

**T.C.**  
**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GÜNCEL TÜRK ÇELTİK ÇEŞİTLERİNİN PİRİNÇ PATLAĞI ÖZELLİKLERİ**  
**YÖNÜNDEN SEÇİMİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**GONCA GÜL ÖNGEL**

**Şubat 2026**  
**GÜMÜŞHANE**



**T.C.  
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GÜNCEL TÜRK ÇELTİK ÇEŞİTLERİNİN PİRİNÇ PATLAĞI ÖZELLİKLERİ  
YÖNÜNDEN SEÇİMİ**

**SELECTION OF CURRENT TURKISH PADDY VARIETIES IN TERMS OF  
PUFFED RICE CHARACTERISTICS**

**YÜKSEK LİSANS**

**GONCA GÜL ÖNGEL**

**Şubat 2026  
GÜMÜŞHANE**



**GÜMÜŞHANE  
ÜNİVERSİTESİ**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**T.C.**

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GÜNCEL TÜRK ÇELTİK ÇEŞİTLERİNİN PİRİNÇ PATLAĞI ÖZELLİKLERİ  
YÖNÜNDEN SEÇİMİ**

**SELECTION OF CURRENT TURKISH PADDY VARIETIES IN TERMS OF  
PUFFED RICE CHARACTERISTICS**

**YÜKSEK LİSANS**

**GONCA GÜL ÖNGEL**

**DANIŞMAN: PROF. DR. BİLGE BAHAR**

**Şubat 2026**

**GÜMÜŞHANE**



## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

**Yüksek Lisans** olarak hazırlamış olduğum “**Güncel Türk Çeltik Çeşitlerinin Pirinç Patlağı Özellikleri Yönünden Seçimi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, danışmanımın sorumluluğunda hazırladığımı, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

04/02/2026

.....  
Gonca Gül ÖNGEL

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın her aşamasında beni yönlendiren, her zaman bana sabır ve hoşgörü ile yaklaşan, sürekli motive eden, samimi ve içten desteğini sunan değerli danışmanım Prof. Dr. Bilge BAHAR’a teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmalarımda bana çok büyük destek olan ve emeğini asla ödeyemeyeceğim Prof. Dr. Cemalettin BALTACI’ya teşekkürlerimi sunarım.

Üniversitemizin, “GÜBAP01 – Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Destek Programı” kapsamında, 24.F5115.01.03 koduyla desteklenen Projede kullanılan çeltik materyalleri Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü’nden temin edilmiştir. Çalışma, bu konuda çalışacak olan akademisyen, öğrenci ve gıda endüstrisi için bir el kitabı niteliğinde olup; materyali sağlayan Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü’ne ve Enstitünün Sıcak İklim Tahılları Şube Şefi, Zir. Yük. Müh. Onur GÖKTEPE’ye; Üniversitemiz GÜBAP Koordinatörlüğüne; deneysel çalışmalarımıza yüksek katkıları olan doktora öğrencimiz Bill Jaures CHIMI’ye teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisans sürecim boyunca da desteklerini asla esirgemeyen annem Emriye YÜKSEL’e, babam Fazlı YÜKSEL’e, kardeşim Mevlüt YÜKSEL’e, sevgili eşim Öner ÖNGEL ve biricik oğlum Bulut ÖNGEL’e tüm kalbimle teşekkür ederim.

**Gonca Gül ÖNGEL**  
**GÜMÜŞHANE – 2026**

## ÖZET

Bu çalışmada, 22 farklı çeltik çeşidinden pirinç patlağı üretilmiş ve ham çeltikten kargo pirince, oradan pirinç patlağına uzanan işleme zincirinin ürün kalitesi üzerindeki etkileri bütüncül yaklaşımla değerlendirilmiştir. Bu amaçla, çeltikler yarı haşlama (parboiling) işlemine tabi tutulmuş, kurutulup kabukları soyularak kargo pirince dönüştürülmüş ve tuzda patlatma yöntemiyle pirinç patlağı elde edilmiştir. Ham çeltikte tane yapısı ve boyut ve geometriyi yansıtan fiziksel göstergeler; kargo pirinçte bunlara ek olarak akış davranışını ortaya koyan reolojik parametreler; pirinç patlağında ise boyut ve gözeneklilikle ilişkili fiziksel göstergeler, seçilmiş bileşim ve biyoaktif parametreler ile nişasta yapısına ilişkin FTIR bulguları incelenmiştir. Patlatma işlemi, tane boyutlarında hacimsel genişleme ve gözeneklilik artışıyla birlikte yoğunluğun düşmesine yol açmış; ancak yapısal yanıtın çeşide göre farklılaştığı görülmüştür. Şişme davranışı ile porozite arasında belirgin ilişkiler gözlenmiştir. Reolojik değerlendirmeler, her iki üründe de psödoplastik akışın korunduğunu; ancak pirinç patlağında viskozite düzeylerinin yeniden düzenlendiğini göstermiştir. FTIR analizi, patlatmanın nişastayı kimyasal olarak parçalamaktan çok kristalin–amorf dengesini yeniden yapılandırıldığını ortaya koymuştur. Toplam fenolikler, flavonoidler,  $\gamma$ -orizanol ve toplam antioksidan kapasite açısından çeşitlere özgü profiller belirlenmiş; antioksidan yanıtın tek bir belirteçle açıklanamayacağı anlaşılmıştır. Bulgular, pirinç patlağında hedeflenen kalite için yalnızca proses parametrelerinin değil, hammaddenin de bilinçli seçilmesi gerektiğini göstermektedir. Sonuç olarak, kaliteyi belirleyen ana mekanizmanın matriks yapısı ile işlem koşullarının etkileşimi olduğu; farklı patlatma teknolojileri ve duyuşal değerlendirmelerle desteklenecek çalışmaların ürün geliştirmeyi güçlendireceği düşünülmektedir. Bu doğrultuda bulgular, pirinç patlağı kalitesinin tek bir parametre ile açıklanamayacağını göstermiş; patlatma performansı, duyuşal kalite ve fonksiyonel özellikler birlikte değerlendirildiğinde Ç5 (Çakmak), Ç4 (Boyabatkalesi) ve Ç14 (Ormanlı CL) çeşitlerinin endüstriyel üretim açısından öne çıktığını ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Antioksidan kapasite, Çeltik, Pirinç patlağı, Reoloji, Şişme davranışı

## ABSTRACT

In this study, puffed rice was produced from 22 different paddy rice varieties, and the effects of the processing chain extending from paddy rice to brown rice and finally to puffed rice on product quality were evaluated using a holistic approach. For this purpose, paddy samples were subjected to a parboiling process, dried, dehulled to obtain brown rice, and subsequently converted into puffed rice using a salt-based puffing method. In paddy rice, physical properties reflecting grain structure, size, and geometry were evaluated; in brown rice, these parameters were assessed together with rheological properties representing flow behavior; and in puffed rice, physical parameters related to size and porosity, selected compositional and bioactive parameters, and FTIR-based structural characteristics of starch were examined. The puffing process caused volumetric expansion in grain size, increased porosity, and decreased density; however, the structural response varied depending on the variety. Significant relationships were observed between swelling behavior and porosity. Rheological evaluations indicated that pseudoplastic flow behavior was preserved in both products, whereas viscosity levels were reorganized in puffed rice. FTIR analysis revealed that puffing restructured the crystalline–amorphous balance of starch rather than causing chemical degradation. Variety-specific profiles were identified in terms of total phenolics, flavonoids,  $\gamma$ -oryzanol, and total antioxidant capacity, indicating that antioxidant response cannot be explained by a single parameter. The findings demonstrated that achieving the desired quality in puffed rice requires not only optimization of processing parameters but also careful selection of raw material. Overall, the main mechanism determining product quality was identified as the interaction between matrix structure and processing conditions. Future studies incorporating different puffing technologies and sensory evaluations are expected to further support product development. Furthermore, the results indicated that puffed rice quality cannot be explained by a single parameter; when puffing performance, sensory quality, and functional properties were evaluated together, cultivars Ç5 (Çakmak), Ç4 (Boyabatkalesi) and Ç14 (Ormanlı CL) were identified as the most promising candidates for industrial production.

**Keywords:** Antioxidant capacity, Paddy, Puffed rice, Rheological properties, Expansion behavior



## İÇİNDEKİLER

|                                                                         |      |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| KABUL VE ONAY .....                                                     | III  |
| BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....                                     | IV   |
| TEŞEKKÜR.....                                                           | V    |
| ÖZET.....                                                               | VI   |
| ABSTRACT .....                                                          | VII  |
| TABLolar DİZİNİ .....                                                   | XI   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                    | XIII |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                    | XVI  |
| 1. GENEL BİLGİLER .....                                                 | 1    |
| 1.1. Giriş.....                                                         | 1    |
| 1.2. Çeltik ve Pirinç.....                                              | 5    |
| 1.3. Pirincin Sağlık Açısından Önemi.....                               | 9    |
| 1.4. Pirinç Patlağı (Puffed Rice) .....                                 | 13   |
| 1.4.1. Su ile Islatma (Soaking) .....                                   | 15   |
| 1.4.2. Yarı haşlama (Parboiling) .....                                  | 15   |
| 1.4.3. Kurutma (Drying).....                                            | 16   |
| 1.4.4. Öğütme (Milling) .....                                           | 16   |
| 1.4.5. Tuzlama (Salting).....                                           | 16   |
| 1.4.6. Şişirme (Puffing) İşlemi ve Çeşitleri .....                      | 16   |
| 1.4.6.1. Sıcak Kum Yatağında Şişirme (Hot-Sand-Bed Puffing) .....       | 17   |
| 1.4.6.2. Yağda Şişirme (Oil Puffing) .....                              | 17   |
| 1.4.6.3. Mikrodalga Şişirme (Microwave Puffing) .....                   | 17   |
| 1.4.6.4. Kızılötesi (IR) Radyasyon ile Şişirme (Infrared Puffing) ..... | 17   |
| 1.4.6.5. Basıncılı Şişirme (Gun Puffing).....                           | 18   |
| 1.4.6.6. Akışkan Yatak Şişirme (Fluidized Bed Puffing) .....            | 18   |
| 1.4.6.7. Tuzda Şişirme.....                                             | 18   |
| 1.5. Çalışmanın Amacı.....                                              | 18   |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....                                               | 20   |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM .....                                             | 37   |
| 3.1. Materyal .....                                                     | 37   |
| 3.1.1. Pirinç Patlağı Üretimi.....                                      | 37   |
| 3.1.1.1. Çeltiklerde Yarı Haşlama (Parboiling) İşlemi.....              | 38   |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.1.2. Tuzda Patlatma Yöntemi ile Şişirme İşlemi .....   | 41 |
| 3.2. Yöntem.....                                           | 43 |
| 3.2.1. Fiziksel Analizler .....                            | 43 |
| 3.2.1.1. Bin Tane Ağırlığı .....                           | 43 |
| 3.2.1.2. Uzunluk ve Genişlik.....                          | 43 |
| 3.2.1.3. Uzunluk/Genişlik Oranı .....                      | 44 |
| 3.2.1.4. Pirinç Patlağının Şişme Özellikleri .....         | 44 |
| 3.2.1.4.1. Uzama ve Genişleme Oranları .....               | 44 |
| 3.2.1.4.2. Gerçek Hacim ve Toplam Hacim.....               | 45 |
| 3.2.1.4.3. Pirinç Patlağında Genleşme Oranı .....          | 45 |
| 3.2.1.4.4. Pirinç Patlağında Genleşme Hacmi (mL/g) .....   | 45 |
| 3.2.1.5. Geometrik Ortalama Çap ( $D_g$ ) .....            | 45 |
| 3.2.1.6. Yüzey Alanı ( $S_a$ ) .....                       | 46 |
| 3.2.1.7. Küresellik ( $S_p$ ).....                         | 46 |
| 3.2.1.8. Kitle Yoğunluğu ( $d_k$ ).....                    | 46 |
| 3.2.1.9. Gerçek Yoğunluk ( $d_g$ ) .....                   | 47 |
| 3.2.1.10. Gözeneklilik/Porozite ( $\epsilon$ ) .....       | 48 |
| 3.2.1.11. Viskozite Tayini.....                            | 48 |
| 3.2.1.12. Renk Analizi.....                                | 49 |
| 3.2.2. Besinsel İçerik Analizleri.....                     | 49 |
| 3.2.2.1. Nem ve Kuru Madde (KM) Tayini (%) .....           | 49 |
| 3.2.2.2. Kül Tayini .....                                  | 50 |
| 3.2.2.3. Amiloz Tayini .....                               | 51 |
| 3.2.2.4. Protein Analizi .....                             | 52 |
| 3.2.2.5. Yağ Tayini.....                                   | 53 |
| 3.2.2.6. Ham Selüloz Tayini .....                          | 54 |
| 3.2.2.7. $\gamma$ -Orizanol Tayini .....                   | 56 |
| 3.2.2.8. Nişasta Tayini.....                               | 56 |
| 3.2.2.9. Toplam Karbonhidrat Miktarı Tayini.....           | 57 |
| 3.2.2.10. Antioksidan Aktivite Tayini.....                 | 58 |
| 3.2.2.10.1. Toplam Fenolik İçerik Tayini .....             | 58 |
| 3.2.2.10.2. Toplam Flavonoid İçeriği Tayini .....          | 60 |
| 3.2.2.10.3. Toplam Antioksidan Madde Tayini .....          | 61 |
| 3.2.2.10.4. DPPH Serbest Radikal Temizleme Tayini.....     | 62 |
| 3.2.2.10.5. ABTS Radikal Katyonu Süpürücü Etki Tayini..... | 64 |

|                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.2.10.6. FRAP Toplam Demir İndirgeme Antioksidan Kapasitesi Tayini .....                                     | 64  |
| 3.2.2.11. FTIR Özellikleri .....                                                                                | 65  |
| 3.2.3. Duyusal Analizler.....                                                                                   | 65  |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....                                                                                   | 67  |
| 4.1. Bin Tane Ağırlığı .....                                                                                    | 67  |
| 4.2. Tane Boyu .....                                                                                            | 69  |
| 4.3. Tane Eni .....                                                                                             | 73  |
| 4.4. Tane Boy/En Oranı .....                                                                                    | 77  |
| 4.5. Tane Geometrik Ortalama Çap Değerleri .....                                                                | 80  |
| 4.6. Tane Yüzey Alanı .....                                                                                     | 84  |
| 4.7. Tane Küreselliği .....                                                                                     | 87  |
| 4.8. Tane Kitle Yoğunluğu.....                                                                                  | 91  |
| 4.9. Tane Gerçek Yoğunluğu .....                                                                                | 95  |
| 4.10. Gözeneklilik (Porozite) .....                                                                             | 100 |
| 4.11. Şişme (Genleşme) Özellikleri (Uzama Oranı, Genişleme Oranı, Hacim Genleşme Oranı ve Genleşme Hacmi) ..... | 108 |
| 4.12. Pirinç Patlağında Renk Değerleri.....                                                                     | 112 |
| 4.13. Pirinç Patlağında Nem, Kuru Madde, Protein, Yağ ve Kül İçeriği.....                                       | 117 |
| 4.14. Pirinç Patlağında Toplam Karbonhidrat, Nişasta, Ham Selüloz ve Amiloz Değerleri .....                     | 126 |
| 4.15. Pirinç Patlağında Gama-orizanol, Biyoaktif Bileşenler ve Antioksidan Kapasitesi .....                     | 132 |
| 4.16. Reolojik ve Viskozite Davranışlarının Değerlendirilmesi .....                                             | 145 |
| 4.16.1. Kargo Pirinçte Reolojik ve Viskozite Davranışları.....                                                  | 145 |
| 4.16.2. Pirinç Patlağında Reolojik ve Viskozite Davranışları.....                                               | 150 |
| 4.17. Pirinç Patlaklarında Nişasta Yapısının FTIR ile Değerlendirilmesi .....                                   | 156 |
| 4.18. Duyusal Analiz Sonuçları .....                                                                            | 162 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                                                      | 169 |
| KAYNAKÇA.....                                                                                                   | 177 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                                  | 195 |

