}	13.56 ±0.43^{efB}	14.38 ±0.47^{eB}	17.50 ±0.46^{dB}	31.20 ±0.83^{cB}	33.51 ±0.79^{bB}	34.55 ±1.19^{bB}	37.70 ±0.77^{aB}	$F(8,27)$= 890.54, p<.0001
***t*-değeri** (*t*-test)	$t(3.49)$= 4.66, p=.013	$t(5.99)$= 13.14, p<.0001	$t(5.13)$= 32.82, p<.0001	$t(5.61)$= 49.57, p<.0001	$t(4.41)$= 29.03, p<.0001	$t(5.30)$= 14.67, p<.0001	$t(5.92)$= 9.34, p<.0001	$t(4.10)$= 7.27, p=0.0017	$t(4.82)$= 21.96, p<.0001	

*Sonuçlar kuru madde üzerinden verilmiştir
**Buğday çeşitlerinin çimlendirilmemiş kontrol buğday unlarına ait değerler
***Değerler ortalama±standart sapma (n=4) şeklinde verilmiştir. Küçük harfler (a-g) aynı satırdaki (Tukey-Kramer HSD), büyük harfler (A-B) aynı sütundaki (Bağımsız örneklem t-testi) istatistiksel farklılığı gösterir

SÇP düzeyleri, çimlendirme süresinin artışına paralel olarak her iki buğday çeşidine ait unlarda genel olarak yükselmiştir. Çimlendirilmemiş kontrol örneklerinde SÇP miktarı ZDEB-103 için 18.81 g kg^{-1}, B35K için 12.20 g kg^{-1} olarak belirlenmiş ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur; $t(3.49)$= 4.66, p=.013. Çimlendirmenin 7. gününde SÇP içerikleri, ZDEB-103 örneğinde 47.47 g kg^{-1}, B35K örneğinde ise 37.70 g kg^{-1} düzeylerine ulaşmış ve çeşitler arasındaki fark korunmuştur; $t(4.82)$= 21.96, p<.0001. Çimlenme süresine bağlı olarak gözlenen SÇP artışı, Capocchi ve ark. (2000) tarafından bildirilen bulgularla örtüşmektedir. Bu çalışmada, çimlendirilmiş (4 gün) buğdaydan izole edilen sistein proteaz enziminin gluten proteinleri üzerindeki hidrolitik etkisi gösterilmiş ve bu etkileşim çözünür protein fraksiyonlarında artış ile ilişkilendirilmiştir.

Unlarda Proteolitik Aktivite

ZDEB-103 ve B35K çeşitlerinin çimlendirilmemiş (kontrol) ve 7 gün çimlendirilmiş formlarından elde edilen tam buğday unlarında toplam proteolitik aktivite değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Proteolitik aktivite, hemoglobinle muamele edilen un ekstraktlarında TSAA miktarına dayalı olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. Çimlendirme süresine bağlı olarak değişen proteolitik aktivite düzeyleri*
Table 3. Changes in proteolytic activity during germination

Buğday Çeşidi *(Wheat Cultivar)*	**K**** *(Control)*	**0.gün***** *(Day 0)*	**1.gün** *(Day 1)*	**2.gün** *(Day 2)*	**3.gün** *(Day 3)*	**4.gün** *(Day 4)*	**5.gün** *(Day 5)*	**6.gün** *(Day 6)*	**7.gün** *(Day 7)*	***F* değeri** (*F*-value)
ZDEB-103	10.34 ±0.47^{eA}	7.67 ±0.63^{fB}	11.65 ±0.46^{eA}	17.64 ±0.84^{dB}	22.54 ±0.57^{cB}	23.87 ±0.63^{cB}	36.14 ±0.99^{bB}	37.51 ±0.47^{abB}	38.57 ±0.59^{aB}	$F(8,27)$= 1394.62, p<.0001
B35K	9.98 ±0.87^{gA}	10.06 ±0.78^{gA}	12.55 ±1.01^{fA}	34.04 ±0.79^{eA}	60.41 ±0.93^{dA}	61.65 ±1.09^{dA}	68.42 ±0.53^{cA}	71.83 ±1.20^{bA}	75.63 ±0.57^{aA}	$F(8,27)$= 4000.16, p<.0001
***t*-değeri** (*t*-test)	$t(4.58)$= 0.73	$t(5.75)$= -4.77, p=0.0035	$t(4.21)$= -1.62	$t(5.98)$= -28.33, p<.0001	$t(4.98)$= -69.64, p<.0001	$t(4.78)$= -60.03, p<.0001	$t(4.61)$= -57.47, p<.0001	$t(3.91)$= -53.10, p<.0001	$t(6.00)$= -90.54, p<.0001	

*Proteolitik aktivite sonuçları g TSAA kg^{-1} un cinsinden (kuru maddede) hesaplanmıştır
**Buğday çeşitlerinin çimlendirilmemiş kontrol buğday unlarına ait değerler
***Değerler ortalama±standart sapma (n=4) şeklinde verilmiştir. Küçük harfler (a-g) aynı satırdaki (Tukey-Kramer HSD), büyük harfler (A-B) aynı sütundaki (Bağımsız örneklem t-testi) istatistiksel farklılığı gösterir

Çimlendirme işlemi her iki un çeşidinde de proteolitik aktiviteyi artırma eğilimi göstermiştir. Un çeşitlerinin kontrol TSAA düzeyleri arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır. Ancak çimlendirmenin 2. gününden itibaren buğday çeşitlerinin proteolitik aktiviteleri arasında belirgin farklılık ortaya çıkmış, 7. gün sonunda ZDEB-103 ve B35K çeşitlerinde TSAA miktarları, sırasıyla 38.57 g kg^{-1} ve 75.63 g kg^{-1} düzeylerine ulaşmıştır; $t(6.00)$= -90.54, p<.0001.

