

## Kepek katkılı ekstrüde mısır çerezinin besleyicilik ve fonksiyonel özelliklerinin araştırılması

Nazlı ŞAHİN<sup>1</sup>, Nermin BİLGİÇLİ<sup>2</sup>, Abdulvahit SAYASLAN<sup>1</sup>

### Cite this article as:

Şahin, N., Bilgiçli, N., Sayaslan, A. (2021). Kepek katkılı ekstrüde mısır çerezinin besleyicilik ve fonksiyonel özelliklerinin araştırılması. *Food and Health*, 7(2), 103-119. <https://doi.org/10.3153/FH21012>

<sup>1</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi Gıda  
Mühendisliği Bölümü, Karaman,  
Türkiye

<sup>2</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi  
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi  
Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya,  
Türkiye

### ORCID IDs of the authors:

N.Ş. 0000-0002-0963-8882  
N.B. 0000-0001-5490-9824  
A.S. 0000-0001-7161-1552

Submitted: 18.09.2020

Revision requested: 19.10.2020

Last revision received: 21.10.2020

Accepted: 31.10.2020

Published online: 19.02.2021

### Correspondence:

Nazlı ŞAHİN

E-mail: [nsahin@kmu.edu.tr](mailto:nsahin@kmu.edu.tr)



© 2021 The Author(s)

Available online at

<http://jfhscscientificwebjournals.com>

### ÖZ

Mısır çerezleri en yaygın üretilen ve tüketilen çerez gıdalarındandır. Mısır irmiği kullanılarak üretilen ekstrüde çerezlerin besleyicilik ve fonksiyonel özellikleri oldukça zayıftır. Bu çalışmada ekstrüde mısır çerezi üretiminde buğday kepeği kullanımının etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla ürünün fiziksel özellikleri (sertlik, kırılabilirlik, gevreklik, genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik) dikkate alınarak Merkezi Kompozit Tasarımı - Yanıt Yüze Metodu (MKT-YYM) yaklaşımıyla ekstrüzyon şartları optimize edilmiş (nem içeriği %14, kalıp sıcaklığı 120 °C, kepek: mısır irmiği oranı %10, mısır nişastası: kepek + mısır irmiği oranı %10) ve doğrulama çalışmaları yürütülmüştür. Daha sonra karışımın kepek oranı %10'dan %22'ye kademeli olarak artırılarak 4 farklı ürün elde edilmiştir. Optimum şartlarda üretilen (%10 kepek) ve kepek oranı kademeli olarak artırılarak üretilen (%13, 16, 19 ve 22 kepek) toplam 5 ürünün kimyasal bileşimleri (nem, protein, yağ ve kül) ve besleyicilik özellikleri (fitik asit, diyet lifi, toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasite) belirlenmiştir. Optimize edilen oranda (%10) kepek ilavesi ekstrüde çerezlerin fiziksel özelliklerini olumlu etkilerken, kepek katkılama oranının artması ürünlerin fiziksel özelliklerini kısmen zayıflatmıştır. Kepek katkı oranı yükseldikçe ekstrüde mısır çerezlerinin besleyicilik ve fonksiyonel özellikleri önemli düzeyde artmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ekstrüzyon Teknolojisi, Kepek, Besleyicilik, Fonksiyonel, YYM

### ABSTRACT

#### Investigation of nutritional and functional properties of extruded corn snacks with bran addition

Corn snacks are commonly produced and consumed snack foods. The nutritional and functional properties of extruded snacks that were produced using corn semolina are rather poor. In this study, the effects of wheat bran addition to extruded corn snack formulation were investigated. For this purpose, the extrusion conditions were first optimized using Central Composite Design - Response Surface Methodology (CCD-RSM), based on the physical properties of the products (hardness, crispness, brittleness, expansion rate, apparent density and porosity). Upon optimization, the best extruded snack production conditions were determined (moisture content of the mixture 14%, die temperature 120°C, bran: corn semolina ratio 10%, corn starch: bran + corn semolina ratio 10%) and the results were verified via experimental studies. Then, the bran ratio of the mixture was gradually increased from 10% to 22% and 5 different extruded snacks with varying bran contents (10%, 13%, 16%, 19% and 22% bran) were produced. Chemical composition (moisture, protein, fat and ash) and nutritional properties (phytic acid, dietary fiber, total phenolic substance and total antioxidant capacity) of the extruded corn snacks with bran additions (ECSwBA) were determined. The addition of bran at the optimized rate (%10) positively affected the physical properties of extruded corn snacks. Further increase in the bran addition partially weakened the physical properties of corn snacks. However, as the bran addition ratio increased, the nutritional and functional properties of the extruded corn snacks increased significantly.

**Keywords:** Extrusion Technology, Bran, Functional, Nutritional, RSM

## Giriş

Buğday tanesi yaklaşık %83 endosperm, %3 ruşeym ve %14 kabuk (kepek) içermektedir. Buğday kepeği fenolik bileşikler, vitaminler, mineraller, çözünmez lif ve protein bakımından zengindir (Hossain ve ark., 2013). Buğday kepeğinin düşük maliyeti, suda çözünmeyen lifleri yüksek oranda içermesi, düşük yoğunluğu ve yenilenebilir olması birçok alanda dolgu ve katkı maddesi olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Taj ve ark., 2007). Buğday kepeğinin içerdiği doğal fenolik ve antioksidan bileşikler fonksiyonel gıda üretimine katkı sağlarken, lif içeriğinin zengin olması diyabet, kanser ve kalp-damar hastalıklarının önlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Vaher ve ark., 2010).

Ekstrüzyon teknolojisi uygun nem içeriği ve partikül büyüklüğüne getirilmiş nişasta ve protein içeren karışımların, bir silindirin içerisinde dönen sonsuz vida yoluyla sağlanan mekanik kayma gerilimi, sıcaklık ve basınç ile nişastanın jelatinize, proteinlerin denatüre, lipidlerin modifiye ve enzimlerin inaktive olduğu modern bir gıda işleme teknolojisi olup; tek bir prostele karıştırma, pişirme, şekil verme ve kısmen kurutma gibi işlemlerin yapıldığı kompleks bir prostedir (Riaz, 2000; Yağci ve Göğüş, 2008). Bu teknoloji ile ekstrüde çerez gıdalar, makarna, kedi-köpek mamaları, katkı maddeleri, şekerleme, hazır çorba tozları ve bebek mamaları gibi geniş bir yelpazede ürünler üretilmektedir (Riaz, 2000). Ekstrüzyon teknolojisi Türkiye’de yaygın olarak ekstrüde çerez gıda üretiminde uygulanmaktadır.

Yapılan araştırmalar (Anonim, 2017), Türkiye’de çerez gıda sektöründe ciddi bir pazar payı olduğunu ortaya koymaktadır. Amerika’da yıllık kişi başı cips tüketimi 9 kg iken, İngiltere’de 5 kg, Ortadoğu ülkelerinde 3 kg ve Türkiye’de ise sadece 1 kg kadardır (Anonim, 2017). Genç nüfus bu gıdaları sıklıkla tükettiği için cips sektörüne talep de yükselmektedir. Patates ve mısır cipslerinin 16 yaşından 50 yaşlara kadar olan geniş bir yaş aralığında tüketicisi bulunurken, mısır cipslerinde daha çok 8-13 yaş grubundaki tüketicileri hedefleyen ürünlerin payı daha yüksektir (Anonim, 2017). Yapılan bir çalışmada (Uzun ve ark., 2007) tüketicilerin patates ve mısır cipslerinden aldıkları enerjinin sırası ile %34 ve %46’sı karbonhidrattan, %60 ve %48’i yağdan ve sadece %6’sı proteinden gelmektedir. Yağdan gelen enerji bu denli yüksek iken proteinden gelen enerjinin düşük olması dengesiz beslenmeye sebep olmaktadır. Gelişme dönemlerinin sağlıklı geçmesi için gençlerin tüketim alışkanlıklarının düzenlenmesi ve

sıklıkla tükettikleri gıdaları onlar için sağlıklı hale getirme çalışmaları yapılmalıdır.

Literatürde tahıl kepeklerinin ekstrüde çerezlerde kullanımı ile alakalı çok sayıda çalışma yer almaktadır. Gajgula ve ark. (2018), buğday ununa %0-10-20-30 oranlarında buğday kepeği ilave ederek ekstrüder ile ön pişirme işlemi gerçekleştirmişler; ön pişirme işlemi sonucunda çözünabilir diyet lifi içeriği %22’den %73’e kadar artarken, çözünmez diyet lifi içeriği azalmıştır. Sing ve ark. (2000), kırık pirinçleri buğday kepeği ile karıştırarak beslenme açısından dengeli ekstrüde ürünler üretmişlerdir. Kepek ilavesiyle ekstrüde edilmemiş karışımın kalsiyum, fosfor, demir, bakır, tiamin ve riboflavin içerikleri artmıştır. Ancak fitik asit ve tripsin inhibitörü gibi antibesinsel faktörlerde de artış olmuştur. Ekstrüzyon sonrasında ise tiamin, riboflavin ve lisin içeriğinde azalma olurken, antibesinsel maddelerde de azalma meydana gelmiştir. Makowska ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada, yulaf, çavdar ve buğday kepeklerini %20 ve %40 oranlarında mısır irmiği ile karıştırarak mısır çerezleri üretmişler; çerezlerin fiziksel, kimyasal, duyuşal ve viskozite özelliklerini incelemişlerdir. %20 kepek oranı ile hazırlanan ekstrüde çerezlerin diyet lifi içeriği ve duyuşal özellikler açısından yeterli düzeyde olduğu sonucuna varmışlardır. Ancak çalışmada üretilen çerezlerin besinsel, fonksiyonel ve antibesinsel özellikleri verilmemiştir.

Türkiye’de hem çerez gıda sektöründe bir büyümenin olması hem de bu alanda sağlıklı çerezlerin az olması sebebiyle bu çalışmada besinsel ve fonksiyonel özellikleri yüksek buğday kepeği katkılı ekstrüde mısır çerezi üretilerek genç kuşağın tükettiği gıdaların daha sağlıklı hale getirilmesi hedeflenmiştir.

