

## TEFF (*Eragrostic tef*) UNUNUN EKMEK ÜRETİMİNDE KULLANIMI VE TRANSGLUTAMİNAZ ENZİMİNİN ÜRETİME ETKİSİ

Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kırklareli/TÜRKİYE

### Öz

Bu çalışmada teff unu ve transglutaminaz (TG) enzimi kullanılarak üretilen ekmeklerin bazı kimyasal, tekstürel ve duyuşal özellikleri araştırılmıştır. Buğday unu (kontrol), buğday unu+teff unu, buğday unu+ TG ve buğday unu+teff unu+ TG olmak üzere 4 farklı şekilde ekmek üretimi gerçekleştirilmiştir. Teff unu buğday ununa 1:3 oranında katılmıştır. TG enzim oranı 100 ppm olarak kullanılmıştır. Sonuçta teff unu içeren ekmeklerin gluten oranının daha düşük olması nedeni ile buğday unundan üretilen ekmeklere göre bazı kalite parametrelerinde farklılıklar gözlenmiş fakat duyuşal açıdan ekmekler beğenilmiştir. Ayrıca hem sadece buğday unu hem de buğday unu-teff unu karışımına TG enzimi ilavesinin ekmeklerde önemli bir iyileştirici etkisinin bulunmadığı, hatta kalitenin olumsuz olarak etkilediği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Teff unu, Transglutaminaz, Buğday unu

## THE USE OF TEFF (*Eragrostic tef*) FLOUR IN BREAD PRODUCTION AND THE EFFECT OF TRANSGLUTAMINASE ENZYME ON PRODUCTION

### Abstract

In this study, the possibilities of use of teff flour in the addition of wheat flour and its effect on production of transglutaminase (TG) enzyme on chemical, rheological and sensory properties were investigated. Breads were produced in four different ways as wheat flour (control), wheat flour+TG, wheat flour+teff flour, wheat flour+teff flour+TG. Teff flour was added to wheat flour 1:3 ratio. TG enzyme ratio was 100 ppm. As a result, due to the fact that the gluten content of the breads containing teff flour is lower, there were differences in some quality parameters compared to the breads produced from wheat flour, but the breads were liked in terms of sensory. In addition, it was determined that the addition of TG enzyme to both wheat flour and wheat flour-teff flour mixture did not have a significant improvement effect on breads, and even negatively affected the quality.

**Key Words:** Teff flour, Transglutaminase, Wheat flour

Sorumlu Yazar: Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU, haticealoglu@klu.edu.tr

## 1. Giriş

Dünya'nın en küçük tahılı olarak anılan ve gluten içermediğinden dolayı çölyak hastaları için bir avantaj olan teff tohumu yüksek protein, diyet lifi, manganez içeriği ve yüksek enerji kaynağı olması nedeni ile dikkatleri üzerine çekmektedir [1,2]. Teff, Eragrostae familyasından chlaridoideae alt familyasına giren bir bitkidir. Teff tohumu beyaz, krem rengi veya kahverengi tonlarda olabilmektedir. Tohumun, esansiyel aminoasit içeriği yüksek, mineral içeriği iyi düzeydedir ve bileşimi darıya benzemektedir. Teff unununun protein oranı %10-11 arasındadır [3,4]. Teff, taf ya da khakshir olarak da adlandırılan (Eragrostis tef) Kuzey Afrika'da bulunan Kuzey Etiyopya'da dağlık alanlarına özgü çayırgüzeli bitkisinin çeşidi olarak bilinen ve yılda bir kez ekilen bir tahıl grubudur. Özellikle en çok Etiyopya'nın dağlık kesimlerinde ekilse de Mısır, Uganda, Avusturya, Birleşik Devletler ve Kanada'da da teff üretimi yapılmaktadır [5]. Beyaz, kırmızı ve kahverengi olarak üç çeşidi bulunan teff dünyada en küçük tahıl tanesi (çapı 1 mm'den daha küçük) olarak bilinmesiyle beraber bu küçük tohum özelliğinden dolayı elle geniş bir alana ekilip üretimi yapılabilmektedir [6]. Teff kuraklık stresinden, su dolu toprak koşullarına kadar değişik şartlarda yetişebilmektedir. Teff yazlık bir bitki olmakla beraber adaptasyon kabiliyeti oldukça yüksektir [2].

Teff, Etiyopya'da geleneksel tahıl ürünü olarak yetiştirilmekte, çoğunlukla enjera denilen gözleme benzeri yerel bir ekmek üretimini yapmak için kullanılmakla birlikte, bazen lapa yapmak, bazen de yöreye özgü tela ve katikala denilen alkollü içeceğin üretimi için kullanılmaktadır. Teff samanı, en beğenilen sığır yemi olmasının yanı sıra çamur ve sıva yapılarak yerel hububat depolama tesislerinin güçlendirilmesinde yararlanılmaktadır. Teff'in bileşimi darıya benzemektedir, fakat lizin de dahil olmak üzere fazla miktarda esansiyel amino asit içermektedir. Teff'in lizin içeriği pirinç ve yulaf hariç tüm hububatlardan daha yüksektir [5]. En fazla içerdiği aminoasitler lösin, asparajin, prolin, glutamin ve alanin'dir [4].