Dominguez ve Cejudo (1995), farklı sürelerde çimlendirilen buğday ununda, jelatin substratı üzerindeki proteolitik aktivitenin çimlenme süresine bağlı olarak artış gösterdiğini, 5-7. günler arasında, pH 6.5'te tamponlanmış ortamda maksimum seviyeye ulaştığını bildirmiştir. Mevcut çalışmadaki proteolitik enzim aktivitesindeki artış eğilimi bu bulgularla uyumludur. Žilić ve ark. (2016), çimlendirme işlemine bağlı olarak albümin/globulin

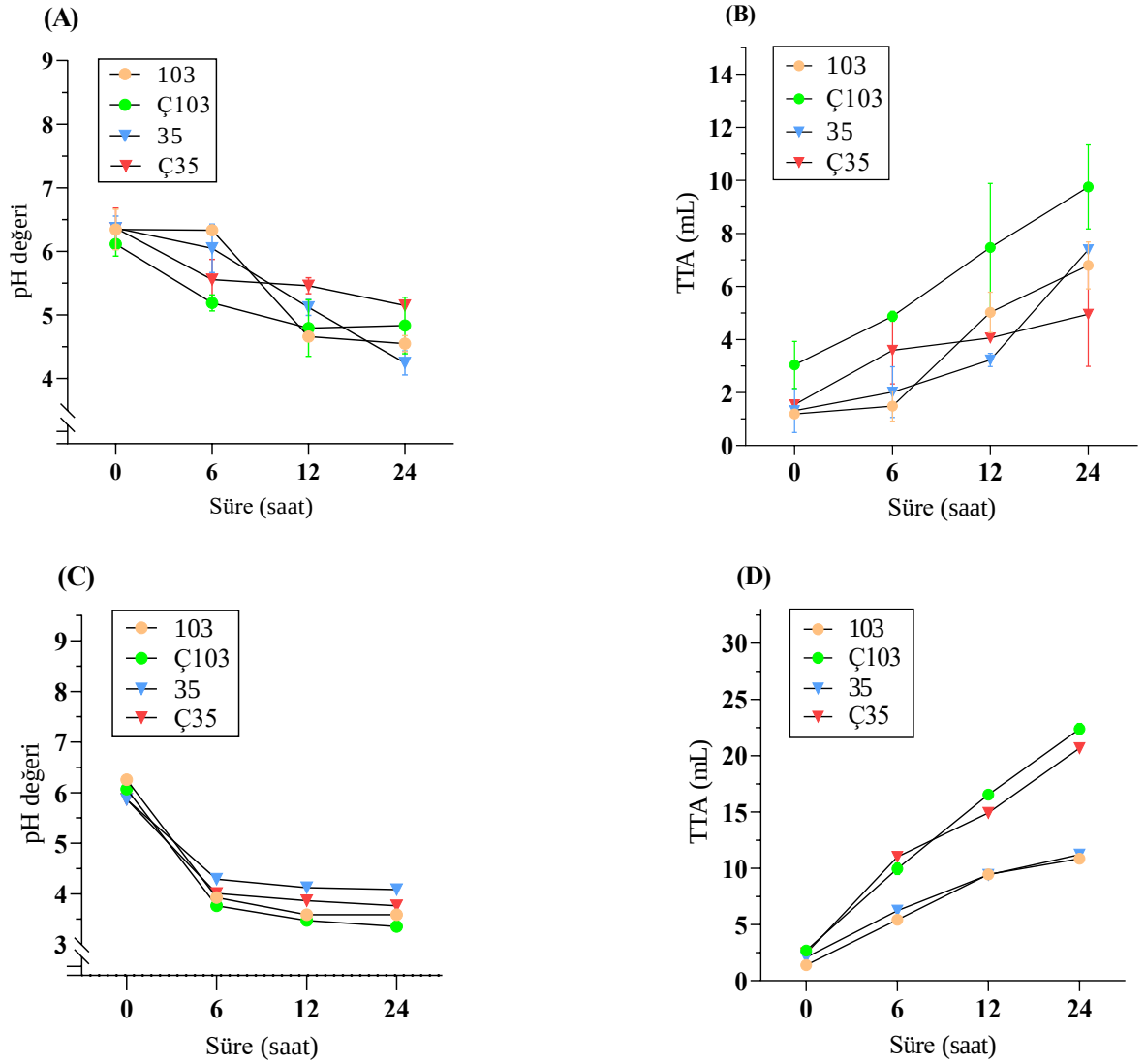
fraksiyonlarının toplam protein içindeki oranında %45,43 azalma ve serbest sülfidril (-SH) grubunda %96.7'lik artış gözlemlemiştir. Araştırmacılar bu iki bulguyu birlikte değerlendirerek, sonuçların çimlenmeye bağlı proteolitik aktivite artışıyla açıklanabileceğini ifade etmişlerdir. Bu bulgular, mevcut çalışmada gözlemlenen çimlenme süresine bağlı TSAA artışının nedeni olarak artan proteolitik aktiviteyi öne sürmeyi kabul edilebilir kılmaktadır.

