

SEBZE VE MEYVE BAZLI YULAFLI BAR ÜRETİMİNİN YANIT YÜZEY YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU VE KURUTMA PROSESİNİN MODELLENMESİ

**Büşra ACOĞLU ÇELİK^{1,2}, Senanur DURGUT MALÇOK¹,
Perihan YOLCI ÖMEROĞLU^{*1,2}, Canan Ece TAMER¹**

¹Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

²Bursa Uludağ Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (BİTUAM), Bursa, Türkiye

Geliş /Received 14.11.2024; Kabul /Accepted: 07.04.2025; Online baskı /Published online: 11.04.2025

Acoğlu Çelik, B., Durgut Malçok, S., Yolcu Ömeroğlu, P., Tamer, C.E. (2025). Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar üretiminin yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu ve kurutma prosesinin modellenmesi. *GIDA* (2025) 50 (2) 284-316 doi: 10.15237/ gida.GD24109

Acoğlu Çelik, B., Durgut Malçok, S., Yolcu Ömeroğlu, P., Tamer, C.E. (2025). Optimization of vegetable and fruit based oatmeal bar production with response surface methodology and modelling of drying process. *GIDA* (2025) 50 (2) 284-316 doi: 10.15237/ gida.GD24109

ÖZ

Bu çalışmada, sebze (kereviz, karnabakar, brüksel lahanası) ve meyve (elma, portakal, hurma) bazlı yulaflı barların formülasyonu oluşturulmuş, üretim koşulları yüzey yanıt yöntemi (RSM) ile optimize edilerek kurutma sürecine en uygun matematiksel model belirlenmiştir. Tekstür ve lezzet iyileştirmek amacıyla formülasyona kuruyemişler, tarçın ve kestane unu eklenmiştir. Box-Behnken tasarımında, kurutma sıcaklığı (65-95 °C), son ürün nem içeriği (%25-35) ve bar kalınlığı (0.5-1 cm) değişkenleri kullanılarak, kuruma süresi, sertlik ve duysal kabul edilebilirlik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Optimum koşullar 95 °C kurutma sıcaklığı, %33.96 nem ve 1.06 cm kalınlık olarak belirlenmiştir. Efektif difüzyon hızı değerleri 3.04×10^{-10} – 7.00×10^{-10} m²/s aralığında olup, en uygun kurutma modelleri Page ve Modifiye Page olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma, sebze tüketimini artırmaya yönelik fonksiyonel ve sağlıklı bir atıştırmalık geliştirmektedir.

Anahtar kelimeler: Sağlıklı atıştırmalık, fonksiyonel gıda, yanıt yüzey yöntemi (RSM), ince tabaka kurutma modelleme, tekstür, duysal profil, temel bileşen analizi (PCA)

OPTIMIZATION OF VEGETABLE AND FRUIT BASED OATMEAL BAR PRODUCTION WITH RESPONSE SURFACE METHODOLOGY AND MODELLING OF DRYING PROCESS

ABSTRACT

This study formulated vegetable (celery, cauliflower, brussel sprout) and fruit (apple, orange, date) oat bars, optimized production conditions using the response surface methodology (RSM), and identified the most suitable drying model. Nuts, cinnamon, and chestnut flour were incorporated to enhance texture and flavor. The Box-Behnken design evaluated drying temperature (65-95 °C), final moisture content (25-35%), and bar thickness (0.5-1 cm) concerning drying time, hardness, and sensory acceptability. The optimal conditions were determined as 95 °C drying temperature, 33.96%

* Sorumlu Yazar: Corresponding author

✉: pyomeroglu@uludag.edu.tr

☎: (+90) 224 294 1401

☎: (+90) 224 294 1402

Büşra Acoğlu Çelik; ORCID no: 0000-0002-6079-1970

Senanur Durgut Malçok; ORCID no: 0000-0002-1314-4965

Perihan Yolcu Ömeroğlu; ORCID no: 0000-0001-8254-3401

Canan Ece Tamer; ORCID no: 0000-0003-0441-1707

moisture content, and 1.06 cm thickness. Effective diffusivity values ranged from 3.04×10^{-10} to $7.00 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, with Page and Modified Page models identified as the best fit. This study presents a functional and healthy snack alternative, particularly for individuals with difficulty consuming vegetables.

Keywords: Healthy snack, functional food, response surface methodology (RSM), thin layer drying modelling, texture, sensory profile, Principal Component Analysis (PCA)

GİRİŞ

Küresel boyutta yiyecek-içecek ve fonksiyonel gıda pazarı, diğer endüstriyel sektörlere kıyasla sürekli büyüyen bir ekonomik değer taşımaktadır. Beslenmenin temel bir ihtiyaç olması, hızla artan dünya nüfusu ve bu doğrultuda artan tüketim talepleri, gıda endüstrisinin büyüme hızını artırmaktadır. Fonksiyonel gıda pazarının hızla büyümesi, ürün çeşitliliğinin ve erişilebilirliğin de artmasına neden olmaktadır (Gupta vd., 2023). Yaşam standartlarının yükselmesiyle birlikte bireyler, sağlıklı bir yaşam tarzının önemini daha iyi kavrayarak bu doğrultuda beslenme alışkanlıkları edinmektedir. Bilinçli tüketiciler, gıda ürünlerinin sağlık üzerindeki etkilerine daha fazla önem vererek beslenme alışkanlıklarında değişiklik yapmakta ve sağlık açısından faydalı ek işlevlere sahip atıştırmalıkları tercih etmektedir. Bu atıştırmalık gıdalar, sebze, meyve, kuruyemiş, tahıl, süt ürünleri ve yenilebilir çiçekler gibi doğal ve sağlıklı destekleyen bileşenler içermektedir (Chen vd., 2022). Artan talep doğrultusunda, sağlıklı atıştırmalık pazarı 2018 yılında küresel olarak 23.05 milyar Amerikan (ABD) doları büyüklüğüne ulaşmış olup, 2026 yılı itibarıyla yaklaşık 40.769 milyar ABD doları değerine ulaşacağı tahmin edilmektedir (Chen vd., 2022). Son yıllarda, öğün yerine geçen sağlıklı atıştırmalıkların popülerlik kazanmasıyla birlikte, bu alanda yenilikçi ürünlerin geliştirilmesi gündeme gelmiştir. Atıştırmalıklar, öğün aralarında tüketilen küçük porsiyonlu yiyecekler olarak tanımlanmakta olup, sebze barları enerji sağlayan, protein, vitamin, mineral açısından zengin, tokluk hissi veren, lif yönünden zengin ve düşük kalorili özellikleriyle fonksiyonel atıştırmalıklar arasında öne çıkmaktadır.

Meyve ve sebze tüketimi, insan sağlığını destekleyerek obezite riskini azaltabilen önemli bir unsurdur. Dünya Sağlık Örgütü, günlük en az 400 g meyve ve sebze tüketimini önermekte; ne var ki birçok ülkede çocukların sebze tüketimi önerilen

miktarın altında kalmaktadır (Jonsson vd., 2019). Bu bağlamda çocukların sebze tüketimini artırmaya yönelik sağlıklı atıştırmalık alternatifleri geliştirilmesi gerekliliği öne çıkmaktadır. Kereviz, karnabahar ve lahana gibi sebzelerin kanser riskini azaltıcı etkilere sahip olduğu literatürde yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Kıyak vd., 2014). Bu sebzeler, lif, vitamin, karotenoid ve mineral açısından zengin olup, antioksidan özellikleri sayesinde tip 2 diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, koroner kalp hastalığı ve hipertansiyon gibi hastalıklara karşı koruyucu etki göstermektedir. Bu doğal antioksidan bileşenler, flavonoidler gibi radikal temizleyici ajanlar içermekte ve oksidatif strese karşı koruma sağlamaktadır (Nandasiri vd., 2023). Benzer şekilde, elma, portakal ve hurma gibi meyveler de sağlıklı atıştırmalıklar için önemli birer seçenek olarak öne çıkmaktadır. Elma, yüksek lif içeriği ve tatlı-asidik lezzetiyle dengeli bir tat sunarken (Boyer ve Liu, 2004), portakal, zengin C vitamini içeriği ve ferahlatıcı aromasıyla tercih edilmektedir (Abakpa ve Adenaike, 2021). Hurma ise, doğal şeker içeriği ve yumuşak dokusuyla tat ve kıvam açısından sağlıklı atıştırmalıklara katkı sağlamaktadır (Mahomoodally vd., 2024). Bu meyveler, sağlıklı atıştırmalıkların besin değerlerini artırmakla birlikte, fonksiyonel özelliklerinin de geliştirilmesine olanak sunmaktadır. Dolayısıyla, sebzeler ve meyveleri içeren ürünler, çocukların sağlıklı atıştırmalık tercihleri için hem besleyici hem de lezzetli bir alternatif oluşturmakta, bu da sağlıklı beslenme alışkanlıklarının kazanılmasına katkı sağlamaktadır (Alemu, 2024). Ayrıca, bu çalışma kapsamında, ürünün işlevsel özelliklerini artırmak ve glutensiz seçeneklere yönelen tüketicilerin taleplerine yanıt vermek amacıyla kestane unu kullanılmıştır. Kestane unu, içerdiği doğal bağlayıcı bileşenler sayesinde gıda ürünlerinde kıvam ve yapı sağlamada etkili bir katkı maddesi olarak öne çıkmaktadır (Brochard vd., 2021).

FAO (Gıda ve Tarım Örgütü) verilerine göre, 2022 yılı itibarıyla Dünya genelinde kereviz (kök) üretimi yaklaşık 4476000 ton olarak gerçekleşmiştir. Kereviz, özellikle Avrupa ve Asya'nın farklı bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilen bir sebze olup, bu bölgelerdeki tarımsal üretim önemli bir yer tutmaktadır. Brüksel lahanası üretimi ise aynı yıl yaklaşık 1352000 ton olarak kaydedilmiştir ve başta Belçika ve Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere, bu ülkeler üretimde başı çekmektedir. Karnabahar üretimi Dünya genelinde 26058228 ton olarak belirlenmiş olup, özellikle Çin, Hindistan ve ABD gibi ülkelerde yoğun şekilde yetiştirilmektedir. Bu durum, karnabaharı dünya pazarında önemli bir sebze yapmaktadır. Dünya genelinde önemli bir meyve olan elma, üretim ve ticaret açısından stratejik bir rol oynamaktadır. Çin, dünya elma üretiminin yaklaşık %50'sini karşılamaktadır. Diğer büyük üretici ülkeler arasında Hindistan, Amerika Birleşik Devletleri ve Türkiye yer almaktadır. Türkiye, 2022 yılında 4.7 milyon ton elma üretimiyle dünya sıralamasında üçüncü sırada yer almış ve elma üretimi, ülkenin tarım sektöründe önemli bir ekonomik faaliyet olarak öne çıkmıştır. Bu üretim artışı, küresel elma arzını artırarak dünya genelindeki meyve tüketimi ve ticaretinde önemli bir rol oynamaktadır. Portakal, Dünya çapında önemli bir narenciye meyvesi olarak üretim ve ticaretinde belirleyici bir rol oynamaktadır. 2022 yılı itibarıyla portakal üretimi yaklaşık 75.4 milyon ton olarak kaydedilmiştir. Hurma, özellikle Orta Doğu ve Kuzey Afrika bölgelerinde önemli bir meyve olup, bu bölgelerdeki üretim yoğunlaşmaktadır. Hurma üretimi, başta Mısır, Suudi Arabistan, İran, Cezayir ve Irak olmak üzere birçok ülkede gerçekleştirilmektedir ve bu ülkeler, dünya çapında hurma üretiminin büyük bir kısmını üstlenmektedir (FAO, 2024).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, kereviz (kök) üretimi 2023 yılında 22460 ton olarak gerçekleşmişken, 2024 yılı için bu miktarın 28100 ton seviyesine çıkması beklenmektedir. Bu artış, Türkiye'nin iç pazar talebinin artışının bir göstergesidir. Brüksel lahanası üretimi ise 2023 yılında 2209 ton iken, 2024 yılı için bu miktarın 2200 ton olarak öngörülmektedir. Bu sebzelerin üretimsel hacimlerindeki artışlar, sağlıklı beslenme

talebindeki artış ile ilişkilendirilmektedir. Dünya genelinde elma, portakal ve hurma üretimi önemli bir ekonomik faaliyet alanı oluşturmakta olup, Türkiye bu alanda dikkat çekici bir üretici konumundadır. TÜİK verilerine göre, Türkiye'deki elma üretimi 2023 yılında 4.7 milyon ton iken, 2024 için bu miktarın 5 milyon tona çıkması beklenmektedir. Portakal üretimi ise 2023'te 1.8 milyon ton seviyelerinde gerçekleşmiş olup, 2024 için 2 milyon ton civarına ulaşması öngörülmektedir. Hurma üretimi 2023'te 120000 ton olarak kaydedilmişken, 2024'te 130000 ton olması beklenmektedir. Bu artışlar, iç talebin yanı sıra ihracat potansiyelindeki yükselmeyi de göstermektedir ve Türkiye'nin meyve üretimi, küresel pazarda önemli bir rol oynamaktadır. Bu gelişmeler, sağlıklı beslenme alışkanlıklarını teşvik etmekte ve Türkiye'nin tarımsal üretim kapasitesinin arttığını ortaya koymaktadır (TÜİK, 2024).

Market raflarında yeni meyve, sebze, tahıl bazlı ve yüksek proteinli atıştırmalık bar çeşitleri olduğu gibi literatürde de bu kapsamda yapılan kapsamlı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda domates, kabak, mantar, çilek ve incir gibi bitki bazlı hammaddeler kullanılmıştır (Chen vd., 2022; Dimopoulou vd., 2023; Hastaoglu vd., 2023; Atik vd., 2024; Gul vd., 2024; Ali vd., 2024; Sharma vd., 2024). Literatürde sınırlı sayıda yapılan çalışmalarda karnabahar ve kereviz kullanılarak fonksiyonel kurabiye (Nicetin vd., 2024), vegan sakızlı şekerleme (Ghodsi ve Nouri, 2024) ve tahıl bazlı atıştırmalık (Stojceska vd., 2008) üretildiği görülmüştür. Santiago-Ramos vd., (2022) araştırmasında üzüm ve domates posalarından elde edilen yan ürünlerin (%36) kullanımıyla yenilikçi bir atıştırmalık geliştirmiştir. Formülasyonda yulaf, chia tohumu, kinoa, bal ve fıstık ezmesi gibi besin değeri yüksek bileşenler de yer almıştır. Ürün, hedef tüketici grup tarafından hem lezzetli hem de sağlıklı olarak değerlendirilmiştir. Atıştırmalık, 50 °C, 60 °C ve 70 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta zorlamalı hava yöntemiyle kurutulmuştur. Kurutma verileri, Newton, Page, Henderson ve Pabis ile Midilli-Küçük modellerine uygulanmış ve bu modellerin kurutma eğrilerine yüksek uyum sağladığı belirlenmiştir.

Ancak turpgiller ve maydanozgiller familyasına ait biyoaktif bileşenlerce zengin kereviz, karnabahar ve brüksel lahanası sebzeleriyle geliştirilmiş ve meyve içeren yulaflı atıştırılabilir bir barın üretilmesine ait bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle çalışmada, meyve (elma, portakal ve hurma) ve sebze (kereviz, karnabahar ve brüksel lahanası) bazlı yulaflı bar üretiminin formülasyonunu oluşturmak, yanıt yüzey yöntemiyle üretim koşullarını optimize etmek ve kurutma prosesine en uygun matematiksel modeli belirlemek amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Çalışmada, Bursa ilindeki semt pazarından tedarik edilen kereviz (*Apium graveolens*), karnabahar (*Brassica oleracea*), brüksel lahanası (*Brassica oleracea Gemmifera*), elma (*Malus sp.*, *Rosaceae*) ve portakal (*Citrus sinensis*) ile marketten temin edilen çeşitli ticari firmalara ait hurma, ceviz içi, fındık içi, tarçın, kakao, yulaf, kestane unu ve sitrik asit kullanılmıştır. Laboratuvara getirilen tüm sebze ve meyveler, bar üretimleri gerçekleştirilinceye kadar +4 °C'de buzdolabı koşullarında muhafaza edilmiştir.

Metot

Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar üretimi

Sebze ve meyve bazlı yulaf barının üretiminin formülasyonunun ve üretim yönteminin oluşturulması için ön denemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan ön denemeler sırasında farklı oranlarda sebze (kereviz, karnabahar, brüksel lahanası), meyve (elma, hurma, portakal), kuruyemiş (fındık içi ve ceviz içi), yulaf ve barların lezzet ve yapısal dengesinin oluşturulması için üretime yardımcı diğer maddeler (kestane unu, kakao, tarçın ve sitrik asit) kullanılmıştır. Ön denemeler sırasında hedonik duyu değerlendirme sonuçlarına göre barların genel kabul edilebilirliği ve tekstürel yapısı dikkate alınmıştır. Yapılan bu denemeler sonucunda barların formülasyonunda yer alan bileşenler ve oranları belirlenmiş ve aşağıda açıklanan üretim yöntemi oluşturulmuştur.