Günümüzde insanların beslenmesinde proteince zengin gıda maddelerine yönelim artmasına rağmen, un temel gıda maddesi olarak yerini hala korumaktadır [7]. Dünya nüfusu günlük enerji ihtiyacının % 60'ından fazlasını tahıllardan karşılamaktadır. Tahıllar yüksek oranda karbonhidrat, protein ve az da olsa yağ içermektedir. İklimsel koşullara dayanıklı ve ucuzdurlar. En çok tüketilen tahılların başında buğday gelmektedir [8]. İnsanların ihtiyaç duyduğu besin miktarının önemli bir

kısmını karşılayan buğday, birçok unlu mamul yapımında kullanıldığından beslenme açısından önemli bir yere sahiptir [9]. Ülkemizde yaklaşık 22 milyon ton buğday üretimi yapılmakta ve bunun % 82’lik kısmı ekmeçlik buğdaydan oluşmaktadır. Türkiye, Dünyada en fazla buğday tüketen ülkeler arasında yer almaktadır [10]. Geniş bir aralıkta yetiştirildiği için tüm tahıl ekim alanlarının en geniş uygulamasına sahip olduğu kabul edilen buğday, insan beslenmesi için zorunlu olan tiamin, riboflavin, pentotanik asit, nikotinik asit, tokoferol gibi vitaminlerin önemli bir kaynağıdır. Ancak beslenme açısından gerekli vitamin ve mineraller çoğunlukla buğdayın embriyosunda ve dış kısmında bulunduğundan, öğütülürken ve saflaştırma durumunda miktarı azalmaktadır [11, 12]. Temel besin bileşenleri arasında yer alması nedeni ile ekmeğin üretiminde çeşitli bileşenlerin ilave edilmesi ile ekmeğin besin içeriğinin zenginleştirilmesi ve fonksiyonel özellikler kazandırılması ile ilgili çok fazla sayıda araştırma yapılmaktadır [13, 14, 15, 16, 17]. Bu araştırmaların arasında enzimlerle ekmeç ununu muamele ederek ekmeç kalite özelliklerini iyileştirmeyi amaçlayan araştırmalarda yer almaktadır [18, 19, 20, 21]. Un ve ekmeç üretiminde prosesi kolaylaştırmak ve kaliteli ürün elde etmek için en çok amilaz, proteaz, hemiselülaz, glukoz oksidaz ve transglutaminaz (TG) enzimleri kullanılmaktadır [22].

Gıda proteinlerinin fonksiyonel niteliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesinde etkili olan “enzimatik çapraz bağlanma” alternatif bir metottur [23]. TG enzimi, buğday proteinlerinden albumin, globulin ve glutenin çapraz bağlanmasını sağlamaktadır. Süne zararı görmüş buğdayların gluten kalitesini düzeltip hamur nitelikleri üzerinde olumlu etki yaratmak amacıyla kullanılmaktadır [22]. Enzim özellikle lizin ve glutamin içeren proteince zengin gıdalarda fiziksel değişikliklere neden olabilmektedir [24].

Bu araştırmada ilk olarak buğday unu ile teff unu karıştırılarak içerik olarak daha zengin ekmeçlik un elde edilmesi amaçlanmıştır. Fakat teff unu, gluten içermediği için ekmeç yapımında hacmi olumsuz etkilemekte, hacmi düşük ve basık ekmeçler elde edilmektedir. Bu durum ekmeğin albenisini düşürmektedir. Bu nedenle çalışmada TG enziminin proteinleri bağlama özelliğinden yararlanarak lizin ve glutamince zengin, gluten oranı azaltılmış hamurlardan üretilen ekmeçlerde etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Materyal**

Teff tohumu Migros Ticaret A.Ş. marketlerinden temin edilmiş ve öğütülerek un haline getirilmiştir. Ekmek üretiminde kullanılan buğday unu Kırklareli’de faaliyet gösteren bir un fabrikasından temin edilmiştir. Ekmek üretiminde ticari maya (Pakmaya) kullanılmıştır. Enzim olarak bileşiminde taşıyıcı olarak maltodekstrin içeren bakteriyel kökenli TG (Activa WM-Ajinomoto, Japonya) kullanılmıştır. Analizlerinde kullanılan kimyasalların tamamı analitik saflıktadır (Merck, Almanya).

### **2.2. Un Örneklerinde Yapılan Analizler**

Buğday unu ve teff ununda nem miktarı analizi Preuffer HE 50 (Almanya) marka nem tayin cihazı kullanılarak; kül tayini Wisd (Kore) marka kül fırınında yapılmıştır [25]. Un örneklerinin ham protein tayini Kjeldahl yöntemi ile yapılmıştır (Şimşek Labortechnik, Türkiye) [26]. Yağ miktarının tayini AOAC (1990)’a göre yapılmıştır [27]. Buğday ununda yaş gluten miktarı, gluten yıkama cihazı ve gluten indeks cihazı (Bastak GLW-02; Bastak 2100, Türkiye) kullanılarak (AACC 38-10), Zeleny sedimentasyon değeri, sedimentasyon cihazı (Bastak 3100, Türkiye) kullanılarak (AACC 56-60), ile yapılmıştır. Buğdayın süne ve kımıl tarafından zarar görüp görmediği belirlemek amacı ile gecikmeli sedimentasyon değeri ile belirlenmiştir (AACC 56-60). Düşme sayısı değerinin belirlenmesi düşme sayısı cihazı ile (Bastak 5100, Türkiye) yapılmıştır (AACC 56-81B). Zedelenmiş nişasta miktarı iyodin absorpsiyonu ölçülerek SD Matic kullanılarak yapılmıştır [27, 28].