İdeal Çimlenme Süresi

Çimlenme süresi belirlenirken, buğday tanesinin morfolojik bütünlüğünü koruyarak tam un üretimine uygunluğunu kaybetmemesi esas alınmış, bu kapsamda sürgün boyunun tane boyutunu aşmaması temel kriter kabul edilmiştir (WGI, 2021). Yapılan ölçümlerde, çimlendirmenin 4. gününde ZDEB-103 çeşidinde ortalama sürgün ve tane boyutları sırasıyla 0.55±0,07 cm ve 0.61±0,05 cm; B35K çeşidinde ise 0.50±0,09 cm ve 0.53±0,11 cm olarak kaydedilmiş, her iki çeşitte de sürgün gelişiminin tane boyutunu aşmadığı görülmüştür. Buna ek olarak, çimlenme süresi boyunca TSAA, SÇP ve proteolitik aktivite düzeyleri izlenmiş; bu parametrelerde gözlemlenen genel artış eğilimleri, istenen yönde değişimler olarak değerlendirilmiştir. Dolayısıyla biyokimyasal parametreler açısından çimlendirme sürecini kısıtlayıcı bir durum tespit edilmemiştir.

pH Değeri ve Titre Edilebilir Asitlik Miktarı

Çimlendirme ön işlemi (4 gün) ve buğday çeşidinin, fermantasyon sürecinde hamurların pH ve toplam titre edilebilir asitlik (TTA) düzeyleri üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Spontan hamurların pH (A) ve TTA (B) düzeyleri ile kültür hamurlarının pH (C) ve TTA (D) düzeylerinin fermantasyon süresine bağlı değişimi

Figure 3. Changes in pH (A, C) and TTA (B, D) levels of spontaneous and inoculated doughs during fermentation

Çimlendirme ön işlemi kültür hamurlarında daha düşük pH değerlerine ulaşılmasını sağlamıştır. Un tipi açısından yapılan değerlendirmede, ZDEB-103 çeşidinin pH düşüşünü desteklediği gözlemlenmiştir. Hamurların TTA düzeyleri, fermantasyon süresine bağlı olarak artış göstermiş, kültür hamurlarının TTA düzeyleri tüm zaman noktalarında spontan hamurlardan daha yüksek bulunmuştur. Fermantasyon sonunda en yüksek TTA değeri 22.37 mL ile Ç103 kültür, en düşük değer ise 4.96 mL ile Ç35 spontan hamurda belirlenmiştir.

Siepmann ve ark. (2019), farklı *Lactobacillus* suşlarıyla fermente edilen (28 °C, 24 saat) Tip II hamurlarda pH değerlerini 4.02-4.60, TTA değerlerini ise 9.22-13.72 mL aralığında bildirilmiştir. Cardinali ve ark. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 30 °C'de 96 saat fermantasyon sonunda sıvı hamurun pH değeri 3.78, TTA içeriği ise 10.26 mL olarak bulunmuştur. Mevcut çalışmada, kültür fermantasyonu örneklerinin 24. saatinde elde edilen 3.36-4.09 aralığındaki pH değerleri literatürdeki çalışmalarla uyum göstermektedir. Çimlendirilmemiş 103 ve 35 unlarından hazırlanan hamurların TTA düzeyleri, sırasıyla 10.85 ve 11.21 mL olarak ölçülürken, bu değerler önceki çalışmalarda elde edilen verilerle uyumlu bulunmuştur. Buna karşın, çimlendirilmiş unlardan hazırlanan Ç103 ve Ç35 kültür hamurlarında bu değerler sırasıyla 22.37 ve 20.67 mL'ye ulaşarak yaklaşık iki katına çıkmıştır. Bu yükseliş, çimlenme sürecinde α-amilaz ve α-glukozidaz aktivitesindeki artışla nişastanın kısmi hidrolizine ve bunun sonucunda glukoz, maltoz, maltotrioz ile çeşitli dekstrinlerin açığa çıkmasına bağlanabilir. Bu fermente edilebilir şekerler, laktik asit bakterileri için erişilebilir substratlar sağlayarak organik asit üretimini teşvik etmiş olabilir (Perri ve ark., 2023).