Barların ilk üretim aşamasında "yıkama, ayıklama ve kabuk soyma" işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Formülasyonda yer alan kereviz (%12.5), karnabahar (%9.5) ve brüksel lahanasından (%10.5) oluşan sebzeler ile meyve olarak yer alan elmalar (%14) yıkanmış, ayıklanmış ve kabukları soyulmuştur. Formülasyon Çizelge 1'de verilmiştir. İkinci aşama "haşlama" işlemi olup sebzeler buharda haşlanmıştır. Haşlama işleminden önce doğrama işlemiyle küçük parçalar haline getirilen sebzeler, yüzey alanlarının artırılmasıyla birlikte daha kısa sürede etkili bir haşlama işleminden geçmiştir. Gerçekleştirilen ön denemeler sırasında haşlama sırasında sebzelerde istenmeyen kokular olduğu ve genel kabul edilebilirliği olumsuz etkilediği sonucuna varılmıştır. Bu amaçla haşlama suyuna sebzelerin istenmeyen kokularını bertaraf etmek için ev tipi katı meyve sıkacağı (Arzum, Türkiye) kullanılarak sıkılan portakal suyu (%25 v/v) ilave edilerek haşlama işlemi 30 dakika süre ile 100 °C'de buharda gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşama olarak "Pulp elde etme" işlemi gerçekleştirilmiştir. Haşlanmış sebzeler süzildükten sonra bir kaba alınmıştır. Portakal kabuğu (%2.8) elde etmek ve elmanın (%14) pulpa işlenmesini kolaylaştırmak amacıyla meyveler rendelenmiştir. Rendeleme aşamasında açığa çıkan meyve suyuna sitrik asit (%0.2) ilave edilerek bu sıvıda kestane ununun (%5) çözünmesi gerçekleştirilmiştir. Kestane ununun bu işlemin ardından daha etkili bir şekilde hamur tekstüründe rol oynadığı ve yapı bütünlüğünü sağlanması ve fonksiyonel ürün oluşturulması için önemli olduğu sonucuna varılmıştır (Bignardi vd., 2012; Paciulli vd., 2016; Littardi vd., 2020; Brochard vd., 2021). Taze hurma, besin değeri açısından birçok meyveden üstün olup, yüksek lif içeriği ile sağlığa yararlı etkileriyle bilinmektedir (Mrabet vd., 2019). Dolayısıyla hurma formülasyona fonksiyonel özelliğinin olması ve barları tatlandırması amacıyla katılmıştır. Önceden ılık suda bekletilip ve yumuşatılmış ve çekirdekleri çıkartılmış hurma (%17) da karışıma eklenmiştir. Ilık suda bekletmek hurmanın yumuşamasını ve böylece daha kolay işleme alınmasını sağlamıştır. Ön işleminden geçirilen tüm hammaddeler bir öğütücüde pulp haline getirilmiştir. Pulp, 2-5 dakika süreyle ev tipi bir homojenizatörde (Arzum, Türkiye) homojen hale getirilmiştir. Dördüncü aşama "Yan ürünlerin geçtiği işlemler ve

pulpa ilavesi” olup fındık içi (%8) ve ceviz içi (%5) 15 saniye süreyle öğütülmüştür. Öğütülen kuruyemişler, hamura eklenmiş ve ardından yulaf ezmesi (%14) ile birlikte tarçın (%0.5) ve kakao (%1) gibi aroma verici bileşenler ilave edilerek karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Son aşamada, hamurda tüm malzemelerin dengeli bir şekilde dağılması barın kalite özelliklerini doğrudan etkilediğinden, 3 dakika süreyle karıştırma işlemi uygulanmıştır. Bar üretimi “Hamur şekillendirme ve kurutma” işlemi ile devam etmiştir. Aşağıda açıklanan deney tasarımında belirlenen 3 farklı kalınlığa (0.5, 1 ve 1.5 cm) uygun olarak dikdörtgen prizma olacak şekilde kalıpla şekillendirilen bar hamurları (Çizelge 2), üretimin son aşamasında sıcak hava kurutucusunda kurutulmuştur.

Çizelge 1. Sebze ve meyve bazlı yulafli barın formülasyonu

Table 1. Formulation of the vegetable and fruit-based oat bar

Bileşenler <i>Components</i>	Miktar (%) <i>Amount (%)</i>
Kereviz <i>Celery</i>	12.5
Karnabahar <i>Cauliflower</i>	9.5
Brüksel lahanası <i>Brussels sprouts</i>	10.5
Elma <i>Apple</i>	14
Portakal kabuğu <i>Orange peel</i>	2.8
Kestane unu <i>Chestnut flour</i>	5
Taze hurma <i>Fresh dates</i>	17
Fındık içi <i>Hazelnut kernel</i>	8
Ceviz içi <i>Walnut kernel</i>	5
Yulaf ezmesi <i>Oatmeal</i>	14
Portakal suyu <i>Orange juice</i>	25
Tarçın <i>Cinnamon</i>	0.5
Kakao <i>Cocoa</i>	1

Kurutma İşlemleri

Sıcak hava ile kurutma yönteminde, bir kabin kurutucu (200 W, 220 V, 50–60 Hz; Yücebaş Makine Analitik Cihazlar Sanayi Y35, İzmir, Türkiye) kullanılmıştır. Kurutucunun sıcaklığı ve bağıl nemi, sırasıyla ± 2 °C ve $\pm$ %2 hassasiyete sahip sensörler ile ölçülmüştür. Kurutma işlemi %20 bağıl nem ve ön denemelerle belirlenen 65, 80 ve 95 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Barlar sıcak hava ile kurutma yöntemi kullanılarak deneme desenine göre son ürünün nem miktarı %25, 30 ve 35'e ulaşana kadar kurutulmuştur (Çizelge 2). Kurutma işlemi, barların yağ geçirmez kâğıt üzerine yerleştirilmesinin ardından gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemleri boyunca 30 dakika aralıklarla örneklerin ağırlığı 0.01 g hassasiyetle dijital bir terazi (Mettler Toledo, MS3002S) aracılığıyla periyodik olarak izlenmiştir. Daha sonra barlar oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

DeneySEL Tasarım

Bu çalışma kapsamında sebze ve meyve bazlı yulaf barlarının üretimi “Yanıt Yüzey Metodu (RSM)” kullanılarak optimize edilmiştir. RSM, basit ampirik deneysel modeller kullanarak sistemlerin modellenmesini mümkün kılmaktadır. Bu yöntem, birçok değişkenin eşzamanlı olarak incelenebilmesine olanak tanımakta ve sistemin yanıtını etkileyen faktörlerin optimize edilmesini sağlayarak minimum sayıda deney yapılmasını hedeflemektedir. Aynı zamanda, proses sonrasında işlem parametrelerindeki değişikliklere verilen yanıtın anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır (Ozcelik vd., 2009; Koç ve Kaymak-Ertekin, 2010; M'hir vd., 2019; Özkan Karabacak vd., 2022; Tunçal vd., 2022).

Yanıtları optimize etmek amacıyla üç seviyeli Box-Behnken deney tasarımı kullanılmıştır. Bu tasarımda değişkenler yapılan ön denemeler sonucunda belirlenmiştir. Bağımsız değişkenler, kurutma sıcaklığı (°C), son ürünün nem içeriği (%) ve bar kalınlığı (cm) olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada yanıt değişkenleri olarak kurutma süresi (Y₁), tekstür parametresi olarak sertlik (Y₂) ve duyu analizi parametresi olan genel kabul edilebilirlik (Y₃) değerlendirilmiştir. Deneysel tasarımı oluşturmak için üç faktör ve seviyeleri

(1,0,-1) dikkate alınmıştır. Seviyeler, yüksek değer (1), optimum değer (0) ve düşük değer (-1) olarak tanımlanmıştır (Çizelge 2). Çalışmada deney tasarımı bu parametreler ve seviyeler göz önünde

bulundurularak 15 koşuldan oluşmaktadır (Çizelge 2).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (1)$$

Çizelge 2. RSM’de kullanılan bağımsız değişkenlerin Box Benhken matrisi ve deneme deseni
Table 2. Box-Benkhben matrix of independent variables used in the RSM and experimental design

Bağımsız değişkenler <i>Independent variables</i>	Parametre <i>Parameter</i>	Seviyeler <i>Levels</i>		
		Düşük (-1) <i>Low (-1)</i>	Orta (0) <i>Medium (0)</i>	Yüksek (1) <i>High (1)</i>
X ₁	Kurutma sıcaklığı (°C) <i>Drying temperature (°C)</i>	65	80	95
X ₂	Son ürünün nem içeriği (%) <i>Moisture content of the final product (%)</i>	25	30	35
X ₃	Bar kalınlığı (cm) <i>Bar thickness (cm)</i>	0.5	1	1.5
Bağımsız değişkenler ve seviyeleri <i>Independent variables and their levels</i>				
Deneme Koşulları <i>Experimental Conditions</i>	X ₁	X ₂	X ₃	
1	1	0	-1	
2	1	-1	0	
3	1	1	0	
4	1	0	1	
5	0	-1	-1	
6	0	0	0	
7	0	0	0	
8	0	0	0	
9	0	1	-1	
10	-1	1	1	
11	-1	-1	0	
12	-1	0	1	
13	-1	0	-1	
14	-1	-1	1	
15	-1	1	0	

RSM optimizasyonu çerçevesinde, β_0 , β_i , β_{ii} ve β_{ij} sembolleri sırasıyla kesişim noktası, doğrusal, ikinci dereceden ve etkileşim regresyon terimlerini ifade etmektedir. ε terimi, modeldeki hata değerini temsil ederken, X_i ve X_j bağımsız değişkenleri; Y ise öngörülen yanıt değişkenini göstermektedir (Denklem 1). Çeşitli faktörlerin her bir yanıt değişkeni üzerindeki etkisini görsel olarak analiz edebilmek amacıyla üç boyutlu grafikler oluşturulmuş ve ayrıca her bir faktör için en uygun seviyeler belirlenmiştir. Regresyon analizinin

yürütülmesinde, polinom denklemlerinin oluşturulması, regresyon katsayılarının hesaplanması, uyum eksikliğinin değerlendirilmesi, R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerlerinin hesaplanması, p -değerlerinin belirlenmesi ve uygun modellerin tanımlanması için Design Expert 11 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, ABD) yazılımı kullanılmıştır. Değerlendirilen faktörlerin yanıt değişkenleri üzerindeki etkisi, %5 anlamlılık düzeyinde analiz edilerek tanımlanmıştır. Modelin p -değerinin

0.05'ten küçük olması, model terimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir ve bu durum, denklemlere karşılık gelen katsayıları anlamlı hale getirmiştir. Buna karşılık, p -değerinin 0.05'ten büyük olması, ilgili modelin tasarıma yeterli uyum sağlamadığını ve uyum eksikliği değerlerinin anlamlı olmadığını işaret etmiştir. Ayrıca, R^2 değerinin 0.80'den büyük olması, modelin istatistiksel anlamlılığının bir göstergesi

olarak kabul edilmiştir (Ozkan-Karabacak vd., 2023).

Deneyisel Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modellerle Karşılaştırma

Sebze ve meyve bazlı yulafli barlar için uygun kurutma modelini seçmek amacıyla yaygın olarak kullanılan 6 ince tabaka matematiksel modeli kullanılmıştır. Bu modeller Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. İnce tabaka kurutma model örnekleri

Table 3. Thin layer models and equations

Model No	Model	Denklem <i>Equation</i>	Referanslar <i>References</i>
1	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(Liu vd., 2009)
2	Modifiye page <i>Modified Page</i>	$MR = \exp[(-kt)^n]$	(Togrul, 2006)
3	Logaritmik <i>Logarithmic</i>	$MR = a \exp(-kt) + c$	(Bhattacharya vd., 2015)
4	Lewis	$MR = \exp(-kt)$	(Doymaz, 2006)
5	Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	(Evin, 2012)
6	Two term	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	(Ertekin ve Heybeli, 2014)

Barların nem oranları (MR) Denklem 2 ile hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (2)$$

Yukarıdaki denklemde; M_t , M_i ve M_e sırasıyla t anındaki nem içeriğini (g H₂O/g km), başlangıç nem içeriğini (g H₂O/g km) ve denge nem içeriğini (g H₂O/g km) ifade etmektedir (Doymaz, 2011).

En uygun modeli seçmek için ana kriter belirleme katsayısıdır (R^2). Kök ortalama kare hatası (RMSE) ve Ki kare (χ^2) uyum derecesini tahmin etmek için kullanılmıştır. R^2 bire yakın olduğunda ve hem RMSE hem de χ^2 sıfıra yakın olduğunda en iyi uyum elde edilmiştir (Doymaz, 2011). R^2 model eğrisinden hesaplanmış olup RMSE ve χ^2 değerleri Denklem 3 ve Denklem 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n} \quad (4)$$

Burada N gözlem sayısı, $MR_{exp,i}$ i konumundaki deneysel MR, $MR_{pre,i}$ i konumunda tahmin edilen MR ve n tahmin edilecek parametre sayısıdır.

Etkin Nem Difüzyivitesinin Belirlenmesi

Bar örneklerinin kuruma davranışlarını analiz etmek amacıyla Fick'in ikinci yasası kullanılmıştır. Bu yasa, kurutma sürecinde nem transferinin difüzyon yoluyla gerçekleştiği varsayımına dayanır. Bu çerçevede, sonsuz levhalar için etkili difüzyon katsayısı (D_{eff}) (Crank, 1975) Denklem 5'e göre hesaplanmıştır.

$$D_{eff} = -\frac{S4L^2}{\pi^2} \quad (5)$$

Burada D_{eff} (m²/s), L (m) ve n sırasıyla etkin nem difüzyivitesini, malzemenin yarı kalınlığını ifade etmektedir. "S" ise D_{eff} ve lnMR'n zamana (t) karşı düz bir çizgisinin eğimi ile elde edilmiştir (Sufer ve Palazoğlu, 2019; Özkan Karabacak vd., 2022; Tunckal vd., 2022).

Renk Analizi

Meyve ve sebze bazlı yulaflı barların kolorimetrik değerleri [L^* , a^* , b^* , Croma (C^*) ve ton açısı (h°)] CR-5 Konica Minolta Chroma Meter (Osaka, Japonya) kullanılarak ölçülmüştür. L^* değeri açıklık veya koyuluğu, a^* değeri kırmızılık veya yeşillik, b^* değeri ise sarılık veya mavilik temsil etmektedir. Ayrıca, bu ölçümlerden elde edilen C^* değeri renk yoğunluğunu, h° değeri ise 0° ile 360° arasında değişen açıyla renk tonunu temsil etmektedir. Ek olarak, toplam renk değişimi (ΔE^*_{ab}) L^* , a^* , b^* değerleri kullanılarak aşağıdaki denklem 6'ya göre hesaplanmıştır:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^* - L^*_0)^2 + (a^* - a^*_0)^2 + (b^* - b^*_0)^2} \quad (6)$$

Burada, L^*_0 , a^*_0 ve b^*_0 meyve ve sebze bazlı yulaflı bar örneklerinin kurutma öncesi hamur halinin renk değerlerini temsil etmektedir.

Tekstür Analizi

Kurutma işleminden 24 saat sonra, barların tekstürünü değerlendirmek amacıyla 50 kg yük

hücreleriyle donatılmış bir tekstür analiz cihazı (TA-XT PLUS, Stable Microsystems, UK) kullanılmıştır. Barların sertliğini göstermek için kırılmaları esnasında uygulanan maksimum tepe kuvveti ölçülmüştür. Her test için kuvvet/penetrasyon grafiği oluşturulmuştur.

Duyusal Analiz

Duyusal değerlendirme, Bursa Uludağ Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden 10 eğitimli panelist tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Her bir numuneye 3 haneli bir kod atanmıştır. Panelistler, ürünün parlaklık-matlık, renk, yüzey düzgünlüğü, sertlik, gevreklik, ağızda dağılmama, lezzet, koku ve genel kabul edilebilirlik gibi çeşitli özelliklerini değerlendirmiştir. Ayrıca, kabuk-iç renk farkı, partikül dağılımı ve kalınlık gibi kesitsel özellikler de değerlendirilmiştir. Değerlendirme 5 puanlık (1: hiç beğenmedim 5: çok beğendim) bir hedonik ölçek kullanılarak yapılmıştır (ISO 2006; ISO 2011; ISO 2012a-b).



Şekil 1. Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar örneği

Figure 1. Vegetable and fruit-based oat bar sample

İstatistiksel Analiz

Tüm üretim ve analizler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel optimizasyon Design-Expert Versiyon 11 yazılımı (StatEase Inc., ABD) kullanılarak yapılmıştır. Tüm ölçüm

verileri SPSS for Windows (sürüm 23.00) yazılımında analiz edilmiş ve sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde raporlanmıştır. Veriler, tek yönlü varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş ve gruplar arasındaki anlamlı

farklılıkların tespiti için Duncan'ın çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır ($p \leq 0.05$). Ayrıca, barlardaki benzerlik ve farklılıkları incelemek ve verilerdeki örüntüleri ortaya çıkarmak amacıyla Temel Bileşen Analizi (PCA) uygulanmıştır. Bu analiz, Minitab 21.0 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

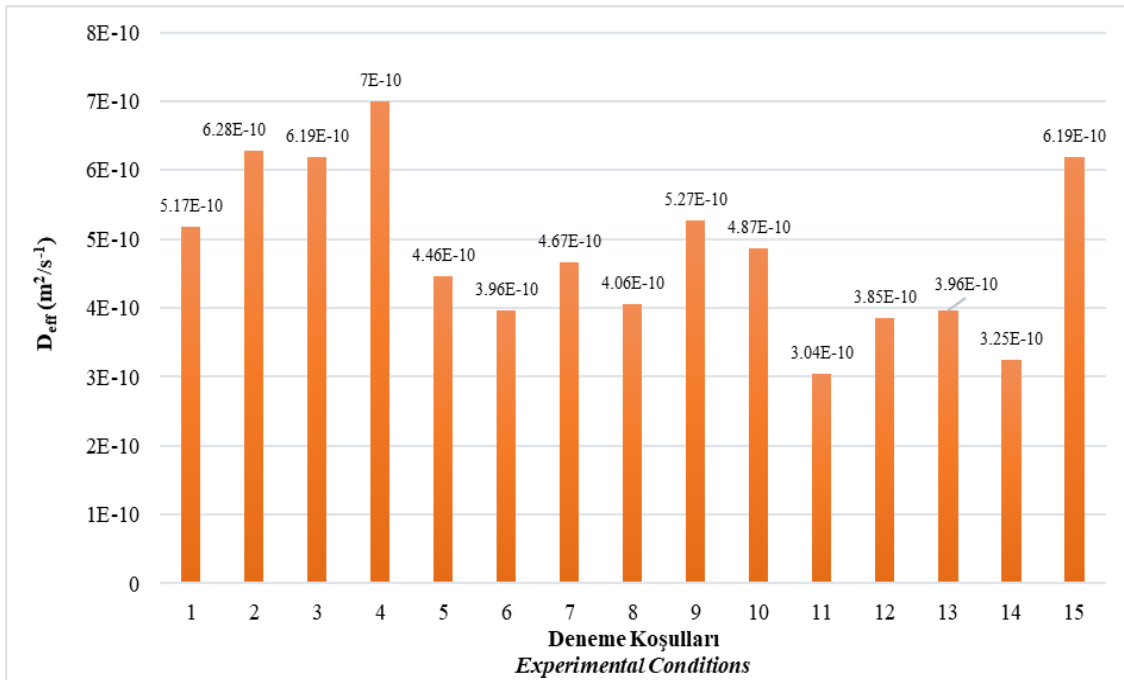
SONUÇ VE TARTIŞMA

Kuruma Kinetiği ve Etkili Nem Difüzyon Katsayısı (D_{eff}) Değerleri

Barların kurutma işlemi, deneme desenine (Çizelge 1 ve Çizelge 2) 65, 80 ve 95 °C sıcaklıklarda sıcak hava ile kurutma yöntemi kullanılarak %89 nem içeriğinden son ürünün nem miktarı %25, 30 ve 35'e ulaşana kadar gerçekleştirilmiştir. Son ürün nemine, kurutma sıcaklığına ve barların kalınlığına bağlı olarak kurutma süresi 70 dk ile 310 dk arasında değişmiştir.