### **2.3. Reolojik Analizler**

Unun, su ile karıştırılıp hamur haline geçerken yoğurmaya ve paletlere karşı gösterilen direncin bir yazıcı ile grafiğinin çizilmesi esasına dayanan farinograf analizi için 300g kapasiteli farinograf (Brabender, Almanya) cihazı kullanılmıştır (AACC 54-21). Farinograf özellikleri 2 paralel olarak analiz edilmiştir [28]. Ekstensograf analizi 2 paralel olmak üzere hamurların, enerji, sabit deformasyondaki direnci (R5), uzama kabiliyeti ve uzamaya karşı gösterdiği dirençlerinin (Rm)

45, 90 ve 135. dakikalardaki kurveleri ekstensograf cihazı (Brabender, Almanya) ile çizdirilerek hesap edilmiştir (AACC 54-10) [28].

## **2.4. Ekmek Üretimi**

Ekmek örnekleri; un ağırlığı baz alınarak % 0.75 tuz, % 1.25 instant maya ve farinografta (Brabender, Almanya) belirlenen su tutma kapasitesine uygun miktarda içme suyu kullanılarak üretilmiştir. Çalışmada 4 deneme grubu yer almaktadır. 1. grup kontrol grubu olup sadece buğday unu kullanılarak üretilmiştir. 2. grup buğday ununa 100 ppm TG enzimi ilave edilerek; 3. grup 1:3 oranında teff unu ve buğday unu karışımı kullanılarak; 4. grup 1:3 oranında teff unu ve buğday unu karışımına 100 ppm TG enzimi ilave edilerek ekmek üretimi gerçekleştirilmiştir. Ekmekler Sinbo SBM 4705 (Türkiye) ekmek pişirme makinesinde pişirilmiştir.

## **2.5. Ekmek Örneklerinde Yapılan Analizler**

### **2.5.1. Tekstür Analizi**

Ekmek örneklerinin tekstür profil analizi (TPA), tekstür analiz cihazı (TA.HD Plus Stable Micro Systems Ltd., Surrey, İngiltere) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm için 36 mm çapında alüminyum silindir prob kullanılmıştır. Ölçüm için güç-zaman deformasyon eğrileri, 30 kg'lık yük hücresi uygulanarak elde edilmiştir. Ölçümleri yapılacak ekmek örnekleri, eşit sıcaklıklarda olacak şekilde 2 cm yüksekliğinde ve 2 cm kenar uzunluğunda eşit boylarda kesilerek cihaza yerleştirilmiştir. Cihazın ön test, test ve son test hızı sırasıyla 1, 5 ve 1 mm/s olarak ayarlanmıştır. Güç-uzaklık eğrileri kaydedilmiştir ve kuvvet ve maksimum kuvvet pikinin mesafesi ile eğriyi temsil eden mekanik parametreler (sertlik, yapışkanlık, çiğnenebilirlik, esneklik ve yapışıklık) belirlenmiştir [29].

### **2.5.2. Renk Analizi**

Ekmeklerin CIE L\* (parlaklık), a\* (kırmızılık) ve b\* (sarılık) değerleri Hunter Renk Ölçüm Sistemi (Hunter Associates Laboratory, Inc.) kullanılarak belirlenmiştir. Eşit boylarda kesilen örneklerden iç ve dış kesitlerin renklerine bakıldıktan sonra aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır.

### 2.5.3. Duyusal Analiz

Ekmeklerin duyusal değerlendirilmesi 10 kişilik eğitimli bir panelist grubu tarafından yapılmıştır. Duyusal değerlendirme öncesinde panelistlere ekmeklerin duyusal değerlendirme kriterleri hakkında bilgi verilerek ön denemeler yapılmıştır. Ekmekler görünüş, renk, hacim, ekmek içi rengi, gözenek yapısı, tekstür, ağızda hissedilen yumuşaklık, lezzet, genel kabul edilebilirlik açısından değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Duyusal analizde kalite kriterleri 1’den 5’e kadar puanlama sistemine göre yapılmıştır. 1. Çok zayıf (kötü), 2. Zayıf (yeterli değil) 3. Orta (kabul edilebilir), 4. İyi ve 5. Çok iyi şeklinde değerlendirmeler yapılmıştır [30].

## 3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

### 3.1. Un ve Hamur Örneklerinde Yapılan Analizler

Un örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde Teff ununun buğday unundan daha düşük nem oranına fakat daha yüksek kül, yağ ve protein miktarına sahip olduğu görülmektedir. Protein miktarı ve kalitesi, buğday ununun kalitesi üzerinde birincil derece etkili olup, çeşit ve çevre koşullarından etkilenmektedir [31]. Teff ununun protein miktarı genellikle %10-%12 arasında olmakla beraber bu değerler tahılın olgunluğuna ve iklime göre değişiklik göstermektedir [32]. Ekmek üretiminde unun kalitesi ve randıman oranı önemlidir. Kaliteli bir unun yaş gluten oranı % 28-35, protein oranı % 10-12 arasında değişmektedir [33]. Tablo 1’ de görüldüğü gibi yaş gluten miktarının %27’nin üzerinde ve gluten indeks değerinin %100’e yakın olması nedeniyle araştırmada kullanılan buğday ununun optimum pişirme kalitesi göstereceği belirtilebilir. Teff ununda ise gluten bulunmaması nedeni ile tespit edilememiştir.