## TABLÖLAR DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 1. Türkiye’de yetişen bazı çeltik ve pirinç çeşitlerine ait fiziksel özellikler. ....                                                                                        | 2   |
| Tablo 2. Bazı çeltik çeşitlerine ait protein ve amiloz miktarları .....                                                                                                            | 4   |
| Tablo 3. Türkiye’de yetişen bazı çeltiklere ait kimyasal özellikler .....                                                                                                          | 4   |
| Tablo 4. Türk Gıda Kodeksi Pirinç Tebliği (2010/60) tane uzunluğuna ve<br>uzunluk/genişlik oranına göre pirinç sınıflandırması .....                                               | 7   |
| Tablo 5. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç<br>patlaklarında bin tane ağırlığına ilişkin ortalama değerler (g) .....                       | 68  |
| Tablo 6. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç<br>patlaklarında tane boyuna ilişkin ortalama değerler (mm).....                               | 71  |
| Tablo 7. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç<br>patlaklarında tane enine ilişkin ortalama değerler (mm).....                                | 75  |
| Tablo 8. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç<br>patlaklarında tane boy/en oranına ilişkin ortalama değerler.....                            | 78  |
| Tablo 9. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç<br>patlaklarında tane geometrik ortalama çap (mm) .....                                        | 82  |
| Tablo 10. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç<br>patlaklarında tane yüzey alanına ilişkin ortalama değerler (mm <sup>2</sup> ) .....        | 86  |
| Tablo 11. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç<br>patlaklarında tane küreselliğine ilişkin ortalama değerler (%).....                        | 89  |
| Tablo 12. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç<br>patlaklarında tane kitle yoğunluğuna ilişkin ortalama değerler (g/cm <sup>3</sup> ).....   | 94  |
| Tablo 13. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç<br>patlaklarında tane gerçek yoğunluğuna ilişkin ortalama değerler (g/cm <sup>3</sup> ) ..... | 96  |
| Tablo 14. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç<br>patlaklarında gözenekliliğe ilişkin ortalama değerler (%).....                             | 102 |
| Tablo 15. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç<br>patlaklarında şişme (genleşme) özelliklerine ilişkin ortalama değerler .....               | 109 |
| Tablo 16. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlaklarına ilişkin renk değerleri<br>.....                                                                              | 114 |
| Tablo 17. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlaklarına ilişkin nem, kuru<br>madde, protein, yağ ve kül içeriği değerleri (%) .....                                  | 119 |

|                                                                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 18. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlaklarına ilişkin toplam karbonhidrat, nişasta, ham selüloz ve amiloz içeriklerine ilişkin ortalama değerler (%) ..... | 126 |
| Tablo 19. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlaklarına ilişkin gama-orizanol, biyoaktif bileşenler ve antioksidan kapasitesi değerleri .....                        | 134 |
| Tablo 20. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen kargo pirinç örneklerinde, farklı kayma hızlarındaki viskozite değerleri (mPa·s) .....                                           | 146 |
| Tablo 21. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlağı örneklerinde, farklı kayma hızlarındaki viskozite değerleri (mPa·s) .....                                         | 152 |
| Tablo 22. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlaklarına ilişkin duyusal analiz sonuçları .....                                                                       | 163 |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1. Çeltik tanesi iç ve dış görünümü .....                                                                      | 5  |
| Şekil 2. Çeltik tane yapısı .....                                                                                    | 6  |
| Şekil 3. Geleneksel kumda şişirme yöntemi akış diagramı .....                                                        | 15 |
| Şekil 4. Kabuklu/kavuzlu pirinç (çeltik) .....                                                                       | 37 |
| Şekil 5. Çeltikten yarı haşlanmış kargo pirinç üretim şeması.....                                                    | 38 |
| Şekil 6. Yarı haşlama (Parboiling) işlemi sonrası kabuklu pirinç.....                                                | 39 |
| Şekil 7. El değirmeni (Kett marka) .....                                                                             | 39 |
| Şekil 8. Yarı haşlanmış, kurutulmuş ve kavuzu ayrılmış pirinç (yarı haşlanmış kargo).....                            | 40 |
| Şekil 9. Yarı haşlanmış kargo pirinçten pirinç patlağı üretim şeması.....                                            | 41 |
| Şekil 10. Tuzla şişirme yöntemin yapıldığı alüminyum tencere.....                                                    | 41 |
| Şekil 11. Ham pirinçten pirinç patlağı üretimi süreci (ham pirinç/çeltik, yarı haşlanmış kargo, pirinç patlağı)..... | 42 |
| Şekil 12. Ohaus marka hassas terazi .....                                                                            | 43 |
| Şekil 13. Dijital kumpas.....                                                                                        | 44 |
| Şekil 14. Kitle yoğunluğu ölçümü .....                                                                               | 47 |
| Şekil 15. Gerçek yoğunluk ölçümü.....                                                                                | 48 |
| Şekil 16. Viskozite ölçümü .....                                                                                     | 49 |
| Şekil 17. Ohaus MB 45 marka infrared nem ve kuru madde tayin cihazı .....                                            | 50 |
| Şekil 18. Kül tayini .....                                                                                           | 50 |
| Şekil 19. Kül Fırını (Nevola marka) .....                                                                            | 51 |
| Şekil 20. Amiloz tayini: numune çözeltileri ve spektrofotometrik ölçüm aşaması .....                                 | 52 |
| Şekil 21. Khejdal yakma ünitesi, Khejdal distilasyon ünitesi.....                                                    | 53 |
| Şekil 22. Yağ tayini (Sohxhlet düzeneği) .....                                                                       | 54 |
| Şekil 23. Ham selüloz analizi (asit-bazla kaynatma kısmı) .....                                                      | 55 |
| Şekil 24. Örneklerin kaynatılması.....                                                                               | 57 |
| Şekil 25. Polarimetre.....                                                                                           | 57 |
| Şekil 26. Örnekler .....                                                                                             | 58 |
| Şekil 27. Toplam fenolik içerik (TPC) analizi için hazırlanan reaksiyon tüpleri .....                                | 59 |
| Şekil 28. Toplam fenolik madde analizi kalibrasyon eğrisi.....                                                       | 59 |
| Şekil 29. Toplam flavonoid tayini için hazırlanan reaksiyon tüpleri .....                                            | 60 |
| Şekil 30. Toplam flavonoid analizi kalibrasyon eğrisi.....                                                           | 61 |
| Şekil 31. Toplam antioksidan analizi kalibrasyon eğrisi .....                                                        | 62 |

|                                                                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 32. Askorbik asit standartlarına ait DPPH kalibrasyon eğrisi.....                                                                                                                                    | 63  |
| Şekil 33. DPPH analizinde örneklerde gözlenen renk değişimi .....                                                                                                                                          | 63  |
| Şekil 34. ABTS radikal katyonu süpürücü etki analizi kalibrasyon eğrisi .....                                                                                                                              | 64  |
| Şekil 35. FeSO <sub>4</sub> standart çözeltilerine ait FRAP kalibrasyon eğrisi .....                                                                                                                       | 65  |
| Şekil 36. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında bin tane ağırlığı değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir. ....           | 69  |
| Şekil 37. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane boyu değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir. ....                   | 72  |
| Şekil 38. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane eni değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir. ....                    | 76  |
| Şekil 39. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane boy/en oranı değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir. ....           | 79  |
| Şekil 40. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane geometrik ortalama çap değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir. .... | 82  |
| Şekil 41. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane yüzey alanı değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir. ....            | 87  |
| Şekil 42. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane küreselliği değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir. ....            | 90  |
| Şekil 43. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane kitle yoğunluğu değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir.....         | 95  |
| Şekil 44. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane gerçek yoğunluk değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir.....         | 96  |
| Şekil 45. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane gözeneklilik (porozite) değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir..... | 102 |

|                                                                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 46. Farklı çeşitlere ait (Ç1-Ç22) pirinç patlaklarının enine iç kesitlerinde, 200 µm ölçekli, büyütmeli gözenekli (poroz) mikroyapıların görünümü (Zeiss stereomikroskop-AxioCam ERc 5s).....                       | 105 |
| Şekil 47. Farklı çeltik çeşitlerinin pirinç patlaklarındaki şişme özelliklerine ilişkin değişimler. Barlar, ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir. ....                                                 | 109 |
| Şekil 48. Farklı çeltik çeşitlerinin pirinç patlaklarındaki renk değerlerine ilişkin değişimler. Barlar, ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir. ....                                                    | 115 |
| Şekil 49. Farklı çeltik çeşitlerinin pirinç patlaklarındaki nem, kuru madde, protein, yağ ve kül içeriklerine ilişkin değişimler. Barlar, ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir .....                   | 119 |
| Şekil 50. Farklı çeltik çeşitlerinin pirinç patlaklarındaki toplam karbonhidrat, nişasta, ham selüloz ve amiloz içeriklerine ilişkin değişimler. Barlar, ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir.....     | 128 |
| Şekil 51. Farklı çeltik çeşitlerinin pirinç patlaklarındaki $\gamma$ -orizanol, biyoaktif bileşenler ve antioksidan kapasitesine ilişkin değişimler. Barlar, ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir..... | 135 |
| Şekil 52. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen kargo pirinç örneklerinde, farklı kayma hızlarındaki viskozite değişimleri. Barlar, ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir.....                        | 148 |
| Şekil 53. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlağı örneklerinde, farklı kayma hızlarındaki viskozite değişimleri. Barlar, ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir.....                      | 153 |
| Şekil 54. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlağı örneklerinde FTIR değişimleri .....                                                                                                                      | 158 |
| Şekil 55. Farklı çeltik çeşitlerinin pirinç patlaklarında, duyu analizi verilerine ilişkin ürün özellik haritası .....                                                                                                    | 165 |
| Şekil 56. Farklı çeltik çeşitlerinin pirinç patlaklarında, duyu analizi verilerine ilişkin iç tercih haritası .....                                                                                                       | 166 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                     |                                                               |
|---------------------|---------------------------------------------------------------|
| $\Delta E^*$        | : Toplam Renk Farkı                                           |
| $\mu g$             | : mikrogram                                                   |
| $\mu mol$           | : mikromol                                                    |
| A                   | : Absorbans                                                   |
| $a^*$               | : Kırmızılık-yeşillik değeri                                  |
| AA                  | : Askorbik Asit                                               |
| AAE                 | : Askorbik asit eşdeğeri                                      |
| $Ab_{\text{örnek}}$ | : Örnek absorbansı                                            |
| ABTS                | : Radikal Katyonu Süpürücü Etki Tayini                        |
| $ABTS^{\cdot+}$     | : 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonikası ) radikali |
| Ac                  | : Kontrol çözeltisinin absorbansı                             |
| AOAC                | : Official Methods of Analysis, Resmi Analiz Yöntemleri       |
| As                  | : Örnek çözelti absorbansı                                    |
| $b^*$               | : Sarılık-mavilik değeri                                      |
| BTA                 | : Bin Tane Ağırlığı                                           |
| $C_{DPPH}$          | : Askorbik asit eşdeğeri antioksidan kapasite                 |
| CE                  | : Kateşin Eşdeğeri                                            |
| $C_{FRAP}$          | : Toplam indirgeme antioksidan kapasitesi                     |
| cps                 | : Centipoise (viskozite birimi)                               |
| Ç1-Ç22              | : Çeşit Kodları                                               |
| Dg                  | : Geometrik Ortalama Çap                                      |
| $d_g$               | : Gerçek yoğunluk                                             |
| $d_k$               | : Kitle yoğunluğu                                             |
| dk                  | : dakika                                                      |
| DPPH                | : Serbest Radikal Temizleme Aktivitesi                        |
| FAO                 | : Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü                    |
| Fe                  | : Demir                                                       |
| $FeSO_4$            | : Demir II Sülfat                                             |
| FRAP                | : Ferrik indirgeme antioksidan gücü                           |
| FTIR                | : Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi                 |
| GA                  | : Gallik Asit                                                 |
| GAE                 | : Gallik Asit Eşdeğeri                                        |

|                      |                                                              |
|----------------------|--------------------------------------------------------------|
| GOÇ                  | : Geometrik Ortalama Çap                                     |
| HPLC                 | : Yüksek performanslı sıvı kromatografisi                    |
| IR                   | : Infrared (Kızılötesi)                                      |
| ISO                  | : International Organization for Standardization             |
| K                    | : Kıvam katsayısı                                            |
| L                    | : Tane Uzunluğu                                              |
| L*                   | : Parlaklık değeri (0: Siyah - 100: Beyaz)                   |
| L <sub>KP</sub>      | : Şişirme öncesi yarı haşlanmış kargo pirincin tane uzunluğu |
| L <sub>PP</sub>      | : Şişirme sonrası kahverengi pirinç patlağı tane uzunluğu    |
| M.Ö.                 | : Milattan Önce                                              |
| MHz                  | : Megahertz (frekans birimi)                                 |
| M <sub>protein</sub> | : 100 g numunedeki protein miktarı                           |
| M <sub>kül</sub>     | : 100 g numunedeki kül miktarı                               |
| M <sub>yağ</sub>     | : 100 g numunedeki yağ miktarı                               |
| N                    | : Normalite                                                  |
| n                    | : akış davranışı                                             |
| NaCl                 | : Sodyum Klorür (Tuz)                                        |
| nm                   | : Nanometre                                                  |
| O–H                  | : Hidroksil Bağı                                             |
| ppm                  | : Milyonda bir birim                                         |
| R <sup>2</sup>       | : Determinasyon katsayısı                                    |
| rpm                  | : Devir/dakika                                               |
| RSM                  | : Yanıt Yüzey Yöntemi                                        |
| s                    | : Saniye                                                     |
| S <sub>a</sub>       | : Yüzey Alanı                                                |
| S <sub>p</sub>       | : Küresellik                                                 |
| T                    | : Kalınlık değeri (mm)                                       |
| TAGEM                | : Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü       |
| TFC                  | : Toplam Flavonoid İçeriği                                   |
| TPC                  | : Toplam Fenolik İçerik                                      |
| URL                  | : Uniform Resource Locator                                   |
| UV                   | : Ultraviyole                                                |
| VER                  | : Hacim Genişleme Oranı (Volume Expansion Ratio)             |
| V <sub>KP</sub>      | : Şişirme öncesi yarı haşlanmış kargo pirincin hacmi         |
| V <sub>PP</sub>      | : Şişirme sonrası kahverengi pirinç patlağı hacmi            |

|                            |                                                               |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------|
| $W$                        | : Tane genişliği                                              |
| $W_{HP}$                   | : Şişirmede kullanılan ham pirincin toplam ağırlığı (g)       |
| $W_{KP}$                   | : Şişirme öncesi yarı haşlanmış kargo pirincin tane genişliği |
| $W_{PP}$                   | : Şişirme sonrası kahverengi pirinç patlağı tane genişliği    |
| $\dot{\gamma}$             | : Kayma hızı ( $s^{-1}$ )                                     |
| $\Gamma, \gamma$ -orizanol | : Gama orizanol                                               |
| $\varepsilon$              | : Gözeneklilik/porozite (%)                                   |
| $\eta$                     | : Viskozite ( $mPa \cdot s$ )                                 |
| $\tau$                     | : Kayma gerilmesi (Pa)                                        |