Etkili nem difüzyon katsayısı (D_{eff}), gıdalarda nemin içsel hareketini tanımlayan ve kurutma

sürecinin kinetiğini öngörmede kritik bir parametredir. Bu katsayı, ürünün nem içeriği, fiziksel yapısı ve sıcaklık gibi iç koşullara bağlı olarak değişiklik gösterir ve kurutma verimliliği ile enerji gereksinimlerini doğrudan etkiler. D_{eff} değerlerinin, ürün geliştirme ve kurutma işlemi optimizasyonunda dikkate alınması, kurutma zamanının kısaltılması ve ürün kalitesinin korunması açısından kritik öneme sahiptir. D_{eff} 'in doğru modellenmesi, aşırı veya yetersiz kuruma risklerini azaltarak ürün kalitesinin korunmasına ve tekstür, renk ve besin özelliklerinin iyileştirilmesine olanak tanır (Dadalı vd., 2007; Akter vd., 2022). Her bir deneysel çalışma için elde edilen D_{eff} değerleri Şekil 2'de sunulmuştur. Bar numuneleri için D_{eff} değerlerinin 3.04×10^{-10} ile $7.00 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu aralık, genel olarak gıda malzemelerinin kurutma işlemi sırasında nem difüzyon katsayısındaki değişikliklerle ilişkili olan 10^{-11} ile $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında yer almaktadır (Surendhar vd., 2019).



Şekil 2. Sebze ve meyve bazlı yulafli bar örneklerinin D_{eff} değerleri

Figure 2. D_{eff} values of vegetable and fruit-based oat bar samples

Bu çalışmada elde edilen D_{eff} değerlerinin, numunelerin işleme koşullarına göre önemli farklılıklar gösterdiği sonucuna varılmıştır. En yüksek D_{eff} değeri, 4. deneme koşuluyla (95 °C, %30 nem ve 1.5 cm) üretilen barların kurutulmasında elde edilmiştir. Bu barlar, deney tasarımında belirlenen en yüksek kurutma sıcaklığı olan 95 °C'de kurutulmuştur. Buna karşılık, en düşük D_{eff} değeri 11. denemeden (65 °C, %25 nem ve 1 cm) elde edilmiş olup, bu örnek deney tasarımında öngörülen en düşük kurutma sıcaklığı olan 65 °C'de kurutulmuştur. Bu bulgular, kurutma sıcaklığının D_{eff} değerleri üzerindeki önemli etkisini ortaya koymaktadır. Genel olarak, diğer deneme koşullarında da yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma işlemlerinin daha yüksek D_{eff} değerleri ile sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, D_{eff} değerlerinin kurutma zamanı kısaltıkça arttığı gözlenmiştir.

Gıda ürünlerinde D_{eff} değerleri, kurutma sıcaklığı, ürün kalınlığı, başlangıç ve son nem içeriği, kurutma yöntemi ve koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen kurutma işlemi, gıda maddelerindeki nemin daha hızlı buharlaşmasını sağlayarak daha yüksek D_{eff} değerlerinin elde edilmesine yol açar (Deng vd., 2018). Ayrıca, ürün kalınlığı da nemin difüzyon hızını etkileyen kritik bir faktördür; daha ince ürünler, daha düşük nem içeriği ve dolayısıyla daha yüksek D_{eff} değerleri ile sonuçlanabilir. Farklı çalışmalarda artan kurutma sıcaklığı ile etkili difüzivite değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir (Torki-Harchegani vd., 2016). Özkan-Karabacak vd., (2023) çalışmasında, 60, 70 ve 80 °C sıcaklıklarda sıcak hava kurutucusunda kurutulan portakal dilimlerinin D_{eff} değerlerini $1.77-5.71 \times 10^{-7}$ m²/s arasında tespit etmiştir. Başka bir çalışmada, yeşil ve yarı olgun mango dilimlerinin 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklıklarında sıcak hava kurutucusunda kurutulması sonucunda, D_{eff} değerlerinin yeşil mango dilimleri için yaklaşık 1.74×10^{-10} ile 3.15×10^{-10} m²/s arasında, yarı olgun mango dilimleri için ise 2.30×10^{-10} ile 3.28×10^{-10} m²/s arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bu bulgular, kurutma sıcaklığının ve olgunluk düzeyinin mango dilimlerinin nem difüzyon özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmede önemli bir veri

sunmaktadır (Corzo vd., 2008). Çalışmalarda gözlemlenen difüzivite değerlerindeki farklılıklar, uygulanan kurutma yöntemleri, farklı sıcaklık koşulları ve formülasyonda kullanılan spesifik katkı maddelerinin etkileriyle ilişkilendirilebilir.

Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi

İnce tabaka kurutma modelleri, gıda ve tarım ürünlerinin kurutma kinetiğini analiz ederek, ürün kalitesinin korunmasına ve hasat ile işleme sürecinde meydana gelebilecek kayıpların azaltılmasına katkı sağlayan yaklaşımlar olarak değerlendirilmektedir (İnyang vd., 2018). Sebze ve meyve bazlı yulaflı barların kuruma karakteristikleri altı farklı ince tabaka kurutma modeli kullanılarak modellenmiştir (Çizelge 3). Sıcak hava ile kurutulan bar örnekleri için tahmin edilen model katsayıları ve istatistiksel sonuçlar sırasıyla Çizelge 4 ve 5'te sunulmuştur. Bu çizelgeden de görülebileceği gibi, R^2 , RMSE ve χ^2 değerlerine dayalı istatistiksel parametreler sırasıyla 0.8623 ile 0.9999, 0.0000046 ile 0.089632 ve 0.000011 ile 0.052844 arasında değişmektedir. En uygun model için karar kriteri 1'e en yakın R^2 değerine ve 0'a en yakın RMSE ve χ^2 değerlerine dayanmaktadır. Bu kriterlere göre, hem Page hem de Modifiye Page modelleri bar örneklerinin kuruma özelliklerini doğru bir şekilde temsil etmek için en uygun modeller olmuştur.

Karabacak vd., (2018) çalışmasında, mikrodalga (190, 375 ve 680 W), vakum (500, 600 ve 700 mbar) ve sıcak havada (70, 85 ve 100 °C) kurutma yöntemlerinin kereviz dilimlerinin kuruma özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada elde edilen R^2 , RMSE ve χ^2 değerlerinin sırasıyla 0.8454 ile 0.9994, 0.001912 ile 0.136406 ve 0.000045 ile 0.215306 arasında değiştiği belirlenmiş; Page ve Modifiye Page modellerinin bu kurutma koşulları altında en iyi uyumu sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Üzüm ve domates posalarından elde edilen yan ürünlerin kullanımıyla, 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklıklarında zorlamalı hava yöntemiyle kurutulan bir atıştırmalık geliştirilmiştir. Kurutma verileri, Newton, Page, Henderson ve Pabis ile Midilli-Küçük modellerine uygulanmış ve bu modellerin kurutma eğrileriyle yüksek uyum gösterdiği tespit

edilmiştir (Santiago-Ramos vd., 2022). Wang vd., (2022) tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise, Çin hurması dilimlerinin konvektif bir kurutma sistemi kullanılarak kurutulmasında Page modelinin en iyi uyumu sağladığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, bu sonuçlar daha

önce bamya (Dadali vd., 2007), maydanoz (Özcan vd., 2018) ve portakal dilimleri (Özkan-Karabacak vd., 2020) üzerine yapılan çalışmalarda da Page ve Modifiye Page modellerinin en uygun modeller olarak belirlendiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4. İncelenen kurutma modellerinden elde edilen istatistiksel veriler (1-8)
Table 4. Statistical data obtained from the analysed drying models (1-8)

Modeller			1	2	3	4	5	6	7	8
Page	Model	n	0.7696	0.6933	1.0283	0.5288	0.9690	1.0874	0.9998	1.0662
	katsayısı	k	0.0153	0.0270	0.0054	0.0585	0.0053	0.0024	0.0046	0.0028
	Model									
	coefficient									
	R ²		0.9752	0.9965	0.9984	0.9987	0.9987	0.9970	0.9999	0.9982
	RMSE		0.006355	0.002648	0.01723	0.001169	0.001238	0.001932	0.000275	0.001465
Modifiye Page Modified Page	χ^2		0.00029	0.00005	0.000016	0.0000073	0.000016	0.000034	0.0000055	0.00002
	Model	n	0.7696	0.6953	1.0283	0.5288	0.9690	1.0874	0.9998	1.0662
	katsayısı	k	0.0044	0.0055	0.0063	0.0042	0.0045	0.0039	0.0046	0.0040
	Model									
	coefficient									
	R ²		0.9752	0.9965	0.9984	0.9987	0.9987	0.9970	0.9999	0.9982
Logaritmik Logarithmic	RMSE		0.006355	0.002648	0.001723	0.006999	0.001238	0.001914	0.000275	0.001465
	χ^2		0.0000290	0.0000504	0.0000158	0.0000261	0.0000152	0.0000341	0.0000545	0.0000196
	Model	k	0.0047	0.0057	0.0061	0.0069	0.0044	0.0039	0.0046	0.004
	katsayısı	a	1.0513	1.0713	1.0023	1.0672	1.0129	1.0127	1.0003	1.0103
	Model	c	0.531185	0.408466	0.646695	0.529157	0.313221	0.414199	0.414449	0.402024
	coefficient									
Lewis	R ²		0.9654	0.9807	0.9988	0.9375	0.9989	0.9986	0.9999	0.9991
	RMSE		0.031654	0.040562	0.002108	0.052651	0.005232	0.003093	0.001208	0.002403
	χ^2		0.007214	0.011846	0.000024	0.014785	0.000277	0.000087	0.000011	0.000053
	Model	k	0.0035	0.0057	0.0043	0.0047	0.0029	0.0027	0.0027	0.0028
	katsayısı									
	Model									
Henderson and Pabis	coefficient									
	R ²		0.9301	0.9807	0.9504	0.9990	0.9430	0.9430	0.9464	0.9395
	RMSE		0.041301	0.022263	0.031724	0.064365	0.045596	0.034541	0.060964	0.034545
	χ^2		0.012282	0.003569	0.005367	0.022095	0.021050	0.010908	0.026759	0.010910
	Model	k	0.0047	0.0057	0.0061	0.0069	0.0044	0.0039	0.0046	0.004
	katsayısı	a	1.0513	1.0713	1.0023	1.0672	1.0129	1.0127	1.0003	1.0103
Two Term Exponential	Model									
	coefficient									
	R ²		0.9654	0.9807	0.9988	0.9375	0.9989	0.9986	0.9999	0.9991
	RMSE		0.031654	0.040562	0.002108	0.052651	0.005232	0.003093	0.001208	0.002403
	χ^2		0.007214	0.011846	0.000024	0.014785	0.000277	0.000087	0.000011	0.000053
	Model	k	0.0031	0.0038	0.0041	0.0046	0.0029	0.0026	0.0031	0.0027
Exponential	katsayısı	a	0.5125	0.5172	0.5006	0.5162	0.5032	0.5031	0.5001	0.5025
	Model									
	coefficient									
	R ²		0.9654	0.9807	0.9988	0.9375	0.9989	0.9986	0.9999	0.9991
	RMSE		0.069573	0.081261	0.056463	0.088601	0.072244	0.064242	0.077776	0.065823
	χ^2		0.034851	0.047545	0.017003	0.041867	0.052844	0.037733	0.043554	0.039613

Çizelge 5. İncelenen kurutma modellerinden elde edilen istatistiksel veriler (9-15)
Table 5. Statistical data obtained from the analysed drying models (9-15)

Modeller			9	10	11	12	13	14	15
Page	Model	n	0.4694	0.5854	1.1244	1.3286	1.0235	0.8415	0.8285
	katsayısı	k	0.0693	0.0302	0.0016	0.0007	0.0036	0.0082	0.0132
	Model								
	coefficient								
	R ²		0.9841	0.9657	0.9785	0.9846	0.9873	0.9987	0.9995
	RMSE		0.003827	0.006242	0.006387	0.006800	0.000195	0.002320	0.0000046
Modifiye Page Modified Page	Model	n	0.4694	0.5854	1.1244	1.3286	1.0235	0.8415	0.8285
	katsayısı	k	0.0034	0.0036	0.0032	0.0044	0.0041	0.0033	0.0054
	Model								
	coefficient								
	R ²		0.9841	0.9657	0.9785	0.9846	0.9873	0.9987	0.9995
	RMSE		0.003827	0.006242	0.006387	0.006837	0.004629	0.001331	0.000859
Logaritmik Logarithmic	Model	n	0.4694	0.5854	1.1244	1.3286	1.0235	0.8415	0.8285
	katsayısı	k	0.0034	0.0036	0.0032	0.0044	0.0041	0.0033	0.0054
	Model								
	coefficient								
	R ²		0.9841	0.9657	0.9785	0.9846	0.9873	0.9987	0.9995
	RMSE		0.003827	0.006242	0.006387	0.006837	0.004629	0.001331	0.000859
Lewis	Model	n	0.4694	0.5854	1.1244	1.3286	1.0235	0.8415	0.8285
	katsayısı	k	0.0034	0.0036	0.0032	0.0044	0.0041	0.0033	0.0054
	Model								
	coefficient								
	R ²		0.9841	0.9657	0.9785	0.9846	0.9873	0.9987	0.9995
	RMSE		0.003827	0.006242	0.006387	0.006837	0.004629	0.001331	0.000859
Henderson and Pabis	Model	n	0.4694	0.5854	1.1244	1.3286	1.0235	0.8415	0.8285
	katsayısı	k	0.0034	0.0036	0.0032	0.0044	0.0041	0.0033	0.0054
	Model								
	coefficient								
	R ²		0.9841	0.9657	0.9785	0.9846	0.9873	0.9987	0.9995
	RMSE		0.003827	0.006242	0.006387	0.006837	0.004629	0.001331	0.000859
Two Term Exponential	Model	n	0.4694	0.5854	1.1244	1.3286	1.0235	0.8415	0.8285
	katsayısı	k	0.0034	0.0036	0.0032	0.0044	0.0041	0.0033	0.0054
	Model								
	coefficient								
	R ²		0.9841	0.9657	0.9785	0.9846	0.9873	0.9987	0.9995
	RMSE		0.003827	0.006242	0.006387	0.006837	0.004629	0.001331	0.000859

Renk Analizi

Renk, bir gıda maddesinin tüketici tarafından kabul edilmesinde önemli bir kalite kriteridir (Özkan-Karabacak vd., 2023). Kurutulmuş ürünlerin mekanik özellikleri fiziksel durumlarıyla (Roos vd., 1998) ve kurutma süreci boyunca meydana gelen yapısal değişikliklerle yakından ilişkilidir (García-Martínez vd., 2013). Çizelge 6'da, barların renk parametreleri karşılaştırılmaktadır.

Kurutma işlemi sonucu üretilen barların L^* değerleri 26.39 ± 0.08 ile 32.49 ± 0.44 arasında değişmektedir ($P < 0.05$). Bu da, kurutulmuş barların hamur haline kıyasla daha koyu olduğunu göstermektedir. 15. koşul (65°C , %35 ve 1 cm) sonucu üretilen barlar, en yüksek L^* değerine sahipken, 13. koşuldaki (65°C , %30 ve 0.5 cm) elde edilen barlar en düşük L^* değerine sahiptir. Bu durum, barın kalınlığı ve nem içeriğine bağlı olarak açıklanabilir.