Sedimentasyon değeri, unun ekmekçilik değeri hakkında bilgi verir ve protein kalitesinin belirlenmesinde kullanılan kalite kriterlerinden birisidir. Böcekler vb. tarafından zarar görmüş buğdaydan una geçen enzimin çalışması için gerekli sürenin sağlanması açısından da gecikmeli sedimentasyon testi uygulanmaktadır [16]. Çalışmada, bu değer yüksek olması özün iyi su tuttuğu anlamına gelmekte ve ekmek hacminin iyi düzeyde olacağı anlaşılmaktadır (Tablo 1). Ayrıca bulunan değerler TGK Buğday Unu Tebliğine (en az 30 mL) uygun bulunmuştur [34].

Buğday ununun düşme sayısı değeri 306 sn olarak bulunmuştur (Tablo 1). Düşme sayısı, gaz miktarı ile ekmek hacmi büyümesi açısından önemlidir [35]. Düşme sayısı 150 ve altında ise amilaz aktivitesi yüksektir, buğday çimlenmiştir ve üretilen ekmeğin içi yapışkan olabilir; 200-250 arasındaysa amilaz aktivitesi normaldir, 300 ve daha yukarı ise düşük amilaz aktivitesini göstermektedir. Bu unlardan üretilen ekmekler kuru ve hacmi küçük olabilmektedir [33, 35]. Elde edilen sonuçlara göre araştırmada amilaz aktivitesi normal düzeydedir. Yapılan analizler sonucunda buğday ununda bulunan nişasta zedelenmesi %24.3 olarak bulunmuştur.

**Tablo 1.** Un örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları

Analizler	Buğday un	Teff unu
Nem (%)	13.90±0.14	11.00±0.14
Kül (%)	0.481±0.02	2.332±0.34
Yağ (%)	1.309±0.31	2.141±0.32
Protein (%)	10.76±0.15	11.29±0.13
Yaş Gluten (%)	27.6±0.71	TE
Gluten İndeks (%)	97±0.00	TE
Sedimentasyon (mL)	38.5±0.71	14±0.00
Gecikmeli Sedimentasyon (mL)	62±1.41	14±0.00
Düşme sayısı (sn)	306±2.83	-
Zedelenmiş nişasta	24.3±0.14	-

TE: Tespit edilmemiştir.

Un örneklerinin 135. dakikadaki ekstensograf değerleri Tablo 2’de görülmektedir.

**Tablo 2.** Un örneklerinin ekstensograf değerleri (135.dakika)

Özellikler	Buğday unu	Teff+Buğday unu	Teff+Buğday unu+ TG
Enerji (cm <sup>2</sup> )	95.0±2.88	39.5±4.95	14.5±7.78
Hamurun sabit deformasyondaki direnci (R <sub>s</sub> ) (BU)	1096.0±15.60	336.0±45.25	326.0±96.27
Uzama kabiliyeti (mm)	79.0±0.56	91.5±0.71	42.0±4.24
Hamurun uzamaya karşı gösterdiği max. direnç (R <sub>m</sub> ) (BU)	1096.0±5.56	335.5±44.55	23.0±4.24



Buğday ununa, teff unu ilavesi hamurun sabit deformasyondaki direnci (R5), uzamaya karşı gösterdiği direnci ve enerjisini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Hamurun uzamaya karşı gösterdiği direnç, hamurun gluten yapısı ile ilgilidir. Kuvvetli glutene sahip unların hamurlarının uzamaya karşı gösterdiği direnç de fazla olmaktadır. Ekstensograf değerlerindeki gözlenen bu düşüş; teff unu ilavesi ile undaki protein ve kül miktarının artması, buna karşılık toplam protein içinde gluten miktarının düşmesiyle unda protein kalitesinin zayıflaması ile açıklanabilir. Buğday ununa, teff unu ilavesi hamurun uzama kabiliyetini artırmıştır, viskoelastik yapısını bozmamıştır. Şen (2013) yapmış olduğu çalışmada ekmeklik una ilave edilen % 5 oranındaki nar ve kuşburnu çekirdeği unlarının hamurun uzama kabiliyetini artırıcı, daha yüksek oranda ilavenin ise azaltıcı yönde etki gösterdiğini belirlemiştir [16]. Tablo 2' de teff ve un karışımına eklenen TG enziminin, ekstensograf değerlerinin hepsinde daha da düşmeye neden olduğu görülmektedir. Enzim içermeyen teff ve un karışımından oluşan hamurlara göre enzim ilavesi Rm değerini 335.5'ten 23.0'e düşürmüştür. Yapılan bazı çalışmalarda TG enziminin hamurun reolojik özelliklerini olumlu yönde etkileyerek kuvvetini, stabilitesini, elastikiyetini ve yoğurma toleransını arttırdığı, buna karşılık su kaldırmasını ve yapışkanlığını azaltarak hamurun işlenebilme özelliklerini geliştirdiği ve ekmek hacminin artırılmasında başarıyla kullanıldığı bildirilmesine rağmen [22, 24, 36] bu çalışmada TG enzimi hamur kalitesine olumsuz yönde etki göstermiştir. Hayıt (2014) ekmeklik buğday unu ve bu una farklı oranlarda karabuğday ve TG ilave edilerek hazırlanan hamurların özelliklerini incelediği araştırmasında, ekmeklik buğday ununa TG ilavesinin hamurun uzamaya karşı gösterdiği direnci artırmasına rağmen, %30 düzeyinde karabuğday unu ilavesinden sonra bu değer azalmasına neden olduğunu tespit etmiştir [24]. Bu çalışma ile benzer şekilde karabuğday karışımı ile hazırlanan hamurlara TG ilavesinin hamurun uzamaya karşı gösterdiği direnç değerleri üzerinde negatif bir etkisi olmuştur. Buğday ununa teff ilavesi hamurun uzman kabiliyetini çok düşük oranda da olsa artırıcı etki göstermiştir, bu un karışımına TG ilavesi ise uzama kabiliyetinin azalmasına neden olmuştur.