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Buğdaygiller (*Poaceae*) familyasının bir üyesi olan çeltik (*Oryza sativa* L.), dünya nüfusunun yaklaşık yarıdan fazlasının besin kaynağı olarak yararlandığı en önemli tahıl ürünlerinden birisidir (Sezer vd., 2012). Pirinç ise tanım olarak çeltiğin, harmanı sonrası kavuzunun soyulup tüketime hazır hale getirilmesiyle elde edilmektedir. *Oryza* cinsine ait 24 tür bulunmaktadır. Bu türlerden Asya çeltiği olarak bilinen *Oryza sativa* ve Afrika çeltiği olarak bilinen *Oryza glabberima* Steud. en çok tarımı yapılan çeşitleridir. *Oryza glabberima* Steud. Batı Afrika'nın belli bölgelerinde yetiştirilirken; *Oryza sativa* dünya genelinde yetiştirilmektedir (Turan, 2013; Alyürük, 2023). Kıtaların çoğunda, çeşitli iklimlerde yetiştirilmesine rağmen çeltiğin yaklaşık %90'ı Asya'da üretilmekte olup en yüksek tüketimi yine bu kıtada görülmektedir (Bandumula, 2018; Parkavi vd., 2020).

Tarihsel olarak çeltik, 10 000 yıl önce Güney ve Güneydoğu Asya'nın nehir vadilerinde yaygın olarak yetiştirildiği ve kökeninin muhtemelen Hindistan olduğu düşünülmektedir. Hindistan'da pirincin evcilleştirilmesi, esas olarak M.Ö. 3000-1500 yılları arasında Indus Vadisi uygarlığına dayandırılmaktadır; ancak, M.Ö. 6409 yıllarına ait, Ganj Ovası'nın ortasında bulunan Lahuradewa Bölgesi'ndeki erken dönem çömleklerde pirinç tanelerinin keşfedilmesiyle, Hindistan'da çeltik yetiştiriciliğinin kanıtları 4000 yıl öncesine kadar uzanmakta olduğu tespit edilmiştir (Priya vd., 2019).

M.Ö. 3000'de Güney Hindistan'dan Çin'e, M.Ö. 1000 yıllarında ise Java'ya doğru yayılmış olan çeltik; Büyük İskender'in Asya seferi (M.Ö. 300) sayesinde de Avrupa'ya tanıtılmıştır. Ülkemize girişi ise 500 yıl öncesine dayanmakla birlikte; ilk çeltik ekimleri 1750'de Tosya (Kastamonu) ilçesinde yapıldığı tahmin edilmektedir (Alyürük, 2023).

Antarktika kıtası dışındaki tüm kıtalarda tarımı yapılan çeltik, Türkiye'de 2004 yılından itibaren stratejik önem kazanmaya başlamış ve böylece ülkemizde birçok çeltik çeşidi tescil edilmiştir. Bu noktada 1983-2003 yılları arasında altı (6) adet ve 2004-2023 yılları arasında ise doksan iki (92) çeltik çeşidi tescillenmiş olup; bu çeşitlerin bazıları T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesindeki Tarımsal Araştırma Enstitülerince, bazıları da özel firmalar tarafından tescil edilmiştir. Buna bağlı olarak ülke genelinde çeltik ekim alanları, üretim miktarı ve verim artmıştır (Çığ vd., 2024).

Türkiye’de çeltik birçok ilimizde yetiştirilmekte olup yoğun olarak üretim Edirne, Samsun, Çorum, Balıkesir ve Çanakkale illerinde yapılmaktadır (Semerci, 2023). Ülkemizde yetişen çeltik çeşitlerinden bazıları şunlardır: Baldo, Barone CL, Cammoe, Efe, Furia CL, Luna CL, Meco, Polo, Osmancık-97, Ronaldo, Vasco, Yatkın, Halilbey, Kikko, Mevlütbey, Paşalı, Tosya Güneşi, vb. (Ünan, 2016; Akay vd., 2018; Akay, 2020). Çeltik çeşitlerinde genetik ve çevre faktörlerine göre fiziksel, kimyasal özellikleri ve besin değerlerinde belirgin farklılıklar görülebilmektedir. Unan vd. (2020) çeltik çeşitlerini farklı lokasyonlarda (Bafra, Çarşamba, Tekkeköy) yetiştirdikleri ıslah çalışmalarında; çeşit özelliği ile bin dane ağırlığının yüksek oranda ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsünde yetiştirilen çeltik çeşitleri ve bunlardan elde edilen pirinçlere ait fiziksel özellikler (bin dane ağırlığı, uzunluk, genişlik) Tablo 1’de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere çeltik çeşitlerinde bin dane ağırlıkları 24-25 ile 40 gram aralığında, uzunlukları 7.1-10.7 mm arasında, genişlik değerleri 2.6-3.8 mm arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir. Pirinç çeşitlerinde ise bin dane ağırlıkları 19-20 ile 31-32 arasında; uzunluk 5.1 ile 7.7 arasında, genişlikleri ise 2.1 ile 3.3 arasında değişmektedir (Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü [TAGEM], 2015).

Tablo 1. Türkiye’de yetişen bazı çeltik ve pirinç çeşitlerine ait fiziksel özellikler (TAGEM, 2015).

| Çeşit Adı   | Pirinç Bin Tane Ağırlığı (g) | Çeltik Bin Tane Ağırlığı (g) | Çeltik Uzunluğu (mm) | Çeltik Genişliği (mm) | Pirinç Uzunluğu (mm) | Pirinç Genişliği (mm) |
|-------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Altınyazı   | 28-30                        | 36-37                        | 9.8                  | 3.4                   | 7.4                  | 3                     |
| Trakya      | 27-28                        | 37-38                        | 9.7                  | 3.7                   | 7.1                  | 3.2                   |
| Ergene      | 26-27                        | 35-36                        | 10.0                 | 3.4                   | 7.4                  | 2.9                   |
| Meriç       | 30-31                        | 38-40                        | 9.7                  | 3.5                   | 7.2                  | 3                     |
| İpsala      | 30-32                        | 38-40                        | 10.7                 | 3.6                   | 7.7                  | 3                     |
| Serhat-92   | 26-27                        | 33-35                        | 9.3                  | 3.1                   | 6.7                  | 2.8                   |
| Sürek-95    | 28-29                        | 35-36                        | 9.5                  | 3.4                   | 6.9                  | 3                     |
| Osmancık-97 | 25-26                        | 34-35                        | 8.9                  | 3.3                   | 6.4                  | 2.9                   |
| Kral        | 28-29                        | 36-37                        | 9.5                  | 3.4                   | 6.7                  | 3                     |
| Yavuz       | 25-26                        | 30-31                        | 8.8                  | 3.3                   | 6.5                  | 2.9                   |
| Demir       | 23-24                        | 30                           | 8.4                  | 3.2                   | 6                    | 2.8                   |
| Neğiş       | 29-30                        | 39                           | 9.5                  | 3.3                   | 7.1                  | 3.1                   |
| Gönen       | 31-32                        | 40                           | 9.6                  | 3.3                   | 7.2                  | 3                     |
| Kargı       | 28-29                        | 37                           | 9.5                  | 3.1                   | 6.9                  | 2.9                   |
| Edirne      | 30                           | 38-39                        | 9.3                  | 3.2                   | 6.9                  | 2.9                   |

Tablo 1. (Devamı)

| Çeşit Adı                | Pirinç Bin Tane Ağırlığı (g) | Çeltik Bin Tane Ağırlığı (g) | Çeltik Uzunluğu (mm) | Çeltik Genişliği (mm) | Pirinç Uzunluğu (mm) | Pirinç Genişliği (mm) |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Halilbey                 | 25-26                        | 33                           | 9.1                  | 3.1                   | 6.4                  | 3                     |
| Ece                      | 24-25                        | 33                           | 9                    | 3.3                   | 6.4                  | 2.7                   |
| Kırkpınar                | 29-30                        | 37                           | 9.5                  | 3.6                   | 7                    | 3.1                   |
| Şumnu                    | 23-24                        | 29                           | 8.2                  | 3.3                   | 5.9                  | 2.9                   |
| Beşer                    | 28-29                        | 38                           | 10.2                 | 3.5                   | 7.2                  | 3                     |
| Kızıltan                 | 24-25                        | 32                           | 8.7                  | 3.4                   | 6.3                  | 2.9                   |
| Durağan                  | 25-26                        | 33                           | 9                    | 3.4                   | 6.6                  | 3                     |
| Aromatik-1               | 19-20                        | 24-25                        | 10.2                 | 2.7                   | 7.4                  | 2.1                   |
| Gala                     | 24-25                        | 33-34                        | 9                    | 3.5                   | 6.6                  | 2.9                   |
| Tunca                    | 25-26                        | 34-35                        | 9.6                  | 3.4                   | 6.9                  | 3                     |
| Efe                      | 26-28                        | 36-37                        | 8.7                  | 3.3                   | 6.6                  | 3                     |
| Hamzadere                | 27-28                        | 37-38                        | 8.9                  | 3.4                   | 6.6                  | 2.9                   |
| Çakmak                   | 23-24                        | 33                           | 8                    | 3.1                   | 6.5                  | 2.9                   |
| Paşalı                   | 27-28                        | 36-37                        | 9.2                  | 3.3                   | 6.6                  | 2.9                   |
| Tosya Güneşi             | 23.6                         | 32.7                         | 8.6                  | 3.3                   | 6.2                  | 2.8                   |
| Manyas Yıldızı           | 22.1                         | 30.1                         | 9.4                  | 2.9                   | 6.8                  | 2.5                   |
| Biga İncisi              | 28.8                         | 39.5                         | 9.1                  | 3.4                   | 6.8                  | 3                     |
| Küplü                    | 25.6                         | 35.9                         | 9                    | 3.2                   | 6.5                  | 2.8                   |
| Mis-2013                 | 24.6                         | 33.1                         | 10.1                 | 2.7                   | 7.7                  | 2.4                   |
| Kale                     | 26.6                         | 34.1                         | 9.1                  | 3.3                   | 6.7                  | 3.2                   |
| Yatkın                   | 26.3                         | 35.7                         | 8.9                  | 3.2                   | 6.5                  | 2.9                   |
| Sürek-M711               | 25.8                         | 34.1                         | 8.7                  | 3.4                   | 6.2                  | 2.8                   |
| IMI-2521                 | 19-20                        | 26-27                        | 7.6                  | 2.9                   | 5.6                  | 2.6                   |
| IMI-2554                 | 21-22                        | 28-29                        | 8.7                  | 3.2                   | 6.3                  | 2.6                   |
| 2004052-TR-2343-10-1-1-2 | 23                           | 29                           | 7.8                  | 2.8                   | 5.6                  | 2.6                   |
| N1-41T-1T-0T             | 25-26                        | 33-34                        | 8.6                  | 2.8                   | 6                    | 2.5                   |
| 7721                     | 27-28                        | 32-33                        | 8.8                  | 3.2                   | 6.2                  | 2.9                   |
| Baldo                    | 29-31                        | 38-39                        | 9.4                  | 3.3                   | 7                    | 3                     |
| Rocca                    | 28-29                        | 34-36                        | 9.3                  | 3.3                   | 6.8                  | 2.9                   |
| Krasnodarsky-424         | 22-23                        | 28-30                        | 7.1                  | 3.5                   | 5.2                  | 3.1                   |
| Veneria                  | 25                           | 28-32                        | 8.5                  | 2.8                   | 5.9                  | 2.5                   |
| Ribe                     | 27-28                        | 32-33                        | 9.4                  | 3.5                   | 7                    | 3                     |
| Plovdiv                  | 23-24                        | 30-31                        | 8.5                  | 2.8                   | 5.6                  | 2.7                   |
| Ranballi                 | 24-25                        | 30-31                        | 8.4                  | 2.7                   | 5.5                  | 2.8                   |
| Rodina                   | 24-25                        | 32                           | 8.5                  | 2.8                   | 5.5                  | 2.8                   |
| Maratelli                | 23-24                        | 31-32                        | 7.9                  | 3.7                   | 5.6                  | 3.1                   |
| Koral                    | 27                           | 32                           | 9.3                  | 3                     | 6.6                  | 2.6                   |
| Akçeltik                 | 23-24                        | 28-29                        | 8.2                  | 2.6                   | 5.2                  | 2.4                   |
| Sarıçeltik               | 24-25                        | 32-33                        | 8.3                  | 2.7                   | 5.3                  | 2.5                   |
| Karadeniz                | 27-28                        | 36-37                        | 10                   | 3.5                   | 7.3                  | 3.1                   |
| Karacadağ                | 21                           | 28                           | 7.2                  | 3.8                   | 5.1                  | 3.3                   |
| HB-1 (Siyah Pirinç)      | 19-20                        | 24-25                        | 10                   | 2.6                   | 7                    | 2.1                   |

Akay vd. (2022) 18 çeltik çeşidinin fizikokimyasal özellikleri ve pişirme kalitesini belirlemek için yaptıkları çalışmada elde ettikleri bazı kimyasal veriler (protein, amiloz) Tablo 2’de gösterilmiştir. Çeltik çeşitlerinde; protein miktarı %6.66 ile 8.89 arasında, amiloz miktarı ise %16.91 ile 27.4 değiştiğini bildirmişlerdir.