Çizelge 6. Sebze ve meyve bazlı yulaflı barların renk değerleri
 Table 6. Color values of vegetable and fruit-based oat bars

Deneme Koşulu <i>Experimental Conditions</i>	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}	C^*	b°
Bar hamuru <i>Bar dough</i>	34.94±0.12 ^{a*}	12.12±0.02 ^a	19.63±0.08 ^a	-	23.07±0.06 ^a	58.31±0.11 ^c
1	30.85±0.10 ^d	5.67±0.04 ⁱ	11.78±0.06 ^d	10.95±0.14 ^f	14.21±0.04 ^e	60.59±0.17 ^b
2	31.06±0.40 ^d	6.69±0.03 ^b	11.19±0.09 ^e	10.76±0.07 ^f	14.20±0.10 ^e	59.64±0.01 ^b
3	31.05±0.08 ^d	5.81±0.03 ⁱⁱ	12.09±0.11 ^c	10.57±0.06 ^{fg}	13.66±0.10 ^f	61.26±0.25 ^a
4	30.55±0.08 ^e	5.68±0.02 ⁱ	11.61±0.04 ^d	11.18±0.20 ^{ef}	13.18±0.02 ^g	61.25±0.07 ^a
5	27.60±0.11 ^g	6.98±0.05 ^g	10.08±0.25 ^f	13.10±0.19 ^e	12.26±0.22 ^h	55.30±0.58 ^f
6	29.03±0.25 ^f	5.99±0.14 ⁱ	7.48±0.26 ^h	14.84±0.21 ^a	9.58±0.29 ⁱ	51.31±0.43 ⁱ
7	31.01±0.08 ^d	5.85±0.08 ⁱⁱ	8.03±0.07 ^g	13.76±0.11 ^b	9.94±0.11 ^{ij}	53.94±0.17 ^h
8	31.29±0.16 ^{cd}	5.87±0.03 ⁱⁱ	8.12±0.04 ^g	13.60±0.15 ^b	10.02±0.04 ⁱ	54.10±0.16 ^{gh}
9	28.90±0.04 ^f	8.03±0.03 ^d	10.93±0.12 ^e	11.35±0.16 ^e	13.57±0.09 ^f	53.67±0.38 ^{hi}
10	26.94±0.04 ^h	8.81±0.04 ^b	12.25±0.19 ^c	11.38±0.13 ^e	15.09±0.17 ^c	54.26±0.38 ^{gh}
11	30.96±0.31 ^d	6.71±0.04 ^b	10.19±0.11 ^f	11.59±0.12 ^e	12.20±0.11 ^h	56.61±0.14 ^e
12	31.65±0.26 ^c	7.43±0.03 ^f	11.51±0.25 ^d	9.94±0.01 ^g	13.71±0.22 ^f	57.17±0.44 ^d
13	26.39±0.08 ⁱ	8.33±0.07 ^c	11.77±0.20 ^d	12.22±0.02 ^d	14.42±0.19 ^{de}	54.71±0.31 ^g
14	30.32±0.09 ^e	7.72±0.06 ^e	12.17±0.01 ^c	9.82±0.18 ^g	14.74±0.60 ^{cd}	57.59±0.21 ^d
15	32.49±0.44 ^b	8.26±0.05 ^c	13.42±0.14 ^b	7.71±0.03 ^h	15.76±0.13 ^b	58.40±0.24 ^c

*Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($P<0.05$)

*Different letters in the columns indicate statistically significant differences ($P<0.05$)

Örneklerdeki yeşilliğin-kırmızılığın göstergesi olan a^* değerleri 5.67±0.04 ile 8.81±0.04 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bar hamurunun a^* değerinin istatistiksel olarak kurutma sonrası elde edilen barlara göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Bar hamurunun a^* ise 12.12±0.02 olarak ölçülmüştür. Barlardaki mavilik-sarılık göstergesi olan bir diğer renk parametresi b^* ise 7.48±0.26 ile 13.42±0.14 arasında tespit edilmiştir. C^* ve b° değerleri sırasıyla 9.58±0.29-15.76±0.13 ve 51.31±0.43-61.26±0.25 arasında değişmiştir. Bir süreç boyunca gıda ürünlerindeki renk değişiminin (ΔE^*_{ab}) kurutulmuş bar örnekleri için 7.71±0.03 ile 14.84±0.21 arasında değiştiği bulunmuştur. 15. koşul ile üretilen barların en düşük renk değeri elde etmesi, renk parametrelerinin bar hamuruna daha yakın olduğunu ortaya koymuştur. Kurutma işlemi

sırasında meydana gelen renk değişimleri, ürünün besin değeri ve duyu özellikleri üzerinde de etkili olabilmektedir. Işık (2024) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Trabzon hurması, balkabağı, yaban mersini ve muz gibi farklı meyve püreleri içeren barların renk parametreleri L^* , a^* , b^* , C^* ve b° değerleri sırasıyla 44.85±1.00, 7.70±0.01, 15.76±0.49, 17.29±0.13 ve 64.33±0.86 olarak belirlenmiştir. Hurma barlarına ilişkin L^* değeri 43.85, a^* değeri 9.85 ve b^* değeri ise 29.03 olarak raporlanmıştır (Parn vd., 2015). Ayrıca, literatürde Kinow çeşidi mandalinalardan elde edilen mandalina suyu kullanılarak bar üretiminin gerçekleştirildiği bildirilmektedir. Bu çalışmada, formüle edilen barın kalitesini artırmak amacıyla %1, %2, %3 ile %4 oranlarında farklı konsantrasyonlarda pektin ilavesi yapılmıştır. Pektin ilavesinin, L^* , a^* , b^* renk değerleri

üzerindeki etkisi incelenmiş ve L^* değerinin 41.50 ± 0.85 ile 42.32 ± 0.08 , a^* değerinin 5.39 ± 0.17 ile 5.87 ± 0.17 , b^* değerinin ise 6.20 ± 0.16 ile 6.90 ± 0.16 arasında değiştiği bulunmuştur. Çalışmada pektin ilavesinin barların renk ve besin özellikleri üzerinde bir etkisinin olmadığı rapor edilmiştir (Aggarwal vd., 2022). Literatürdeki diğer barların renk parametreleri ile çalışmamızda elde edilen parametre değerleri arasındaki farklılıkların, bar üretiminde kullanılan bileşenler, kurutma türü ve koşulları ile nem içeriğinden kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

Duyusal Analiz

Bar örneklerinin yüzey görünümü özelliklerinin duyusal değerlendirme sonuçları Şekil 3'de sunulmuştur. Renk ve yüzey düzgünlüğü parametrelerini panelistler ortalama olarak 3.10 ile 4.50 arasında değerlendirildiklerinden tüm barların ortanın üstünde bir beğenilme derecesine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. 3. koşul (95°C , %35 ve 1 cm) ile üretilen barlar, bu iki parametre bakımından en beğenilen numune olmuştur (Şekil

3 ve Çizelge 7). Ayrıca, bu örnek en kısa kuruma süresine sahip olmasıyla da öne çıkmaktadır (Çizelge 11). Diğer barlara kıyasla 14. ve 15. deneme koşuluyla üretilen barların beğeni puanı daha düşük elde edilmiştir. Bu numuneler, minimum kurutma sıcaklığı olan 65°C 'de kurutulmuş olup, kalınlıkları sırasıyla 1.5 cm ve 1 cm'dir. Bu koşullarda üretilen barların daha az beğenilen numuneler olarak değerlendirilmesinin, düşük kurutma sıcaklığının ve kalınlığın etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Düşük kurutma sıcaklığı, yüzeyde daha pürüzlü bir görünüm ve renk homojenliğinde bozulmaya neden olabilir, çünkü nemin daha yavaş uzaklaşması, ürünün homojen kurumasını engelleyebilmektedir. Ayrıca, daha kalın numunelerde, iç kısımların yeterince kuruyamaması, ürünün genel görsel ve tekstürel kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu faktörler, panelistler tarafından renk ve yüzey düzgünlüğü parametreleri için verilen puanların düşük olmasına neden olmuş ve bu numuneler en az beğenilenler arasında yer almıştır.

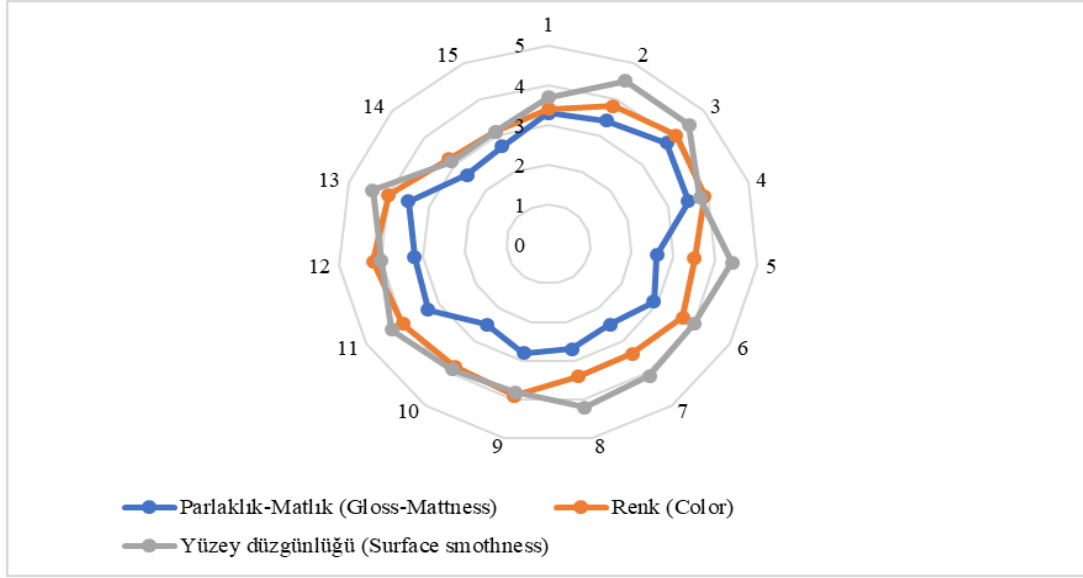
Çizelge 7. Yüzey görünüm özellikleri parametrelerinin sonuçları

Table 7. Results of surface appearance characteristics parameters

Örnek Sample	Parlaklık-Matlak Gloss-Mattness	Renk Color	Yüzey düzgünlüğü Surface smoothness
1	$3.30 \pm 0.94^{ab*}$	3.40 ± 0.70^a	3.70 ± 0.67^{ab}
2	3.40 ± 0.69^{ab}	3.80 ± 0.91^a	4.50 ± 0.70^a
3	3.80 ± 0.78^a	4.10 ± 0.99^a	4.50 ± 0.52^a
4	3.50 ± 0.84^{ab}	3.90 ± 0.87^a	3.80 ± 0.91^{ab}
5	2.60 ± 1.26^b	3.50 ± 0.84^a	4.40 ± 0.69^a
6	2.90 ± 0.87^{ab}	3.70 ± 0.48^a	4.00 ± 0.94^{ab}
7	2.50 ± 0.84^b	3.40 ± 0.69^a	4.10 ± 0.87^a
8	2.70 ± 1.15^b	3.40 ± 1.17^a	4.20 ± 0.91^{ab}
9	2.80 ± 1.03^{ab}	3.90 ± 0.73^a	3.80 ± 1.13^{ab}
10	2.50 ± 1.08^b	3.80 ± 0.78^a	3.90 ± 1.28^{ab}
11	3.30 ± 1.33^{ab}	4.00 ± 0.94^a	4.30 ± 0.67^a
12	3.20 ± 1.31^{ab}	4.20 ± 0.78^a	4.00 ± 1.05^{ab}
13	3.50 ± 1.08^{ab}	4.00 ± 1.15^a	4.40 ± 0.69^a
14	2.60 ± 1.07^b	3.20 ± 0.78^a	3.10 ± 1.19^b
15	2.70 ± 0.94^{ab}	3.10 ± 0.87^a	3.10 ± 1.37^b

*Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($P < 0.05$)

*Different letters in the columns indicate statistically significant differences ($P < 0.05$)



Şekil 3. Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar örneklerinin yüzey görünüm özelliklerinin değerlendirilmesi
 Figure 3. Evaluation of surface appearance properties of vegetable and fruit-based oat bar samples

Barların kesit özellikleri, ürünün görsel çekiciliği ve tüketici beğenisi üzerinde doğrudan etkili olan önemli bir duyuşal kriterdir. Duyuşal değerlendirmede barların kesit özellikleri de incelenmiştir (Şekil 4 ve Çizelge 8). Bu değerlendirme sonucunda, 11., 13. ve 14. koşullarda üretilen barların, kabuk-iç renk farkı parametresinde en beğenilen örnekler olduğu

belirlenmiştir. Bar kalınlığı açısından ise, 11. ve 13. koşullarda üretilen barlar en yüksek puanları almıştır. Bu barların kalınlığının sırasıyla 0.5 ve 1 cm olduğu tespit edilmiştir. Bar kalınlığı da ürünün tekstürel özelliklerini etkileyen önemli bir faktör olup, daha ince barların homojen bir kuruma profiline sahip olduğu ve bu nedenle beğeni kazandığı görülmektedir.

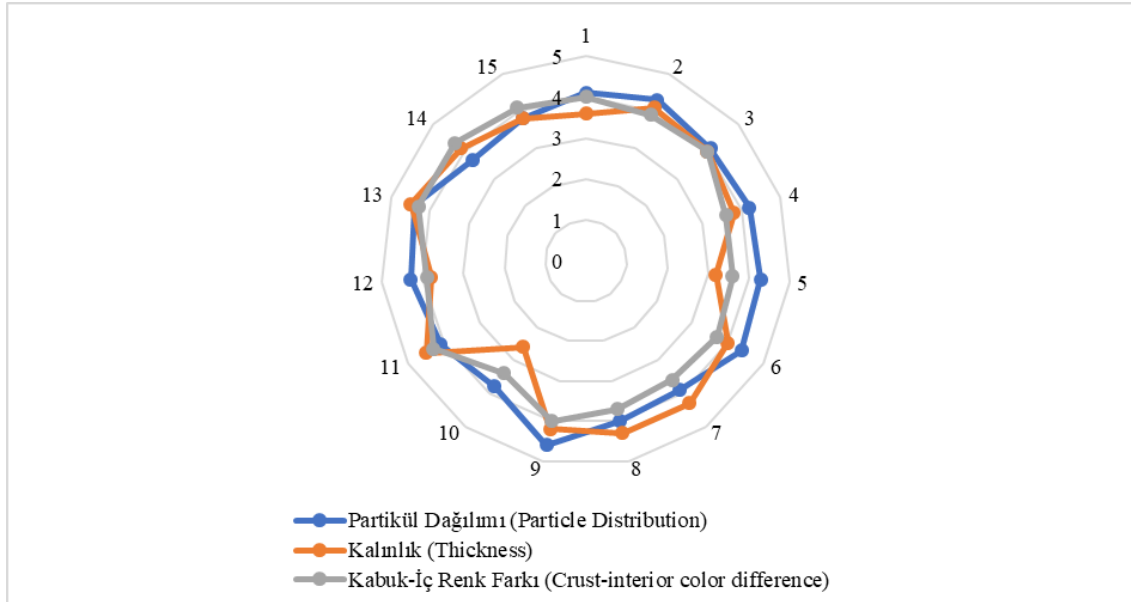
Çizelge 8. Kesit özelliklerinin sonuçları

Çizelge 8. Results of sectional properties

Örnek Sample	Partikül dağılımı Particle distribution	Kalınlık Thickness	Kabuk iç renk farkı Crust-interior color difference
1	4.10±0.87 ^{a*}	3.60±0.96 ^{ab}	4.00±0.66 ^a
2	4.30±0.82 ^a	4.10±0.73 ^{ab}	3.90±1.10 ^a
3	4.10±0.73 ^a	4.00±1.05 ^{ab}	4.00±0.81 ^a
4	4.20±1.03 ^a	3.80±0.78 ^{ab}	3.60±1.07 ^a
5	4.30±0.82 ^a	3.20±1.13 ^{bc}	3.60±1.50 ^a
6	4.40±0.69 ^a	4.00±1.05 ^{ab}	3.70±1.70 ^a
7	3.90±0.73 ^a	4.30±0.67 ^a	3.60±1.17 ^a
8	4.00±0.94 ^a	4.30±0.82 ^a	3.70±1.15 ^a
9	4.60±0.69 ^a	4.20±0.78 ^a	4.00±1.63 ^a
10	3.80±1.03 ^a	2.60±1.42 ^c	3.40±1.17 ^a
11	4.10±1.10 ^a	4.50±0.52 ^a	4.30±0.94 ^a
12	4.30±0.82 ^a	3.80±1.13 ^{ab}	3.90±0.99 ^a
13	4.40±0.84 ^a	4.50±0.70 ^a	4.30±0.94 ^a
14	3.70±1.25 ^a	4.10±0.87 ^{ab}	4.30±0.67 ^a
15	3.80±1.03 ^a	3.80±1.03 ^{ab}	4.10±0.87 ^a

*Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($P<0.05$)

*Different letters in the columns indicate statistically significant differences ($P<0.05$)



Şekil 4. Sebze ve meyve bazlı yulafli bar örneklerinin kesit özellikleri puanları
 Figure 4. Section properties scores of vegetable and fruit-based oat bar samples

Barların tekstür, ağız hissi, lezzet ve koku parametreleri değerlendirildiğinde, 5'lik hedonik skalada 3 üzerinde beğeni gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 5 ve Çizelge 9). Bar numunelerinin sertlik ve gevreklik parametreleri değerlendirildiğinde 3. koşul ile üretilen barların bu özellikler açısından en çok beğenilen örnek olduğu gözlenmiştir. Bu barlar, maksimum %35 son ürün nem içeriğine kadar kurutulmuş olup, kurutma sıcaklığı 95 °C ve bar kalınlığı 1 cm'dir. 13. koşul ile üretilen barlar, "kumlu-kuru olmama" parametresi açısından en çok beğenilen numune olarak öne çıkmıştır. 2. koşul bu parametrelerde en düşük puanı alan numune olarak belirlenmiştir. Bu duruma yüksek kurutma sıcaklığı ve düşük bar kalınlığının sebep olduğu düşünülmüştür. Bu bulgular, barların duyuşal özellikleri ile kurutma koşulları arasında ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Yüksek kurutma sıcaklığı, bazı barlarda yüzeyde aşırı kuruma ile sonuçlanmış ve bu durum, olumsuz duyuşal geri bildirimlere yol açmıştır. Özellikle, düşük kalınlık ve yüksek kurutma sıcaklığı kombinasyonunun, ürünün ağızda dağılmama özellikleri ile lezzet algısı üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu tespit edilmiştir.

Korelasyon Analizi

Korelasyon analizi, değişkenler arasındaki etkileşimlerin anlaşılmasında ve dolaylı ilişkilerin belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Ratner, 2009). Bu analizden elde edilen bulgular, meyve ve sebze bazlı yulafli bar örneklerinin renk, duyuşal ve tekstürel özellikleri üzerindeki etkilerin daha iyi kavranmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır.

Duyuşal değerlendirme, ürün özellikleri ile insan algısı arasındaki yasal ve spesifik ilişkilerin nicel verilerle belirlenmesini sağlayan temel bir yöntemdir. Bu yöntemin enstrümantal analizlerle ilişkilendirilmesi, duyuşal değerlendirmelerin doğruluğunu artırmanın yanı sıra ürün özelliklerinin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. Enstrümantal ölçümler, genellikle maliyet etkinliği ve verimlilik avantajları nedeniyle duyuşal panellerin yerine kullanılmaktadır (Wang vd., 2007). Meyve ve sebze bazlı yulafli bar örneklerinde duyuşal ve enstrümantal analizler arasında elde edilen korelasyon sonuçları, bu bağlamda ürün özellikleri ve algısal değerlendirmeler arasındaki ilişkilerin belirlenmesine olanak tanımaktadır (Şekil 6).