### 3.2. Tekstür Analizi Sonuçları

Gıdalarda sertlik değeri duyuşsal anlamda gıdayı ön dişler arasında sıkıştırmak için ve fiziksel anlamda deformasyon için gerekli gücü ifade etmektedir. Ekmekte sertlik, ekmek içi



yumuşaklığında meydana gelen azalma olarak belirtilmektedir. Yumuşaklıkta meydana gelen azalmanın iki sebebi vardır. Bunlar ekmeğin nem kaybetmesi ve nişasta regradasyonudur [37].

**Tablo 3.** Ekmek örneklerinin tekstürel analiz sonuçları

Gruplar	Sertlik (N)	Yaylanma (mm)	Yapışkanlık (g.s)	Sakızimsılık	Çiğnenebilirlik	Esneklik (mm)
1. grup	0.732±0.19	1.564±1.04	0.638±0.43	0.491±0.35	1.023±0.73	0.360±0.24
2.grup	5.385±2.94	0.960±0.01	0.747±0.07	3.888±1.75	3.704±1.63	0.470±0.03
3.grup	7.652±0.24	0.863±0.01	0.690±0.02	5.280±0.06	4.554±0.04	0.359±0.35
4.grup	21.040±0.02	0.903±0.01	0.743±0.02	15.642±0.01	14.121±0.03	0.489±0.03

Tablo 3'te ekmeğin tekstürel analiz sonuçları verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi buğday ununa teff unu ve TG enzimi ilavesi ekmeklerin sertlik değerini artırmıştır. Teff ilaveli una yapılan enzim ilavesi, buğday ununa göre sertlik değerini daha da artırmıştır. Şen, 2013'te benzer şekilde ekmeğin hamuruna üzüm, nar ve kuşburnu çekirdek unlarının ilave edilmesini artan çekirdek oranına paralel olarak önemli derecede arttığını belirtmiştir [16]. Hayıt (2014), ekmeğin buğday ununa %10, %20 ve %30 oranında karabuğday eklenmesinin sertlik değerini karabuğday oranının artmasına bağlı olarak arttırdığını ve bu artışın gluten ağlarının zayıflaması ve ekmeğin hacminde meydana gelen azalmayla ilgili olabileceğini belirtmiştir [24].

Yapışkanlık değeri ekmeğin içi bağların kuvveti hakkında fikir veren bir değerdir [23]. Tablo 3 incelendiğinde teff ve TG enzim ilavesinin yapışkanlığı çok düşük düzeyde de olsa artırdığı gözlemlenmiştir. Hamurda glutenin olmaması hamurun daha sıvı olmasına, pişmiş ürünün çökmesine bağlı kalite sorunlarına sebep olmuştur [38]. Çalışmanın sonuçları literatürdeki bazı çalışmalardan farklılık göstermektedir. Hayıt ve Gül (2017)'ün çalışmasındaki kohezif yapışkanlık değerleri incelendiğinde en yüksek değeri kontrol grubu örneklerinin aldığı görülürken, karabuğday unu ilavesi oranındaki artışa paralel olarak kohezif yapışkanlık değerlerinin azaldığı görülmüştür [23]. Bu durumun gluten miktarının azalması nedeniyle gözlemlendiği belirtilmiştir. Aynı çalışmada TG enzim ilavesinin, kontrol grubu ve % 10 karabuğday unu ilaveli örneklerde önemli bir değişiklik yapmadığı saptanmıştır. Sakızimsılık gıdayı yutmak için hazır hale getirmeyi ifade etmektedir. Çiğnenebilirlik ise fiziksel anlamda katı bir maddenin yutmaya hazır hale getirmesi için harcanan enerji olarak ifade edilmektedir [37]. Teff ve TG enzimi karışımı sakızimsılığı ve

çiğnenebilirliği oldukça arttırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca teff ve buğday unlu karışıma TG ilavesi sakızimsılığın ve çiğnenebilirliğin daha da artmasına neden olmuştur. Bu değerler sertlik değerleri ile paralel olup sertlikteki artışa paralel olarak sakızimsılık artmış, çiğnenebilirlik zorlaşmıştır. Esneklik değerleri incelendiğinde teff ilavesinin etkisinin olmadığı, fakat çok düşük düzeyde de olsa TG ilavesinin esnekliği artırdığı gözlemlenmiştir. Yaylanma değerleri incelendiğinde ise teff ve TG enzim ilavesi yaylanmayı azalttığı görülmektedir. Hayıt ve Gül (2017)'ün esneklik değerleri incelendiğinde ekmeklik buğday ununa % 10 oranında karabuğday unu eklenmesi önemli bir fark yaratmazken, % 20 ve % 30 ilaveli örneklerde esneklik değeri önemli oranda azalmıştır [23]. Aynı çalışmada TG enzim ilavesinin ve miktarının örneklerin esneklik değerinde fark yaratmadığı saptanmıştır.