Mikroorganizma Sayımı

Çimlendirme işlemi, tüm zaman noktalarında spontan hamurların LAB sayılarında artışa yol açmıştır (Çizelge 4). Buna karşılık, kültür hamuru grubunda bu etki sınırlı kalmış ve anlamlı bir artış eğilimi gözlenmemiştir. Sonuçlar buğday çeşidi açısından değerlendirildiğinde, B35K çeşidine ait unlarla (35 ve Ç35) hazırlanan hamurlarda LAB sayısının, ZDEB-103 çeşidine ait unlarla (103 ve Ç103) hazırlanan hamurlara göre anlamlı düzeyde yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. Hamurlardaki LAB sayısının (log_{10} kob g^{-1}) zamana bağlı değişimi*
Table 4. Time-dependent changes in LAB counts (log_{10} CFU g^{-1}) in dough samples

Un Tipi *(Flour Type)*	Fermantasyon Tipi *(Fermentation Type)*	Zaman (saat) - *Time (hours)*			
		0**	6	12	24
103	*Spontan (Spontaneous)*	$5.64±0.05^{cC}$	$5.91±0.01^{eB}$	$7.23±0.03^{fA}$	$7.17±0.01^{fA}$
	Kültür (Inoculated)	$7.65±0.00^{aD}$	$8.79±0.01^{bC}$	$9.90±0.01^{abB}$	$9.30±0.03^{bA}$
Ç103	*Spontan (Spontaneous)*	$6.24±0.06^{bC}$	$6.37±0.04^{dC}$	$7.50±0.05^{eA}$	$7.25±0.01^{eB}$
	Kültür (Inoculated)	$7.72±0.13^{aC}$	$8.82±0.08^{bB}$	$8.95±0.00^{bcAB}$	$9.14±0.03^{cA}$
35	*Spontan (Spontaneous)*	$5.53±0.04^{cD}$	$5.84±0.01^{eC}$	$7.35±0.04^{fA}$	$7.16±0.02^{fB}$
	Kültür (Inoculated)	$7.62±0.19^{aC}$	$8.91±0.04^{bB}$	$8.91±0.06^{cB}$	$9.47±0.00^{aA}$
Ç35	*Spontan (Spontaneous)*	$6.41±0.01^{bC}$	$8.56±0.01^{cA}$	$8.54±0.03^{dA}$	$8.44±0.01^{dB}$
	Kültür (Inoculated)	$7.77±0.06^{aC}$	$9.15±0.02^{aB}$	$9.21±0.01^{aB}$	$9.43±0.00^{aA}$
	***F* değeri** (*F*-value)	$F(7,8)= 233.84$, $p<.0001$	$F(7,8)= 3255.22$, $p<.0001$	$F(7,8)= 1118.77$, $p<.0001$	$F(7,8)= 6854.92$, $p<.0001$

*Sonuçlar kuru madde üzerinden verilmiştir
**Değerler ortalama±standart sapma (n=2) şeklinde verilmiştir. Küçük harfler (a-f) aynı sütundaki, büyük harfler (A-D) aynı satırdaki ortalamalar arasında istatistiksel farklılığı belirtir ($p<.05$, Tukey-Kramer HSD testi)

Siepmann ve ark. (2019), farklı starter kültürlerle fermente (35 °C, 24 saat) edilen Tip II hamurlarda LAB sayısını 8.99-9.57 log_{10} kob g^{-1} aralığında bildirilmiştir. Benzer şekilde, Cardinali ve ark. (2022), 30 °C'de gerçekleştirilen sıvı hamur fermantasyonu sonunda, başlangıç LAB sayısının 8.72 log_{10} kob g^{-1} düzeyinden, fermantasyon sonunda (24 saat) 9.23 log_{10} kob g^{-1} düzeyine ulaştığını bildirmiştir. Mevcut çalışmadaki kültür fermantasyonu örneklerinin LAB sayısı aralığı (9.14-9.47 log_{10} kob g^{-1}), önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

Sıvı Hamurlarda Serbest Amino Asit Düzeyleri

Kültürle fermente edilen 103 ve Ç103 hamurlarında, 24. saat TSAA düzeyleri spontan fermantasyon grubuna kıyasla daha düşük bulunmuştur (Çizelge 5). Buna karşın, aynı süre sonunda kültür inokülasyonu 35 ve Ç35 hamurlarında TSAA düzeylerini artırmıştır. Çimlendirme, genel olarak TSAA düzeylerinde artışa neden olmuş, bu artış özellikle 24. saatte her iki fermantasyon tipinde belirgin hale gelmiştir. Ayrıca, 24. saatte un tipi ve fermantasyon tipi arasında anlamlı bir etkileşim, $F(3,26)= 120.20$, $p<.0001$, gözlenmiştir.