Tablo 2. Bazı çeltik çeşitlerine ait protein ve amiloz miktarları (Akay vd., 2022).

| Çeşitler     | Protein Miktarı(%) | Amiloz Miktarı(%) |
|--------------|--------------------|-------------------|
| Agusto       | 7.55               | 25.26             |
| Arieti       | 6.66               | 26.25             |
| Baldo        | 6.9                | 20.84             |
| Cammeo       | 7.56               | 24.01             |
| Crono        | 8.02               | 27.40             |
| Edirne       | 8.33               | 19.63             |
| Efe          | 8.00               | 19.6              |
| Gala         | 8.52               | 17.98             |
| Galileo      | 8.36               | 21.47             |
| Halilbey     | 8.03               | 19.72             |
| Kale         | 5.45               | 19.07             |
| Kızıltan     | 8.49               | 19.60             |
| Mecı         | 7.21               | 21.76             |
| Nembo        | 7.78               | 20.73             |
| Osmancık-97  | 7.72               | 16.91             |
| Ronaldo      | 7.92               | 21.29             |
| Tosya Güneşi | 7.20               | 25.91             |
| Yatkın       | 8.89               | 20.13             |

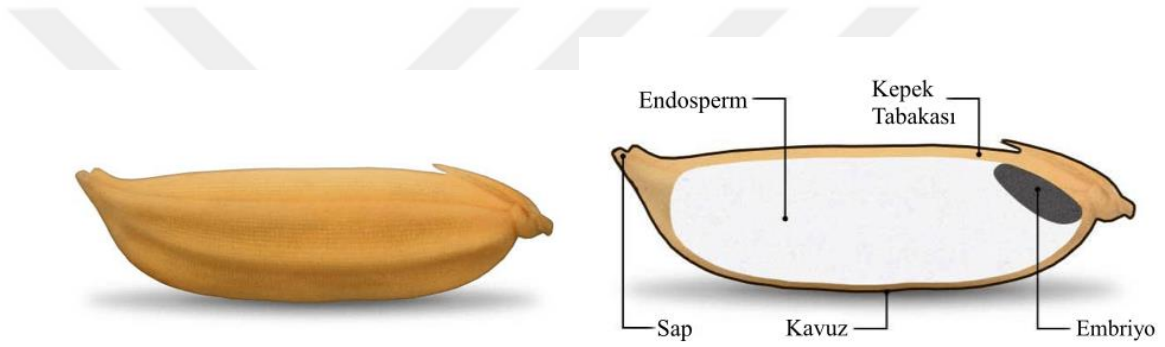
Ayaşan vd. (2019) beş çeltik çeşidine ait tohumların kimyasal özelliklerini değerlendirmişlerdir. Tablo 3’te de görüldüğü üzere çeltik çeşitleri arasında kuru madde, ham protein, ham yağ gibi kimyasal özellikleri arasında belirgin farklar olduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 3. Türkiye’de yetişen bazı çeltiklere ait kimyasal özellikler (Ayaşan vd., 2019).

| Çeşitler    | Kuru Madde (%) | Ham Kül(%) | Ham Protein (%) | Ham Yağ (%) | Ham Selüloz (%) |
|-------------|----------------|------------|-----------------|-------------|-----------------|
| Efe         | 87.99          | 5.22       | 5.81            | 1.90        | 11.26           |
| Yatkın      | 87.38          | 5.54       | 6.09            | 1.90        | 11.68           |
| Halilbey    | 86.54          | 5.45       | 7.56            | 1.60        | 13.03           |
| Kızıltan    | 88.43          | 5.60       | 7.24            | 2.07        | 13.55           |
| Osmancık-97 | 88.65          | 5.54       | 6.59            | 1.96        | 12.44           |

## 1.2. Çeltik ve Pirinç

Pirinç, özellikle Asya'da geniş bir popülasyonun temel gıdasıdır ve çeltik taneleri, kahverengi pirinç ve öğütülmüş pirinç olarak işlendikten sonra tüketilmektedir (Jeong vd., 2024). Tam pirinç tanesi kepekten (%6-7 ağırlıkça), endospermden (%90) ve embriyodan (%2-3) oluşmaktadır (Morales-Martinez vd., 2014). Çeltik öğütme işleminde, çeltiğin kabuk ve kepek tabakasının tamamı veya bir kısmının çıkarılarak; çeltik, pirince dönüştürülmektedir (Şekil 1). Çeltiğin öğütülmesi çok önemli bir aşamadır ve öğütmenin amacı, yabancı maddelerden arındırılmış yenilebilir beyaz pirinç elde etmek için, kabuk ve kepeğin taneden ayrılmasıdır. Öğütme işleminde çeltikten; kahverengi veya beyaz pirinç, öz, kepek, kırık pirinç ve kabuk meydana gelmektedir (Priya vd., 2019).

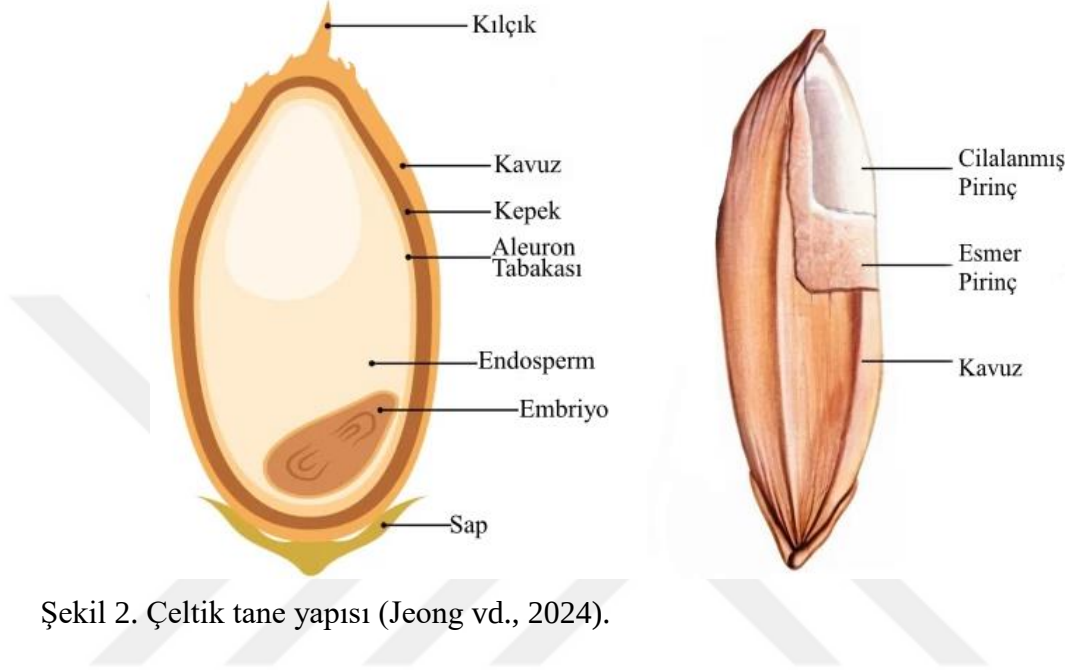


Şekil 1. Çeltik tanesi iç ve dış görünümü (Riceland Foods, t.y.).

Kabuk (kavuz), kaba pirinç ağırlığının ortalama %20'sini oluşturmaktadır, ancak bu oran %16 ile %28 arasında değişebilmektedir (Priya vd., 2019). Çeltikten kavuzun, embriyonun ve kısmen aleuron tabakasının uzaklaştırılmasıyla pirinç elde edilmektedir (Şekil 2). Pirincin farklı tabakaları farklı miktarlarda besin içermektedir. Olgunlaşmış tanelerde nişasta endospermde yoğunlaşırken, besin maddelerinin çoğu dış aleuron katmanında ve embriyoda bulunmaktadır. Bu değerli besinler arasında; yüksek miktarda hipoalerjenik protein, lipit, vitamin, mineral ve diyet liflerinin yanı sıra zengin biyoaktif bileşikler ( $\gamma$ -aminobütirik asit ve  $\gamma$ -orizanol, tokotrienol, fitosteroller ve ferulik asit) de yer almaktadır. Bu biyoaktif bileşenler sağlık açısından; antidiyabetik, antikanser, nöroprotektif, antiobezite, antihipertansif, hipokolesterolemik etkilere sahiptir. Beyaz pirinç bu kısımlar ayrılarak üretildiğinden besleyici değeri düşük nişastaca zengindir. Harman sonrası çeltiğin sadece kabuğu soyularak elde edilen pirince ise; esmer pirinç, kahverengi pirinç veya kargo denilmektedir. Kahverengi pirinç insan sağlığı açısından gerekli zengin antioksidan, diyet lifi, vitamin ve mineral kaynağı olarak dikkat



çekmektedir. Ancak pek çok ülkede pirincin tüketim formu kepek tabakası ve embriyosu uzaklaştırılmış cilalanmış beyaz pirinçtir. Çeltik kabuğu, silika ve mineral miktarı açısından zengindir; ancak ısıt işlemlerle görse dahi insan tarafından sindirilememektedir (Turan, 2013; Donduran, 2014; Mir vd., 2016; Akram, 2018; Priya vd., 2019; Kalaycı ve Kaya, 2022; Itagi vd., 2023; Liu vd., 2025).



Şekil 2. Çeltik tane yapısı (Jeong vd., 2024).

Pirinç ayrıca; kahverengi, kırmızı, mor ve hatta siyah dahil olmak üzere birçok farklı renkte olabilmektedir. Renkli pirinç çeşitleri yarı cilalı veya cilasızdır. Yani kabuk soyma sonrası kepek ve öz kısmı uzaklaştırılmamaktadır. Kırmızı renkli pirinç çeşitleri demir ve çinko açısından, siyah pirinç çeşitleri ise özellikle protein, yağ ve ham lif açısından zengindir. Kırmızı ve siyah pirinç, rengini serbest radikalleri temizleme ve antioksidan kapasitelerinin yanı sıra diğer sağlık yararları da bilinen antosiyanin pigmentlerinden almaktadır. Renkli pirinç, beyaz pirince göre daha sağlıklı bir alternatiftir. Renkli pirinç çeşitleri ve esmer pirinç çeşitleri, benzer besin profillerine sahip olmakla birlikte bu çeşitler genellikle ya kabukları soyulmuş ya da kepek-öz kısmı bozulmadan, kısmen soyulmuştur. Kepekli cilasız pirinç, öğütülmüş veya cilalanmış beyaz pirinçten daha yüksek besin içeriğine sahip olsa da; beyaz pirinç tüketici açısından daha fazla tercih edilmektedir (Priya vd., 2019; Liu vd., 2025).

Ham pirincin veya ürünlerinin tüketici tarafından kabul edilebilirliği tanelerin fizikokimyasal, pişme ve duyuşal özelliklerine göre belirlenmektedir. Pirinç sınıflandırmaları pirincin endüstride işlenmesi açısından önem arz etmekte olup bu sınıflandırmalarda birçok parametreden (boyut, amiloz içeriğı, jelatinizasyon sıcaklığı,

aroma durumu gibi) yararlanılmaktadır. Uluslararası standartlara göre tanelerin uzunluk/genişlik oranına göre sınıflandırmada ise oran 3'ten büyük olanlar ince, 2-3 arasında olanlar orta ve 2'den küçük olanlar ise yuvarlak sınıfına girmektedirler. Taneleri uzun ince olanlar Indica (uzunluk/genişlik oranı 3'ten büyük), kısa taneli olanlar ise Japonica (uzunluk/genişlik oranı 3'ten küçük) grubunda yer almaktadır (Turan, 2013; Donduran, 2014; Ünan, 2016).

Türk Gıda Kodeksi Pirinç Tebliğine göre pirinç çeşitleri, sınıfları, grupları, tipleri ve menşei karıştırılarak piyasaya sunulmasına izin verilmemektedir. Tebliğde tam değirmenlenmiş pirinç; içerdiği kusurlu tane, organik ve inorganik yabancı madde miktarlarına göre 1. Sınıf veya 2. Sınıf olarak değerlendirilmiştir. Pirinçler, tane uzunluğuna göre uzun taneli pirinç, orta taneli pirinç ve kısa taneli pirinç olarak gruplandırılmış ve uzun taneli pirinçler ise Tip A, Tip B, Tip C olarak kendi aralarında uzunluk ve uzunluk / genişlik oranlarına göre sınıflandırılmıştır (Tablo 4). Ayrıca tebliğde; kırık pirinç; “¼’ünden fazlası kırılmış olan pirinç”, yarı haşlanmış pirinç ise “nişastası jelatinize olana kadar su veya buhar ile ısıtılma işlemine tabi tutulan ve sonra kurutulan kavuzsuz ya da değirmenlenmiş pirinç” olarak tanımlanmıştır (“Türk Gıda Kodeksi Pirinç Tebliği”, 2011).

Tablo 4. Türk Gıda Kodeksi Pirinç Tebliği (2010/60) tane uzunluğuna ve uzunluk/genişlik oranına göre pirinç sınıflandırması (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2011).

|                            | Tane Uzunluğu (mm)    | Uzunluk/Genişlik Oranı |
|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Uzun Taneli Pirinç (Tip A) | >6.7                  | $2 \leq - \leq 3$      |
| Uzun Taneli Pirinç (Tip B) | >6.7                  | >3                     |
| Uzun Taneli Pirinç (Tip C) | $6.0 \leq - \leq 6.7$ | $2 \leq - \leq 3$      |
| Orta Taneli Pirinç         | $5.2 < - < 6.0$       | <3                     |
| Kısa Taneli Pirinç         | $\leq 5.2$            | <2                     |

Amiloz içeriğine göre pirinç çeşitleri; amilozsuz (%0-2), çok düşük (%8-20), orta (%21-25) ve yüksek amiloz ( $\geq$ %25) içerenler olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar (Donduran, 2014). Japonica pirinç çeşitleri piştiğinde yapışkan özellikte ve düşük amiloz içeriğine (%9-20) sahipken, Indica çeşitleri ise orta (%20-25) ile yüksek ( $\geq$ %25) amiloz içeren piştiğinde yapışkan hal almayan pirinçlerdir (Kumar ve Prasad, 2018). Jel konsistensine göre sınıflandırmada pirincin sert veya yumuşak olması değerlendirilmektedir. Jel kıvamı (konsistens) sert ise pişmiş pirinç daha az yapışkan ve serttir, sert olması tüketici tercihi olumsuz yönde etkilemektedir. Jel kıvamı yumuşak ise pişmiş pirinç de yumuşak olmakta ve bu tür pirinçler daha çok tercih

edilmektedir. Jel konsistensi, jel uzunluğu ile belirlenen bir kimyasal özelliktir (Yazman, 2014).

Pirinçte pişme kalitesi; amiloz içeriği, tanenin uzaması, pirincin su çekme kapasitesi, jelatinizasyon sıcaklığı ve aroma gibi birçok fiziksel ve kimyasal özellik tarafından belirlenmektedir. Jelatinleşme sıcaklığı, pirincin pişme süresini etkilemektedir. Jelatinleşme genellikle 55-79 °C aralığındaki sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Jelatinleşme sıcaklığı, 55-69 °C arası olan çeşitler düşük, 70-74 °C arası çeşitler orta ve 75-79 °C arası çeşitler ise yüksek olarak gruplandırılmaktadır (Donduran, 2014). Pirincin besin değeri, tür veya çeşit özelliği (beyaz, kahverengi, kırmızı veya siyah/mor vb.), pirincin yetiştirildiği toprağın besin kalitesi, öğütme derecesi ve tüketimden önceki hazırlama yöntemi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak da değişmektedir (Priya vd., 2019).