Çizelge 9. Tekstür ve ağız hissi, lezzet ve koku özelliklerinin sonuçları
 Table 9. Results of texture and mouthfeel, flavour and odour characteristics

Örnek Sample	Sertlik Hardness	Gevreklik Crispness	Kumlu-Kuru Olmama Dryness	Ağızda Dağılmama Disintegration in the mouth	Lezzet Flavor	Koku Odor
1	3.70±0.82 ^{ab*}	3.90±0.99 ^{ab}	3.60±0.96 ^a	4.10±0.73 ^a	3.70±0.94 ^a	4.30±0.82 ^a
2	3.30±1.33 ^{ab}	3.20±1.31 ^{ab}	3.40±1.50 ^a	3.30±1.25 ^a	3.10±0.99 ^a	4.00±0.81 ^a
3	4.00±0.81 ^a	4.10±0.73 ^a	3.90±0.73 ^a	4.30±0.67 ^a	4.20±0.91 ^a	4.00±0.66 ^a
4	3.40±1.17 ^{ab}	3.50±1.08 ^{ab}	3.50±1.35 ^a	3.90±0.99 ^a	3.70±1.33 ^a	4.20±0.78 ^a
5	2.90±1.19 ^b	3.00±0.94 ^{ab}	3.50±1.26 ^a	3.40±1.07 ^a	3.70±1.25 ^a	3.90±1.10 ^a
6	3.70±1.15 ^{ab}	4.10±0.87 ^a	3.90±0.87 ^a	4.20±0.78 ^a	4.20±0.78 ^a	4.30±0.82 ^a
7	3.80±0.78 ^{ab}	3.60±0.69 ^{ab}	4.20±0.78 ^a	3.80±0.91 ^a	4.00±0.81 ^a	4.20±1.03 ^a
8	3.10±0.99 ^{ab}	3.30±0.82 ^{ab}	3.70±1.25 ^a	3.40±0.96 ^a	3.90±0.99 ^a	3.80±1.03 ^a
9	3.60±1.57 ^{ab}	3.60±1.17 ^{ab}	3.80±1.03 ^a	3.90±0.87 ^a	3.90±0.99 ^a	4.20±1.03 ^a
10	2.90±1.52 ^b	2.90±1.28 ^b	4.00±1.15 ^a	3.50±1.08 ^a	3.50±1.08 ^a	3.90±1.19 ^a
11	3.50±1.17 ^{ab}	3.50±1.35 ^{ab}	3.80±1.13 ^a	4.10±0.99 ^a	3.60±1.34 ^a	3.80±1.39 ^a
12	3.60±1.07 ^{ab}	3.60±0.96 ^{ab}	4.10±1.10 ^a	4.00±0.94 ^a	3.70±0.94 ^a	4.10±0.99 ^a
13	3.50±1.35 ^{ab}	3.50±1.26 ^{ab}	4.40±1.07 ^a	4.20±0.91 ^a	4.00±1.24 ^a	4.10±1.19 ^a
14	3.50±0.70 ^{ab}	3.50±1.08 ^{ab}	3.50±0.84 ^a	3.70±0.82 ^a	3.80±1.13 ^a	3.80±1.03 ^a
15	3.60±1.07 ^{ab}	3.30±0.82 ^{ab}	3.70±0.82 ^a	3.80±0.91 ^a	3.40±1.17 ^a	3.90±0.99 ^a

*Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($P<0.05$)

*Different letters in the columns indicate statistically significant differences ($P<0.05$)

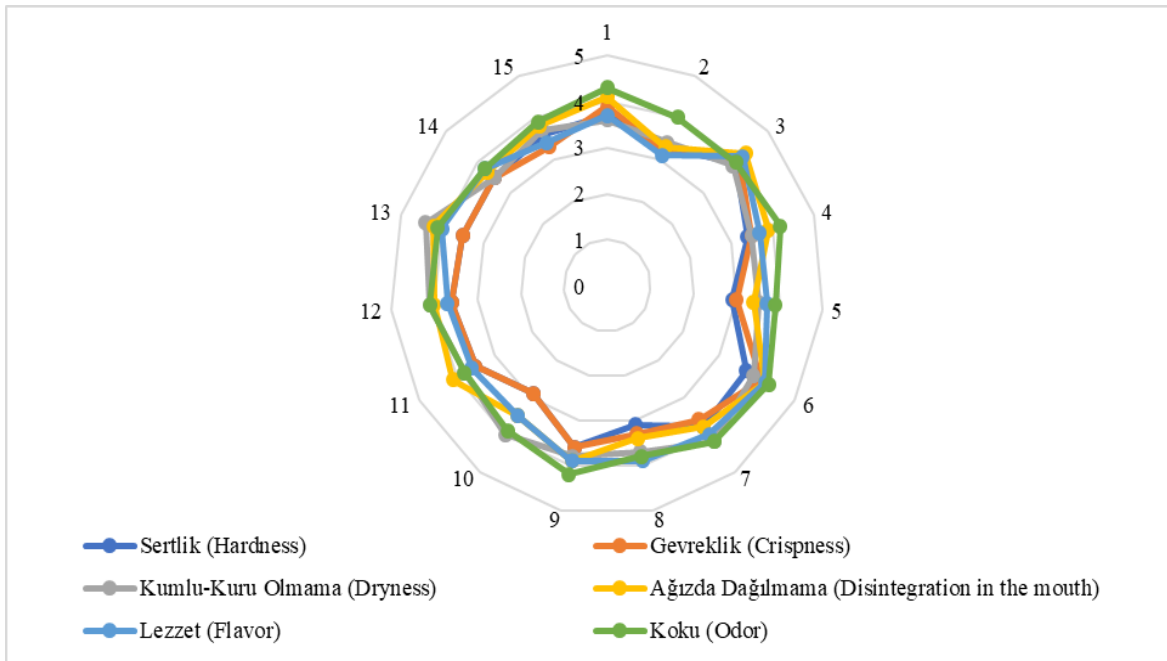


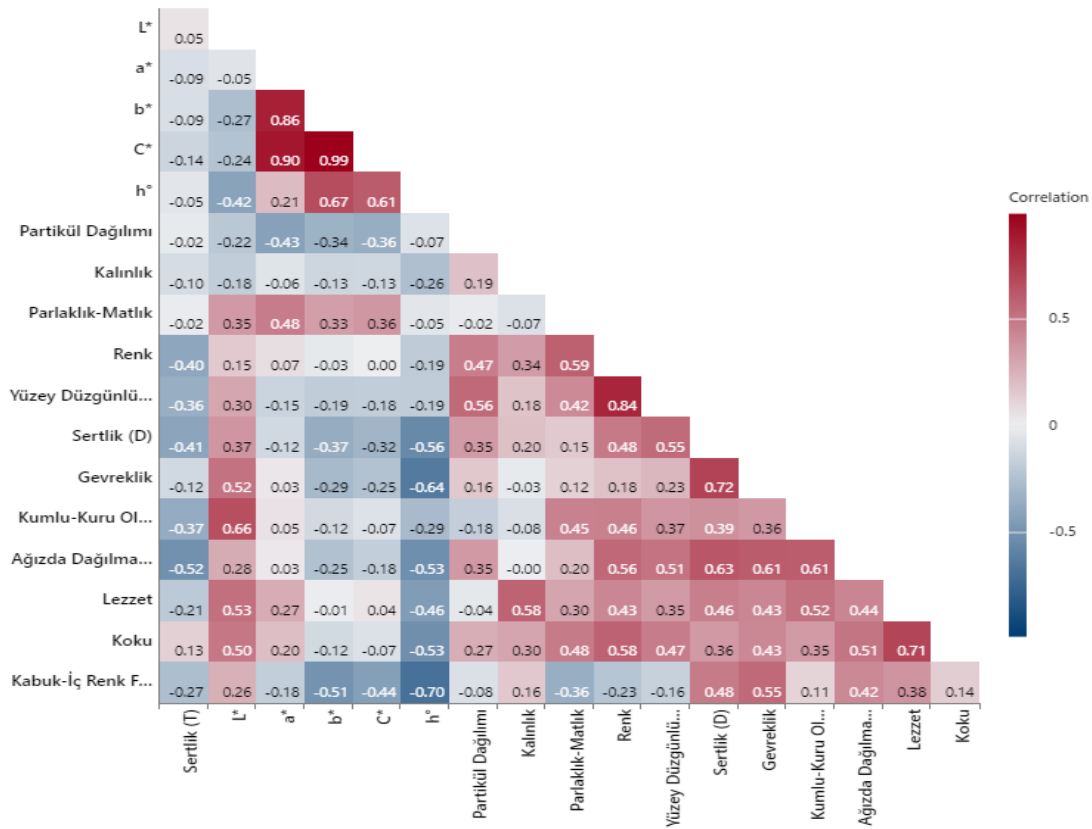
Figure 5. Texture and mouth feeling, flavour and odour scores of vegetable and fruit-based oat bar samples

Şekil 6, meyve ve sebze bazlı yulaflı bar örneklerinde ölçülen ve hesaplanan parametreler arasındaki pozitif ve negatif doğrusal korelasyonları ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, renk, duysal ve tekstürel parametreler arasında birçok anlamlı pozitif ve negatif doğrusal ilişki tespit edilmiştir. Renk parametreleri arasında C^* ile b^* ($R^2=0.99$), C^* ile a^* ($R^2=0.90$) ve a^* ile b^* ($R^2=0.86$) arasında yüksek düzeyde pozitif korelasyonlar belirlenmiştir. Buna karşılık, h° ile kabuk-iç renk farkı ($R^2=-0.70$) arasında yüksek düzeyde negatif bir ilişki gözlenmiştir.

Duyusal parametreler arasında yüzey düzgünlüğü ile renk ($R^2=0.84$), gevreklik ile sertlik (D) ($R^2=0.72$) ve lezzet ile koku ($R^2=0.71$) arasında yüksek pozitif korelasyonlar tespit edilmiştir. Ayrıca, lezzet ile kalınlık ($R^2=0.58$) arasında orta

düzeyde pozitif bir ilişki saptanmıştır. Ağızda dağılmama, sertlik ile ($R^2=0.63$), gevreklik ile ($R^2=0.61$) ve kumlu-kuru olmama ile ($R^2=0.61$) arasında orta düzeyde pozitif korelasyon göstermiştir.

Bu çalışmaya ek olarak, atıştırmalık barların fiziko-kimyasal özellikleri arasındaki korelasyonları inceleyen başka bir çalışmada benzer bulgular rapor edilmiştir. Söz konusu çalışmada, L^* değerinin a^* ile negatif, b^* ile ise pozitif korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, sertliğin kırılmalık ile negatif korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir (Zulaikha vd., 2021). Bu bulgular, çalışmamızda elde edilen renk ve tekstürel özellikler arasındaki ilişkileri desteklemekte ve literatürdeki mevcut verilerle uyumlu olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar örneklerinin korelasyon analizi
Figure 6. Correlation analysis of vegetable and fruit-based oat bar samples

Bununla birlikte, sertlik (T) parametresi, sertlik (D) ile ($R^2=-0.41$), renk ile ($R^2=-0.40$) ve ağızda dağılmama ile ($R^2=-0.52$) arasında negatif yönde zayıf bir ilişki sergilemiştir. Bu durum, sertliğin tanımlanmasında enstrümantal analiz ile duyuşal değerlendirme arasında farklı mekanizmaların etkili olmasından kaynaklanabilir (Wang vd., 2007). Panelistler, duyuşal sertlik algısını yalnızca uygulanan kuvvetin büyüklüğüne göre değil, aynı zamanda ürünün yüzey özellikleri, yapısal bütünlüğü ve elastikiyet gibi çok yönlü fiziksel niteliklerine dayanarak değerlendirmektedir. Bu durum, duyuşal analizlerin bireysel algıya bağlı olarak değişebileceğini ve çok boyutlu bir değerlendirme süreci içerdiğini göstermektedir. Buna karşın, tekstür analiz cihazları, belirli bir kuvvet, sıkıştırma veya penetrasyon testine dayalı olarak sertliği objektif ve tekrarlanabilir bir şekilde ölçmektedir. Bu farklılık, duyuşal ve enstrümantal sertlik ölçümleri arasındaki olası sapmaları açıklamaktadır (Bland vd., 2018).

Bu bulgular, meyve ve sebze bazlı yulaflı barların duyuşal ve fiziksel özellikleri arasındaki karmaşık ilişkilerin daha iyi anlaşılmasına ve ürün geliştirme çalışmalarında etkili stratejiler belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

Temel Bileşen Analizi (PCA)

Temel bileşen analizi, büyük veri kümelerinin boyutluluğunu azaltmak ve sonuçların daha anlamlı bir şekilde yorumlanmasını kolaylaştırmak için kullanılmıştır. İstatistiksel analiz için tutulması gereken faktör sayısı, veri setinin yanı sıra açıklanan varyans miktarına da bağlıdır (Cozzolino vd., 2019).

Şekil 7'ye göre, yükleme grafiğindeki her nokta bir değişkenin (Tekstür, Renk ve Duyusal parametreler) skora katkısını temsil ederken, skor grafiğindeki her nokta test edilen bir örneği temsil etmektedir. Temel bileşen analizinde, analizin güvenilirliğini korumak için özdeğerleri 1.00'den büyük olan bileşenler korunmuştur. İlk beş temel bileşenin varyasyonların sırasıyla %28.2, %20.1, %15.3, %13.6 ve %8.0'ini açıkladığı ve varyasyonun kümülatif oranının toplam varyansın %85.2'sine karşılık geldiği bulunmuştur (Çizelge 10). PCA'da, orijinal verilerden iki temel bileşen

oluşturulmuş ve varyasyonun %48.3'ünü açıklamıştır (PC1-%28.2 ve PC2-%20.1).

Temel Bileşen Analizi (PCA) sonuçlarına göre, Temel Bileşen 1 (PC1), duyuşal parametreler ve L^* değeri ile pozitif bir korelasyon gösterirken, sertlik (T), a^* , b^* , C ve b^* değerleri ile negatif bir korelasyon sergilemiştir. PC2 seviyesinde ise partikül dağılımı, yüzey düzgünlüğü, kumlu-kuru olmama, lezzet ve koku gibi değişkenler pozitif yönde etkili olmuştur. Diğer parametreler PC2 düzeyinde negatif bir etki göstermiştir. Vektör yönünde ilerledikçe, ilgili niteliklerin değeri artmakta ve bu konumdaki örnekler söz konusu nitelikler ile karakterize edilmektedir. Vektörün ters yönü ise, bu niteliklerde ters bir korelasyona işaret etmektedir.

Şekil 8'de sunulan PCA analizinin skor grafiği, bar örneklerinin PC1 ve PC2 eksenleri boyunca nasıl konumlandığını göstermektedir. Şekilden görüldüğü üzere, 6, 7 ve 9 numaralı örnekler PC1 boyunca yüksek korelasyon sergilemiş ve duyuşal parametrelerde yüksek değerlere sahip olacak şekilde kümelenmiştir. Buna karşın, 2 (95 °C, %25 ve 1 cm), 14 (65 °C, %25 ve 1.5 cm) ve 15 (65 °C, %35 ve 0.5 cm) numaralı örnekler PC1'e negatif katkı sağlamış ve özellikle renk parametrelerinde yüksek değerler göstermiştir. Bu durum, renk parametrelerinin (C^* ve b^*) özellikle 14 ve 15 numaralı örneklerde yüksek olmasının, düşük kurutma sıcaklığı (65 °C) ve ürün kalınlığı gibi işleme koşullarıyla ilişkilendirilebileceğini göstermektedir. Düşük sıcaklıkta ve daha uzun sürede gerçekleştirilen kurutma işleminin, ürünün renk koruma kapasitesini artırarak daha canlı ve istenen renklerin elde edilmesini sağladığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, 2 numaralı örnek, yüksek sıcaklıkta (95 °C) kurutulmuş olmasına rağmen benzer bir etki göstermemiştir. Bu durumun, yüksek sıcaklık koşullarının pigment bozunmasını hızlandırarak renk parametreleri üzerinde olumsuz etkilere neden olmasıyla açıklanabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, 5, 8 ve 10 numaralı örnekler PC2 eksenini boyunca pozitif katkı yaparken, 1, 3, 4, 11, 12 ve 13 numaralı örnekler negatif katkıda bulunmuştur. Bu bulgular, elde edilen tüm değişkenler için gözlemlenen sonuçlarla tutarlıdır ve önceki

bölümlerde tartışılan verilerle uyum içindedir. PCA analizi, bar örneklerinin kimyasal ve duyuşsal profillerini belirgin bir şekilde ayırt etmiş ve çeşitli parametrelerin dağılımı hakkında kapsamlı bir perspektif sunmuştur. Bu analiz aynı zamanda

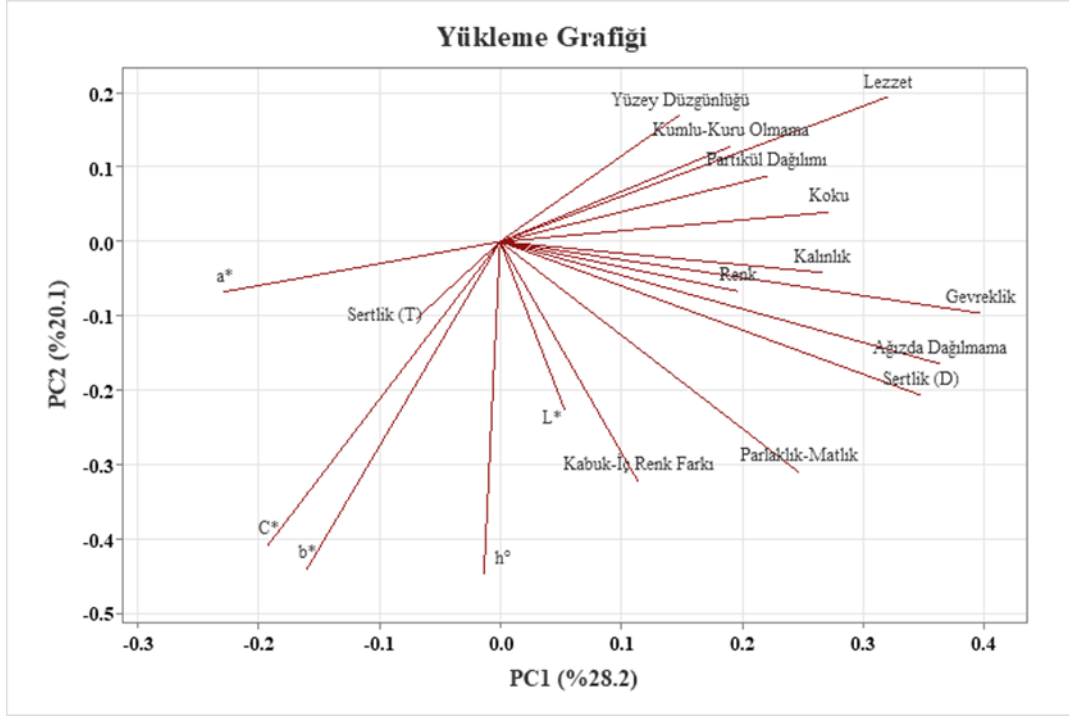
belirli ön işlem koşullarının bu profiller üzerindeki önemli etkisini de açık bir şekilde ortaya koymuştur.