Çizelge 5. Un ve fermantasyon tiplerine göre TSAA düzeylerinin zamana bağlı değişimi (g L^{-1})
Table 5. Time-dependent changes in TFAA levels by flour and fermentation type (g L^{-1})

Un Tipi *(Flour Type)*	**Fermantasyon Tipi** *(Fermentation Type)*	**Zaman (saat)** - *Time (hours)*			
		0**	**6**	**12**	**24**
103	*Spontan (Spontaneous)*	0.473 ± 0.04^{deC}	1.14 ± 0.09^{dC}	4.78 ± 0.18^{cdeB}	8.65 ± 0.74^{dA}
	Kültür (Inoculated)	0.42 ± 0.21^{eD}	1.95 ± 0.26^{dC}	3.85 ± 0.27^{eB}	6.11 ± 0.38^{fA}
Ç103	*Spontan (Spontaneous)*	10.74 ± 0.35^{aC}	11.30 ± 0.13^{bBC}	11.74 ± 0.33^{bB}	24.23 ± 0.13^{aA}
	Kültür (Inoculated)	9.12 ± 0.20^{bD}	15.60 ± 1.37^{aC}	19.54 ± 0.71^{aB}	22.00 ± 0.71^{bA}
35	*Spontan (Spontaneous)*	0.79 ± 0.25^{deB}	3.30 ± 0.19^{cdA}	4.14 ± 0.25^{deA}	3.96 ± 0.37^{gA}
	Kültür (Inoculated)	2.18 ± 0.15^{cD}	3.72 ± 0.22^{cC}	5.85 ± 0.30^{cB}	6.95 ± 0.30^{efA}
Ç35	*Spontan (Spontaneous)*	0.75 ± 0.06^{deD}	1.76 ± 0.12^{cdC}	5.50 ± 0.06^{cdB}	7.44 ± 0.19^{deA}
	Kültür (Inoculated)	0.92 ± 0.11^{dD}	3.70 ± 0.48^{cC}	5.50 ± 0.26^{cB}	13.44 ± 0.13^{cA}
	***F* değeri** (*F*-value)	$F(7,26)= 2067.96$, $p<.0001$	$F(7,26)= 284.08$, $p<.0001$	$F(7,26)= 1021.61$, $p<.0001$	$F(7,26)= 1110.51$, $p<.0001$

*Değerler ortalama±standart sapma (minumum n=3) şeklinde verilmiştir. Küçük harfler (a-g) aynı sütundaki, büyük harfler (A-D) aynı satırdaki ortalamalar arasında istatistiksel farklılığı belirtir ($p<.05$, Tukey-Kramer HSD testi)

Montemurro ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Tip I ekşi hamur kültür fermantasyonu (30 °C, 24 saat) gerçekleştirilmiş, fermantasyon sonunda çimlendirilmemiş ve çimlendirilmiş unlarla hazırlanan hamurların TSAA düzeyleri sırasıyla 3.67 g kg^{-1} ve 14.15 g kg^{-1} olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, mevcut çalışmanın bulgularıyla benzer şekilde, çimlendirme işleminin TSAA artışına yol açtığını göstermektedir. Diğer taraftan, mevcut çalışmada gözlemlenen daha yüksek TSAA düzeyleri, mikroorganizmaların sıvı hamur sistemlerinde substrat erişimlerinin daha kolay olmasıyla açıklanabilir (De Vuyst ve ark., 2021).

Sıvı Hamurlarda Suda Çözünen Protein Düzeyleri

Hamurların SÇP içeriklerinde, fermantasyon süresi boyunca düzenli bir artış gözlemlenmiştir. Kültür fermantasyonu gruplarında 24. saatteki SÇP düzeyleri, spontan gruplara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, aynı zaman noktasında un tipi ile fermantasyon tipi arasında anlamlı bir etkileşim, $F(3,38)= 7.35$, $p=.0005$, tespit edilmiştir. Çimlendirme uygulaması hem spontan hem de kültür gruplarında SÇP düzeylerini artırmış, Ç103 ve Ç35 örneklerinde SÇP miktarı, 103 ve 35' e göre tüm zaman noktalarında daha yüksek bulunmuştur. Bu farklılıkların birçok zaman noktasında istatistiksel düzeyde önemli olduğu saptanmıştır (Çizelge 6). Fermantasyon sonunda en yüksek SÇP miktarı 21.19 g L^{-1} ile Ç35 kültür örneğinde tespit edilmiştir.

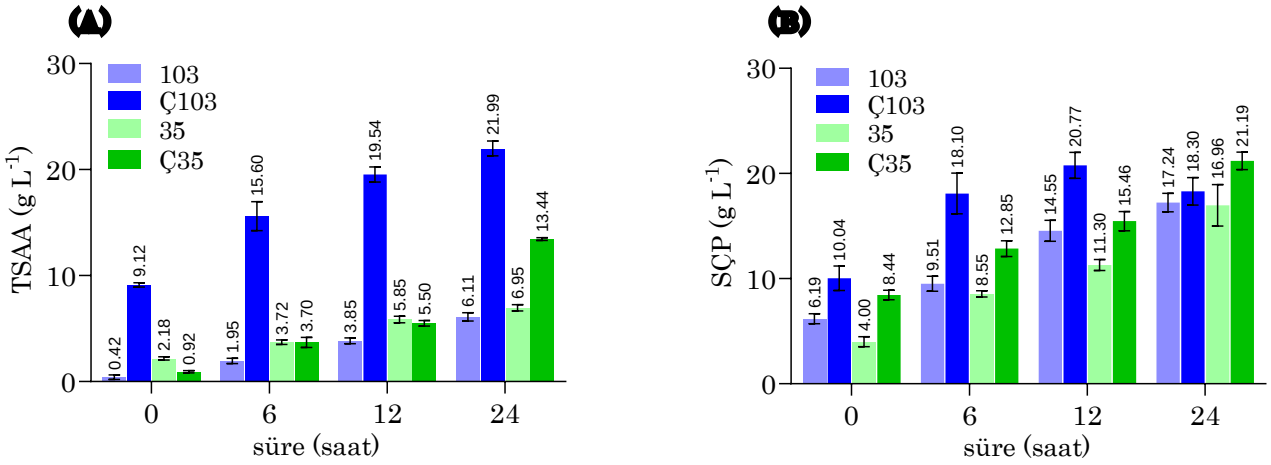
Çizelge 6. Un ve fermantasyon tiplerine göre SÇP düzeylerinin zamana bağlı değişimi (g L^{-1})
Table 6. Time-dependent changes in WSP levels by flour and fermentation type (g L^{-1})