Popüler bir tahıl ürünü olan pirinç çoğunlukla tanelerinin haşlanmasıyla tüketilmektedir; ancak pirinç bazlı gıda veya şekerlemelerin niteliklerini geliştirmek için değişiklikler sağlayarak uzatma, ekstrüzyon, düzleştirme, şişirme vb. doku değiştirme yoluyla farklı ürünler de üretilebilmektedir. Genişleme oranlarının yanı sıra renk, tekstür, düşük nem, tat ve taneciklilik, pirincin amiloz içeriğine bağlı ürünün duyu özelliklerinin temel parametreleri olarak kabul edilmektedir (Kumara vd., 2022).

Pirinç, temel beslenmede önemli bir besindir ve haşlanmış, patlamış (poprice), dövülmüş, şişirilmiş (pirinç patlağı) vb. farklı gıda ürünleri olarak tüketilebilmektedir. Pirinç tanelerinden hidrotermal olarak patlamış, şişirilmiş, haşlanmış, dövülmüş pirinç ürünlerinde tanelerdeki bazı fitokimyasalların konsantrasyonu değişmektedir. Özellikle patlamış ve dövülmüş pirinçte taneye bağlı kepek katmanı sayesinde, cilalanmış pirinç ürünlerinden daha besleyici potansiyele sahiptir (Pal vd., 2019). Bu ürünlerden pirinç patlağı (puffed rice); tanenin bazı ön işlemlere tabi tutularak yüksek sıcaklıkta kısa süreli şişirilen, orijinalinden birkaç kat daha büyük hacme sahip, yüzeyi değiştirilmiş pirinç şekli olarak tanımlanabilmektedir (Das ve Dash, 2019). Patlak pirinç (popped rice) ise daha az gevrekliğe sahip ve besin değerleri hakkında çok fazla bilgi olmaması nedeniyle kahvaltıda pirinç patlağı kadar popüler bir ürün olmamakla birlikte genellikle Asya'da bazı bölgelerde kutsal törenlerde (ibadet, düğün vb.) tüketilmektedir. Dövülmüş pirinç de içerisine çeşitli çıtır tekstürlü gıdalar, kızarmış yer fıstığı ve baklagillerle birlikte hazırlanıp Hindistan'da birçok insan tarafından tüketilmektedir (Pal vd., 2019).

Pirinçten üretilen ürünler arasında en popüler gıda ürünü haşlanmış pirinçtir ve özellikle Asya ülkelerinde öğle ve akşam yemeklerinde temel gıda maddesi olarak

tercih edilmektedir. Haşlanmış pirinç; cilalanmış pirinç, yarı haşlanmış pirinç veya kahverengi pirincin su ile kaynatılıp ardından fazla suyun boşaltılmasıyla, düdüklü tencere veya ohmik ısıtma yöntemiyle hazırlanmaktadır. Bunlar dışında pirinçten ayrıca kekler, tatlılar, şekerlemeler, formüle edilmiş bebek mamaları, çorbalar, güveçler, krakerler, eriştelere, pudingler, ekmek, sirke, şarap gibi birçok ürün de üretilmektedir (Kumar ve Prasad, 2013; Pal vd., 2019).

### **1.3. Pirincin Sağlık Açısından Önemi**

Gıda alerjilerinin yaygınlığı, son yıllarda belirgin bir artışla küresel olarak endişe verici seviyelere ulaşmıştır. Bu artış, genetik yatkınlıklar, çevresel etkiler ve diyet değişiklikleri gibi bir dizi faktörün birleşimine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Gıda alerjileri, yaygın ve zararsız gıda antijenlerine karşı uyumsuz bağışıklık tepkilerinden kaynaklanmaktadır. En yaygın alerjenik gıdalar arasında süt ve süt ürünleri, yer fıstığı, gluten içeren tahıllar (örneğin buğday, çavdar, arpa), balık, kabuklular ve kabuklu deniz ürünleri bulunmaktadır. Bu gıdalar genellikle tüm gıda alerjisi reaksiyonlarının %90'ından fazlasını oluşturdıkları için “öncelikli gıda alerjenleri” olarak adlandırılmaktadırlar. Bu alerjiler, ölümcül sonuçlara yol açabilen anafilaksi de dahil olmak üzere yaşamı tehdit eden reaksiyonlar için önemli bir risk oluşturmaktadır (Ding vd., 2025). Bu hastalıklardan özellikle çölyak hastalığı yaygın ve en bilinenidir. Glütene hassas bağırsak sistemi olarak da bilinen çölyak hastalığı, buğday gluteni ve diğer tahıllardaki benzer proteinlerin tüketilmesine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu hastalıkta, gluten içeren gıda tüketimini takiben ince bağırsak iç yüzeyinde, absorpsiyonu sağlayan villi yapı kısalmakta, hatta küçülerek düzleşmektedir. Villilerin yüzeyindeki “kripta” hücrelerinin kalınlaşması sonucu absorpsiyon yüzeyi kısalıp besin alımı zorlaşmaktadır. Hastalığın tek tedavisi ise glütensiz beslenmektir. Bu beslenmede sadece buğday değil gliadin homologu olan prolamini içeren çavdar, arpa ve yulaf ürünlerinin de tüketilmemesi gerekmektedir. Glütensiz beslenmede diyetlerin daha zengin hale getirilmesi amacıyla birçok çalışma yürütülmekte olup; çeşitli baklagil unları, tahıl benzeri ürünler (pseudo tahıllar) ve gluten içermeyen sorgum, mısır ve pirinç gibi tahılların kullanımı yaygınlaşmaktadır (Çakmak, 2025).

Pirinç; önemli bir alternatif karbonhidrat kaynağı, yüksek biyolojik değeri olan protein içeriğine sahip olmasının yanında nadiren alerjik reaksiyonlara sebep olan ve sindirimi kolay bir tahıldır. Pirinçte bulunan temel protein glutelindir (Kumar ve Prasad, 2013; Donduran, 2014). Pirinç glutelini, pirinç proteininin yaklaşık %80'ini oluşturur. Albumin, globülin, glutelin ve prolamini oranları kahverengi pirinçte sırasıyla; %5-10,

%7-17, %75-81 ve %3-6, öğütülmüş pirinçte sırasıyla; %4-6, %6-13, %79-83 ve %2-7, pirinç kepeğinde ise bu protein fraksiyonları sırasıyla; %24-43, %13-36, %22-45 ve %1-5 olduğu bildirilmiştir (Amagliani vd., 2017; Kuru, 2025). Pirinçteki proteinin yüksek besin değerine sahip olmasını sağlayan ise lizin ve treonin aminoasitleridir (Donduran, 2014). Glüten içermemesi sayesinde pirinç, özellikle çölyak hastaları için unlu mamullerde alternatif bir tercih olmaktadır (Kumar ve Prasad, 2013).

Pirinç içeriğindeki antioksidan aktivite ise; fenolik asitler, flavonoidler, antosiyaninler, proantosiyaninler, tokoferoller, tokotrienoller, gama orizanol ve fitik asitten kaynaklanmaktadır (Donduran, 2014). Bunlar arasında  $\gamma$ -orizanol, pirinç ve pirinç bazlı ürünlerdeki en önemli fizyolojik aktif bileşenlerden biridir.  $\Gamma$ -orizanol, pirinç, mısır, buğday ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) gibi çeşitli tahıllarda bulunabilmesine rağmen, içeriği pirinç kepeğinde özellikle yüksektir.  $\Gamma$ -orizanol, adını pirincin cins adı olan *Oryza*'dan almaktadır ve bu yüzden de orizanol olarak adlandırılmıştır.  $\Gamma$ -orizanol, yapısal olarak özellikle steril ferülatlara benzer bileşenlerin bir karışımıdır. Steril ferülatlar, ferulik asidin triterpen alkoller ve fitosterollerle esterleridir.  $\Gamma$ -orizanol, esas olarak pirinç kepeği yağında sabunlaşmayan bir fraksiyon olarak bulunmaktadır. Yüksek bir antioksidan kapasiteye sahip olduğundan yaşlanma karşıtı, iltihap önleyici, trombosit agregasyonunu önleyici, kolesterol düşürücü, UV ışığa karşı koruyucu, kas kütlesini artırıcı, tümör büyümesini önleyici etkiler gibi çeşitli sağlığa yararlı etkilere sahip bir bileşendir. Kolesterolün  $\gamma$ -orizanol tarafından oksidasyonu nedeniyle, bu antioksidan özellikler aynı zamanda hipokolesterolemik etkilerle de yakından ilişkilidir. Benzer şekilde, orizanolün ana fenolik bileşeni olan ferulik asit, kan trombositlerinin agregasyonuna ve süperoksit oluşumuna karşı önemli bir koruyucu davranış sergilemiştir. Hatta bir araştırmada  $\gamma$ -orizanolün in vitro olarak E vitamininden dört kat daha fazla antioksidan aktiviteye sahip olduğu bildirilmiştir (Tuncel ve Yılmaz, 2011; Akram, 2018). Bunlar dışında pirinç niasin, fosfor, potasyum, magnezyum, demir, tiamin, riboflavin gibi önemli vitamin ve minerallerin de kaynağıdır (Güngör, 2019).

Beyaz pirinç tüketiminin; tip 2 diyabet, glikoz intoleransı, obezite ve kardiyovasküler hastalıklar gibi metabolik sendromlarda doğrudan etkisi bulunduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık esmer pirinç tüketiminin bu hastalıkların önlenmesinde terapötik bir etkisi bulunmaktadır (Akram, 2018). Esmer pirinç içeriğindeki diyet lifleri, gıdaya bir kabuk oluşturarak karbonhidratların emilimini azaltmakta, ince bağırsakta gıdalar üzerinde hidrolitik enzimlerin etkisini engellemekte ve bağırsakta gıdaların

viskozitesini artırmaktadır. Bu da glisemik indeksi (GI) düşürerek diyabet hastaları için daha iyi bir seçenek olmaktadır (Priya vd., 2019).

Kahverengi pirinç, kansere neden olan başlıca etkenlerden biri olan serbest radikallere karşı önemli bir rol oynayan manganez ve selenyum açısından da zengindir. Bu elementlerin varlığı ve yüksek diyet lifi içeriği nedeniyle kahverengi pirinç, tüketicileri için kanser riskini azaltmasıyla ilişkilendirilmektedir. Araştırmalar, kahverengi pirinç gibi tam tahılların tüketimi ile kolon kanseri riskinin azalması arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (Priya vd., 2019). Kunzman vd. (2015) yaptıkları çalışmada posa alımının kolon kanseri riski üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla 1993-2001 yılları arası daha önce kanser tanısı almamış, 55-74 yaş aralığında 77.445 kişiyi incelemişler, sonuç olarak tüm bireylerin özellikle tahıllardan veya tahıl ve meyvelerden gelen yüksek lif alımının, kolorektal adenom ve kanser riskini azalttığına dair kanıtlar bulmuşlardır. Bu çalışma, diyet lifinin adenom-karsinom dizisinde erken etki gösterebileceği ve hem adenom hem de kanser riskini azaltabileceğine dair daha fazla kanıt sunmakta olduğunu bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada Tantamango vd. (2012) kahverengi tahıl ve diğer tam tahıl tüketiminin kolon-rektum polipleri üzerinde olası koruyucu etkisini araştırdıkları çalışmada haftada en az bir kez kahverengi pirinç tüketen bireylerde kolon-rektum polip riskinin yaklaşık %40 oranında azaldığını bildirmişlerdir. Bu durum, içeriğindeki lifin kanserojen maddelere ve toksinlere bağlanarak vücuttan atılmasına yardımcı olması ve böylece kolon hücrelerine bağlanmalarını engellemesini sağlamasıyla ilişkilendirilmektedir. Kırmızı pirinçte bulunan proantosiyantinler, iltihaplanma tepkisini düzenler ve bazı kanser türlerine karşı koruma sağlamaktadır. Benzer şekilde, siyah pirinçte bol miktarda bulunan antosiyantinler, epidemiyolojik ve in vivo hayvan ve insan temelli araştırmalara göre anti-kanserojen özelliklere sahiptir (Priya vd., 2019).

Pirinç, farklı mutfaklara uyarlanabilirliği, uygun fiyatı ve besin değerleri nedeniyle dünya nüfusunun yarısından fazlasının, özellikle Asya'nın temel gıdalarından biridir. Enerji için karbonhidrat sağlamanın yanı sıra, esmer (kahverengi) ve filizlenmiş pirinç gibi bazı pirinç çeşitleri lif, vitamin ve antioksidanlar açısından da zengindir (Junyusen vd., 2025). Bunlardan kahverengi pirinç oldukça besleyici olup; düşük kalorili ve yüksek lif içeriği ile iyi bir magnezyum, fosfor, selenyum, tiamin, niasin, B6 vitamini ve mükemmel bir manganez kaynağıdır (Liu vd., 2025). Ancak kahverengi pirinç sağlığa yararlı birçok bileşen içerse de; yüksek lifli kepek tabakası nedeniyle tadı sert olarak algılanmaktadır. Bu da tüketiciler tarafından kabul görmemesine ve tüketiminin ve tanıtımının sınırlandırılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, endüstriyel

Üretimde kahverengi pirincin kabul edilebilirliğini iyileştirmek için, ekstrüzyon, fermentasyon, şişirme, düzleştirme, patlatma vb. yöntemler kullanılmaktadır (Akram, 2018; Liu vd., 2025).



#### 1.4. Pirinç Patlağı (Puffed Rice)

Pirinç patlağı, kahvaltılık gevrekler veya yemeye hazır atıştırmalıklar olarak dünyanın birçok yerinde popüler ürünlerdir. Popülerliğinin temel nedeni kolay hazırlanabilmesi, düşük maliyetli olması ve pirincin düşük kalorili bir ürün olmasından kaynaklanmaktadır. Isıl işlem sırasında nişasta granüllerinin büyük bir kısmı jelatinleşip bir kısmı da yeniden kristalleşerek retrograd yapı oluşturur ve dirençli nişastaya dönüşür. Bu dirençli nişasta ise besinsel açıdan önemlidir ve diyet lifi görevi görür. Kandaki kolesterol seviyesi ve glisemik indeksi düşürmekle birlikte diyabet hastaları için kontrollü bir beslenme sağlamaktadır. Ayrıca prebiyotik olmasıyla da bağırsak sağlığının korunmasına yardımcı olmaktadır. Dirençli nişasta, bağırsak florası için besin substratı oluşturur ve kolorektal hastalıkların önlenmesinde rol oynayan özellikle bütirat olmak üzere kısa zincirli yağ asitleri oluşumunu teşvik ederek kolon kanseri riskini de önlemektedir. Pirinç patlağında zengin yağ kaynağı olan kepek kısmı aynı zamanda doğal antioksidanları da içermektedir. Bu antioksidanlardan  $\gamma$ -orizanol, toplam kolesterolü ve düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterol seviyesini düşürmekte ve koroner kalp rahatsızlıkları riskini azaltmaktadır (Kumar ve Prasad, 2018; Saha ve Roy, 2020).