## Materyal ve Metot

### Materyal

Çalışmada kullanılan kepek Sosyete Un A.Ş.’den (Karaman) alınmıştır. Kepek çekiçli değirmende (Loyka, Türkiye) öğütülerek, 500 mikrometre elekten geçirildikten sonra kullanılmıştır. Mısır irmiği, Değirmenci Tarım Gıda Mısır Unu Fabrikası’ndan (Gaziantep), mısır nişastası Abdullah Serin Gıda San. Ltd. Şti.’den (Karaman) temin edilmiştir.

$\alpha$ -amilaz (3000 U/mL), proteaz solüsyonu (350 tirozin U/mL), amiloglikozidaz (3300 U/mL) Megazyme (İrlanda)’dan, 2,2 difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH), MES-TRİS, fitik asit sodyum tuzu, demir (III) klorür heksahidrat Sigma-

Aldrich (St. Louis, MO, ABD)'den, 3,4,5-trihidroksibenzoik asit (gallik asit), Folin-Ciocalteu reaktifi, Merck (Almanya)'dan alınmıştır. Kullanılan diğer kimyasallar analitik standartta olup Sigma (Sigma Chemical Company, MO, ABD) ve Merck (Merck KGaA, Darmstadt, Almanya) firmalarından temin edilmiştir.

## Yöntem

### Deneme Deseni

Kepek katkılı ekstrüde mısır çerez (KKEMÇ) çalışmasında, Tablo 1'de görülen her biri 5 seviyeli ve 4 bağımsız değişkenli Merkezi Kompozit Tasarımı (MKT) - Yanıt Yüzey Metodu (YYM) kullanılmıştır. Kepek:mısır irmiği oranı, karışımın nem içeriği, nişasta:kepek+mısır irmiği karışımı oranı, namlu (kalıp) sıcaklığı bağımsız değişkenler olarak kabul edilmiştir. Çalışmada besleme hızı (2.5 kg/saat), vida hızı (400 dev/dk) ve ekstrüzyon kovan bölmesi sıcaklıkları (50, 60, 70, 90 ve 100°C) ön denemelerle belirlenmiş olup sabit tutulmuştur. Toplamda 30 deneme kombinasyonundan elde edilen fiziksel veriler (tekstür, genişleme oranı, görünür yoğunluk, gözeneklilik) optimizasyonda kullanılarak en iyi 5 ürün belirlenmiştir. Belirlenen en iyi ürünlerin kimyasal bileşimleri (nem, protein, yağ, kül ve toplam karbonhidrat) ve fonksiyonel özellikleri (diyet lifi, toplam fenolik madde, antioksidan kapasite ve fitik asit) iki tekerrürlü olarak çalışılmıştır.

### Ekstrüzyon Prosesi

Çalışmada laboratuvar tipi çift vidalı ekstrüder cihazı (Rondol Technology, İngiltere) kullanılarak çerez üretim denemeleri yapılmıştır. Üretim sırasında blokların sıcaklıkları cihaza monteli bir soğutma sistemi kullanılarak sağlanmıştır. Hammaddenin beslenmesi için gravimetrik besleyici kullanılmıştır. Elde edilen ekstrüde ürünler yaklaşık %3-5 nem içeriğine kadar etüvde (70°C / 2-3 saat) kurutulduktan sonra analiz edilmiştir.

## Analiz Yöntemleri

### Ekstrüde Ürünlerin Fiziksel Analizleri

#### Tekstür (sertlik, kırılabilirlik ve gevreklik) analizi

Ekstrüde ürünlerin tekstürel karakteristikleri TA-XT2i Texture Analyzer (Texture Technologies Corp., Godalming, Surrey, İngiltere) cihazı ve Texture Expert (version 2.03) programı yardımıyla (Veillard ve ark., 2003)'ne göre ölçülmüştür. Numuneyi sıkıştırmak için analiz cihazının koluna bağlı olan "Kramer shear cell" kullanılmıştır. Numune tamamen (%100) sıkıştırılarak kuvvet-deformasyon mesafesi kayıt edilmiştir. Analiz cihazının trigger kuvveti 5 g'dır. Bütün

numunelerin uzunluğu 8 cm olacak şekilde ayarlanmış olup her deneme için 10 paralel ölçüm yapılmıştır. Kuvvet-deformasyon eğrisinden elde edilen maksimum kuvvet sertlik, sıkıştırma sırasında gözlemlenen ilk belirgin pik ile en yüksek pik arasındaki lineer mesafe kırılabilirlik, bu iki mesafe arasında oluşan toplam pik sayısı ise gevreklik olarak değerlendirilmiştir (Samuel ve ark., 2005).

### Genleşme oranı, gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk ve gözeneklilik

Ekstrüde ürünlerin genişleme oranları, ekstrüde ürünün çapının ekstrüdere takılı olan kalıp çapına bölünmesiyle bulunmuştur (Doğan, 2014). Ölçümler için elektronik kumpas kullanılmıştır. Ekstrüde çerez numunelerinin gerçek yoğunlukları ( $g/cm^3$ ) gaz piknometresi (Accupyc 1340, Micromeritics Instrument Corporation, USA) kullanılarak belirlenmiştir (Doğan, 2014). Ekstrüde ürünlerin görünür yoğunluğu aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Choudhury ve Gautam, 2003). Ürünlerin çap ve uzunluk boyutları kumpas ile ölçüldükten sonra çerezlerin birim uzunluktaki ağırlığı (yaklaşık 1 cm) tartılarak belirlenmiştir. Ekstrüde ürünlerden rastgele 10 tane seçilerek görünür yoğunluk belirlenerek ortalamaları alınmıştır. Ekstrüde ürünlerin gözenekliliği, görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk kullanılarak hesaplanmıştır (Choudhury ve Gautam, 2003).

$$\rho_y = 4/\pi d^2 l$$

( $\rho_y$ : görünür yoğunluk ( $g/cm^3$ ),  $d$ : ekstrüde ürünün çapı (cm),  $l$ : ürünün birim ağırlığındaki uzunluk (cm/g))

$$Gözeneklilik = 1 - (\rho_{görünür} / \rho_{gerçek})$$

Ekstrüde ürünlerin fiziksel analiz verileri YYM yönteminde modellenerek tekstürel özellikleri en iyi olan 5 ürün belirlenmiştir. Bu ürünlerde aşağıda verilen kimyasal ve fonksiyonel özellik analizleri yapılmıştır.

### Hammadde ve en iyi beş ekstrüde üründe yürütülen kimyasal ve fonksiyonel analizler

Kepek, mısır irmiği ve ekstrüde ürünlerin nem içerikleri Uluslararası Amerikan Tahıl Kimyacıları Derneği (AACC)'nin 44-15A numaralı metodu takip edilerek etüvde kurutma yoluyla belirlenmiştir (AACC, 2000). Protein tayini için Kjeldahl metodu (AACC 46-12) kullanılmıştır (AACC, 2000). Toplam yağ içerikleri Soxhlet ekstraksiyon yöntemiyle (AACC Metot 30-25) belirlenmiştir (AACC, 2000). Bu işlem için Gerhardt otomatik ekstraksiyon sistemi (Soxtherm, Gerhardt, Almanya) kullanılmıştır. Kül içerikleri örneklerin kül fırınında (MF106, Nüve, Ankara) sabit ağırlığa gelinceye kadar 900 ± 20°C'de yakılarak (AACC Metot 08-01) belirlenmiştir (AACC, 2000). Toplam Karbonhidrat miktarı hesap-

lama [Toplam Karbonhidrat (%) = 100 – % (Nem+Protein+Yağ+Kül)] yoluyla (Sayaslan ve Şahin, 2018) elde edilmiştir.

Kepek, mısır irmiği ve ekstrüde ürünlerin fitik asit tayinleri Haug ve Lantzsch (1983)'e göre kolorimetrik metot kullanılarak yapılmıştır. Örnekler 0.2 N hidroklorik asit çözeltisi ile ekstrakte edildikten sonra belli miktardaki demir III çözeltisi ile muamele edilip çöktürülmüştür. Serum kısmında kalan demir miktarı spektrofotometrik yolla (Hach Lange, DR 5000, Almanya) belirlenerek elde edilen sonuçlardan fitik asit miktarı hesaplanmıştır.

Örneklerin toplam diyet lifi içerikleri AOAC 960.43 enzimatik-gravimetrik yöntemini esas alan yaklaşımla (AOAC, 2000) gerçekleştirilmiştir. Öğütülen ve 375 µm elekten geçirilen örnekler bir gece boyunca 105°C'de etüvde (Nüve, FN 055, Türkiye) kurutulmuştur. Örnekler 1.000 ±0.005 g hassasiyetle tartılmış ve erlen içerisine aktarılmıştır. Örneklerin üzerine 40 mL MES-TRIS tamponu (pH 8.2) ilave edilmiştir. Ardından 50 µl ısıya dayanıklı α-amilaz (3000 U/mL) ilave edilmiş ve 30 dk çalkalamalı su banyosunda (Daihan, WSB 45, Kore) 98-100°C'de inkübasyona bırakılmıştır. 10 mL destile su ile beherin kenarında kalan kalıntılar örneğe dahil edilmiş ve karışım 60°C'ye soğutulmuştur. Soğutulan karışıma 100 µl proteaz solüsyonu (350 tirozin U/mL) ilave edilerek 60°C'de 30 dk çalkalamalı su banyosunda inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda karışıma 5 mL 0.561 N'lik HCl ilave edilerek pH 4.1-4.8 aralığına getirilmiştir. Uygun pH düzeyi ayarlandıktan sonra karışıma 200 µl amiloglikozidaz (3300 U/mL) ilave edilmiş ve 60°C'de 30 dk çalkalamalı