Un Tipi *(Flour Type)*	**Fermantasyon Tipi** *(Fermentation Type)*	**Zaman (saat)** - *Time (hours)*			
		0**	**6**	**12**	**24**
103	*Spontan (Spontaneous)*	4.46 ± 0.10^{dC}	4.76 ± 0.13^{eC}	12.96 ± 1.43^{cdB}	15.52 ± 0.83^{cdA}
	Kültür (Inoculated)	5.98 ± 0.34^{cD}	9.51 ± 0.70^{cdC}	14.55 ± 1.00^{bcB}	17.24 ± 0.88^{bcA}
Ç103	*Spontan (Spontaneous)*	9.65 ± 1.38^{abB}	10.20 ± 0.13^{cdB}	15.79 ± 2.01^{bcA}	16.23 ± 1.33^{bcdA}
	Kültür (Inoculated)	10.04 ± 1.17^{aC}	18.10 ± 1.94^{aB}	20.77 ± 1.24^{aA}	18.30 ± 1.31^{bB}
35	*Spontan (Spontaneous)*	3.14 ± 0.19^{dD}	4.48 ± 0.41^{eC}	7.02 ± 0.66^{eB}	12.42 ± 0.62^{eA}
	Kültür (Inoculated)	4.00 ± 0.46^{dD}	8.55 ± 0.29^{dC}	11.30 ± 0.53^{dB}	16.96 ± 1.97^{bcdA}
Ç35	*Spontan (Spontaneous)*	8.17 ± 0.68^{bC}	10.88 ± 0.49^{cB}	13.01 ± 1.81^{cdAB}	14.56 ± 0.92^{deA}
	Kültür (Inoculated)	8.44 ± 0.45^{bD}	12.85 ± 0.76^{bC}	15.46 ± 0.93^{bB}	21.19 ± 0.83^{aA}
	***F* değeri** (*F*-value)	$F(7,38)= 77.15$, $p<.0001$	$F(7,38)= 118.97$, $p<.0001$	$F(7,38)= 71.89$, $p<.0001$	$F(7,38)= 25.04$, $p<.0001$

*Değerler ortalama±standart sapma (minumum n=4) şeklinde verilmiştir. Küçük harfler (a-e) aynı sütundaki, büyük harfler (A-D) aynı satırdaki ortalamalar arasında istatistiksel farklılığı belirtir ($p<.05$, Tukey-Kramer HSD testi)

SÇP düzeyindeki zamana bağlı artışlar, LAB metabolizması ile unun yapısındaki hidrolitik enzimler arasındaki etkileşimin yol açtığı biyokimyasal dönüşümlerle açıklanabilir (Gänzle, 2013). LAB'lar tarafından üretilen organik asitler, sıvı hamurun pH'sını düşürerek proteinlerin çözünürlüğünü artırmaktadır. Ayrıca düşük pH ortamı, özellikle aspartik proteinazlar gibi tahıl kaynaklı enzimlerin aktivitesini destekleyerek bu çözünürlüğü daha da artırmaktadır (Loponen ve ark., 2007).

Şekil 4'te, kültür fermantasyonu uygulanan hamurlarda TSAA ve SÇP düzeylerinin zamanla gösterdiği değişim eğilimleri sunulmuştur. Çimlendirilmiş unlarla hazırlanan örneklerde, her iki parametrede de zamanla belirgin bir artış gözlenmiştir.



Şekil 4. Kültür fermantasyonu uygulanan hamurlarda, TSAA (A) ve SÇP (B) düzeylerinin zamana bağlı değişimi
Figure 4. Changes in TFAA (A) and WSP (B) levels of inoculated doughs during fermentation

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, ZDEB-103 ve B35K buğday çeşitlerinin çimlendirme süresine bağlı olarak değişen proteolitik aktivite düzeyleri izlenmiş, bu çeşitlerden elde edilen unlarla hazırlanan Tip II sıvı hamurların fermantasyon sürecinde asitlik profilleri, suda çözünür protein ve amino asit düzeyleri değerlendirilmiştir.