Pirinç patlağı, kalorisi düşük olması nedeniyle tüketiciler tarafından tercih edilmektedirler. Bunun başlıca üç nedeni vardır: İlk olarak pirinç patlağının kitle yoğunluğu pişmiş pirince göre oldukça düşüktür. Böylece pirinç patlağı tüketen bireylerin pişmiş pirinçle karşılaştırıldığında daha erken doyması beklenmektedir. İkinci olarak pirinç patlağı üretimi sırasındaki işlemler, sindirime dirençli nişastanın oluşumuna yol açmaktadır. Böylece kalori alımı daha da azalmaktadır. Üçüncüsü ise pirinç patlağının hazırlanması esnasında harici yağa gerek yoktur (yağda şişirme yöntemi hariç). Böylece daha düşük kalorinin yanında ekşime, acıma vb. durumlar da engellenmekte ve daha yüksek raf ömrü sağlanmış olmaktadır. Ayrıca yukarıda belirtilen dirençli nişasta, prebiyotik görevi görmekte ve sonuçta gastrointestinal bozuklukların çözülmesinde yardımcı olabilmektedir (Saha ve Roy, 2020).

Pirinç bazlı ürünler, ağırlıklı olarak Kuzeydoğu Asya (Japonya, Kore, Çin) ve Güneydoğu Asya (Hindistan, Filipinler, Endonezya, Tayland vb.) ülkelerinde tüketilmektedir. Pirinç patlağı, uygun fiyatı ve uzun raf ömrü nedeniyle kırsal nüfus arasında popüler bir atıştırmalık seçeneği olan gevrek, pirinç bazlı bir üründür. Pirinç patlağının düşük nem içeriği ( $<7\%$ ) mikrobiyal bozulmayı önler ve daha uzun raf ömrü sağlar; ayrıca, nominal işleme maliyeti ile işleme kolaylığı, ürünü düşük gelirli grupların kırsal nüfusu için yaygın bir seçim haline getirmektedir (Saha vd., 2025).



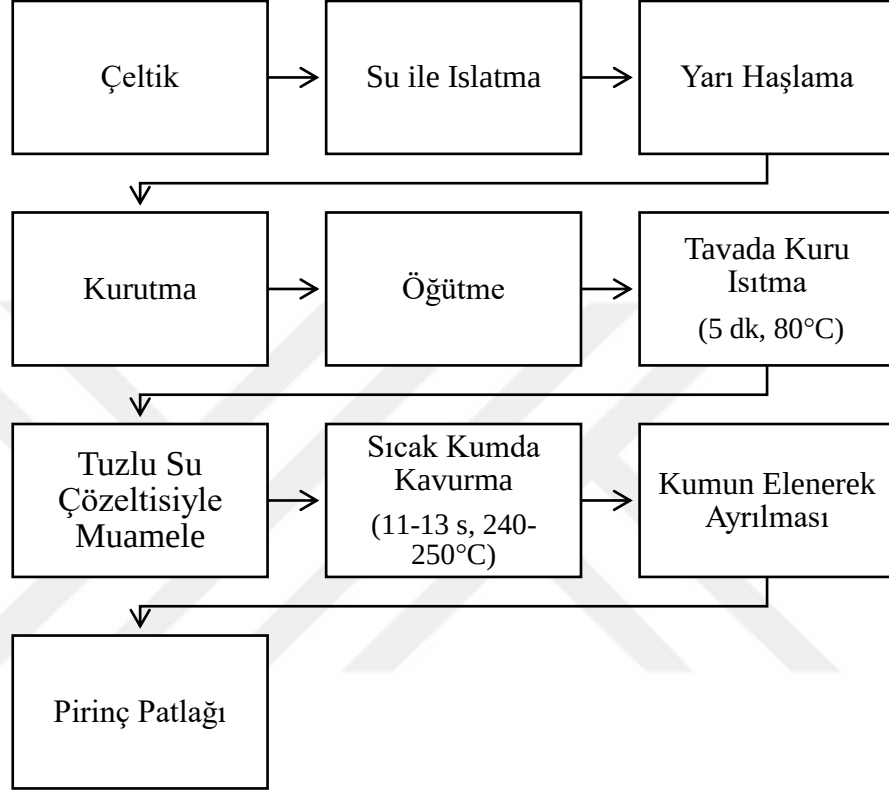
Pirinç patlağı; önceden jelatinleştirilmiş, öğütülmüş, yarı haşlanmış pirincin tam tahıllı ısıtma işlem yöntemleriyle şişirilmiş/genleştirilmiş ürünüdür. Öğütülmüş taneler, Şekil 3'teki yöntemle benzer bir şekilde tuzlu su ile optimum nem içeriğine ayarlanır ve sonrasında kumda kavurma vb. şişirme yöntemlerinden biriyle şişirilmesiyle elde edilmektedir (Kumar ve Prasad, 2013). İç ve dış basınçlar arasındaki fark, pirincin şişmesine ve gözenekli bir yapı oluşmasına neden olmaktadır. Gözenekli yapı, daha iyi nem iletimi ve hoş, çıtır bir doku sağlamaktadır (Sonsomboonsuk vd., 2024). Bu süreç, hacmi artırarak, yoğunluğu azaltarak ve özellikle nişasta yapısında moleküler değişikliklere neden olarak pirincin fiziksel özelliklerini değiştirmektedir. Dolayısıyla pirinç patlağı, bu gevrek tekstürü ve rengi sayesinde Güneydoğu Asya (Hindistan, Filipinler, Endonezya, Tayland, vb.) başta olmak üzere birçok ülkede kahvaltılık olarak tüketilmektedir (Liu vd., 2025; Pal vd., 2019).

Pirinç patlağı, yarı haşlanmış pirinçten üretildiğinden; cilalanmış beyaz pirinçle karşılaştırıldığında pirinç patlağı ekstra besin değerine sahiptir. Çünkü yarı haşlanmış pirincin kepek tabakası ayrılmamaktadır, beyaz pirinçte ise parlatma sırasında kepek tabakası uzaklaştırılmaktadır. Ayrıca pirinç patlağı üretimi sırasında nişastanın bir kısmının dirençli nişastaya dönüşmesi, böylece diyet lif gibi davranış göstermesi sebebiyle pirinç patlağında ham lif oranı daha yüksek olmaktadır. Ayrıca yarı haşlanma işlemi; pirincin niteliksel ve işleme davranışını değiştirmekle beraber şişirme sırasında pirincin morfolojisi ve tekstürünün değişmesine yol açan nişasta granüllerinin formunun değişmesi ile pirinç tanesinde bazı fiziksel, konformasyonel ve yapısal değişikliklere neden olmaktadır (Kumar ve Prasad, 2018; Pal vd., 2019).

Pirinçte şişirme işlemi neticesinde tanelerin hacmi birkaç kata kadar artar ve tamamen ısıtma işlemi görmüş, gevrek, gözenekli, yemeye hazır bir ürün elde edilir. Şişirme işleminde, uygun pirinç çeşidini seçmek ve hidrotermal işlemi uygun şekilde kullanmak gibi iki önemli parametre dikkate alınmalıdır. Yani şişirme işlemi ve kabarma verimi ile ölçülen pirinç patlağının kalitesi; pirincin olgunluğundan ve çeşidinden, uygulanan şişirme yönteminden, pirincin kimyasal ve fiziksel özelliklerinden etkilenmektedir (Kumar vd., 2017). Özellikle amiloz içeriğiyle oldukça ilişkili olan genişleme, maksimum %27 amiloz veya %13 çözünmeyen amiloz ile elde edilmektedir (Parkavi vd., 2020). Pirinç şişirmede yüksek amilopektin içeriği hafif, elastik ve homojen genişleme sağlarken; yüksek amiloz içeriği sert, daha az genişleyen dokular meydana getirmektedir (Maisont ve Narkrugsa, 2009). İstenen çıtır doku, genişleme derecesi ve pirinç patlağının rengi; ön işlemler sırasında nişasta jelatinizasyonunun derecesiyle, tanenin başlangıçtaki nem içeriğiyle, şişirme zamanı ve

sıcaklığıyla, tuzla ön işlem ve diğer bileşen özellikleriyle doğrudan ilişkilidir (Saha ve Roy, 2020). Şişirilmiş pirinçte aroma maddelerinin çoğu ise esas olarak maillard reaksiyonu ve lipid oksidasyonundan kaynaklanmaktadır (Liu vd., 2025).

Pirinç patlağı üretiminde Asya'da geleneksel bir yöntem olan kumda şişirme işlemi basamakları uygulanmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Geleneksel kumda şişirme yöntemi akış diagramı (Chinnaswamy ve Bhattacharya, 1983).

#### 1.4.1. Su ile Islatma (Soaking)

Çeltik tanelerine uygun kaplarda 10-12 saat normal su ile ıslatma yapılır ve sonrasında su boşaltılır. Su boşaltıldıktan sonra dinlendirilir. Islatılmış çeltikteki nem içeriği %31 civarına ulaşmaktadır (Chinnaswamy ve Bhattacharya, 1983).

#### 1.4.2. Yarı haşlama (Parboiling)

Pirincin yarı haşlanması; pirincin kalitesini ve işlenme davranışını değiştiren hidrotermal bir işlemdir (Mir vd., 2014). Optimum kalitede pirinç patlağı üretimi; tuzla işlenmiş ve yarı haşlanmış pirinç olması gerekmektedir. Yarı haşlanmış pirinç hazırlama, çeltiklerin ıslatılması, buharda pişirilmesi ve kurutulması işlemlerini kapsar. Buharda pişirme sırasında pirincin yükselen nem içeriğinin %14 seviyelerine

ayarlanması için kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Yarı haşlama sayesinde pirinç tanesinin nemi artar ve tane yüzeyinde kuru katı bir tabak oluşturur. Oluşan bu dış kabuk pirinç patlağı üretmek için ısıtma işlemi sırasında üretilen buharı tutan minyatür basınçlı bir kap gibi çalışır. Dolayısıyla bu işlemler tane içindeki nişastanın jelatinleşmesine ve retrogradasyonuna yol açan adımlardır. Ayrıca yarı haşlama sayesinde kabukta ve kepek kısmındaki vitamin ve minerallerin endosperme taşınması sağlanmaktadır (Dash ve Das, 2019; Saha ve Roy, 2020). Yarı haşlanmış pirinç, uygun bir şekilde kuru ısıtma, buhar ile veya sıcak su yöntemiyle üretilmektedir (Kumar ve Prasad, 2018).

#### **1.4.3. Kurutma (Drying)**

Yarı haşlanmış pirince, istenen neme ayarlamak amacıyla sıcak hava ya da güneşte vb. yöntemlerle kurutma işlemi uygulanır.

#### **1.4.4. Öğütme (Milling)**

Yarı haşlanmış çeltiğin kurutulduktan sonra kabuk ve kepek kısımlarının çıkarılması için kabuk ayırıcı ve parlaticıdan geçirilmesi işlemidir.

#### **1.4.5. Tuzlama (Salting)**

Öğütülen pirinç uygun tuz çözeltisi püskürtülerek veya içerisine batırılarak belli süre bekletilmektedir. Şişirme işleminden önce tuz çözeltisi ile muamele, genişleme oranını önemli oranda artırdığından elzem bir basamaktır (Chinnaswamy ve Bhattacharya, 1983).

#### **1.4.6. Şişirme (Puffing) İşlemi ve Çeşitleri**

Pirinç gibi tahıllar ısıtıldığında tahılın içindeki suyun buhar basıncı artar ve belirli sıcaklık ve süre sonunda buhar basıncının yüksek bir seviyeye ulaşmasıyla tanenin genişlemesine şişirme (puffing) adı verilmektedir (Dash ve Das, 2019).

Şişirme işlemleri genelde iki gruba ayrılmaktadır:

- 1) Suyun hızlı buharlaşması için ani ısı uygulanmasına dayanan atmosferik basınç işlemleri,
- 2) Aşırı ısınmış parçacıkların daha düşük basınçtaki bir boşluğa aniden aktarılmasından oluşan basınç düşüşü işlemleri.

Kumda, tuzda, yağda, fırında şişirme yöntemleri atmosferik basınç işlemlerine; basınçlı şişirme vb. yöntemler ise basınç düşürme işlemlerine örnek gösterilebilir.

Şişirme işlemi sonrası elde edilen pirinç patlağının oda sıcaklığına soğutulması gerekmektedir (Saha ve Roy, 2020).

#### **1.4.6.1. Sıcak Kum Yatağında Şişirme (Hot-Sand-Bed Puffing)**

Geleneksel şişirme yöntemidir. 210-240 °C sıcaklıktaki kumda şişirme işleminde kullanılmaktadır. Tuzla işlenmiş, önceden jelatinize edilen (yarı haşlanmış) pirincin sıcak kumla karıştırılmasıyla şişirilmektedir. Son yıllarda bu geleneksel yöntem yerine mikrodalga gücü (850-1000 W) kullanılarak pirinç şişirme işlemi yaygınlaşmıştır (Saha ve Roy, 2020).

#### **1.4.6.2. Yağda Şişirme (Oil Puffing)**

Pirinç şişirmede kullanılan ilk yöntemlerdendir. Pirinç patlağı üretimi 210-220 °C'ye ısıtılmış hindistan cevizi yağında pirincin 4-8 saniye şişirilmesiyle gerçekleştirilmekteydi. İşlem bol yağda yapılmaktaydı. Başta ürünlerdeki fazla yağ süzülerek ve kağıt havluyla uzaklaştırılıyorken, sonraki çalışmalarda bunun endüstriyel açıdan mümkün olmadığı görülmüştür. Ayrıca yağ oksitlenmesi, koku oluşumuna neden olarak üründe kalite kaybına sebep olmuş ve fazla yağ ile muamele ürünün kalorisini artırarak tüketici tarafından kabul edilebilirliği azaltmıştır (Saha ve Roy, 2020).

#### **1.4.6.3. Mikrodalga Şişirme (Microwave Puffing)**

Mikrodalga enerjisi gıda işlemede pişirme, tavlama, kurutma, ısıtma, fırınlama, haşlama, patlatma, şişirme gibi birçok işlemde kullanılmaktadır. Tanelerdeki nem miktarını %14 civarı bir değere ayarlamak için, üzerine su püskürtülmekte ve oda sıcaklığında dengeye gelene kadar bekletilmektedir (Maisont ve Narkrugsa, 2009; Mishra vd., 2014). Böylece taneye verilen mikrodalga radyasyonu ile verilen titreşim enerjisi pirinçteki nemin ısınmasını sağlayarak buhara dönüştürmektedir. Bu buhar da yüksek basınç oluşturarak tanenin hacminin genişlemesini dolayısıyla şişmesini sağlamaktadır (Saha ve Roy, 2020).

#### **1.4.6.4. Kızılötesi (IR) Radyasyon ile Şişirme (Infrared Puffing)**

Geleneksel ısıtmaya kıyasla enerji açısından oldukça verimlidir ve çevre dostudur. Pirincin nem içeriği %14'e ayarlandıktan sonra uygun kaplarda uygun IR ışıını verilerek işlem gerçekleştirilmektedir. IR verimliliği, ısıtma homojenliği, yüksek ısı transferi, düşük toplam enerji tüketimi ve kısa işlem süresi ile belirlenirken; bu yöntem yüksek gıda güvenliği ve geliştirilmiş ürün kalitesi sunmaktadır (Shavandi vd., 2023).