Çizelge 10. Beş temel bileşene kadar açıklanan varyans oranları
Table 10. % Variance ratios explained up to 5 principal components

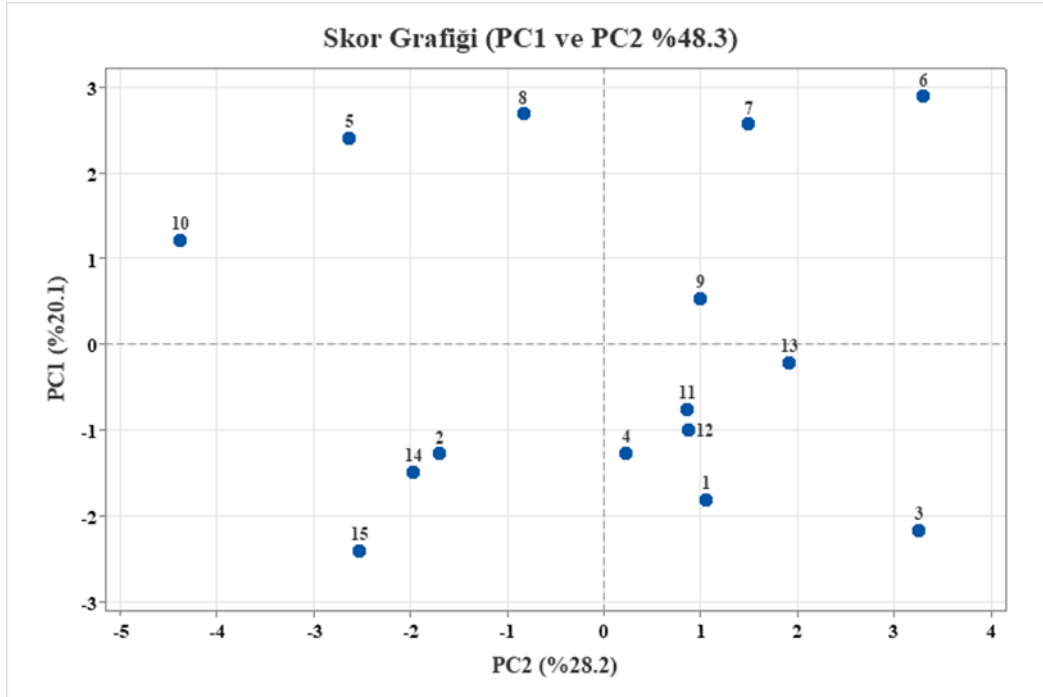
Değişken <i>Variable</i>	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Özdeğer <i>Eigenvalue</i>	5.0845	3.6016	2.7532	2.4548	1.4377
Yüzde (%) <i>Percent (%)</i>	28.2	20.1	15.3	13.6	8.0
Kümülatif <i>Cumulative</i>	28.2	48.3	63.6	77.2	85.2
L^*	0.053	-0.226	-0.211	0.430	0.101
a^*	-0.229	-0.068	0.006	-0.512	0.077
b^*	-0.160	-0.440	0.051	-0.217	-0.138
C^*	-0.192	-0.407	0.059	-0.262	-0.111
b°	-0.013	-0.445	0.090	0.264	-0.102
Sertlik (N)* <i>Hardness (N)*</i>	-0.069	-0.104	0.436	0.259	-0.051
Partikül Dağılımı <i>Particle distribution</i>	0.220	0.088	0.317	-0.115	0.049
Kalınlık <i>Thickness</i>	0.267	-0.042	-0.145	0.051	0.554
Kabuk-İç Renk Farkı <i>Crust-interior color difference</i>	0.114	-0.321	-0.186	-0.211	0.454
Parlaklık-Matlak <i>Gloss-Mattness</i>	0.247	-0.310	0.303	0.069	0.090
Renk <i>Color</i>	0.196	-0.066	0.475	-0.143	0.068
Yüzey Düzgünlüğü <i>Surface smoothness</i>	0.148	0.169	0.423	0.069	0.285
Sertlik** <i>Hardness**</i>	0.348	-0.206	-0.208	0.010	-0.098
Gevreklik <i>Crispness</i>	0.397	-0.096	-0.148	0.052	-0.173
Kumlu-Kuru Olmama <i>Dryness</i>	0.191	0.128	0.043	-0.387	-0.003
Ağızda Dağılmama <i>Disintegration in the mouth</i>	0.363	-0.164	-0.060	-0.199	-0.138
Lezzet <i>Flavor</i>	0.320	0.194	-0.156	-0.136	-0.098
Koku <i>Odor</i>	0.272	0.040	0.066	-0.004	-0.511

*Sertlik (N) tekstür parametresi, **Sertlik duyuşsal parametresi

*Hardness (N) texture parameter, **Hardness sensory parameter



Şekil 7. Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar örneklerinin PCA-yükleme grafiği
Figure 7. PCA-loading plot of vegetable and fruit-based oat bar samples



Şekil 8. Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar örneklerinin PCA-skor grafiği
Figure 8. PCA-score plot of vegetable and fruit-based oat bar samples

Modellerin Uyumlandırılması ve Yanıtların Matematiksel Modelleri

Sebze ve meyve bazlı yulaflı barlarının bağımsız değişkenlerinin (bar kalınlığı, kurutma sıcaklığı ve

son ürünün nem içeriği) kurutma süresi, tekstür parametresi olarak sertlik ve duyu analizi parametresi olan genel kabul edilebilirlik üzerine olan etkileri Çizelge 11’de sunulmuştur.

Çizelge 11. Bağımsız değişkenlerinin yanıtlara olan etkisi
Table 11. Effect of independent variables on responses

Örnek Sample	Sertlik (N) Hardness (N) (Y ₂)	Kurutma zamanı (dk) Drying time (min) (Y ₁)	Genel kabul edilebilirlik General acceptability (Y ₃)
1	0.35±0.01 ^{i*}	130	3.50±0.70 ^{ab}
2	1.55±0.05 ^a	150	3.30±1.05 ^{ab}
3	0.68±0.02 ^f	70	4.30±0.82 ^a
4	1.49±0.03 ^b	90	3.60±1.17 ^{ab}
5	0.41±0.01 ^h	265	3.10±1.10 ^b
6	0.42±0.02 ^h	230	3.80±0.78 ^{ab}
7	0.66±0.02 ^f	230	3.50±0.84 ^{ab}
8	0.48±0.01 ^g	230	3.60±1.17 ^{ab}
9	0.23±0.01 ⁱ	165	3.60±1.17 ^{ab}
10	1.13±0.04 ^d	130	3.20±1.31 ^b
11	0.88±0.03 ^e	285	4.00±0.94 ^{ab}
12	1.30±0.05 ^c	165	4.00±0.66 ^{ab}
13	0.35±0.02 ⁱ	150	3.80±1.03 ^{ab}
14	0.35±0.02 ⁱ	310	3.00±0.94 ^{ab}
15	0.25±0.01 ⁱ	85	3.40±0.96 ^{ab}

*Sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($P<0.05$)

*Different letters in the columns indicate statistically significant differences ($P<0.05$)

Belirlenen kriterler doğrultusunda, kurutma süresini (dk) tahmin etmek için en uygun model kuadratik model olarak belirlenmiş; bar numunelerinin sertlik (N) parametresi ve duyu analizi için genel kabul edilebilirlik parametresi için ise indirgenmiş kübik model en uygun model olarak değerlendirilmiştir. Bu modellerin istatistiksel anlamlılığı, P -değerlerinin 0.05’ten küçük olmasıyla gösterilmiştir. Tüm modeller için uyum eksikliği istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P > 0.05$). Yüksek R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerleri, deneysel ve tahmin edilen sonuçlar arasında kuvvetli bir korelasyon olduğunu ortaya koymaktadır (Çizelge 12).

Deneysel tasarıma göre belirlenen koşullar altında kurutulan bar numunelerinin kurutma zamanları Çizelge 11’de verilmiştir. Sonuçlara göre, 3. koşul ile üretilen barlar en hızlı kuruyan örnek olmuştur.

En yavaş kuruyan numune ise 14. koşul ile üretilen barlar olmuştur. 14. koşul ile üretilen barların kurutma sıcaklığı (65 °C) ve nem içeriği (%25 nem), deney tasarımında belirlenen minimum koşullarda gerçekleştirilmiştir. Denklem 7’ye göre, kurutma zamanı üzerinde en önemli etkilerden biri kurutma sıcaklığı (X_1) olup, bu değişkenin artışı kurutma süresini anlamlı şekilde azaltmaktadır. Son ürünün nem içeriği (X_2) de benzer şekilde negatif bir etki gösterirken, ürün kalınlığının (X_3) etkisi nispeten daha düşük düzeyde kalmıştır. Ayrıca, bağımsız değişkenler arasındaki etkileşimler (X_1X_2 ve X_1X_3) ve ikinci dereceden etkiler (X_1^2) kurutma zamanını anlamlı şekilde etkilemiştir. Kurutma sıcaklığı ve son ürünün nem içeriği, kurutma zamanını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sonuç beklenen bir durumdur. Nitekim, kurutma prosesi düşük sıcaklıklarda uygulandığında ürünün kurutma

süresi uzamakta; buna karşın, son ürünlerdeki istenen nem içeriği arttıkça, kurutma süresini kısalmaktadır.

Çizelge 12. Regresyon analizi yanıtının özeti
Table 12. Summary of regression analysis response

Regresyon katsayısı <i>Regression coefficient</i>	Kurutma zamanı (dk) <i>Drying time (min)</i>	Sertlik (N) <i>Hardness (N)</i>	Genel kabul edilebilirlik <i>General acceptability</i>
b ₀	+225.12	+0.5963	+3.63
X ₁ Kurutma sıcaklığı (°C) <i>X₁ Drying temperature (°C)</i>	-34.29	+0.1985	-0.0625
X ₂ Son ürünün nem içeriği (%) <i>X₂ Moisture content of the final product (%)</i>	-63.33	-0.3750	+0.1000
X ₃ Bar kalınlığı (cm) <i>X₃ Bar thickness (cm)</i>	+4.74	+0.3907	-1.32
X ₁ X ₂	+26.67	-0.0600	+0.4000
X ₁ X ₃	-21.07	+0.1221	-0.0250
X ₂ X ₃	-6.67	-0.2850	-0.1500
X ₁ ²	-81.80	+0.2227	+0.9042
X ₂ ²	+7.85		-0.7875
X ₃ ²	-5.90		-0.8125
X ₁ X ₂ X ₃		-0.9900	-0.5500
X ₁ ² X ₃			+1.39
Uyum eksikliği <i>Lack of compliance</i>	0.1765	0.1757	0.1727
R ²	0.9710	0.8843	0.9180
Düzeltilmiş R ² <i>Adjusted R²</i>	0.9187	0.7299	0.6174
p değeri <i>p value</i>	0.0025	0.00237	0.0194
Model	Kuadratik <i>Quadratic</i>	İndirgenmiş kübik <i>Reduced cubic</i>	İndirgenmiş kübik <i>Reduced cubic</i>

Kurutma zamanı

$$(Y_1) = 225.12 - 34.29X_1 - 63.33X_2 + 4.74X_3 + 26.67X_1X_2 - 21.07X_1X_3 - 6.67X_2X_3 - 81.80X_1^2 + 7.85X_2^2 - 5.90X_3^2 \quad (7)$$

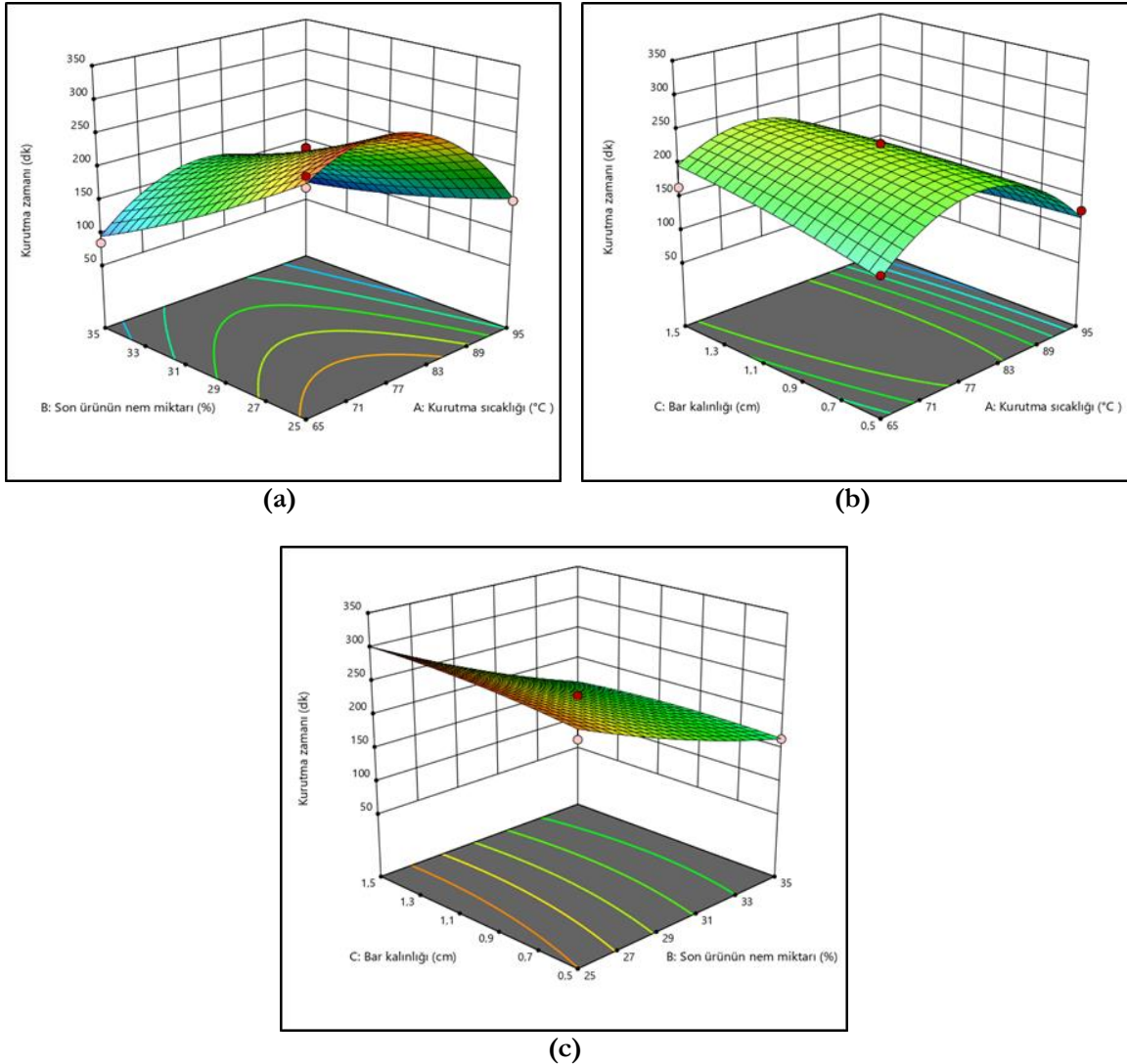
Denklem 7’de, bar kalınlığı ile kurutma süresi arasında pozitif bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, bar kalınlığı arttıkça kurutma süresinin de artacağını ortaya koymaktadır. Çalışmamızda bar kalınlığı 1.5 cm olarak belirlenen 14. koşuldan elde edilen örneğin kurutma süresinin, diğer numunelere göre daha uzun olması da dikkat çekicidir. Nitekim, deneysel tasarımı belirlenen en yüksek bar kalınlığı 1.5

cm’dir. Bu bulgular, kurutma zamanı üzerinde bar kalınlığı ve sıcaklığın kritik bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Şekil 9-a, kurutma zamanının son ürün nemi üzerindeki etkisini göstermektedir. Grafikte gözlendiği üzere, her iki parametredeki artış, kurutma zamanının azalmasına sebep olmaktadır. Şekil 9-b, artan bar kalınlığının kurutma zamanı üzerindeki olumlu etkisini yansıtmaktadır; bu durum beklenen bir sonuçtur. Şekil 9-b ile Şekil 9-c’nin karşılaştırılması, kurutma zamanı üzerinde bar kalınlığının yanı sıra son ürün neminin de belirgin bir etkiye sahip olduğunu ortaya

koymaktadır. Bu bulgu, Denklem 7'de açık bir şekilde ifade edilmiştir. Denklem 7'deki parametre katsayıları incelendiğinde, son ürün neminin ($63.33X_2$) kurutma zamanı üzerindeki etkisinin, kurutma sıcaklığının ($34.20X_1$) etkisinden daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Özkan-Karabacak vd., (2023) çalışmasında, portakal dilimleri 60, 70 ve 80 °C sıcaklıklarda sıcak hava kurutucusunda kurutulmuştur. Bu çalışmada, ince tabaka kurutma davranışı değerlendirilmiş ve kurutma sıcaklığının artmasıyla birlikte kuruma süresinin kısaldığı

rapor edilmiştir. Benzer bir çalışmada, patates dilimleri 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda, farklı hava hızlarında (0.6, 0.7 ve 0.8 m/s) ve dilim kalınlıklarında (2, 4 ve 6 mm) konvektif hava kurutucusunda kurutulmuştur. Bu çalışmada da kuruma süresinin artan kurutma sıcaklığı ile kısaldığı bildirilmiştir (Al Faik vd., 2024). Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular literatürde rapor edilen çalışmalarla uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 9. Kurutma sıcaklığı, son ürünün nem içeriği ve bar kalınlığının kurutma zamanı üzerindeki etkilerini gösteren 3D yüzey grafikleri