su banyosunda inkübasyona bırakılmıştır. Celite 545 (1.000±0.005 g hassasiyetle) ile birlikte kurutulmuş ve sabit tartıma getirilmiş goach krozeleri (40-60 µm gözenekli) süzme işleminden önce yaklaşık 3 mL destile su ile yıkanmış ve ardından karışım vakum yardımıyla süzümüştür. Ardından 10 mL 70°C'lik destile su ile beherin içinde kalan kalıntılar yıkanarak örneğe dahil edilmiştir. Ardından örnekler 20 mL %95'lik etanol ve 20 mL aseton olmak üzere iki defa yıkanmış ve süzümüştür. Süzme işleminden sonra krozeler 105°C'lik etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş ve tartılmıştır. Kurutulan örneklerde kül ve protein analizi gerçekleştirilmiştir. Tortu ağırlığından kül ve toplam protein miktarları çıkarılarak çözünmez diyet lifi miktarı hesaplanmıştır. Örneklerin hazırlanması ve enzimle muamele edilme süreci toplam diyet lifi analizinde de aynıdır. Amiloglikozidaz enzimi muamelesi sonucunda her bir örneğe 225 mL 60°C'ye önceden ısıtılmış %95'lik etanol eklenmiştir ve oda koşullarında 1 saat çöktürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Vakum uygulanarak süzme işlemi gerçekleştirilmiş olup beherde örnek kalmaması için %78'lik etanol ile yıkanmıştır. Daha sonra sırasıyla 30 mL %78 etanol, 30 mL %95'lik etanol ve 30 mL aseton ilave edilerek yıkama işlemi tamamlanmıştır. Krozeler kalıntı ile birlikte 105°C'de 1 gece boyunca etüvde kurutulmuştur. Tortu ağırlığından kül ve toplam protein miktarları çıkarılarak toplam diyet lifi miktarı hesaplanmıştır. Toplam diyet lifinden, çözünmez diyet lifi miktarı çıkarılarak çözünebilir diyet lifi miktarı hesaplanmıştır.

**Tablo 1.** Kepek katkılı ekstrüde mısır çerezi (KKEMÇ) üretiminde kullanılan MKT-YYM bağımsız değişkenleri

**Table 1.** CCD-RSM independent variables used in production of extruded corn snacks with bran addition (ECSwBA)

	Kod	Değişken Yüzey Kodları				
		-α	-1	0	1	+α
Kalıp sıcaklığı (°C)	A	110.00	120.00	130.00	140.00	150.00
Nem içeriği (%)	B	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00
Kepek:Mısır irmiği oranı (%)	C	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00
Mısır nişastası:Kepek + Mısır irmiği oranı (%)	D	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00

α=2

Kepek, mısır irmiği ve ekstrede ürünlerin toplam fenolik madde içerikleri Folin-Ciocalteou yöntemi (Singleton ve ark., 1999) takip edilerek belirlenmiştir. Ekstrüde edilmiş ürünler blendırda (Waring, 8011 EB, ABD) öğütülerek 375 µm gözenekli elekten geçirilmiştir. Öğütülen örnekler santrifüj tüpüne tartılarak (1 g) üzerine 10 mL asitlendirilmiş metanol çözeltisi (HCl/metanol/su, 1/80/10, h/h) eklenerek 2 saat süreyle 200 dev/dak hızda oda sıcaklığında çalkalamalı inkübatörde (Daihan, WIS 20R, Kore) çalkalanmış ve santrifüjlenerek (Nüve, NF 1200, Türkiye) (1000×g, 10 dak) berrak ekstre elde edilmiştir. Daha sonra 250 µL 2N Folin-Ciocalteou fenol ayırıcı, 250 µL ekstrüde ürün ekstresi ve 5.75 mL saf su santrifüj tüpüne koyularak karıştırılmış ve oda sıcaklığında 8 dak süreyle bekletilmiştir. Son olarak 2.5 mL %7 sulu sodyum karbonat çözeltisi ve 5 mL saf su ilave edilerek karıştırılmış ve oda sıcaklığında 2 saat daha bekletildikten sonra 750 nm dalga boyunda absorbansı ölçülmüş; gallik asit standart çözeltileri kullanılarak toplam fenolik madde içerikleri hesaplanmıştır. Örneklerin antioksidan kapasiteleri 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikali engelleme gücü yöntemi takip edilerek (Brand-Williams ve ark., 1995) yapılmıştır. Analizlerde toplam fenolik madde tayini için hazırlanan ekstreler kullanılmıştır. Ekstrüde ürün ekstresinden 100 µl alınarak santrifüj tüpüne aktarılmış, üzerine 3.9 mL DPPH çözeltisi ( $6 \times 10^{-5}$  mol/L) eklenerek karıştırılıp 30 dk süreyle oda sıcaklığında karanlık bir ortamda bekletilmiş ve 515 nm dalga boyunda absorbansı ölçülmüştür. Asitlendirilmiş metanol çözeltisi kör, DPPH çözeltisi ise kontrol olarak kullanılarak örneklerin antioksidan kapasitesi hesaplanmıştır.

### *İstatistiksel Analiz*

Çalışma sonucunda MKT ile elde edilen veriler YYM kullanılarak Design Expert 7.0 (Minneapolis, USA) programıyla analiz edilmiştir.

### **Bulgular ve Tartışma**

#### ***Kepek Katkılı Ekstrüde Mısır Çerezi (KKEMÇ) Üretiminin Optimizasyonu ve Doğrulanması***

KKEMÇ üretimi MKT-YYM yaklaşımıyla (Tablo 1) optimize edilmiştir. Bu amaçla YYM ile oluşturulan deneme desenindeki şartlarda karışımlar hazırlanmış ve belirlenen bağımsız değişkenlere göre üretim gerçekleştirilmiştir (Tablo 2). Kalıp sıcaklığı (110, 120, 130, 140 ve 150°C), nem içeriği (%12, %14, %16, %18 ve %20), kepek: mısır irmiği oranı (%0, %10, %20, %30 ve %40) ve mısır nişastası: kepek+mı-

sır irmiği oranı (%0, %10, %20, %30 ve %40) bağımsız değişkenler; sertlik, kırılabilirlik, gevreklik, genişleme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik ise bağımlı değişkenler yanıtları (responses) olarak kabul edilmiştir.

MKT-YYM deneme deseninde elde edilen veriler sonucunda (Tablo 2) üretilen kepek katkılı ekstrüde mısır çerezlerinde sertliği en düşük, gevrekliği en yüksek, kırılabilirliği sertlik ve gevreklik ile uyumlu, genişleme oranı en yüksek, görünür yoğunluğu en düşük ve gözenekliliği en yüksek olan ürünü sağlayan bağımsız değişkenler Design-Expert programında modellenmiş; üretilen en uygun modeller, bunlara ait varyans analiz (ANOVA) sonuçları ve yanıtları etkileyen denklemler Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir. Ekstrüde mısır çerezi üretiminde tekstür özellikleri için en uygun modellerin 2FI ve kuadratik modeller olduğu ( $p < 0.01$ ), genişleme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik için en uygun modelin 2FI model ( $p < 0.01$ ) olduğu saptanmıştır. Modellenen kepek katkılı ekstrüde mısır çerezlerinin tekstür (sertlik, kırılabilirlik ve gevreklik), genişleme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik değerleri için geliştirilen tüm modeller uyumsuzluk testini geçmiş ( $p > 0.05$ ); belirleme katsayıları ( $R^2$ : 0.92-0.93-0.99-0.92-0.96-0.94), düzeltilmiş belirleme katsayıları ( $R^2$ : 0.91-0.91-0.99-0.88-0.95-0.93) ve tahminlenen belirleme katsayıları ( $R^2$ : 0.88-0.85-0.98-0.83-0.94-0.92) yüksek olarak bulunmuştur.

Ekstrüde ürünlerin tekstür özellikleri ve genişleme oranları kesme kuvveti, sıcaklık ve nem içeriğinin interaksiyonuna bağlıdır. Ekstrüzyon sırasında sağlanan nem, genişleme ve reolojik özelliklerin kazanılmasında yardımcı kuvvet özelliğindedir (Yağcı, 2008). Yapılan çalışmalarda nem içeriğinin ekstrüde ürünlerin genişlemesinde en etkili parametre olduğu; nem içeriği arttıkça genişleme oranının önce arttığı daha sonra da azaldığı saptanmıştır (Ding ve ark., 2006). Bunun nedeni nem içeriği artan materyal ekstrüzyon sırasında silindirin içerisindeki akışa direnç göstererek kesme oranının artırması ve alıkonma süresinin uzayarak nişasta jelatinizasyonunun artmasıdır. Düşük nem içeriklerinde (<%14) ise sıcaklık ve kesme oranı çok arttığı için nişastada degradasyonu meydana gelmektedir (Colonna, 1989). Bu çalışmada da karışımın nem içeriğinin ürünün tekstürel ve fiziksel özellikleri üzerine etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Tablo 3, Tablo 4, Şekil 1 ve Şekil 2)

**Tablo 2.** KKEMÇ üretiminde kullanılan MKT-YYM bağımsız değişkenleri ve elde edilen yanıtlar**Table 2.** CCD-RSM independent variables used in production of ECSwBA and obtained responses