#### **1.4.6.5. Basınçlı Şişirme (Gun Puffing)**

Tane, 200-210°C'ye ısıtılmış basınçlı kap içerisinde yüksek basınca maruz bırakılarak basıncın ani olarak düşürülmesiyle şişirme işlemi 3-7 dakikalık bir zamanda gerçekleşmektedir. Bu proses; tanede bulunan suyun basınç farkı sayesinde taneden uzaklaşması (yüksek basınçtan düşük basınca geçiş aşamasında suyun buharlaşması) temeline dayanmaktadır. Yöntem oldukça uygulanabilir olmasına rağmen, sürekliliği sınırlıdır. Ancak, bu yöntemle elde edilen hacim artışı, yağda şişirme yöntemine göre çok daha yüksektir (Turan, 2013; Saha ve Roy, 2020).

#### **1.4.6.6. Akışkan Yatak Şişirme (Fluidized Bed Puffing)**

Yöntemde ürün yüzey alanı eşit şekilde ısıya maruz kaldığından yüksek sıcaklıkta kısa süreli şişirme gerçekleşmektedir. 240-270°C'de 7-9.7 saniye şişirme koşullarında; yüksek genişleme oranı ve iyi bir renk elde edildiği için optimum değer olarak belirlenmiştir. Sürekli bir prosestir, ancak makine maliyeti yüksekliği ürün maliyetini de artırmaktadır (Mishra vd., 2014; Saha ve Roy, 2020).

#### **1.4.6.7. Tuzda Şişirme**

Yöntem, demir tavada  $215 \pm 5$  °C'ye ısıtılmış tuzda, ön işlem görmüş pirincin 15 saniyede şişirme işlemi şeklinde gerçekleşmektedir. Sıcaklığın homojen dağılımını sağlamak adına kızılötesi bir termometre kullanılarak tuzun sıcaklığı sürekli olarak ölçülmekte olup, süre sonunda tuz elenip ürün soğumaya bırakılmaktadır (Sonsomboonsuk vd., 2024).

### **1.5. Çalışmanın Amacı**

Hindistan başta olmak üzere birçok Asya ülkesinde yerel pirinç çeşitlerinden pirinç patlağı üretimi, pirinç patlağı üretimine uygunluğu ve bu pirinç patlaklarının fizikokimyasal, duyuşsal, tekstürel özellikleri, besin değerleri vb. birçok kalite parametreleri üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. Ancak ülkemizde pirinç tüketimi gün geçtikçe arttığı halde bu konu çerçevesinde yeteri kadar araştırma bulunmadığı tespit edilmiştir. Türkiye'de yetişen birçok pirinç çeşidi bulunmaktadır. Bu çeşitlerin beslenme açısından sağlıklı bir atıştırmalık olan pirinç patlağı üretimine uygunluğunun araştırılması ve pirinç patlağı üretimi sırasında pirinçte meydana gelen değişikliklerin kaydedilmesi elzem bir konudur. Dolayısıyla bu çalışma ile ülkemizde yetişen bazı çeltik çeşitlerinin pirinç patlağı üretimine uygunluğunu araştırarak elde edilen pirinç

patlaklarında fiziksel, kimyasal özellikleri ve besin değerlerini inceleyip hem literatüre hem de gıda endüstrisine katkı sağlamak amaçlanmaktadır.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Chinnaswamy ve Bhattacharya (1983) yaptıkları çalışmada genişletilmiş pirinç üretiminde yarı haşlama (parboiling), öğütme derecesi, nem içeriği ve şişirme koşullarının genişleme üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Genleşme oranı değerleri 2.3-7.6 aralığında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek genişleme, öğütülmüş yarı haşlanmış pirincin %10.5–11 nem içeriğinde, ince kum ile 250 °C’de 10–11 saniyelik şişirme işlemi uygulanmasıyla elde edilmiştir. Çiğ ve hafif yarı haşlanmış pirinç çeşitlerinin genişleme değerleri düşük bulunmuştur. Araştırmada, yarı haşlamanın yöntemi genişlemeyi önemli ölçüde etkilemiş; dry-heat parboiling (kuru ısı ile yarı haşlama) yöntemiyle elde edilen taneler, steam-parboiled (buharla yarı haşlama) tanelere kıyasla daha yüksek genişleme göstermiştir. Bu farkın, kuru ısıyla yarı haşlamada nişasta retrogradasyonunun daha düşük olmasıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir. Genişlemenin yalnızca jelatinizasyon derecesine değil, aynı zamanda retrogradasyon miktarına da bağlı olduğu vurgulanmıştır. Öğütme derecesinin en az %6 olması, kepek tabakasının ısı transferini engelleyen etkisini ortadan kaldırarak genişlemeyi artırmıştır. Çatlak ve kırık taneler, iç basıncın şişirme sırasında kaçmasına neden olduğundan genleşmeyi azaltmıştır. Kum tanesinin çok iri olması ise yetersiz ısı iletimi nedeniyle genişlemeyi düşürmüştür. Tuz ilavesi tüm örneklerde genişlemeyi artırmıştır. NaCl’nin yanı sıra KCl ve CaCl<sub>2</sub> gibi diğer tuzlar da benzer şekilde olumlu etki göstermiştir. Steam-parboiled pirinçlere şişirme öncesi tuz eklendiğinde, elde edilen patlaklarda düzensiz kabarcıklı bir yüzey oluşurken, dry-heat parboiled (kuru ısıtma ile yarı haşlama) pirinçlerde yüzeyin daha pürüzsüz kaldığı rapor edilmiştir. Hasat sonrası çeltiğin depolama süresinin genişlemeyi başlangıçta hafifçe artırdığı, ancak uzun süreli depolamada azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca zayıf genişleme gösteren çeşitlerde dahi optimum nem içeriğinin (%10.5) ve optimum şişirme sıcaklığının (250 °C) çeşitler arasında değişmeden sabit kaldığı görülmüştür.

Maisont ve Narkrugsa (2009), Tayland’ın kuzey ve kuzeydoğu bölgelerinde yetiştirilen mumlu ve mumsuz olmak üzere on çeltik çeşidinde bazı fizikokimyasal özelliklerin mikrodalga ile üretilen pirinç patlağı kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada 2450 MHz frekans ve 800 W güçte mikrodalga kullanılarak şişme verimi, genleşme hacmi, genleşme oranı ve kitle yoğunluğu değerlendirilmiştir. Kimyasal analizlerde nem içeriğinin %10.52–12.26, protein içeriğinin ise %6.32–8.34

arasında değiştiği bildirilmiştir. Protein içeriği çeşitler arasında farklılık göstermesine rağmen bu fark %2'nin altında olduğundan şişirme/patlatma kalitesini anlamlı biçimde etkilemediği belirtilmiştir. Buna karşın amiloz içeriği %5.58–21.24 aralığında geniş bir dağılım göstermiş ve tüm şişirme kalite parametreleriyle güçlü negatif korelasyonlar sergilemiştir. Bu nedenle düşük amiloz içeriğine sahip çeşitlerin daha yüksek şişme verimi, daha fazla genleşme ve daha düşük kitle yoğunluğu ile karakterize edildiği ifade edilmiştir. şişme/patlama sonuçlarına göre çeşitler arasında şişme verimi %29.79–57.38, genleşme hacmi 5.16–10.39 mL/g, genleşme oranı 2.72–5.97 mL/mL ve kitle yoğunluğu 0.21–0.33 g/mL aralıklarında değişmiştir. Ayrıca çalışmada, düşük amiloz içermesine rağmen bazı çeşitlerin beklenenden düşük şişme performansı sergilediği de belirlenmiştir. Bu durumun, amiloz içeriğinden değil, bu çeşitlerin spesifik fiziksel özelliklerinden (kabuk yapısı, ventral tabaka kalınlığı gibi) kaynaklandığı ifade edilmiştir. Dolayısıyla bu özellikler bazı çeşitlerde buhar basıncının uygun şekilde oluşmasını engelleyerek şişmeyi olumsuz etkilemiştir. Bu nedenle amiloz içeriği şişirme kalitesini açıklayan temel faktör olsa da bazı fiziksel yapı özellikleri bu genel eğilimi istisnai durumlarda değiştirebilmektedir. Kabarma başlangıç zamanının şişme verimiyle negatif ilişkili olduğu; yüksek şişme verimi sağlayan çeşitlerin daha erken kabarmaya başladığı ve kabarma süresinin daha uzun devam ettiği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda mikrodalga ısıtma ile şişirmeye uygun eltik eşitleri; düşük amiloz içeriği (%5.58–7.46), ince ventral bölge yapısı ve erken kabarma başlangıç zamanına sahip olanlar olarak tanımlanmiştir.

Jahangir vd. (2009), patlak pirinç üretiminde verimin %45–90 aralığında olduğunu bildirmiştir. Elde edilen patlak pirinç unu viskozitesi 200 cps ve protein içeriği 88.8 g/kg olarak belirlenmiştir.

Paraman vd. (2012) Amerika'da yaptıkları çalışmada, süperkritik sıvı ekstrüzyonu (SCFX) teknolojisinin protein, diyet lifi ve mikro besinlerle zenginleştirilmiş pirinç bazlı genişletilmiş ürünlerin üretimindeki etkinliğini incelemişlerdir. Çalışmada SCFX prosesinin; besin öğesi tutulumu, amino asit stabilitesi, fiziksel kalite özellikleri ve ticari ürünlerle karşılaştırıldığında ortaya çıkan farkları değerlendirilmiştir. Zenginleştirme formülasyonunda kullanılan soya protein konsantresi, ürünün toplam protein miktarını %6.1'den %21.5'e yükseltmiş ve pirinç ile tamamlayıcı bir amino asit profili oluşturarak amino asit skorunun 1.0 seviyesine ulaşmasını sağlamıştır. Fiziksel kalite özellikleri incelendiğinde SCFX ürünü, kontrol formülasyona kıyasla daha düşük genişleme oranı (3.4) göstermiştir. rn neminin düşük olması (%5–8), ısııl bozulmaların minimumda tutulmasına katkı sağlamıştır. Bu bulgular, SC-CO<sub>2</sub> ile



desteklenmiş ekstrüzyonun düşük sıcaklık ve düşük kesme kuvveti avantajları sayesinde besinsel kayıpları azaltarak yüksek protein, yüksek lif ve mikro besinlerce zengin genişletilmiş tahıl ürünlerinin üretiminde etkili bir alternatif teknoloji sunduğunu ortaya koymaktadır.

Swarnakar vd. (2014), öğütme yapılmamış, tamamen kabuklu çeltik (paddy) üzerinde mikrodalga ile patlatma (popping) özelliklerini incelemiştir. IR-36 çeşidi çeltik dört farklı nem seviyesine (%12.95–15.93), üç mikrodalga gücüne (600, 850, 1000 W) ve beş ısıtma süresine (40–120 s) ayarlanarak patlatılmış; patlatma yüzdesi ve genleşme oranı değerlendirilmiştir. En yüksek patlatma yüzdesi (%63.47) %14.15 nem, 1000 W, 80 s koşulunda elde edilmiştir. En yüksek genleşme oranı (4.42) ise %14.94 nem, 850 W, 80 s kombinasyonunda gerçekleşmiştir. Optimum koşullar 1000 W, 80 s ve %15 nem olarak belirlenmiş ve bu durumda patlatma yüzdesi %58.73, genleşme oranı 3.58 bulunmuştur. Bu çalışma, çeltik kabuğu soyulmadan, yani kahverengi pirince veya beyaz pirince dönüştürülmeden patlatma yapıldığı için; mikrodalga patlatma davranışının ham çeltik yapısı, kabuk bütünlüğü ve tane içi nem basıncı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

Wattanapreechanont ve Songsermpong (2014) mikrodalga gücü, kızılötesi (IR) sıcaklık ve kabarma süresinin pirinç patlağı krakerlerinin nem içeriği, genleşme oranı ve renk özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada krakerler 400, 600 ve 800 W mikrodalga güçlerinde; 180, 200 ve 220 °C IR sıcaklıklarında ve 40, 60, 80 saniyelik sürelerde şişirilmiştir. Pirinç patlağı krakerlerini değerlendirerek nem değerlerini %0.27–8.51, genleşme oranlarını 1.06–4.90 ve L\* değerlerini 26.52–89.91 aralığında bulmuşlardır. Sonuçlara göre IR sıcaklığı ve kabarma süresinin artması, nem içeriğini azaltırken genleşme oranını ve a\*, b\* değerlerini artırmıştır. Bu durum daha koyu renkli ürün oluşumuyla ilişkilendirilmiş ve IR sıcaklığının yükselmesinin yüzey sıcaklığını artırarak renk gelişimini hızlandırdığı belirtilmiştir. Mikrodalga gücü nem, genleşme ve renk parametreleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmamıştır. Buna karşılık IR sıcaklığı ve süre etkileşimleri tüm kalite parametrelerinde önemli bulunmuştur. Çalışma genel olarak kızılötesi radyasyonun pirinç patlağı krakerlerinin şişirilmesi için tek başına yeterli bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Joshi vd. (2014), orta–yüksek amilozlu (%21.7–28.5, yarı haşlanmış örneklerde %12.6–21.6) on iki İndica pirinci çeşidini kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler açısından değerlendirmiş; tane boyutlarının 5.34–6.67 mm, 1.76–2.24 mm ve 1.46–1.80 mm aralığında değiştiğini, L:W (uzunluk/genişlik) oranının ise 2.56–3.31 arasında olduğunu belirlemiştir. Gerçek yoğunluk değerleri 1373–1743 kg/m<sup>3</sup>, kitle yoğunluğu

730–813 kg/m<sup>3</sup> ve bin tane ağırlıkları 11.5–21 g aralığında bulunmuştur. Protein içeriği çeşitler arasında %4.48–7.75 arasında değişmiş; düşük protein içeriğine sahip örneklerde nişasta oranının göreceli olarak daha yüksek olması nedeniyle protein içeriği ile amiloz içeriği, uzunluk/genişleme oranı (LER = 1.19–1.98) ve hacim genişleme oranı (VER = 1.74–4.14) arasında negatif bir ilişki tespit edilmiştir. Yarı haşlama işleminde amiloz değerlerinin düşmesi (%21.7–28.5’ten %12.6–21.6’ya) yarı haşlama sırasında amiloz sızıntısına bağlanmıştır. İncelik oranı (L:W), uzunluk genişlemesiyle negatif ve protein içeriğiyle pozitif ilişkili bulunmuştur. En yüksek hacim genişleme oranı 4.14 olup amiloz içeriği ile VER arasında güçlü pozitif korelasyon belirlenmiştir. Bunun, yüksek amilozlu örneklerde endosperm yapısının daha fazla basınç birikimine izin vererek şişme kapasitesini artırmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Kabuk içeriği ile şişme hacmi arasında ise anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Genel sonuçlar değerlendirildiğinde, düşük proteinli, orta-yüksek amilozlu, yüksek gerçek yoğunluklu ve iri taneli pirinçlerin endüstriyel pirinç patlağı üretimi için daha uygun olduğu bildirilmiştir.