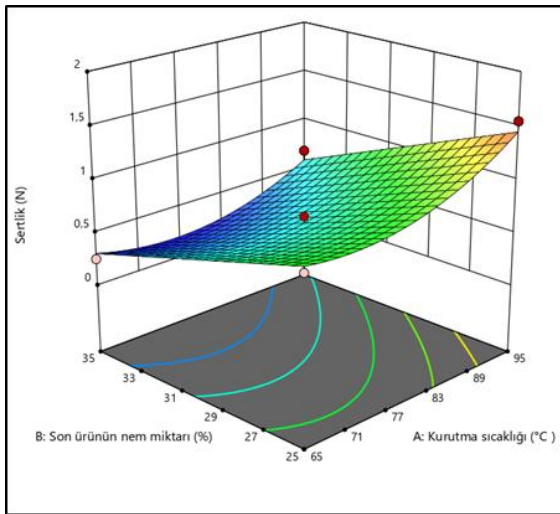
Figure 9. 3D surface graphs showing the effects of drying temperature, moisture content of the final product and bar thickness on drying time

Sertlik

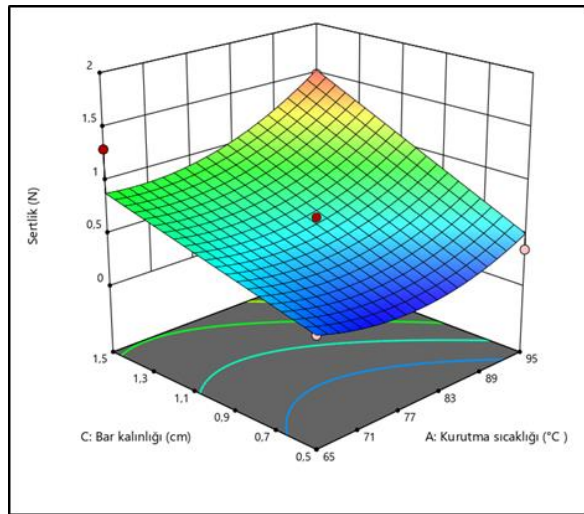
Sertlik parametresi, gıdaların dokusal özelliklerini belirlemede önemli bir gösterge olup, özellikle atıştırılabilir ürünler gibi katı formdaki gıdalarda tüketici kabulünü etkileyen temel bir kriterdir (Jaworska ve Hoffmann, 2008). Sertlik değeri, ürünün yapısal bütünlüğü ve stabilitesi ile doğrudan ilişkilidir. Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar numuneleri, sertlik parametresi açısından analiz edilmiş olup, sonuçlar Çizelge 11'de sunulmuştur. Bar numunelerinde sertlik, ürünün kuruma sıcaklığı nem içeriği ve kalınlık gibi çeşitli işlem koşullarına bağlı olarak değişim göstermiştir. En yüksek sertlik değerine sahip numune 2. koşul ile üretilen bar olarak belirlenmiştir. Bu örneğin kurutma sıcaklığı 95 °C ile en yüksek seviyede olup, son ürün nem içeriği %25 ile en düşük düzeydedir. En düşük sertlik değerine sahip numune ise 9. koşul ile üretilen bardır. Bu numunenin öne çıkan iki özelliği, %35 ile maksimum nem içeriğine sahip olması ve minimum kalınlığının 0.5 cm olmasıdır. Denklem 8'e göre, sertlik (Y_2) üzerinde en önemli etkilerden biri ürün kalınlığı (X_3) olup, bu değişkenin artışı sertliği anlamlı şekilde artırmaktadır. Kurutma sıcaklığı (X_1) da sertlik üzerinde pozitif bir etki gösterirken, son ürünün nem içeriği (X_2) sertliği azaltıcı bir etki yapmaktadır. Bu bulgular, bar numunelerinin sertliği ile kurutma sıcaklığı arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur. Buna göre, kurutma sıcaklığının artışı, sertlik parametresinin artmasına yol açmaktadır.

$$(Y_2) = 0.5963 + 0.1985X_1 - 0.3750X_2 + 0.3907X_3 - 0.0600X_1X_2 + 0.1221X_1X_3 - 0.2850X_2X_3 + 0.2227X_1^2 - 0.9900X_1X_2X_3 \quad (8)$$

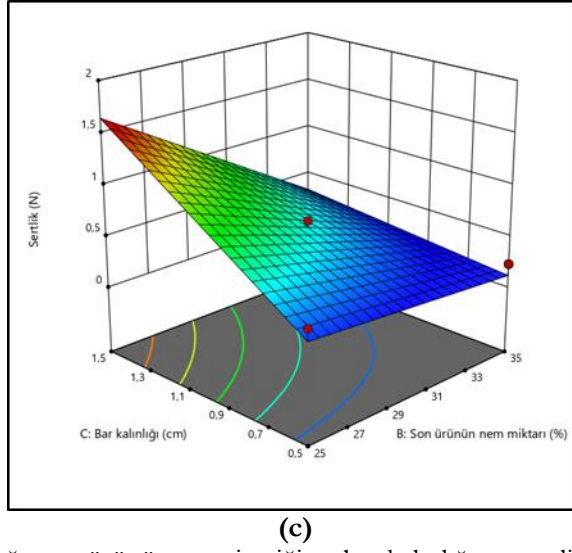
Şekil 10, Denklem 8'e benzer bir şekilde, kurutma sıcaklığı ile sertlik arasındaki pozitif ilişkiyi görsel olarak ortaya koymaktadır. Aynı zamanda, bar kalınlığı ile sertlik arasında da doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Bununla birlikte, son ürün nemi ile numunelerin sertliği arasında ters bir ilişki gözlemlenmiştir; yani son ürün nem içeriği azaldıkça, numunelerin sertliğinde artış meydana gelmiştir. Deneysel veriler, parametrelerin etkileşimlerinin numunelerin sertliği üzerindeki etkilerini de ortaya koymuştur. Kurutma sıcaklığı ile son ürün nemi arasındaki etkileşimin yanı sıra, son ürün nemi ile bar kalınlığı etkileşiminin sertlik ile ters orantılı olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, kurutma zamanı ve bar kalınlığı etkileşimi sertlik ile pozitif bir korelasyon sergilemektedir. Daha yüksek kurutma sıcaklıkları, genellikle nemin daha hızlı uzaklaştırılması ve ürünün sertleşmesi ile sonuçlanırken, daha yüksek son ürün nem içeriğine sahip numunelerde buharlaşma daha sınırlı olup, ürün daha yumuşak bir doku kazanabilir. Bu nedenle 2. Koşul ile üretilen barların yüksek sertlik değerleri, yüksek kurutma sıcaklığına ve düşük nem içeriğine bağlanabilirken, 9.koşul ile üretilen barların düşük sertlik değerleri daha yüksek nem içeriğine (%35) sahip olmasından kaynaklanmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 10. Kurutma sıcaklığı, son ürünün nem içeriği ve bar kalınlığının sertlik (N) üzerindeki etkilerini gösteren 3D yüzey grafikleri

Figure 10. 3D surface graphs showing the effects of drying temperature, moisture content of the final product and bar thickness on hardness (N)

Çalışmamızda barların sertlik değerleri 0.23-1.55 N arasında değişmektedir. Meyve bazlı fonksiyonel atıştırmalık barlarda kontrol, diyet lifi ve inülin ilaveli barların sertlik değerleri 44.05 ile 62.22 N arasında değişim göstermiştir (Sun-Waterhouse vd., 2010). Literatürde, domates suyu, domates tozu, düşük metoksillenmiş pektin ve bezelye protein izolatu kullanılarak hazırlanan domates bazlı atıştırmalık barların sertlik değerlerinin ise 10.6 ile 86.6 N arasında raporlandığı bildirilmektedir (Gul vd., 2024). Çalışmamızda elde edilen barların sertlik değerleri, bu literatürdeki sonuçlara kıyasla daha düşük bulunmuştur. Ayrıca, domates bazlı barların %8'in altında nem seviyesine kadar kurutulduğu belirtilmişken, çalışmamızda elde edilen en düşük nem değeri %25 olarak saptanmıştır. Bu farklılık, artan nem içeriğinin sertliği azaltması ile açıklanabilir. Ayrıca bu çalışma kapsamında gözlemlendiği gibi, literatürde yapılan çalışmalarda artan kurutma sıcaklığı ile kurutulmuş malzemenin sertliğinin arttığı raporlanmıştır (Zhang vd., 2019; Pashazadeh vd., 2024). Sonuç olarak, sertlik parametresinin etkin bir şekilde kontrolü, barların tüketici beklentilerine daha iyi yanıt vermesini sağlayarak pazar rekabetinde önemli bir avantaj yaratabileceği belirtilebilir.

Genel kabul edilebilirlik

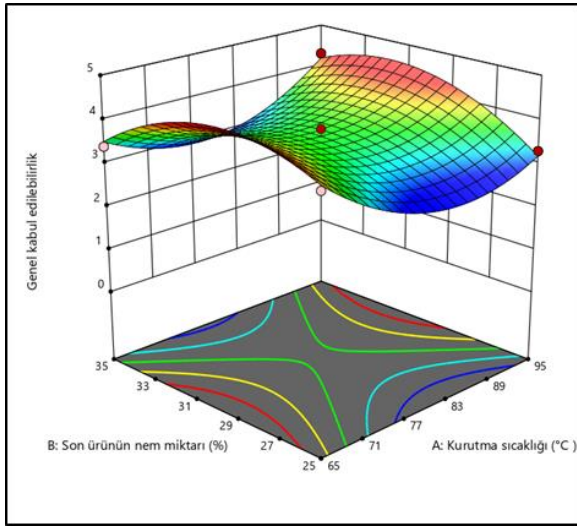
Denklem 9'a göre, genel kabul edilebilirlik (Y_3) üzerinde en önemli etkilerden biri ürün kalınlığı (X_3) olup, bu değişkenin artışı kabul edilebilirliği önemli ölçüde azaltmaktadır. Kurutma sıcaklığı (X_1) ve nem içeriği (X_2) ise, sırasıyla pozitif ve negatif etkiler yapmaktadır. Kurutma sıcaklığı ile nem içeriği arasındaki etkileşim (X_1X_2) kabul edilebilirliği artırırken, kurutma sıcaklığı ile ürün kalınlığı arasındaki etkileşim (X_1X_3) olumsuz bir etki yaratmaktadır. Ürün kalınlığı ile nem içeriği arasındaki etkileşim (X_2X_3) de kabul edilebilirliği azaltmaktadır. İkinci dereceden etkilerde, kurutma sıcaklığının karesi (X_1^2) ve ürün kalınlığının karesi (X_3^2) genel kabul edilebilirliği artırırken, nem içeriğinin karesi (X_2^2) olumsuz bir etki yapmaktadır.

Denklem 9'a ve Şekil 11'e dayanan bulgular, son ürünün nem miktarı ile panelistler tarafından duyusal olarak değerlendirilen genel kabul edilebilirlik parametresi arasında pozitif bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Bu ilişki, son ürünün nem miktarındaki artışla birlikte duyusal panelistlerin genel kabul edilebilirlik kriterlerinin de olumlu bir şekilde yükseldiğini göstermektedir.

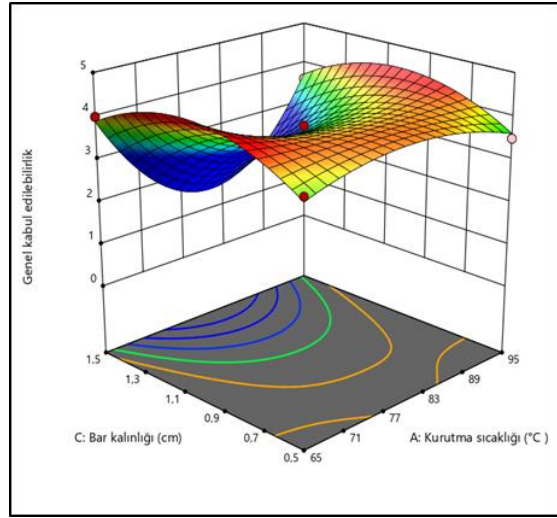
$$(Y_3) = 3.63 - 0.0625X_1 + 0.1000X_2 - 1.32X_3 + 0.4000X_1X_2 - 0.0250X_1X_3 - 0.1500X_2X_3 + 0.9042X_1^2 - 0.7875X_2^2 - 0.8125X_3^2 - 0.5500X_1X_2X_3 + 1.39X_1^2X_3 \quad (9)$$

Ancak, kurutma sıcaklığı ve bar kalınlığının genel kabul edilebilirlik üzerinde olumsuz bir etki yarattığı gözlenmiştir. Özellikle, genel kabul edilebilirlik parametresinde en düşük puanı alan

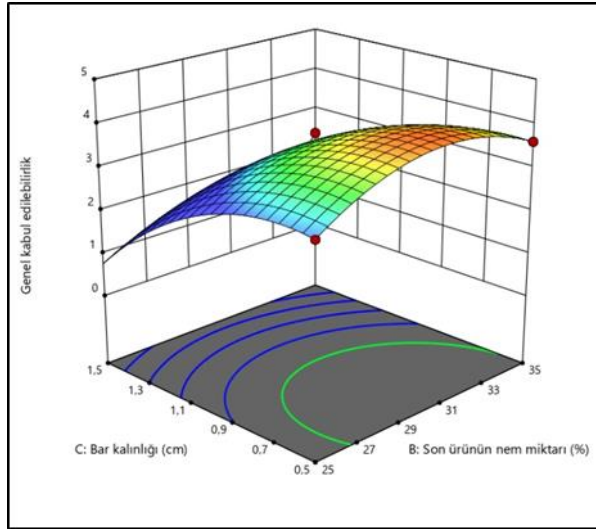
14. koşulla üretilen bar, hem en düşük kurutma sıcaklığı (65 °C) hem de deney tasarımında belirlenen en düşük son ürün nem içeriği (%25) ile ilişkilidir. Ek olarak, bar kalınlığının maksimum değeri 1.5 cm olarak belirlenmiş olup, bu durum elde edilen sonuçların denklem ile olan paralellliğini desteklemektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 11. Kurutma sıcaklığı, son ürünün nem içeriği ve bar kalınlığının duyusal analizin genel kabul edilebilirlik parametresi üzerindeki etkilerini gösteren 3 boyutlu yüzey grafikleri

Figure 11. 3D surface graphs showing the effects of drying temperature, moisture content of the final product and bar thickness on general acceptability parameter of sensory analysis

Bağımsız Değişkenlerin Seviyelerinin Optimizasyonu

Bağımsız değişkenler, sebze ve meyve bazlı yulaflı barların kalite özelliklerini iyileştirmek için sistematik olarak optimize edilmiş ve tüm yanıtların son ürün üzerindeki etkileri

değerlendirilmiştir. Kullanılan kriterler, hem deneysel hem de tahmin edilen yanıtlarla birlikte Çizelge 13'de sunulmuştur. Tüm yanıtlar için optimum koşullar 95 °C kurutma sıcaklığı (X₁), %33.96 son ürün nem içeriği (X₂) ve 1.06 cm bar kalınlığı (X₃) olmuştur.

Çizelge 13. Proses koşulları için optimizasyon kriterleri
Table 13. Criteria for optimization for process conditions

	Hedef Target	Alt sınır Lower bound	Üst Sınır Upper bound	Öngörülen durum Predicted situation	Deneysel durum Experimental situation
Kurutma zamanı (dk) Drying time (min)	minimum minimize	70	310	82.075	85
Sertlik (N) Hardness (N)	minimum minimize	0.23	1.55	0.610	0.66
Genel kabul edilebilirlik General acceptability	maksimum maximize	3	4.3	4.300	4.30

İstenirlik değeri = 0.878

Desirability value = 0.878

SONUÇ

Çalışma kapsamında elde edilen deneysel sonuçlar, kurutma sıcaklığının, son ürün nem içeriğinin ve bar kalınlığının kurutma süresi, tekstür analizindeki sertlik parametresi ve duyu özellikler üzerindeki genel kabul edilebilirlik açısından anlamlı etkiler yarattığını göstermiştir. Optimizasyon sonucunda, 95 °C kurutma sıcaklığı, %33.96 son ürün nem içeriği ve 1.06 cm bar kalınlığı, optimum koşullar olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kurutma modelleme analizleri, Page ve Modifiye Page modellerinin en uygun modeller olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışma, sebzelerden üretilen sağlıklı atıştırmalıkların, özellikle sebze tüketiminde zorluk yaşayan tüketiciler için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Sebzelerin genellikle tercih edilmeyen tatlarının, lezzetli ve pratik formlarda sunulması, sağlıklı beslenme alışkanlıklarının yaygınlaşmasına katkıda bulunabilir. Üretilen atıştırmalıklar, sebzelerin tat ve koku faktörlerini maskeleyen biyoaktif bileşenlerle zenginleştirilmiş olup, sınırlı sebze tüketimi olan bireylere hitap etmektedir. Ürünlerin kolay taşınabilirliği ve uzun raf ömrü, geleneksel şekerli ve yüksek yağlı atıştırmalıklara sağlıklı bir alternatif oluşturarak, obezite gibi beslenme ile ilişkili sağlık sorunlarını azaltmaya

yardımcı olabilecektir. Sebzelerin atıştırmalık formunda sunulması, besleyici bir seçenek olarak gıda pazarında yer bulma potansiyeline sahiptir. Tüketicilerin bu ürünlerin faydaları hakkında bilinçlendirilmesi, ebeveynlerin çocuklarına sağlıklı alternatifler sunmasına olanak tanıyacaktır. Sebze ve meyve bazlı yulaflı atıştırmalık barlarda kestane unu kullanımı, glutensiz yapısının sağladığı avantajların yanı sıra ürünün tekstürel bütünlüğünü artırarak dilimlenebilirliğini ve homojen yapısını desteklemektedir. Yüksek diyet lifi içeriği, barın besin değerini artırırken, düşük yağ oranı ise sağlıklı bir atıştırmalık olarak tüketici tercihlerini karşılamaktadır. Bu özellikler, kestane ununun sebzeli bar üretiminde önemli bir bileşen olarak kullanılabileceğini ve özellikle glutensiz ürünlere yönelik talepleri karşılamada değerli bir katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Hurmanın doğal tatlandırıcı olarak ürüne dahil edilmesi, sadece ürünün fonksiyonel özelliklerini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda ürün tekstürüne de olumlu katkı sağlamaktadır.