### 3.3. Renk Analizi Sonuçları

Renk analizinde L\* parlaklık (siyah-beyaz), a\* kırmızılık (kırmızı-yeşil), b\* değeri ise sarılık (sarı-mavi) değerlerini göstermektedir [39]. Ekmeklerin kabuk ve iç dokusunda yapılan ölçüm sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre buğday unundan yapılan ekmeklerin kabuk ve iç renginin daha parlak olduğu gözlemlenmiştir. Teff unu tam tahıllı un olduğundan, kepek parçacıkları nedeni ile ilave edildiği ekmeklerde daha koyu bir renk oluşumu beklenmektedir [18]. Teff ve enzim ilavesinin rengi olumsuz etkileyerek parlaklığı düşürdüğü gözlemlenmiştir. Teff'in ekmek kabuğu ve iç dokudaki a\*değerini artırdığı, b\*değerini düşürdüğü belirlenmiştir.

**Tablo 4.** Ekmek örneklerinin kabuk ve iç renk analiz sonuçları

Gruplar	Ölçüm yeri	L*	a*	b*
1.grup	Kabuk	72.367±0.71	5.910±0.41	24.047±0.58
	İç	69.497±1.37	-0.683±0.18	13.143±0.34
2.grup	Kabuk	70.550±3.33	5.107±1.11	17.407±1.35
	İç	63.027±1.50	-0.373±0.24	13.573±0.67
3.grup	Kabuk	50.453±1.72	8.543±1.83	16.120±2.23
	İç	50.070±3.47	5.970±0.05	11.720±1.26
4.grup	Kabuk	58.567±2.78	6.613±0.54	16.920±1.92
	İç	41.557±1.32	6.213±0.49	9.547±1.75

Hem buğday unu hem de teff-buğday unu karışımına TG enzimi ilavesi a\* değerinin azda olsa kabukta düşmesine, ekmek içinde ise artmasına neden olmuştur. Ekmek grupları içerisinde en

yüksek  $b^*$  değeri buğday unundan üretilen ekmeğin kabuğunda gözlenmiş olup, diğer gruptaki değişimler önemsiz düzeyde olmuştur. Buğday ununa nar, üzüm ve kuşburnu çekirdek unu ilave edilerek üretilen ekmeklerde ilave edilen bileşenin miktar ve özelliğine göre parlaklık değerlerinde değişikliklerin olduğu ve genellikle  $L^*$  değerinin azaldığı,  $a^*$  değerinin arttığı,  $b^*$  değerinin ise katılan çekirdek unu çeşidine göre artış veya azalış gösterdiği belirtilmiştir [16]. Koca ve Anil (2007), yapmış oldukları çalışmalarında kontrol ve keten tohumlu ekmekler arasında kabuk renginde önemli farklılıklar gözlemiştir. Keten tohumu ununun, kabuk  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerini düşürdüğünü belirlemişlerdir [14].

### 3.4. Duyusal Analiz Sonuçları

Ekmek gruplarının duyusal analiz sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur. Genel olarak panelistlerin değerlendirdiği duyusal özelliklerden en yüksek beğeniyi buğday unundan üretilen ekmekler, en az beğeniyi ise buğday ununa TG enzimi ilave edilen ekmekler almıştır. Teff-buğday unu karışımından üretilen ekmeklerin buğday unundan üretilen ekmeklere yakın değerlere sahip oldukları ve genel olarak beğenildikleri görülmektedir. Teff-buğday unu karışıma TG enzimi ilave edilerek üretilen ekmeklerde hacim, tekstür ve ağızda hissedilen yumuşaklık değerlerinin daha düşük değerler aldığı görülmüştür.

**Tablo 5.** Duyusal analiz sonuçları

Özellik	1.grup	2.grup	3.grup	4.grup
Görünüş	5.0±0	3.2±0.92	4.4±0.52	4.3±0.82
Renk	5.0±0	3.8±0.79	4.1±0.88	4.6±0.70
Hacim	5.0±0	2.9±0.88	4.3±0.67	3.6±1.07
Ekmek içi rengi	4.5±0.53	3.0±0.94	4.5±0.53	4.4±0.84
Gözenek yapısı	4.5±0.53	3.0±1.05	3.8±1.03	3.6±0.84
Tekstür	4.5±0.53	2.8±1.14	4.0±0.45	3.8±0.92
Ağızda hissedilen yumuşaklık	4.5±0.53	3.0±0.82	4.1±0.74	3.8±0.92
Lezzet	5.0±0	3.3±0.82	4.1±0.83	4.1±0.52
Genel kabul edilebilirlik	5.0±0	3.1±0.74	4.0±0.47	3.9±0.99

Ekmek üretiminde TG enzimi kullanımının tekstür sonuçlarında yarattığı olumsuz sonuçlar duyusal analiz sonucunda da doğrulanmıştır. Genel olarak enzim iç dokunun yapışkan olmasına, gözenek yapısının olumsuz etkilenmesine ve düşük hacme neden olmuştur. Kontrol ekmeğinin aroması

zaten tüketiciler tarafından bilinen bir tat olduğundan, panelistlerce de yadırganmamış, teff-buğday unu karışımından üretilen ekmeklerin duyuşal özellikleri kontrol ekmeğine yakın olarak bulunmuştur.