Çalışma No	Bağımsız Değişkenler				Yanıtlar					
	Kalıp sıcaklığı (°C)	Nem içeriği (%)	Kepek: Mısır irmiği oranı (%)	Mısır nişastası oranı: Kepek + Mısır irmiği oranı (%)	Sertlik (N)	Kırılgenlik (N x s)	Gevreklik (pik sayısı)	Genleşme oranı	Görünür yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Gözeneklilik
1	130.00	20.00	20.00	20.00	560.94	1226.56	11.50	2.00	0.29	0.79
2	120.00	14.00	30.00	30.00	544.51	1322.24	18.33	2.31	0.19	0.87
3	130.00	16.00	00.00	20.00	242.13	897.36	22.00	2.74	0.21	0.86
4	140.00	18.00	30.00	30.00	517.67	1334.08	14.20	2.58	0.21	0.86
5	120.00	18.00	10.00	10.00	428.16	1223.17	16.75	2.23	0.26	0.82
6	140.00	14.00	30.00	30.00	524.21	1625.55	20.50	2.56	0.18	0.87
7	120.00	18.00	10.00	30.00	388.92	1315.59	18.00	2.30	0.24	0.83
8	120.00	14.00	30.00	10.00	588.15	1154.77	14.50	2.31	0.19	0.87
9	130.00	16.00	20.00	20.00	455.79	1347.79	16.75	2.50	0.22	0.85
10	120.00	18.00	30.00	30.00	603.51	1183.36	13.00	2.12	0.23	0.84
11	120.00	18.00	30.00	10.00	597.35	1151.48	12.50	1.88	0.29	0.79
12	120.00	14.00	10.00	30.00	334.71	1589.02	27.00	2.63	0.19	0.86
13	120.00	14.00	10.00	10.00	344.33	1252.74	22.12	2.96	0.18	0.88
14	140.00	18.00	30.00	10.00	578.07	1228.99	12.75	2.03	0.29	0.79
15	130.00	16.00	40.00	20.00	640.00	1036.81	8.50	2.29	0.22	0.85
16	130.00	12.00	20.00	20.00	400.88	1483.72	24.67	2.70	0.15	0.89
17	140.00	14.00	30.00	10.00	561.86	1384.44	15.35	2.43	0.19	0.87
18	130.00	16.00	20.00	20.00	466.41	1377.25	16.50	2.44	0.20	0.86
19	140.00	18.00	10.00	10.00	441.67	1024.00	17.17	2.27	0.27	0.82
20	140.00	18.00	10.00	30.00	490.21	1244.51	18.67	2.44	0.24	0.84
21	140.00	14.00	10.00	10.00	333.91	1249.19	24.40	2.74	0.18	0.88
22	130.00	16.00	20.00	0.00	470.84	1180.33	18.33	2.36	0.25	0.83
23	150.00	16.00	20.00	20.00	413.69	1357.69	22.00	2.45	0.22	0.85
24	130.00	16.00	20.00	20.00	482.62	1350.03	16.50	2.48	0.22	0.85
25	130.00	16.00	20.00	40.00	437.04	1593.89	24.00	2.68	0.19	0.87
26	110.00	16.00	20.00	20.00	479.51	1374.04	18.50	2.32	0.22	0.86
27	130.00	16.00	20.00	20.00	467.21	1404.82	16.50	2.44	0.21	0.85
28	140.00	14.00	10.00	30.00	384.02	1550.97	30.75	2.81	0.18	0.85
29	130.00	16.00	20.00	20.00	472.18	1328.80	16.50	2.51	0.22	0.85
30	130.00	16.00	20.00	20.00	516.515	1379.75	16.00	2.23	0.24	0.84

Atıştırılabilir ekstrüde ürünlerde kalite kriteri olarak genleşmenin yüksek olması istenir. Genleşme oranı ürünün gevrekliği, su tutma kapasitesi ve suda çözünürlüğü ile ilişkilidir. Genleşme oranı hammaddenin bileşiminden etkilenmekte; protein ve yağ oranı arttıkça azalırken, nişasta içeriği arttıkça yükselmektedir (Özer ve ark., 2006). Nişasta, ekstrüzyon işlemi sırasında kimyasal ve yapısal değişikliklere uğrayarak ürünün fiziksel ve duyuşal özelliklerini etkilemektedir (Bushuk, 2011). Nişasta ilavesinin üretilen kepek katkılı ekstrüde mısır çerezlerinin kırılgenlik, gevreklik, genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik üzerine etkileri Tablo 3,

Tablo 4, Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir. Genleşme oranı kalıp sıcaklığının artması ile azalmıştır. Bunun sebebi yüksek sıcaklıkta nişasta yapısının dekstrinizasyon ve degradasyon gibi sebeplerle zayıflayarak bozulmasıdır (Doğan ve Karwe, 2003). Ayrıca, genleşme oranı ile yoğunluk arasında negatif korelasyon bulunmaktadır. Genleşme oranı ve yoğunluk, nişasta jelatinizasyonu ile yakından ilgilidir. Jelatinizasyon arttıkça genleşme oranı artarken yoğunluk azalmaktadır. Gözeneklilik ile yoğunluk arasında ise negatif bir korelasyon bulunmaktadır (Yağcı ve Göğüş, 2008; Doğan, 2014). Genleşme oranı ürünün lif içeriğine bağlı olarak azalmaktadır. Lif

içeriği arttıkça sıkı, sert, gevrekliği düşük istenilmeyen tekstüre sahip ürünler ortaya çıkmaktadır. Buğday kepeğinin lif içeriğinin yüksek olması sebebiyle belli bir oranın üzerinde kullanılması tekstürel ve fiziksel özelliklerini olumsuz etkilemiştir. Lif parçacıkları genleşme sırasında hava kabarcıklarının oluşmasını engelleyerek ürünün genleşmesini olumsuz etkilemektedir. Böylece yoğunluk artmakta ve spesifik hacim azalmaktadır (Jin ve ark., 1994).

MKT-YYM yaklaşımıyla optimize edilen ekstrüzyon şartlarında (kalıp sıcaklığı 120 °C, nem içeriği %14, kepek: mısır irmiği oranı %10, mısır nişastası: kepek + mısır irmiği oranı %10) mısır çerezi üretimi gerçekleştirilerek modellerin doğrulanması yapılmış ve sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur. KKEMÇ için YYM yöntemi modelleriyle tahminlenen tekstürel ve fiziksel analiz sonuçları doğrulama denemelerinin sonuçlarıyla uyumlu ve istatistiksel olarak farksız ( $p>0.05$ ) bu-

lunmuştur. Bu sonuç, KKEMÇ üretiminin YYM yoluyla optimizasyonunun uygun ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

YYM ile optimizasyonda istenirlik (desirability) değerinin yüksekliğine göre en iyi ürünleri sıralamaktadır. Bu ürünler içerisinde beklenen fiziksel özellikleri karşılayan ve istenirlik değeri yüksek ürün optimum ürün olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada istenirlik değeri en yüksek ilk 5 üründe kimyasal analizlerin yapılması planlanmıştır (Tablo 5). YYM'nin verdiği optimum değerlerin bağımsız değişkenleri birbirine çok yakın değerler olması sebebiyle en iyi ürünü belirlerken farklı bir yöntem uygulanmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda program üzerinden kepek oranını %22'ye kadar artırarak en iyi ürüne benzer özelliklere sahip ürünler elde edilmiştir. Kepek katkı oranı %10-22 arasında en iyi ürünler elde edilebildiği için en iyi 5 ürün %10-13-16-19-22 olarak belirlenmiştir. Üretimden sonra bu 5 ürünün fiziksel analizleri ve doğrulamaları yapılmıştır (Tablo 7).

**Tablo 3.** KKEMÇ üretiminde tekstür özelliklerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

**Table 3.** Modeling of independent variables affecting textural properties of ECSwBA

Kaynak	Sertlik			Kırlıganlık			Gevreklik		
	SD	F-değeri	p-değeri	SD	F-değeri	p-değeri	SD	F-değeri	p-değeri
Model	4	72.530	<0.0001	6	47.080	<0.0001	12	327.05	<0.0001
2FI	6	2.700	0.0455	-	-	-	-	-	-
<i>Kuadratik</i>				4	32.560	<0.0001	4	121.31	<0.0001
A - Kalıp sıcaklığı (°C)	-	-	-	-	-	-	1	82.69	<0.0001
B - Nem içeriği (%)	1	29.650	<0.0001	1	58.210	<0.0001	1	1391.13	<0.0001
C - Kepek: Mısır irmiği oranı (%)	1	247.140	<0.0001	-	-	-	1	1559.40	<0.0001
D - Mısır nişastası oranı: Kepek + Mısır irmiği oranı (%)	-	-	-	1	83.68	<0.0001	1	314.41	<0.0001
A x B	-	-	-	1	6.61	0.0171	1	15.21	0.0012
A x C	1	7.370	0.0118	1	26.77	<0.0001	-	-	-
A x D	-	-	-	-	-	-	1	5.21	0.0287
B x C	1	5.94	0.0222	-	-	-	1	109.29	<0.0001
B x D	-	-	-	1	8.28	0.0085	1	86.34	<0.0001
A <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	1	132.32	<0.0001
B <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	1	22.19	0.0002
C <sup>2</sup>	-	-	-	1	98.92	<0.0001	1	17.51	0.0006
D <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	1	206.61	<0.0001
Hata	25			23			17		
Model uygunsuzluğu	20	1.920	0.2419	18	4.26	0.0578	12	3.67	0.0806
Saf hata	5			5			5		
Toplam	29			29			29		
	R <sup>2</sup> =0.92	Düzeltilmiş R <sup>2</sup> =0.91	Tahminlenen R <sup>2</sup> =0.88	R <sup>2</sup> =0.93	Düzeltilmiş R <sup>2</sup> =0.91	Tahminlenen R <sup>2</sup> =0.85	R <sup>2</sup> =0.99	Düzeltilmiş R <sup>2</sup> =0.99	Tahminlenen R <sup>2</sup> =0.98
Sertlik = 472.23 + 31.25 x B + 90.21 x C - 19.09 x (A x C) - 17.13 x (B x C)									
Kırlıganlık = 1382.64 - 80.75 x B + 96.82 x D - 33.34 x (A x B) + 67.07 x (A x C) - 37.30 x (B x D) - 96.10 x C <sup>2</sup>									
Gevreklik = 16.46 + 0.7746 x A - 3.18 x B - 3.36 x C + 1.51 x D - 0.4069 x (A x B) + 0.2494 x (A x D) + 1.09 x (B x C) - 0.9694 x (B x D) + 0.9166 x A <sup>2</sup> + 0.3753 x B <sup>2</sup> - 0.3334 x C <sup>2</sup> + 1.15 x D <sup>2</sup>									

**Tablo 4.** KKEMÇ üretiminde genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi**Table 4.** Modeling of independent variables affecting expansion rate, apparent density and porosity in production of ECSwBA