Öne çıkan bulgular aşağıda özetlenmiştir;

(i) ZDEB-103 çeşidinde, çimlenme süresine bağlı olarak TSAA ve SÇP düzeylerinde, B35K çeşidine kıyasla daha belirgin artışlar gözlenmiştir.

(ii) ZDEB-103 çeşidine ait unlarla hazırlanan sıvı hamurlarda, çimlendirme işlemi TSAA, SÇP ve TTA düzeylerinde anlamlı artışlara neden olmuş, daha belirgin pH düşüşüne yol açmıştır.

(iii) Fermantasyon tipi açısından, kültür kullanımı ZDEB-103 çeşidinin unlarıyla hazırlanan hamurlarda genel olarak TSAA düzeylerinde azalmaya neden olurken, B35K çeşidine ait hamurlarda bu düzeyleri artırıcı etki göstermiştir.

(iv) SÇP düzeyleri, kültür kullanımına bağlı olarak tüm gruplarda spontan fermantasyona kıyasla artış göstermiştir.

(v) Laktik asit bakterisi gelişimi açısından, çimlendirilmiş B35K unlarıyla (Ç35) hazırlanan hamurlarda, 24. saat sonunda en yüksek sayıya ulaşılmıştır.

Bu sonuçlar, kontrollü çimlendirme uygulamasının Tip II sıvı hamurların besinsel ve teknolojik özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Sıvı hamurların kurutularak toz ekşi hamur (Tip III) formuna dönüştürülmesi, bu bileşenlerin çeşitli gıda formülasyonlarında kullanımına yönelik olanaklar sunabilir. Örneğin, bu hamurlar protein sindirilebilirliğini artırmak ve fermantasyon süresini kısaltmak amacıyla tarhana üretiminde değerlendirilebilir. Gelecekteki çalışmalarda, Tip III hamurların tarhana ve ekşi maya ekmek gibi geleneksel fermente ürünlerin üretiminde potansiyel bileşenler olarak değerlendirilmesi ve bu uygulamaların son ürünlerin besinsel özellikleri ile biyoyararlılığı üzerindeki etkilerinin araştırılması önerilmektedir. Bununla birlikte, çalışmada yalnızca iki buğday çeşidinin kullanılmış olması, elde edilen bulguların genellenebilirliğini sınırlamaktadır. Bu nedenle, sonraki çalışmalarda farklı buğday çeşitleri ve tahıl türlerinin değerlendirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, birinci yazarın doktora tezinden özetlenmiştir. Yazarlar, tez çalışmasına finansal destek sağlayan

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (Proje No: 2021/1-26D) ve çalışmada kullanılan buğday çeşitlerinin temininde katkı sağlayan Prof. Dr. Ziya Dumlupınar'a teşekkür eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR

Adler-Nissen, J. (1979). Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolysates by trinitrobenzenesulfonic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 27*(6), 1256–1262. https://doi.org/10.1021/jf60226a042

Arendt, E. K., Ryan, L. A., & Bello, F. D. (2007). Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiology*, *24*(2), 165–174. https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.011

Brijs, K., Trogh, I., Jones, B. L., & Delcour, J. A. (2002). Proteolytic enzymes in germinating rye grains. *Cereal Chemistry, 79*(3), 423–428. https://doi.org/10.1094/cchem.2002.79.3.423

Capocchi, A., Cinollo, M., Galleschi, L., Saviozzi, F., Calucci, L., Pinzino, C., & Zandomeneghi, M. (2000). Degradation of Gluten by Proteases from Dry and Germinating Wheat (Triticum durum) Seeds: An in Vitro Approach to Storage Protein Mobilization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48*(12), 6271–6279. https://doi.org/10.1021/jf0006170

Cardinali, F., Garofalo, C., Reale, A., Boscaino, F., Osimani, A., Milanović, V., Taccari, M., & Aquilanti, L. (2022). Liquid sourdough from stone-ground soft wheat (Triticum aestivum) flour: Development and exploitation in the breadmaking process. *Food Research International, 161*, 111796. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111796

Da Ros, A., Polo, A., Rizzello, C. G., Acin-Albiac, M., Montemurro, M., Di Cagno, R., & Gobbetti, M. (2021). Feeding with Sustainably Sourdough Bread Has the Potential to Promote the Healthy Microbiota Metabolism at the Colon Level. *Microbiology Spectrum, 9*(3), e00494-21. https://doi.org/10.1128/spectrum.00494-21

Dallas, D. C., Smink, C. J., Robinson, R. C., Tian, T., Guerrero, A., Parker, E. A., Smilowitz, J. T., Hettinga, K. A., Underwood, M. A., Lebrilla, C. B., German, J. B., & Barile, D. (2015). Endogenous Human Milk Peptide Release Is Greater after Preterm Birth than Term Birth. *Journal of Nutrition, 145*(3), 425–433. https://doi.org/10.3945/jn.114.203646

De Vuyst, L., Comasio, A., & Van Kerrebroeck, S. (2021). Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63*(15), 2447–2479. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1976100

De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S., & Leroy, F. (2017). Microbial Ecology and Process Technology of Sourdough Fermentation. *Advances in Applied Microbiology*, 49–160. https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2017.02.003