#### 4. Sonuç

Bu araştırmada, insanların büyük bir zevkle tükettiği ekmeğin, buğday ununa besleyici değeri yüksek ve esansiyel aminoasitlerce zengin teff unu eklenerek fonksiyonel bir gıda eldesi hedeflenmiştir. Teff ununun glutensiz olmasından dolayı kaynaklanabilecek hacim düşüklüğünü gidermek amacıyla TG enzimi ilave edilmiştir. Ancak TG enzimi unun yapısında bulunan proteinleri çapraz bağlayarak şişmeyi engellemiş ve hacmi arttırmak yerine düşürmüştür. TG enzimi hem buğday unu hem de teff-buğday unu karışımından üretilen ekmeklerde olumlu sonuçlar gösterememiştir. Teff unu kullanılan ekmeklerin rengi sadece buğday unundan yapılan ekmeklere göre daha koyu olmuştur, duyuşal açıdan kontrol grubuna yakın değerler almıştır. Farklı oranlarda teff-buğday unu karışımlarının tekstürel ve duyuşal özelliklerinin belirlenmesinde ayrıca farklı dozlarda TG enzim muamelelerinin ileride çalışılması tavsiye edilmektedir.

#### Teşekkür

Araştırmanın laboratuvar aşamasında destek olan İlknur Bilgin ve Ayşe Erdal'a teşekkür ederim.

#### KAYNAKLAR

- [1] El-Alfy, T.S., Ezzat, S.M., Sleem, A.A., Chemical and Biological Study of the Seeds of *Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter. Natural Product Research, 26 (7), 619-629, 2012.
- [2] Üke Ö., Kinoa ve Teff Bitkilerinde Hasat Zamanının Ot Verim ve Kalitesi Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [3] Gebru, Y.A., Hyun-II, J., Young-Soo, K., Myung-Kon K., Kwang-Pyo, K., Variations in Amino Acid and Protein Profiles in White versus Brown Teff (*Eragrostis Tef*) Seeds, and Effect of Extraction Methods on Protein Yields. Foods, 8, 202, 1-15, 2019.

- [4] Gebremariam, M.M., Zarnkow, M. Becker, T., Teff (*Eragrostis tef*) as a Raw Material for Malting, Brewing and Manufacturing of Gluten-free Foods and Beverages: A Review. Journal of Food Science and Technology, 51 (11), 2881-2895, 2014.
- [5] Ketema, S., Tef *Eragrostis Tef* (Zucc.) Trotter, Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops 12, International Plant Genetic Resources Institute Ethiopia, 1997.
- [6] Ketema S., Tef *Eragrostis Tef* Breeding, Genetic Resources, Agronomy, Utilization and Role in Ethiopian Agriculture, Ethiopian Institute of Agricultural Research, Ethiopia, 1993.
- [7] Ersoy G., Hasbay A., Sporcu Beslenmesi, Sinem Matbaacılık, Ankara, 2016.
- [8] Naneli İ. Sakin, M.A., Kırıl, A.S., Tokat-Kozova Şartlarında Bazı Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 32 (1), 91-103, 2015.
- [9] Hayıt F., Gül H., Çölyak ve Çölyak Hastalıkları İçin Üretilen Ekmeklerin Kalite Özellikleri. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7 (1), 163-169, 2017.
- [10] Yıldırım, S., Fırat A., Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum L. em Thell*) Adaptasyonunda Vernelizasyon Tepkiyi Kontrol Eden Genlerin Etkisi 1. Kalıtım Dereceleri. Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 16 (1), 1-34, 2006.
- [11] Ereku, O., Yiğit, A., Koca, Y.O., Ellmer, F., Weib, K., Bazı Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum L.*) Çeşitlerinin Kalite Potansiyelleri ve Beslenme Fizyolojisi Açısından Önemi. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25 (Özel sayı-1), 31-36, 2016.
- [12] Kotancılar, G., Çelik, İ., Ertugay, Z., Ekmeğin Besin Değeri ve Beslenmedeki Önemi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26 (3), 431-441, 1995.
- [13] Ertaş, N., Bilgiçli, N., Türker, S., Aktif Soya Unu, Glukoz Oksidaz ve Lipaz Enzim Katkılarının Un, Hamur ve Ekmek Özelliklerine Etkisi. Gıda, 31 (3),143-149, 2006.
- [14] Koca, A.F., Anil, M., Effect of Flaxseed and Wheat Flour Blends on Dough Rheology and Bread Quality. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87, 1172-1175, 2007.
- [15] Blanco, C.A., Ronda, F., Pérez, B., Pando, V. Improving Gluten-free Bread Quality by Enrichment with Acidic Food Additives. Food Chemistry, 127, 1204-1209, 2011.
- [16] Şen, H., Bazı Doğal Bitkisel Katkıların Ekmek Hamurunun Reolojik Özellikleri ile Ekmek Kalitesi Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