Kaynak	Genleşme oranı			Görünür yoğunluk			Gözeneklilik		
	SD	F-değeri	p-değeri	SD	F-değeri	p-değeri	SD	F-değeri	p-değeri
Model	9	24.23	< 0.0001	4	133.40	< 0.0001	4	101.69	< 0.0001
2FI	6	7.04	0.0005	6	10.40	< 0.0001	6	13.04	< 0.0001
A - Kalıp sıcaklığı (°C)	1	10.63	0.0039	-	-	-	-	-	-
B - Nem içeriği (%)	1	103.18	< 0.0001	1	424.30	< 0.0001	1	297.33	< 0.0001
C – Kepek: Mısır irmiği oranı (%)	1	52.25	< 0.0001	-	-	-	-	-	-
D - Mısır Nişastası oranı: Kepek + Mısır irmiği oranı (%)	1	13.23	0.0016	1	51.43	< 0.0001	1	34.84	< 0.0001
A x C	1	5.91	0.0246	-	-	-	-	-	-
A x D	1	7.40	0.0132	-	-	-	-	-	-
B x C	1	6.78	0.0170	-	-	-	-	-	-
B x D	1	11.26	0.0031	1	42.30	< 0.0001	1	54.63	< 0.0001
C x D	1	7.40	0.0132	1	15.59	0.0006	1	19.96	0.0001
Hata	20			25			25		
Model uygunsuzluğu	15	0.5896	0.8038	20	0.4985	0.8784	20	0.8814	0.6254
Saf hata	5			5			5		
Toplam	29			29			29		
	R <sup>2</sup> =0.92	Düzeltilmiş R <sup>2</sup> =0.88	Tahminlenen R <sup>2</sup> =0.83	R <sup>2</sup> =0.96	Düzeltilmiş R <sup>2</sup> =0.95	Tahminlenen R <sup>2</sup> =0.94	R <sup>2</sup> =0.94	Düzeltilmiş R <sup>2</sup> =0.93	Tahminlenen R <sup>2</sup> =0.92
Genleşme oranı = 2.42 + 0.0575 x A - 0.1792 x B - 0.1275 x C + 0.0642 x D + 0.0525 x (A x C) + 0.0588 x (A x D) + 0.0562 x (B x C) + 0.0725 (B x D) + 0.0587 (C x D)									
Görünür yoğunluk = 0.2187 + 0.0360 x B - 0.0125 x D - 0.0139 x (B x D) - 0.0084 (C x D)									
Gözeneklilik = 0.8483 - 0.0217 x B + 0.0074 x D + 0.0114 x (B x D) + 0.0069 (C x D)									

**Tablo 5.** Optimize edilen şartlarda üretilen en iyi ürünün (%10 KKEMÇ) ve kepek katkı oranı artırılarak üretilen ürünlerin (%13-16-19-22 KKEMÇ) istenirlik değerleri**Table 5.** The desirability values of the best product (10% ECSwBA) and the products containing increasing rates of bran (13-16-19-22% ECSwBA)

Ürünler	İstenirlik değerleri
%10 KKEMÇ	0.86
%13 KKEMÇ	0.81
%16 KKEMÇ	0.78
%19 KKEMÇ	0.76
%22 KKEMÇ	0.73



**Table 6.** Optimize edilen şartlarda üretilen en iyi ürünün (%10 KKEMÇ) tekstürel ve fiziksel analiz sonuçları ve doğrulamaları**Table 6.** Textural and physical analysis results and verifications of the best product (10% ECSwBA) produced under optimized conditions

Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri					Sertlik (N)			Kırılgenlik (N x s)			Gevreklik (pik sayısı)		
Ürün	Kalıp sıcaklığı (°C)	Nem içeriği (%)	Kepek: Mısır irmiği oranı (%)	Mısır Nişastası: Kepek + Mısır irmiği karışımı oranı (%)	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneyisel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneyisel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneyisel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır
%10 KKEMÇ	120	14	10	10	250	293	379	1144	1231	1389	21.72	23.67	23.85
Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri					Genleşme oranı			Görünür yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )			Gözeneklilik		
Ürün	Kalıp sıcaklığı (°C)	Nem içeriği (%)	Kepek: Mısır irmiği oranı (%)	Mısır Nişastası: Kepek + Mısır irmiği karışımı oranı (%)	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneyisel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneyisel veri	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneyisel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır
%10 KKEMÇ	120	14	10	10	2.69	2.90	3.13	0.15	0.17	0.19	0.87	0.88	0.90

**Table 7.** Kepek katkı oranı artırılarak üretilen ürünlerin (%13-16-19-22 KKEMÇ) tekstürel ve fiziksel analiz sonuçları ve doğrulamaları**Table 7.** Textural and physical analysis results of the products containing increasing rates of bran (13-16-19-22% ECSwBA) and their verification

Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri					Sertlik (N)			Kırılgenlik (N x s)			Gevreklik (pik sayısı)		
Ürünler	Kalıp sıcaklığı (°C)	Nem içeriği (%)	Kepek: Mısır irmiği oranı (%)	Mısır Nişastası: Kepek + Mısır irmiği karışımı oranı (%)	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneyisel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneyisel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneyisel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır
%13 KKEMÇ	120	14	13	10	290	357	415	1175	1218	1417	20.57	22.33	22.66
%16 KKEMÇ	140	14	16	30	345	399	467	1468	1596	1709	26.68	27.00	28.75
%19 KKEMÇ	140	14	19	30	372	447	492	1503	1624	1744	25.39	26.80	27.45
%22 KKEMÇ	140	14	22	30	397	433	517	1506	1417	1745	23.63	24.67	25.66
Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri					Genleşme oranı			Görünür yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )			Gözeneklilik		
Ürünler	Kalıp sıcaklığı (°C)	Nem içeriği (%)	Kepek: Mısır irmiği oranı (%)	Mısır Nişastası: Kepek + Mısır irmiği karışımı oranı (%)	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneyisel veri ortalama	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneyisel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneyisel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır
%13 KKEMÇ	120	14	13	10	2.61	2.82	3.03	0.16	0.17	0.19	0.86	0.88	0.89
%16 KKEMÇ	120	14	16	10	2.53	2.75	2.95	0.17	0.17	0.21	0.85	0.87	0.88
%19 KKEMÇ	140	14	19	30	2.51	2.71	2.92	0.17	0.17	0.20	0.85	0.88	0.88
%22 KKEMÇ	140	14	22	30	2.49	2.66	2.89	0.16	0.17	0.20	0.85	0.88	0.88

## Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

## Sertlik (N)

● Design points above predicted value

242,129 640

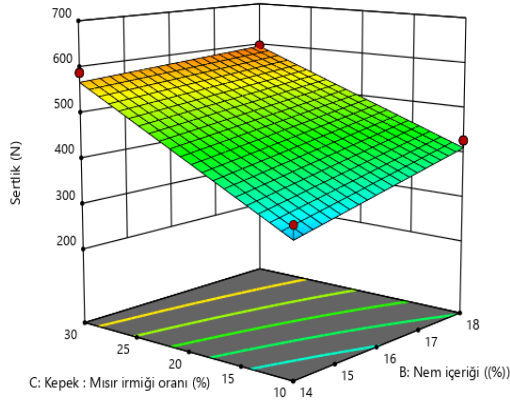
X1 = B: Nem içeriği

X2 = C: Kepek : Mısır irmiği oranı

## Actual Factors

A: Kalıp sıcaklığı = 120

D: Mısır Nişastası:Kepek+Mısır irmiği karışımı oranı = 10



## Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

## Kırlanlık (N x s)

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

897,36 1625,55

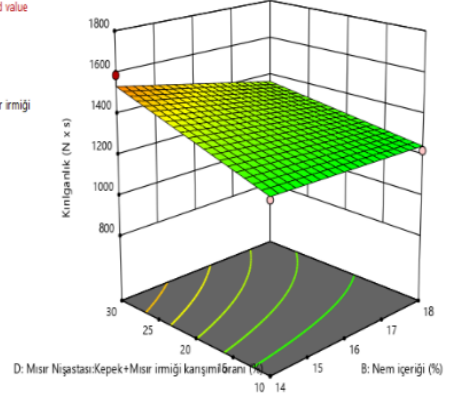
X1 = B: Nem içeriği

X2 = D: Mısır Nişastası:Kepek+Mısır irmiği karışımı oranı

## Actual Factors

A: Kalıp sıcaklığı = 120

C: Kepek : Mısır irmiği oranı = 10



## Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

## Gevreklilik (pik sayısı)

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

8,5 30,75

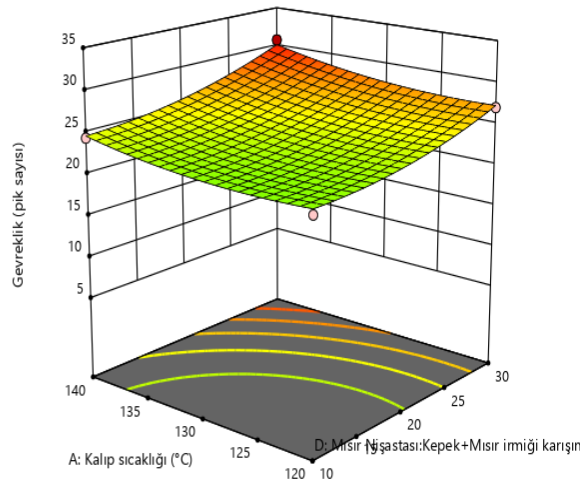
X1 = D: Mısır Nişastası:Kepek+Mısır irmiği karışımı oranı

X2 = A: Kalıp sıcaklığı

## Actual Factors

B: Nem içeriği = 14

C: Kepek : Mısır irmiği oranı = 10



**Şekil 1.** KKEMÇ üretiminin optimizasyonunda ürün sertliği, kırlanlığı ve gevrekliğini en çok etkileyen bağımsız değişkenlerin 3 boyutlu modellenmesi

**Figure 1.** 3D modeling of independent variables strongly affecting product hardness, crispness and brittleness in optimization of ECSwBA

Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

Genleşme Oranı

● Design points above predicted value

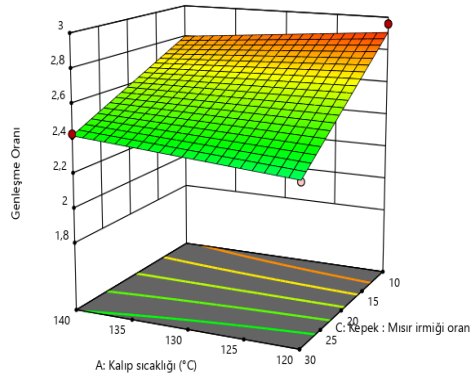
○ Design points below predicted value

1,88  2,96

X1 = A: Kalıp sıcaklığı

X2 = C: Kepek : Mısır irmiği oranı

Actual Factors

B: Nem içeriği = 14  
D: Mısır Nişastası:Kepek+Mısır irmiği karışımı oranı = 10

Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

Görünür Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)

● Design points above predicted value

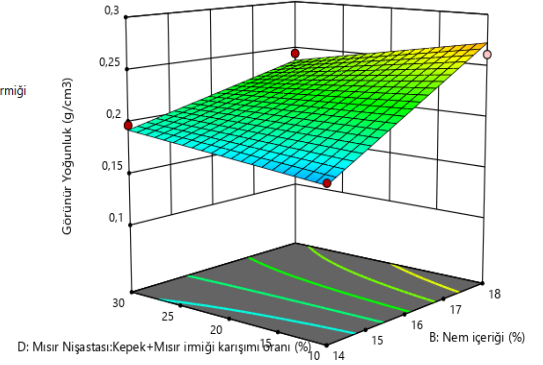
○ Design points below predicted value

0,1485  0,2966

X1 = B: Nem içeriği

X2 = D: Mısır Nişastası:Kepek+Mısır irmiği karışımı oranı

Actual Factors

A: Kalıp sıcaklığı = 120  
C: Kepek : Mısır irmiği oranı = 10


Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

Gözeneklilik

● Design points above predicted value

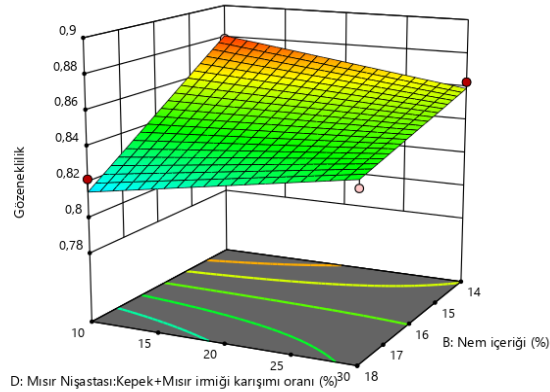
○ Design points below predicted value

0,795  0,885

X1 = B: Nem içeriği

X2 = D: Mısır Nişastası:Kepek+Mısır irmiği karışımı oranı

Actual Factors

A: Kalıp sıcaklığı = 120  
C: Kepek : Mısır irmiği oranı = 10

**Şekil 2.** KKEMÇ üretiminin optimizasyonunda ürünün genleşme oranı, görünür yoğunluğu ve gözenekliliğini en çok etkileyen bağımsız değişkenlerin 3 boyutlu modellenmesi

**Figure 2.** 3D modeling of independent variables strongly affecting product expansion rate, apparent density and porosity in optimization of ECSwBA

### **Optimize Edilen Şartlarda Üretilen Kepek Katkılı Ekstrüde Mısır Çerezinin (KKEMÇ) Kimyasal Bileşimi ve Besleyicilik Özellikleri**

Ekstrüde mısır çerezi üretiminde kullanılan hammaddelerin ve optimize şartlarda üretilen ürünün kimyasal analiz sonuçları Tablo 8’de verilmiştir. Görüldüğü gibi, buğday kepeği kül, yağ, protein ve toplam fenolik madde özellikleri bakımında mısır irmiğinden üstün özelliklere sahiptir. Obadina ve ark. (2011), mısır irmiğinin nem, kül, yağ ve protein içeriklerini sırasıyla %14, %0.5 %0.8 ve %9 olarak bulmuşlardır. Buğday kepeğinde ise nem %8.51-14, kül %2.28-5.76 yağ %2.19-4.99, protein %9.6-17.11 arasında değişim göstermiştir (Kaur ve ark., 2012; Sobota ve ark., 2015; Cankurtaran, 2016).

Bu çalışmada buğday kepeğinin fitik asit içeriği  $4142.6 \pm 31.84$  mg/100g, mısır irmiğinin ise  $2147.30 \pm 210.95$  mg/100g olarak bulunmuştur. Bilgiçli ve İbanoğlu (2007) tarafından buğday kepeğinde 3116-5839 mg/100g arasında değişen fitik asit saptanmıştır. Tahılların doğal yapısında bulunan fitik asit, miyoinositol heksafosfat olarak bulunan organik bir bileşiktir. Embriyo kısmında düşük miktarda (%10) bulunurken, dış katmanlarda (%90) (perikarp ve aleuron) daha yoğun olarak bulunmaktadır (Stevenson ve ark., 2012). Fitatlar minerallerin çözünürlüğünü, işlevselliğini ve sindirilebilirliğini değiştirdiği için vücutta sindirilememekte ve antibesinsel madde olarak kabul edilmektedir (Rickard ve Thompson, 1997).

Antioksidanlar küçük konsantrasyonlarda ve özel koşullarda bile oksitlenebilir maddelerin oksitlenmesini engelleyici ya da geciktirici maddelerdir (Halliwell, 1990). Bu antioksidatif bileşenler, yaşamsal önemi olan DNA ve enzimleri farklı mekanizmalar sonucu oluşan oksidatif bozulmalara karşı korumaktadır (Vaheer ve ark., 2010). Biyolojik olarak aktif fito-kimyasallar birçok hastalık riskinin azalmasını sağlamaktadır (Singh ve ark., 2007). Bu çalışmada buğday kepeğinin mısır irmiğine göre daha yüksek toplam fenolik maddeye sahip olduğu saptanmıştır (Tablo 8). Vaheer ve ark. (2010), buğday kepeğinin fenolik madde içeriklerinin 1258-3157 µg/g arasında değiştiğini raporlamışlardır. Moore ve ark., (2006) 20 farklı buğday kepeğinde yaptıkları çalışmada fenolik içeriklerini 2700 ile 3500 µg GAE/g arasında bulmuşlardır. Abozed ve ark. (2014), metanol kullanarak ekstrakte ettikleri buğday kepeklerinin toplam fenolik madde içeriğini 2,28 mg GAE/g, DPPH radikali engelleme gücünü (%), (km) 69.78 olarak bulmuşlardır. Sarfaraz ve ark. (2017), buğday kepeğinin toplam fenolik madde içeriğini 2.32 mg GAE/g, DPPH radikali engelleme gücünü (%), (km) 52.7 olarak hesaplamışlardır. Kulla-

nılan standartların ve çözücülerin farklı olması toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite içeriklerinin karşılaştırılmasını zorlaştırmasına rağmen bu çalışmada bulunan değerler literatür değerleri ile uyumlu çıkmıştır

Ekstrüde mısır çerezi üretiminde kullanılan hammaddeler ve kepek katkılı ekstrüde ürünlerin lifi içerikleri Tablo 10’da verilmiştir. Kepek katkılama oranı arttıkça ekstrüde ürünlerin toplam diyet lif içeriklerinin yükseldiği görülmektedir. Curti ve ark. (2013), buğday kepeği diyet lifi içeriğinin %33.4-63 arasında değiştiğini bildirmişler. Sobota ve ark. (2015), buğday kepeği ve mısır irmiğinin toplam diyet lifi içeriğini, çözünmeyen diyet lifi ve çözünebilir diyet lifi içeriklerini %29.3-6.5, %25.4-5.4 ve %3.9-1.1 olarak hesaplamışlardır. Tahıl kepekleri önemli diyet lifi kaynağıdır. Buğday kepeği selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan suda çözünmeyen lifleri yüksek oranda içermektedir. Diyet lifleri gastrointestinal sistemin normal fonksiyonunun devamının sağlanmasına katkı sağlarken, kandaki glikoz ve yağ emilimini azaltmakta, nişasta hidrolizini yavaşlatmakta kardiyovasküler hastalık riskini azaltmakta, bağırsaklardaki yararlı bakteriler için probiyotik özellik göstermekte, bağırsak ve fekal hacmini artırarak bağırsaktaki gıdaların transit süresini kısaltmaktadır. Bu sayede kabızlık, obesite, diyabet, apandisit, bağırsak kanseri ve kolon kanseri oluşum riskini düşürmektedir (Levi ve ark., 2001). Lifçe zengin gıdaların doyunluk sağlaması sebebiyle günlük 25-50 g diyet lifinin tüketilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir. Kepek katkılı ekstrüde mısır çerezlerinin günlük diyet lifi ihtiyacının karşılanmasında önemli bir atıştırma gıda olabileceği düşünülmektedir.

### **Kepek Katkı Oranının Optimum Şartların Üzerine Çıkarıl-masının Ekstrüde Ürün Özelliklerine Etkileri**

Ekstrüde mısır çerezlerinde kepek katkılama oranı artırılarak üretilen 4 farklı ekstrüde mısır çerezlerinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 8’de verilmiştir. Kepek katkılama oranı artırılarak üretilen ürünlerin kül içeriklerinde de artış meydana gelmiştir. Üretilen kepek katkılı ekstrüde mısır çerezlerinin, mısır irmiğinden üretilen ekstrüde çerezlere göre protein miktarında artış meydana gelmiştir. Ancak, ekstrakte edilebilir yağ oranları ise beklenene göre düşük çıkmıştır. Ekstrüzyon sırasında biyopolimerleri oluşturan bileşenlerden nişastanın jlatinizasyonu, proteinlerin denatürasyonu ve çapraz bağlanması, amiloz ve lipitler arasında kompleks oluşumu, indirgen şeker varlığında meydana gelen Maillard reaksiyonu, polimerlerin ve diğer moleküllerin yıkım reaksiyonları gibi kimyasal değişimler meydana gelmektedir (De Pilli ve Alessandrino, 2018). Oluşan bu kompleks yapılar ekstrakte edilebilir yağ oranlarının azalmasına sebep olmaktadır. Diğer

tarafından, ekstrüzyon sürecinde hidrolitik enzimler denatüre olduğu için serbest yağ asitleri oluşmamakta (Camire, 2000) ve lipid oksidasyonu minimize olmaktadır. Böylelikle gıdalarda duyu ve besinsel kalite artmakta ve daha uzun raf ömrüne sahip ürünler elde edilmektedir (Singh ve ark., 2007).