Dominguez, F., & Cejudo, F. J. (1995). Pattern of endoproteolysis following wheat grain germination. *Physiologia Plantarum, 95*(2), 253–259. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1995.tb00835.x

Gänzle, M. G. (2013). Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation. *Food Microbiology, 37*, 2–10. https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.007

Gobbetti, M., Di Cagno, R., & De Angelis, M. (2010). Functional microorganisms for functional food quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 50*(8), 716–727. https://doi.org/10.1080/10408398.2010.499770

İbanoğlu, Ş., İbanoğlu, E., & Ainsworth, P. (1999). Effect of different ingredients on the fermentation activity in tarhana. *Food Chemistry, 64*(1), 103–106. https://doi.org/10.1016/s0308-8146(98)00071-5

JMP (2022), Versiyon, 16.2. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Leeuwendaal, N. K., Stanton, C., O'Toole, P. W., & Beresford, T. P. (2022). Fermented foods, health and the gut microbiome. *Nutrients, 14*(7), 1527. https://doi.org/10.3390/nu14071527

Lemmens, E., De Brier, N., Spiers, K. M., Ryan, C., Garrevoet, J., Falkenberg, G., Goos, P., Smolders, E., & Delcour, J. A. (2018). The impact of steeping, germination and hydrothermal processing of wheat (Triticum aestivum L.) grains on phytate hydrolysis and the distribution, speciation and bio-accessibility of iron and zinc elements. *Food Chemistry, 264*, 367–376. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.125

Loponen, J., Sontag-Strohm, T., Venäläinen, J., & Salovaara, H. (2007). Prolamin Hydrolysis in Wheat Sourdoughs with Differing Proteolytic Activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55*(3), 978–984. https://doi.org/10.1021/jf062755g

Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J., & Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current*

Opinion in Biotechnology, 44, 94–102. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010

Montemurro, M., Pontonio, E., Gobbetti, M., & Rizzello, C. G. (2019). Investigation of the nutritional, functional and technological effects of the sourdough fermentation of sprouted flours. *International Journal of Food Microbiology, 302*, 47–58. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.08.005

Ohm, J., Lee, C. W., & Cho, K. (2016). Germinated wheat: phytochemical composition and mixing characteristics. *Cereal Chemistry, 93*(6), 612–617. https://doi.org/10.1094/cchem-01-16-0006-r

Perri, G., Minisci, A., Montemurro, M., Pontonio, E., Verni, M., & Rizzello, C. G. (2023). Exploitation of sprouted barley grains and flour through sourdough fermentation. *LWT*, 187, 115326. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115326

Reale, A., Di Stasio, L., Di Renzo, T., De Caro, S., Ferranti, P., Picariello, G., Addeo, F., & Mamone, G. (2021). Bacteria do it better! Proteomics suggests the molecular basis for improved digestibility of sourdough products. *Food Chemistry, 359*, 129955. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129955

Siepmann, F. B., De Almeida, B. S., Waszczynskyj, N., & Spier, M. R. (2019). Influence of temperature and of starter culture on biochemical characteristics and the aromatic compounds evolution on type II sourdough and wheat bread. *LWT, 108*, 199–206. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.065

Świeca, M., & Dziki, D. (2015). Improvement in sprouted wheat flour functionality: effect of time, temperature and elicitation. *International Journal of Food Science & Technology, 50*(9), 2135–2142. https://doi.org/10.1111/ijfs.12881

TSE. 2004. "*TS 2282 Tarhana Standardi*" Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Ünsal, A. S., Atli, A., & Köten, M. (2020). Çimlendirilmiş Buğday Unundan Yapılan Tırnaklı (Düz Ekmek) ve Tava Ekmek Kalitesi Üzerine Bir Araştırma. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 23*(5), 1209–1215. https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.687817

Van Hung, P., Maeda, T., & Morita, N. (2015). Improvement of nutritional composition and antioxidant capacity of high-amylose wheat during germination. *Journal of Food Science and Technology, 52*(10), 6756–6762. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1730-6

Van Hung, P., Maeda, T., Yamamoto, S., & Morita, N. (2011). Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 92*(3), 667–672. https://doi.org/10.1002/jsfa.4628

Van Kerrebroeck, S., Maes, D., & De Vuyst, L. (2017). Sourdoughs as a function of their species diversity and process conditions, a meta-analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 68, 152–159. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.016

WGI (2021). International Association for Cereal Science and Technology (ICC), Whole Grain Initiative. https://www.wholegraininitiative.org/publications (Erişim Tarihi: 4.3.2025)

Yüksel, D., & İnanç, A. L. (2022). Determination of bioactive peptides in maras tarhana produced by traditional method and direct fermentation. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 25*(2), 357–366. https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.887719

Žilić, S., Janković, M., Barać, M., Pešić, M., Konić-Ristić, A., & Šukalović, V. H. (2016). Effects of enzyme activities during steeping and sprouting on the solubility and composition of proteins, their bioactivity and relationship with the bread making quality of wheat flour. *Food & Function, 7*(10), 4323–4331. https://doi.org/10.1039/c6fo01095d