- [17] Fendri, L.B., Chaari, F., Maaloul, M., Kallel, F., Abdelkafi, L., Chaabouni, S.E., Ghribi-Aydi, D. Wheat Bread Enrichment by Pea and Broad Bean Pods Fibers: Effect on Dough Rheology and Bread Quality. *LWT - Food Science and Technology*, 73, 584-591, 2016.
- [18] Alaunyte, I., Stojceska, V., Plunkett, A., Ainsworth, P., Derbyshire, E., Improving the Quality of Nutrient-rich Teff (*Eragrostis tef*) Breads by Combination of Enzymes in Straight Dough and Sourdough Breadmaking. *Journal of Cereal Science*, 55, 22-30, 2012.
- [19] Dłużewska, E., Marciniak-Lukasiak, K., Kurek, N., Effect of Transglutaminase Additive on the Quality of Gluten-free Bread. *CyTA - Journal of Food*, 13 (1), 80-86, 2015.
- [20] Bardi, R.R., Tabari, M., Tavakolipor, H., Improving the Rheological Properties of 18% Wheat Flour as Affected by Transglutaminase Enzyme. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, 3 (2), 138-146, 2020.
- [21] Moradi, M., Bolandi, M., Arabameri, M., Karimi, M., Baghaei, H., Nahidi, F., Kanafi, M.E. Semi-volume Gluten-free Bread: Effect of Guar Gum, Sodium Caseinate and Transglutaminase Enzyme on the Quality Parameters. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2344-2351, 2021.
- [22] Erem F., Certel M., Fırın Ürünlerinde Enzim Uygulanmaları. Türkiye 9. Gıda Kongresi; 24-26 Mayıs 2006, Bolu, 2006.
- [23] Hayıt, F., Gül, H., Tam Karabuğday Unu ve Transglutaminaz İlavesinin Kısmi Pişirilerek Dondurulmuş Ekşi Mayalı Ekmeklerin Fiziksel ve Tekstürel Özellikleri Üzerine Etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30 (2), 113-119, 2017.
- [24] Hayıt, F., Karabuğday, Transglutaminaz ve Ekşi Mayanın Dondurulmuş Ekmek Kalitesi Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [25] MEGEP Gıda Teknolojisi, Un ve Unlu Mamüllerdeki Analizler 2, Ankara, 2013.
- [26] Cemeroglu, B., Özkan, M., Yemenicioğlu, A., Kırca, A., Yemiş, O., Gıda Analizleri. Ed: Cemeroglu B., Bizim Büro Basımevi, Ankara, 2007.
- [27] AOAC, 1990. Official Methods of Analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- [28] AACC, 2000. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minn, USA.
- [29] Dertli, E., Yılmaz, M.T., Tatlısu N.B., Toker, O.S., Cankurt, H., Sagdic, O., Effects of in Situ Exopolysaccharide Production and Fermentation Conditions on Physicochemical Microbiological, Textural and Microstructural Properties of Turkish-type Fermented Sausage (Sucuk). *Meat Science*, 121, 156-165, 2016.



[30] Hayıt, F., Gül, H. Kinoa Ununun ve Kısmi Pişirilerek Dondurma Yönteminin Glutensiz Ekmek Kalitesi Üzerine Etkisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 406-427, 2019.

[31] <http://www.tusaf2016.org/wp-content/uploads/2016/04/Serta%C3%A7-%C3%96zer.pdf>

[32] Stallknecht, G.F., Gilbertson, K.M., Eckhoff, J.L., Teff: Food Crop for Humans and Animals. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.), *New Crops*. Wiley, New York, 1993.

[33] Elgün, A., Ertugay, Z., Tahıl İşleme Teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisleri, 2002.

[34] Türk Gıda Kodeksi, Buğday Unu Tebliği, Tebliğ No:2013/9, Ankara.

[35] Dizlek H., Gül H., Farklı Düzeylerde Kullanılan L-askorbik Buğday Kepekli Ekmeklerin Bazı Nitelikleri Üzerindeki Etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2 (2), 1-10, 2007.

[36] Dizlek, H., Özer, M.S., Süne Zararına Uğramış Ekmeklik Buğdayların Bazı Niteliklerinin İncelenmesi ve İyileştirilmesi Olanakları Üzerine Bir Araştırma. *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (1), 33-43, 2010.

[37] Demiray E., Çelik, İ., Nogay, O., Tülek, Y., Denizli Karahöyük Ekmeği Zığır'ın Renk ve Tekstürel Özellikleri. *Akademik Gıda*, 13 (3), 223-228, 2015.

[38] Torbica, A., Hadnadev, M., Dapcevic, T., Rheological, Textural and Sensory Properties of Gluten-free Bread Formulations Based on Rice and Buckwheat Flour. *Food Hydrocolloids*, 24, 626-632, 2010.

[39] Keskin M. Setlek, P., Demir, S., Use of Color Measurement Systems in Food Science and Agriculture. *International Advanced Researches & Engineering Congress*, 16-18 November, Osmaniye/Türkiye, 2017.