Ekstrüzyon teknolojisiyle üretilen ürünlerde doğal toksinler ve antibesinsel maddeler ekstrüzyon koşullarında parçalandığı için gıdalardaki besinsel kalitede artış meydana gelmektedir (Ajita ve Jha, 2017). Hammadde ile karşılaştırıldığında, ekstrüzyon koşullarında çerezlerin fitik asit miktarında azalma meydana gelmiştir ancak kepek ilavesi ile ekstrüde çerezlerin fitik asit miktarı artmıştır (Tablo 9). Nwabueze (2007)'de Afrika ekmeği meyvesini, yağsızlaştırılmış soya fasulyesini ve mısırı tek vidalı ekstrüderden geçirerek ekstrüzyon proses parametrelerinin tripsin inhibitör aktivitesi ve diğer

antibesinseller üzerine etkisini araştırmıştır. Ekstrüde ürünlerde tripsin inhibitör aktivitesi, fitik asit ve tanin içeriğinde sırasıyla %91, %44 ve %92 oranlarında azalma meydana gelmiştir. Karışımın fitik asit içeriğinde %50 azalmasının sebebi, ekstrüzyon sırasında kullanılan yüksek sıcaklıklardan (120-170 °C) kaynaklanmadığı, bileşik olarak bulunan miyoinositol 1,2,3,4,5,6-heksakis dihidrojen fosfatın termal / kimyasal olarak parçalanmasıyla meydana gelebileceği düşünülmüştür. Sharma ve ark. (2004), pirinç kepeğini kuru sıcaklık ve ekstrüzyon ile stabilize etmişler ve pirinç kepeğinin fiziko-kimyasal, fonksiyonel özellikleri ve depolama stabilitesine üzerine çalışmışlardır. Ekstrüzyon sonucunda pirinç kepeklerinin fitik asit miktarında kuru sıcaklık uygulamasına göre daha çok azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir.

**Tablo 8.** Hammaddeler ve KKEMÇ'lerin kimyasal analiz sonuçları

**Table 8.** Chemical analysis results of raw materials and ECSwBA

Ürünler	Nem (%)	Kül (% , km)	Yağ (% , km)	Protein (% , km)	Toplam karbonhidrat (% , km)	
Hammaddeler	Kepek	9.94±0.06	4.38±0.02	3.95±0.23	16.65±0.07	65.08±0.34
	Mısır İrmigi	10.58±0.06	0.42±0.04	0.93±0.09	7.75±0.07	80.33±0.13
Ürünler	%10 KKEMÇ	7.01±0.00 ab	0.82±0.01 d	0.16±0.02 b	9.20±0.00 bc	82.86±0.04 a
	%13 KKEMÇ	7.31±0.01 a	0.99±0.01 c	0.16±0.01 b	9.30±0.00 ab	82.25±0.02 b
	%16 KKEMÇ	7.19±0.06 ab	1.21±0.01 b	0.23±0.00 a	8.85±0.05 d	82.59±0.07 ab
	%19 KKEMÇ	6.87±0.17 b	1.20±0.03 b	0.26±0.04 a	9.10±0.00 c	82.73±0.11 a
	%22 KKEMÇ	6.51±0.25 c	1.35±0.01 a	0.28±0.01 a	9.35±0.05 a	82.68±0.28 a
	p	0.012	< 0.001	0.004	0.040	0.043

**Tablo 9.** Hammaddeler ve KKEMÇ'lerin fitik asit, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite analizi sonuçları

**Table 9.** Phytic acid, total phenolic content and antioxidant capacity results of raw materials and ECSwBA

Ürünler	Fitik asit (mg/100g, km)	Toplam fenolik madde (mg GAE/100g,km)	Antioksidan kapasite (% , km )	
Hammaddeler	Kepek	4142.6±31.84	233.06±1.90	69.78±0.05
	Mısır İrmigi	2147.30±210.95	144.50±0.25	94.01±0.94
Ürünler	%10 KKEMÇ	968.11±0.00 d	26.53±0.47 e	75.23±1.61 c
	%13 KKEMÇ	1125.70±0.00 c	33.28±0.48 c	80.17±0.46 a
	%16 KKEMÇ	1314.3±27.86 b	30.55±0.48 d	79.61±0.11 a
	%19 KKEMÇ	1266.4±119.40 bc	39.24±0.48 b	78.97±0.25 bc
	%22 KKEMÇ	1587.3±47.76 a	42.13±0.00 a	77.33±0.09 b
	p	< 0.001	< 0.001	0.006

**Tablo 10.** Hammaddelerin ve KKEMÇ'lerinin çözünmez, çözünür ve toplam diyet lifi içerikleri**Table 10.** Insoluble, soluble and total dietary fiber contents of raw materials and ECSwBA

Örnekler	Çözünmez diyet lifi (% , km)	Çözünebilir diyet lifi (% , km)	Toplam diyet lifi (% , km)	
Hammaddeler	Kepek	28.85±0.05	2.84±0.40	31.69±0.36
	Mısır İrmigi	3.53±0.19	0.20± 0.29	3.73±0.48
Ürünler	%10 KKEMÇ	5.13±0.29 c	1.08±0.23 b	6.21±0.52 d
	%13 KKEMÇ	6.13±0.71 b	1.14±0.71 b	7.27±0.00 c
	%16 KKEMÇ	5.36±0.96 c	3.67±0.78 a	9.03±0.18 b
	%19 KKEMÇ	7.52±0.36 a	2.75±0.36 ab	10.27±0.00 a
	%22 KKEMÇ	7.46± 0.68 a	4.7±0.65 a	12.16±0.03 a

Ekstrüzyon teknolojisinde yüksek sıcaklık, basınç ve mekanik etkinin etkisi ile gıdaların besleyici ve fonksiyonel özellikleri üzerinde çeşitli değişikliklere ve reaksiyonlara sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak bu özelliklerinde artma ya da azalma meydana gelmektedir. Yapılan bir çalışmada %5-30 oranında dondurarak kurutulmuş domates posasının ekstrüde mısır çerezi üretiminde kullanarak, kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Yüksek domates katkısının toplam fenolik madde içeriğini artırdığı, %20 oranında ilave etmenin, fiziksel özellikleri iyileştirdiği ve kabul edilebilir çerezler üretilebildiğini bildirmişlerdir (Wójtowicz ve ark., 2018) Yapılan bir başka çalışmada ekstrüzyon prosesinin adzuki fasulyesinin antioksidan ve alfa glikozidaz inhibisyonu üzerine etkisine çalışılmıştır. Ekstrüde edilmiş adzuki fasulyesi ekstrakti ile ekstrüde edilmemiş adzuki fasulyesi ekstrakti arasında polisakkarit içeriği, protein içeriği ve toplam flovonoid içeriği bakımından önemli bir fark bulunmazken, toplam fenolik madde ve DPPH yöntemi ile belirlenen toplam antioksidan içeriğinde ekstrüzyon sonrasında ciddi bir azalma meydana geldiği bildirilmiştir (Yao ve Ren, 2014). Bu çalışmada kepek oranı artırılarak üretilmiş 5 ürünün toplam fenolik madde miktarları ve DPPH radikali engelleme gücü sırasıyla 26.53-42.13 mg GAE/100 gr, km ve %75.23-80.17 arasında çıkmıştır. Ekstrüzyon koşullarında toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite içeriğinde azalma meydana gelmiştir ancak kepek ilavesi ile ekstrüde çerezlerin toplam fenolik madde ve DPPH radikali engelleme gücü ile belirlenen toplam antioksidan kapasite miktarında genel olarak bir artış meydana gelmiştir.

Ekstrüzyon koşulları gıdaların diyet lifi içeriklerinde değişikliğe sebep olmaktadır. Üretim sırasında meydana gelen basınç ve mekanik kayma kuvveti çözünmez diyet liflerindeki bağları kopararak çözünmez liflerin çözünür forma geçmelerini sağlamaktadır. (Gualberto ve ark., 1997). Zhong ve ark. (2019), lüpen tohum kabuğunu ekstrüde ederek diyet lifi içeriğine etkisini araştırmışlar. Ekstrüzyon işlemi ile suda çözü-

nebilir diyet lifi içeriğinde ciddi bir artış olurken, çözünemeyen diyet lifi miktarında azalma meydana gelmiştir. Yapılan bir diğer çalışma da ise *Amaranthus caudatus* türünün 2 farklı çeşidinin ham ve ekstrüde edilmiş hallerinin diyet lifi ve diğer fonksiyonel özellikleri üzerine çalışmışlardır. Ekstrüzyon sırasında her iki çeşidinde toplam ve çözünmez diyet lif miktarında azalma meydana gelirken, çözünür diyet liflerinde ise bir artma meydana gelmiştir (Repo-Carrasco-Valencia ve ark., 2009).