Ayrıca, barlara kurutma işlemiyle kolay taşınabilirlik ve uzun raf ömrü kazandırılmıştır. Bu durum, fonksiyonel ve sağlıklı atıştırmalıkların geliştirilmesine yönelik gelecekteki araştırmalara sağlam bir temel oluşturmakta ve sürdürülebilir

kalkınma stratejileri doğrultusunda yeni ürünlerin formülasyonu için değerli bir kaynak sunmaktadır.

Gelecek araştırmalar, sebze bazlı atıştırmalıkların besin değerini ve tüketici kabulünü artırmak amacıyla yeni formülasyonlar üzerinde yoğunlaşabilir. Bitkisel bileşenlerin ve doğal tatlandırıcıların kullanımı, ürünlerin lezzet profillerini iyileştirerek tüketici çekiciliğini artırma potansiyeline sahiptir. Bu kapsamda, farklı sebze türlerinin bir araya getirilmesiyle elde edilecek kombinasyonların besin profili ve duysal özellikler üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmelidir. Elde edilen son ürünlerin, biyoaktif bileşenlerinin detaylı karakterizasyonu ve *in-vitro* sindirimi sonrası biyoerişilebilirliği gelecekte yapılan çalışmalarda ele alınacak hususlardır. Bunun yanı sıra, farklı yaş gruplarındaki bireylerin beslenme alışkanlıklarını etkileyen sosyal ve kültürel faktörlerin araştırılması, sebze bazlı atıştırmalıkların pazarlama stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Özellikle çocuklar ve gençler gibi belirli demografik gruplara yönelik hedeflenmiş ürün geliştirme süreçleri, bu tür çalışmalarla daha etkili bir şekilde yönlendirilebilir. Ayrıca, sürdürülebilir üretim yöntemlerinin ve döngüsel ekonomi ilkelerinin entegrasyonu, gıda endüstrisinde çevre dostu uygulamaların benimsenmesine yardımcı olabilir. Atık yönetimi ve kaynak verimliliği konularında yapılacak araştırmalar, sebze bazlı ürünlerin çevresel etkilerini azaltarak sektördeki sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlayacaktır. Tüm bu unsurlar, sebze bazlı atıştırmalıkların hem ekonomik hem de çevresel açıdan sürdürülebilir bir şekilde geliştirilmesine olanak tanıyacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen ürüne TR2021/014423 numarası ile Türk Patent Enstitüsü'ne patent başvurusunda bulunulmuştur.

YAZARLARIN KATKISI

Büşra Acoğlu Çelik: Kavramsal tasarım (eşit); veri düzenleme (eşit); biçimsel analiz (eşit); araştırma (eşit); doğrulama (eşit); yazım – orijinal taslak (eşit); Senanur Durgut Malçok: Kavramsal tasarım

(eşit); veri düzenleme (eşit); biçimsel analiz (eşit); araştırma (eşit); doğrulama (eşit); Perihan Yolcu Ömeroğlu: Fon sağlama (eşit); metodoloji (eşit); doğrulama (eşit); görselleştirme (eşit); yazım – orijinal taslak (eşit); yazım – gözden geçirme ve düzenleme (eşit); Canan Ece Tamer: Metodoloji (eşit); yazım – gözden geçirme ve düzenleme (eşit).

KAYNAKLAR

Abakpa, G. O., Adenaike, O. (2021). Antioxidant compounds and health benefits of citrus fruits. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 13(2): 65-74.

Aggarwal, P., Kaur, S., Kaur, N. (2022). Intermediate moisture kinnow bar from low grade kinnow mandarins: phytonutritional profile, morphological characterization, and storage stability. *Food Bioscience*, 49:101837.

Akter, F., Muhury, R., Sultana, A., Deb, U. K. (2022). A comprehensive review of mathematical modeling for drying processes of fruits and vegetables. *International Journal of Food Science*, 2022(1):6195257.

Alemu, T. T. (2024). Nutritional contribution of fruit and vegetable for human health: A review. *International Journal of Health Policy and Planning*, 3(1): 1-9.

Al Faik, M. A., Roy, M., Azam, M. S., Ahmmed, R., Hoque, M. M., Alam, M. M. (2024). Comprehensive study on potato drying in convective air dryer: experimental observations, mathematical modeling, and model validation. *Measurement: Food*, 14:100170.

Ali, I. M., Forsido, S. F., Kuyu, C. G., Ahmed, E. H., Andersa, K. N., Chane, K. T., ...Regasa, T. K. (2024). Effects of extrusion process conditions on nutritional, anti-nutritional, physical, functional, and sensory properties of extruded snack: A review. *Food Science & Nutrition*, 00:1–7. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4472>

Atik, H., Elvan, M., Harsa, S. (2024). Enhancing a Vegan Snack Bar: Edible Coating Infused with Lentil Protein and Pomegranate Peel. *ACS Food Science & Technology*, 4(10):2374-2383.

- Bhattacharya, M., Srivastav, P., Mishra, H. (2015). Thin-layer modeling of convective and microwave-convective drying of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 52:2013-2022. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1209-2>
- Bignardi, C., Cavazza, A., Corradini, C. (2012). Determination of furosine in food products by capillary zone electrophoresis-tandem mass spectrometry. *Electrophoresis*, 33:2382-2389. <https://doi.org/10.1002/elps.201100582>
- Bland, J. M., Bett-Garber, K. L., Li, C. H., Brashear, S. S., Lea, J. M., Bechtel, P. J. (2018). Comparison of sensory and instrumental methods for the analysis of texture of cooked individually quick frozen and fresh-frozen catfish fillets. *Food Science & Nutrition*, 6(6): 1692-1705.
- Boyer, J., Liu, R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition Journal*, 3: 1-15.
- Brochard, M., Correia, P., Barroca, M. J., Guiné, R. P. (2021). Development of a new pasta product by the incorporation of chestnut flour and bee pollen. *Applied Sciences*, 11(14):6617.
- Chen, K., Zhang, M., Bhandari, B., Sun, J., Chen, J. (2022). Novel freeze drying based technologies for production and development of healthy snacks and meal replacement products with special nutrition and function: A review. *Drying Technology*, 40:1582-1597. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1967375>
- Corzo, O., Bracho, N., Alvarez, C. (2008). Water effective diffusion coefficient of mango slices at different maturity stages during air drying. *Journal of Food Engineering*, 87(4):479-484.
- Crank, P. (1975). The mathematics of diffusion, 2nd edn Oxford Univ Press. In: Oxford.
- Dadali, G., Apar, D., Özbek, B. (2007). Estimation of effective moisture diffusivity of okra for microwave drying. *Drying Technology*, 25:1445-1450. <https://doi.org/10.1080/07373930701536767>
- Deng, L.-Z., Yang, X.-H., Mujumdar, A., Zhao, J.-H., Wang, D., Zhang, Q.,... Xiao, H.-W. (2018). Red pepper (*Capsicum annuum* L.) drying: Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, antioxidant capacity, and microstructure. *Drying Technology*, 36(8):893-907.
- Dimopoulou, M., Vareltzis, P., Floros, S., Androutsos, O., Bargiota, A., Gortzi, O. (2023). Development of a functional acceptable diabetic and plant-based snack bar using mushroom (*Coprinus comatus*) powder. *Foods*, 12(14):2702.
- Doymaz, I. (2006). Thin-layer drying behaviour of mint leaves. *Journal of Food Engineering*, 74:370-375. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.009>
- Doymaz, I. (2011). Drying of Thyme (*Thymus Vulgaris* L.) and Selection of A Suitable Thin-Layer Drying Model. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35:458-465. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00488.x>
- Ertekin, C., Heybeli, N. (2014). Thin-Layer Infrared Drying Of Mint Leaves. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38:1480-1490. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12107>
- Evin, D. (2012). Thin layer drying kinetics of *Gundelia tournefortii* L. *Food and Bioprocess Processing*, 90:323-332. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.07.002>
- FAO. (2024). FAOSTAT: Food and Agriculture Data. Gıda ve Tarım Örgütü. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Erişim tarihi: 01.11.2024).
- García-Martínez, E., Igual, M., Martín-Esparza, M., Martínez-Navarrete, N. (2013). Assessment of the bioactive compounds, color, and mechanical properties of apricots as affected by drying treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 6:3247-3255. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0988-1>
- Ghods, S., Nouri, M. (2024). Vegan gummy candies with low calorie based on celery (*Apium graveolens*) puree and boswellia gum (*Boswellia thurifera*). *Food Science & Nutrition*, 12:5785-5798
- Gul, M. R., Ince, A. E., Ozel, B., Uslu, A. K., Çetin, M., Menten, D., ... Oztop, M. H. (2024). Effect of microwave-vacuum drying on the

- physicochemical properties of a functional tomato snack bar. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(1):83-92.
- Gupta, A., Sanwal, N., Bareen, M., Barua, S., Sharma, N., Olatunji, O., ... Sahu, J. (2023). Trends in functional beverages: Functional ingredients, processing technologies, stability, health benefits, and consumer perspective. *Food Research International*, 170:113046. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113046>
- Hastaoğlu, F., Hastaoğlu, E., Bağlam, N., Taş, İ. N. (2023). Sensorial and nutritional properties of a collagen-fortified snack bar designed for the elderly. *Nutrients*, 15(16), 3620.
- Inyang, U. E., Oboh, I. O., Etuk, B. R. (2018). Kinetic models for drying techniques—food materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 8(2):27-48.
- Işık, B. (2024). Şeker ilavesiz yüksek lifli meyve barı üretimi ve depolama stabilitesi / Production and storage stability of no sugar added fruit bar with high fiber. *Master Thesis*. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü / Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 76 s.
- ISO 11132:2012b. Sensory analysis — Methodology — Guidelines for monitoring the performance of a quantitative sensory panel.
- ISO 3972: 2011. Sensory analysis - Methodology - Method of investigating sensitivity of taste.
- ISO 5496: 2006. Sensory analysis – Methodology – Initiation and training of assessors in the detection and recognition of odours.
- ISO 8586: 2012a. Sensory analysis—General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors.
- Jaworska, D., Hoffmann, M. (2008). Relative importance of texture properties in the sensory quality and acceptance of commercial crispy products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(10):1804-1812.
- Jönsson, S. R., Angka, S., Olsen, K., Tolver, A., Olsen, A. (2019). Repeated exposure to vegetable-enriched snack bars may increase children's liking for the bars-but not for the vegetables. *Appetite*, 140:1-9.
- Karabacak, A. Ö., Suna, S., Tamer, C. E., Çopur, Ö. U. (2018). Effects of oven, microwave and vacuum drying on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of celery slices. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 10(2):193-205.
- Kıyak, S. N., Dağlı, Y., Zeren, Ü., Arıburnu, M., Gülbandır, A., Dönmez, M., Okur, M. (2014). Fonksiyonel Bir Gıda:“Şifalı Top”. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 2(6):277-279.
- Koç, B., Kaymak-Ertekin, F. (2010). Yanıt yüzey yöntemi ve gıda işleme uygulamaları. *Gıda*, 35(1):1-8.
- Littardi, P., Paciulli, M., Carini, E., Rinaldi, M., Rodolfi, M., Chiavaro, E. (2020). Quality evaluation of chesnut flour addition on fresh pasta. *LWT*, 126:109303.
- Liu, X., Qiu, Z., Wang, L., Cheng, Y., Qu, H., Chen, Y. (2009). Mathematical modeling for thin layer vacuum belt drying of *Panax notoginseng* extract. *Energy Conversion And Management*, 50:928-932. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.12.032>
- Mahomoodally, M. F., Khadaroo, S. K., Hosenally, M., Zengin, G., Rebezov, M., Ali Shariati, M., ... Simal-Gandara, J. (2024). Nutritional, medicinal and functional properties of different parts of the date palm and its fruit (*Phoenix dactylifera* L.)—A systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(22): 7748-7803.
- M'hir, S., Rtibi, K., Mejri, A., Ziadi, M., Aloui, H., Hamdi, M., Ayed, L. (2019). Development of a novel whey date beverage fermented with kefir grains using Response Surface Methodology. *Journal of Chemistry*, 1218058. <https://doi.org/10.1155/2019/1218058>
- Mrabet, A., Hammadi, H., Rodríguez-Gutiérrez, G., Jiménez-Araujo, A., Sindici, M. (2019). Date palm fruits as a potential source of functional dietary fiber: A review. *Food Science and Technology*

- Research*, 25:1-10.
<https://doi.org/10.3136/fstr.25.1>
- Nandasiri, R.; Semenko, B.; Wijekoon, C., Suh, M. (2023). Air-Frying is a better thermal processing choice for improving antioxidant properties of Brassica vegetables. *Antioxidants*, 12:490.
- Ozkan-Karabacak, A., Durgut-Malcok, S., Tunçkal, C., Tamer, C., Pandiselvam, R. (2023). Optimization of heat pump dryer conditions on bioaccessibility of some secondary metabolites of cornelian cherry-capia pepper pestil. *Journal of Food Biochemistry*, 5443962.
<https://doi.org/10.1155/2023/5443962>
- Özcan, M., Arslan, D., Menges, H. (2018). Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics and mineral contents of dill and parsley. *Iranian Journal Of Chemistry & Chemical Engineering-International English Edition*, 37:237-245.
- Özkan Karabacak, A., Tunçkal, C., Tamer, C. E., Çopur, Ö. U., Yolci Ömeroğlu, P. (2022). Bioaccessibility of total phenolics and antioxidant activity of melon slices dried in a heat pump drying system. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(3):2154-2171.
- Özkan-Karabacak, A., Acoğlu-Çelik, B., Özdal, T., Yolci-Ömeroğlu, P., Çopur, Ö. U., Baştuğ-Koç, A., & Pandiselvam, R. (2023). Microwave-assisted hot air drying of orange snacks: drying kinetics, thin layer modeling, quality attributes, and phenolic profiles. *Journal of Food Biochemistry*, 6531838.
- Parn, O. J., Bhat, R., Yeoh, T. K., Al-Hassan, A. A. (2015). Development of novel fruit bars by utilizing date paste. *Food Bioscience*, 9:20-27.
- Paciulli, M., Rinaldi, M., Cirlini, M., Scazzina, F., Chiavaro, E. (2016). Chestnut flour addition in commercial gluten-free bread: A shelf-life study. *LWT*, 70:88-95.
- Pashazadeh, H., Redha, A., Koca, I. (2024). Effect of convective drying on phenolic acid, flavonoid and anthocyanin content, texture and microstructure of black rosehip fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*, 125:105738.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105738>
- Ratner, B. (2009). The correlation coefficient: Its values range between+ 1/− 1, or do they? *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*, 17(2): 139-142.
<https://doi.org/10.1057/jt.2009.5>
- Roos, Y. H., Roininen, K., Jouppila, K., Tuorila, H. (1998). Glass transition and water plasticization effects on crispness of a snack food extrudate. *International Journal of Food Properties*, 1(2):163-180.
- Santiago-Ramos, R., Silva, C. L., Ramos, I. N. (2022). Modelling and optimization of the processing of a healthy snack bar made of grape and tomato pomaces. *Foods*, 11(17): 2676.
- Sharma, N., Bajwa, J. S., Gautam, N. (2024). Evaluation of improved functional characteristics of Lactobacillus enriched fruit bar prepared from stone fruits of Mid Himalayan belt. *Natural Product Research*, 1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.034>
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., İbanoğlu, E., İbanoğlu, Ş. (2008). Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 87(4):554-563.
- Sufer, O., Palazoglu, T. (2019). Microwave-vacuum drying of pomegranate arils (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar): Effect on quality and nutrient content. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43, e14085.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.14085>
- Sun-Waterhouse, D., Teoh, A., Massarotto, C., Wibisono, R., Wadhwa, S. (2010). Comparative analysis of fruit-based functional snack bars. *Food Chemistry*, 119(4):1369-1379.
- Surendhar, A., Sivasubramanian, V., Vidhyeswari, D., Deepanraj, B. (2019). Energy and exergy analysis, drying kinetics, modeling and quality parameters of microwave-dried turmeric slices. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136:185-197.
- Togrul, H. (2006). Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal Of Food*

Engineering, 77:610-619.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.07.020>

Torki-Harchegani, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghanbarian, D., Sadeghi, M., Tohidi, M. (2016). Dehydration characteristics and mathematical modelling of lemon slices drying undergoing oven treatment. *Heat and Mass Transfer*, 52:281-289.

Tunckal, C., Ozkan-Karabacak, A., Tamer, C. E., Yolcu-Omeroglu, P., Goksel, Z. (2022). Mathematical modelling and optimisation of melon slice drying with response surface methodology in a heat pump drying system. *Latin American Applied Research*, 52:101-10.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2024). Bitkisel Üretim İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://www.tuik.gov.tr> (Erişim tarihi: 01.11.2024).

Wang, R., Zhou, W., Isabelle, M. (2007). Comparison study of the effect of green tea extract (GTE) on the quality of bread by

instrumental analysis and sensory evaluation. *Food Research International*, 40(4): 470-479.

Wang, C., Tian, S., An, X. (2022). The effects of drying parameters on drying characteristics, colorimetric differences, antioxidant components of sliced chinese jujube. *Heat And Mass Transfer*, 58:1561-1571. <https://doi.org/10.1007/s00231-022-03202-5>

Zhang, L., Qiao, Y., Wang, C., Liao, L., Liu, L., Shi, D., Xu, Q. (2019). Effects of freeze vacuum drying combined with hot air drying on the sensory quality, active components, moisture mobility, odors, and microstructure of kiwifruits. *Journal of Food Quality*, 8709343. <https://doi.org/10.1155/2019/8709343>

Zulaikha, Y., Yao, S. H., Chang, Y. W. (2021). Physicochemical and functional properties of snack bars enriched with tilapia (*Oreochromis niloticus*) by-product powders. *Foods*, 10(8): 1908.