## Sonuç

Buğday kepeği buğday endüstrisinin önemli bir yan ürünüdür. Yapılan araştırmalar sonucu buğday kepeğinin fenolik bileşikler, vitaminler, mineraller, çözünmez lif ve protein bakımından zengin olduğu kanaatine varılmıştır. Bu özelliği sebebiyle farklı ürün gruplarında kullanım imkânı bulmuştur. Çerez gıda sektörü büyüyen bir ticaret hacmine sahiptir. Fakat üretilen ürünlerin besleyici ve fonksiyonel özelliklerinin zayıf olması nedeniyle bu ürünlerin çeşitli katkı ve ingredientler kullanılarak geliştirilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan bu çalışma da hem bu gıda grubunun geliştirilmesi hem de değerli bir yan ürün olan kepeğin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Kepek ilavesi ile üretilen ekstrüde mısır çerezlerinin, sadece mısır irmiğinden üretilen ekstrüde mısır çerezlerine göre kimyasal, besleyici, fonksiyonel özelliklerinde önemli seviyede artış meydana gelmiştir. Yaklaşık %10 oranında katkılama ekstrüde çerezlerin fiziksel özelliklerine olumlu bir katkı sağlarken, %13-22 arasında artan oranda katkılama yapmanın ekstrüde mısır çerezlerinin besleyici ve fonksiyonel özelliklerini ciddi ölçüde geliştirdiği belirlenmiştir. Bu oranlarda fiziksel özellikleri bir miktar daha zayıf ancak tüketici tarafından kabul edilebilir bir ürün elde edilirken, besleyici ve fonksiyonel özellikleri yönünden de iyi ürünler elde edilmiştir.

**Etik Standart ile Uyumluluk**

**Çıkar çatışması:** Yazarlar bu yazı için gerçek, potansiyel veya algılanan çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

**Etik izin:** Araştırma niteliği bakımından etik izne tabii değildir.

**Finansal destek:** -

**Teşekkür:** -

**Açıklama:** -

**Kaynaklar**

**AACC, American Association of Cereal Chemists, (2000).** Approved methods of the AACC, 10th ed., St. Paul, MN, USA.

**Abozed, S.S., El-Kalyoubi, M., Abdelrashid, A., Salama, M.F. (2014).** Total phenolic contents and antioxidant activities of various solvent extracts from whole wheat and bran. *Annals of Agricultural Sciences*, 59(1), 63-67. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2014.06.009>

**Ajita, T., Jha, S.K. (2017).** Extrusion cooking technology: Principal mechanism and effect on direct expanded snacks - An overview. *International Journal of Food Studies*, 6(1), 113-128. <https://doi.org/10.7455/ijfs/6.1.2017.a10>

**Anonim. (2017).** 30 Milyar Dolarlık Cips Pazarı Doğdu. *Doğuştan*, 12-13.

**Bilgiçli, N., İbanoğlu, Ş. (2007).** Effect of wheat germ and wheat bran on the fermentation activity, phytic acid content and colour of tarhana, a wheat flour-yoghurt mixture. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 681-686. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.012>

**Brand-Williams, W., Cuvelier, M.-E., Berset, C. (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

**Bushuk, W. (2011).** Wheat breeding for end-product use. In *Wheat: Prospects for Global Improvement* (pp. 203-211). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-4896-2\\_27](https://doi.org/10.1007/978-94-011-4896-2_27)

**Camire, M.E. (2000).** Chemical and nutritional changes in food during extrusion. In *Extruders in Food Applications*. <https://doi.org/10.2307/1266454>

**Cankurtaran, T. (2016).** Dolgulu ve dolgusuz yaş makarna üretiminde buğday kepeği ve buğday ruşeymi katkısının bazı kalite özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.

**Choudhury, G.S., Gautam, A. (2003).** Hydrolyzed fish muscle as a modifier of rice flour extrudate characteristics. *Journal of Food Science*, 68(5), 1713-1721. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12318.x>

**Colonna, P. (1989).** Extrusion cooking of starch and starchy products. *Extrusion Cooking*, 247-319.

**De Pilli, T., Alessandrino, O. (2018).** Effects of different cooking technologies on biopolymers modifications of cereal-based foods: Impact on nutritional and quality characteristics review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(14), 556-565. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1544884>

**Ding, Q.-B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., Marson, H. (2006).** The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 73(2), 142-148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.013>

**Doğan, F., (2014).** Nohut Bazlı Ekstrüde Ürünlerin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye

**Doğan, H., Karwe, M.V. (2003).** Physicochemical properties of quinoa extrudates. *Food Science and Technology International*, 9(2), 101-114. <https://doi.org/10.1177/1082013203009002006>

**Gualberto, D.G., Bergman, C.J., Kazemzadeh, M., Weber, C.W. (1997).** Effect of extrusion processing on the soluble and insoluble fiber, and phytic acid contents of cereal brans. *Plant Foods for Human Nutrition*, 51(3), 187-198. <https://doi.org/10.1023/A:1007941032726>

- Haug, W., Lantzsch, H. (1983). Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34(12), 1423-1426.  
<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740341217>
- Hossain, K., Ulven, C., Glover, K., Ghavami, F., Simsek, S., Alamri, M. S., Kumar, A., Mergoum, M. (2013). Interdependence of cultivar and environment on fiber composition in wheat bran. *Australian Journal of Crop Science*, 7(4), 525.
- Jin, Z., Hsieh, F., Huff, H. E. (1994). Extrusion cooking of corn meal with soy fiber, salt, and sugar. *Cereal Chemistry*, 71(3), 227-234.
- Kaur, G., Sharma, S., Nagi, H.P.S., Dar, B.N. (2012). Functional properties of pasta enriched with variable cereal brans. *Journal of Food Science and Technology*, 49(4), 467-474.  
<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0294-3>
- Levi, F., Pasche, C., Lucchini, F., La Vecchia, C. (2001). Dietary fibre and the risk of colorectal cancer. *European Journal of Cancer*, 37(16), 2091-2096.  
[https://doi.org/10.1016/S0959-8049\(01\)00254-4](https://doi.org/10.1016/S0959-8049(01)00254-4)
- Moore, J., Liu, J.-G., Zhou, K., Yu, L. (Lucy). (2006). Effects of genotype and environment on the antioxidant properties of hard winter Wheat Bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(15), 5313-5322.  
<https://doi.org/10.1021/jf0603811>
- Obadina, A. O., Oyewole, O. B., Archibong, U. E. (2011). Short Communication effect of processing on the qualities of noodles produced from corn grit and cassava flour. *International Food Research Journal*, 18(4), 1563-1568.
- Ozer, E. A., Herken, E. N., Güzel, S., Ainsworth, P., İbanoğlu, Ş. (2006). Effect of extrusion process on the antioxidant activity and total phenolics in a nutritious snack food. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 289-293.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01062.x>
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Peña, J., Kallio, H., Salmi-nen, S. (2009). Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, 49(2), 219-224.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.10.003>
- Riaz, M.N. (2000). Extruders in food applications. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781482278859>
- Rickard, S.E., Thompson, L.U. (1997). Interactions and biological effects of phytic acid. ACS Publications.  
<https://doi.org/10.1021/bk-1997-0662.ch017>
- Samuel, L., Dogan, H., Kokini, J.L. (2005). Textural analysis method development for two-phase food products. 2005 IFT Annual Meeting, July 15-20-New Orleans, Louisiana.
- Sarfaraz, A., Azizi, M.H., Gavlighi, H.A., Barzegar, M. (2017). Physicochemical and functional characterization of wheat milling co-products: Fine grinding to achieve high fiber antioxidant-rich fractions. *Journal of Cereal Science*, 77, 228-234.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.08.021>
- Sayaslan, A., Şahin, N. (2018). Effects of fermented-chickpea liquor (chickpea yeast) on whole-grain wheat flour bread properties. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 10(2), 183-192.  
<https://doi.org/10.3920/QAS2017.1225>
- Singh, S., Gamlath, S., Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), 916-929.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* 299, 152-178.  
[https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Sobota, A., Rzedzicki, Z., Zarzycki, P., Kuzawińska, E. (2015). Application of common wheat bran for the industrial production of high-fibre pasta. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(1), 111-119.  
<https://doi.org/10.1111/ijfs.12641>



Stevenson, L., Phillips, F., O'sullivan, K., Walton, J. (2012). Wheat bran: its composition and benefits to health, a European perspective. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(8), 1001-1013.

<https://doi.org/10.3109/09637486.2012.687366>

Taj, S., Munawar, M.A., Khan, S. (2007). Natural fiber-reinforced polymer composites. *Proceedings-Pakistan Academy of Sciences*, 44(2), 129.

<https://doi.org/10.1155/2015/243947>

Uzun, Ö., Yağmur, C., Özer, E.A. (2007). Türkiye'de Üretilen Bazı Patates Ve Mısır Cipslerinin Besin Bileşimi Ve Enerji Değerlerinin Belirlenmesi, Standartlara Ve Etiket Bilgilerine Uygunluğunun İncelenmesi. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 35(2), 53-62.

Vaher, M., Matso, K., Levandi, T., Helmja, K., Kalju-rand, M. (2010). Phenolic compounds and the antioxidant activity of the bran, flour and whole grain of different wheat varieties. *Procedia Chemistry*, 2(1), 76-82.

<https://doi.org/10.1016/j.proche.2009.12.013>

Veillard, P. V., Moraru, C. I., Kokini, J. L. (2003). Development of instrumental methods for the textural characterization of low moisture extrudates. IFT Annual Meeting, Chicago, IL.

Wójtowicz, A., Zalewska-Korona, M., Jabłońska-Ryś, E., Skalicka-Woźniak, K., Oniszczyk, A. (2018). Chemical characteristics and physical properties of functional snacks enriched with powdered tomato. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 68(3), 251-262.

<https://doi.org/10.1515/pjfn-2017-0028>

Yağcı, S., Göğüş, F. (2008). Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *Journal of Food Engineering*, 86, 122-132.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.09.018>

Yağcı, S. (2008). The use of durum clear flour in combination with hazelnut cake and different pomaces in the production of extruded food (Issue November). Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.

Yao, Y., Ren, G. (2014). Suppressive effect of extruded adzuki beans (*Vigna angularis*) on hyperglycemia after sucrose loading in rats. *Industrial Crops and Products*, 52, 228-232.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.029>

Zhong, L., Fang, Z., Wahlqvist, M.L., Hodgson, J.M., Johnson, S.K. (2019). Extrusion cooking increases soluble dietary fibre of lupin seed coat. *LWT-Food Science and Technology*, 99, 547-554.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.018>