Mir vd. (2016), yaptıkları çalışmada şişirme (puffing) işleminin kahverengi pirincin fiziksel özellikleri ve antioksidan kapasitesi üzerindeki etkilerini incelemiş; ham, yarı haşlanmış ve şişirilmiş pirinç örneklerini karşılaştırmıştır. Bulgulara göre uzunluk/genişlik oranı ham pirinçte 2.34–2.51 aralığında iken yarı haşlama sonrasında hafif bir düşüş göstermiş; şişirme işlemi sonrasında ise genişleme nedeniyle 1.95–2.16 değerlerine kadar azalmıştır. Kitle yoğunluğu ham örneklerde 796–804 kg/m<sup>3</sup> seviyelerinde iken yarı haşlama aşamasında ~711–739 kg/m<sup>3</sup>’e düşmüş; şişirilmiş pirinçte ise 141–168 kg/m<sup>3</sup> aralığına inerek en düşük seviyeye ulaşmıştır. Renk özellikleri de işlem aşamalarına bağlı olarak önemli değişimler göstermiştir. L\* değeri şişirme aşamasında 71–75, a\* değeri 2.78–3.51 ve b\* değerleri 22.72–23.10 arasında değişmekte olduğunu bildirmişlerdir. Antioksidan özelliklerde, toplam fenolik madde içeriği şişirilmiş pirinçte ise 0.34–0.46 mg GAE/g olarak belirlenmiştir. Toplam flavonoid içeriği, şişirilmiş örneklerde 21.06–25.52 µg CE/g olarak ölçülmüştür. İndirgeme gücü şişirilmiş pirinçte 4.82–6.17 µmol AAE/g seviyelerindedir. DPPH radikal giderme aktivitesi şişirilmiş pirinçte ise %40.63–43.29 aralığında bulunmuştur. Sonuç olarak çalışma, şişirme işleminin kahverengi pirincin fiziksel ve antioksidan özelliklerinde önemli değişiklikler meydana getirdiğini göstermektedir.

Bagchi vd. (2016) çalışmasında ham pirinç (RR) ile patlatılmış pirincin (PR) fizikokimyasal, fonksiyonel ve besinsel özellikleri kapsamlı biçimde karşılaştırılmıştır. Ham pirinçte tane uzunluğu 6.75–7.99 mm, genişliği 1.53–2.19 mm, L/B oranı 3.06–

4.36, 100-tane ağırlığı 1.56–2.49 g ve kitle yoğunluğu 0.69–0.81 g/mL aralığında ölçülmüştür. Patlatılmış pirinçte nem oranı %11.94–12.60, tane uzunluğu 10.80–13.03 mm, genişlik 6.00–7.33 mm, L/B oranı 1.63–2.15, 100-tane ağırlığı 1.48–2.45 g, kitle yoğunluğu ise 0.09–0.24 g/mL olarak belirlenmiştir. Patlatma verimi %97.50–99.53, hacim genleşme oranı (VER) 8.97–23.34, uzama oranı (ER) 1.43–1.88 aralığında gerçekleşmiştir. Besinsel bileşiklerde patlatılmış ürünler için amiloz içeriği %3.99–23.94, protein içeriği %7.06–10.63, toplam antioksidan kapasite ise 838.90–3147.31 ppm AAE/g olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular genel olarak patlatma işleminin tanelerde belirgin bir hacim artışı, porozite yükselmesi ve besinsel bileşiklerde çeşitliliğe bağlı değişimler oluşturduğunu göstermektedir.

Kumar vd. (2016), yassı pirinç ve pirinç patlağı ürünlerinde kaplama uygulamalarını incelemiş ve bu kapsamda kontrol pirinç patlağı örneklerinin fiziksel, kimyasal ve duyuşal özelliklerini rapor etmiştir. Kontrol pirinç patlağının boyutları 13.53 mm uzunluk, 4.21 mm genişlik ve 4.25 mm kalınlık; bin tane ağırlığı ise 21.30 g olarak belirlenmiştir. Kimyasal bileşim açısından nem içeriği %7.61, yağ %1.02, protein 6.03 g/100 g, kül %1.52 ve ham lif %1.23 olarak ölçülmüş; karbonhidrat oranı %82.59 olarak hesaplanmıştır. Duyusal değerlendirmede ise renk 7.78, doku 8.28, tat 7.71 ve genel kabul edilebilirlik 7.53 puan olarak rapor edilmiştir.

Mir vd. (2016) çalışmasında, şişirme işlemi sonrasında kahverengi pirinç tanelerinin fiziksel özelliklerinde belirgin değişimler tespit edilmiştir. Patlatma işlemiyle tane boyutsal oranı (L/B) 2.43'ten 1.87'ye düşmüş; renk parametreleri ise  $L^*$  67.78,  $a^*$  7.13 ve  $b^*$  23.27 olarak ölçülmüştür. Kitle yoğunluğunun 584.60 kg/m<sup>3</sup>'ten 137.85 kg/m<sup>3</sup>'e gerilemesi, tanelerin daha gözenekli bir yapı kazandığını göstermektedir. Çalışmada kahverengi pirincin patlatılması sonucu genleşme oranının 5.24–6.85 aralığında değiştiği; optimum işlem koşullarında ise 6.85 genleşme oranına ulaşıldığı bildirilmiştir.

Khan vd. (2017), geleneksel yöntemle üretilmiş pirinç patlaklarının besinsel özelliklerini incelemiştir. Çalışmada değerlendirilen örneklerde nem içeriği %1.15–1.37, toplam karbonhidrat miktarı 75.50–78.57 g/100 g, protein içeriği 6.33–6.58 g/100 g, yağ içeriği 0.92–0.95 g/100 g aralığında bulunmuştur. Kül miktarı örnekler arasında belirgin farklılık göstermiş ve %0.23–0.73 arasında değişmiştir. Diyet lif miktarları ise 0.88–0.92 g/100 g aralığında olup çeşitler arasında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. Genel olarak çalışma, pirinç patlaklarında düşük nem ve yağ içeriğinin ürünün gevrekliğini ve düşük kalorili yapısını desteklediğini; karbonhidrat, protein ve kül düzeylerinin ise çeşitlere bağlı olarak değişkenlik gösterebildiğini ortaya koymuştur.

Kumar vd. (2017), Hindistan’da yürüttükleri çalışmada üç farklı çeltik çeşidinin fiziksel özelliklerini ve bu çeşitlerden üretilen pirinç patlaklarının şişme davranışlarını incelemiştir. Çeltiklerde ölçülen fiziksel parametreler geniş bir aralık göstermiştir: tane uzunluğu 8.86–9.51 mm, genişlik 2.42–3.32 mm, kalınlık 1.97–2.24 mm, geometrik ortalama çap 3.56–4.03 mm, yüzey alanı 39.93–51.15 mm<sup>2</sup> ve küresellik %37.60–45.57 arasında değişmiştir. Kitle yoğunluğu 0.585–0.745 g/mL, gerçek yoğunluk ise 1.075–1.150 g/mL aralığında ölçülmüş; duruş açısı değerleri 29.56–33.54° arasında kaydedilmiştir. Bu farklılıklar, çeşitlerin tane morfolojisi ve temel fiziksel özellikleri bakımından önemli ölçüde değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Üretilen pirinç patlaklarında üç farklı sıcaklıkta (270, 290 ve 310 °C) uzunluk genleşme oranı (LER), genişlik genleşme oranı (BER) ve hacim genleşme oranı (VER) hesaplanmıştır. LER değerleri 1.255–1.798, BER değerleri 1.83–2.258, VER değerleri ise 3.39–7.629 aralığında bulunmuştur. En yüksek genleşme performansı 310 °C’de elde edilmiş; hacimsel genleşme (VER) bu sıcaklıkta 7.629 ile en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Genel eğilim olarak sıcaklık arttıkça şişme veriminde belirgin artış gözlenmiştir. Duyusal değerlendirme sonuçları görünüş, renk, tat, doku ve genel kabul edilebilirlik açısından 5.42–8.58 arasında değişmiş; daha yüksek genleşme değerlerine sahip örneklerin duyusal kabul edilebilirliklerinde de artış olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, fiziksel özellikler, genleşme oranları ve duyusal kalite birlikte değerlendirildiğinde, bazı çeşitlerin pirinç patlağı üretimine daha uygun özellikler sergilediği ifade edilmiştir.

Kumar ve Prasad (2018), orta amiloz içerikli (%20,52) bir Indica pirincinde yarı haşlama ve şişirme işlemlerinin fiziksel, kimyasal, fonksiyonel, pasting, optik, tekstürel ve yapısal özellikler üzerindeki etkilerini detaylı biçimde incelemiştir. Yarı haşlama sırasında kabuk ve kepek yapısının uzaklaşmasıyla tane boyutlarında azalma görülmüş; şişirme aşamasında ise 270–280 °C’de kısa süreli ısıtma işlemiyle uzunluk, genişlik ve kalınlık değerleri iki kattan fazla artmış, geometrik ortalama çap 3.02 mm’den 6.68 mm’ye, yüzey alanı ise 28.61 mm<sup>2</sup>’den 140.31 mm<sup>2</sup>’ye yükselerek yaklaşık beş kat artmıştır. Bu süreçte kitle yoğunluğu 781.65 kg/m<sup>3</sup>’ten 82.46 kg/m<sup>3</sup>’e, gerçek yoğunluk ise 1362.61 kg/m<sup>3</sup>’ten 120.28 kg/m<sup>3</sup>’e düşmüş, taneler son derece gözenekli ve hafif bir yapı kazanmıştır. Pirinç patlaklarında nem içeriği %7.12, karbonhidrat miktarı %82.38, dirençli nişasta %1.12 olarak belirlenmiş. Optik özelliklerde en yüksek L\* değeri (79.33) şişirilmiş üründe ölçülmüş; renk değişimleri jelatinizasyon ve yüzey genişlemesiyle ilişkilendirilmiştir. Bu kapsamlı bulgular, yarı haşlama ve özellikle şişirme işleminin pirincin morfolojik ve fonksiyonel özelliklerini

köklü biçimde dönüştürerek ürünün hacmini artırdığını, yoğunluğunu belirgin ölçüde düşürdüğünü göstermektedir.

Huang vd. (2018) şişirme işleminden sonra üç pirinç türünden (beyaz pirinç, siyah pirinç ve glutinous pirinç) elde edilen pirinç patlaklarında nem içeriğini %7.07–8.95, yağ içeriğini %0.83–1.65, protein miktarını %6.82–8.05 ve nişasta içeriğini %38.21–56.84 aralığında belirlemişlerdir. Çalışmada ayrıca, şişirme işleminin pirinçteki nişasta yapısını ileri düzeyde bozarak sindirilebilirliği artırdığını bildirmişlerdir.

Swarnakar vd. (2019) tarafından yapılan bu çalışmada, basınç altında yarı haşlanmış çeltiğin (IR 1010 çeşidi) öğütülmesiyle elde edilen kahverengi pirinç üzerinde ön koşullandırma (preconditioning) sıcaklığı (60–90 °C) ve tuz içeriğinin (%0–6), mikrodalga patlatma ve sıcak kum yatağında patlatma kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yarı haşlanmış çeltik önce kabuğu soyularak öğütülmemiş (unpolished) / kahverengi pirinç formuna dönüştürülmüş, ardından farklı tuz konsantrasyonlarıyla nemlendirilip akışkan yataklı kurutucuda istenen patlatma nemine (~%11.5) getirilmiştir. Ön koşullandırılmış kahverengi pirinç numuneleri daha sonra mikrodalgada (1000 W, 35 sn) ve 210–240 °C sıcak kum yatağında patlatılmıştır. Araştırmada patlama yüzdesi, genleşme oranı, beyazlık indeksi, yığın yoğunluğu, sertlik ve duyusal kabul edilebilirlik değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre tuz içeriği ve ön koşullandırma sıcaklığı patlatma kalitesini belirgin şekilde etkilemiş; her iki yöntem için en yüksek kalite yaklaşık 75–77°C ön koşullandırma sıcaklıklarında ve %3–4 tuz seviyelerinde elde edilmiştir. Sıcak kum yataklı patlatmada genleşme daha yüksek, mikrodalgada ise beyazlık ve duyusal skorlar daha iyi bulunmuştur. Optimizasyon sonucunda mikrodalga için optimum koşullar 76.74 °C–%3.74 tuz, sıcak kum yöntemi için 76.16°C–%2.76 tuz olarak belirlenmiştir.

Pal vd. (2019), siyah pirinç ve beyaz pirinçten üretilen haşlanmış pirinç, patlak pirinç (popped), pirinç patlağı (puffed), dövülmüş pirinç ve ham pirinç ürünlerinin kalite özelliklerini kapsamlı şekilde incelemiştir. Fiziksel özelliklerde patlak pirinçte tane uzunluğu 8.42–10.83 mm aralığında ölçülmüş olup en yüksek uzama oranı 2.01 olarak belirlenmiştir; pirinç patlağında (puffed) ise uzunluk 6.24–8.23 mm, genişleme oranı 3.12–4.22 arasında gerçekleşmiştir. Renk değerlerinde patlak pirinç daha yüksek parlaklık (L\*) göstermiş (53.24–61.42), pirinç patlağında ise kırmızılık (a\*) ve sarılık (b\*) daha belirgin olup a\* değeri 3.52–6.61, b\* değeri 16.83–24.44 aralığında bulunmuştur. Antioksidan kapasitede patlak pirinçte DPPH inhibisyonu %61.44–88.74 aralığında yüksek seviyelerde ölçülmüş, pirinç patlağında ise bu değer %41.26–50.14 arasında kalmıştır. Antosiyanin içeriği ham pirinçte 3.02–4.30 mg/100 g düzeylerine

ulaşırken, şişirilmiş üründe 0.44–1.91 mg/100 g seviyelerine düşmüştür. Yıgın yoğunluğu patlak üründe 0.07–0.11 g/mL, pirinç patlağında ise 0.26–0.44 g/mL aralığında ölçülmüştür. Çalışmada ayrıca L\* ve b\* değerlerinin antioksidan kapasiteyle pozitif ilişkili olduğu, siyah pirinç ürünlerinin antioksidan içeriğinin beyaz pirince göre belirgin şekilde yüksek olduğu rapor edilmiştir.

Dash ve Das (2019), akışkan yataklı kurutucuda uygulanan ön işlemlerin mikrodalga ile şişirme performansı üzerindeki etkilerini araştırmış ve süreç değişkenleri olarak tuz konsantrasyonu (%3–5), hava sıcaklığı (53–87 °C) ve hava hızı (2.1–3.5 m/s) kullanmıştır. Ön işlem gören taneler daha sonra 850 W güçte 35 saniye mikrodalga ile şişirilmiştir. Çalışmada genleşme oranının (ER) 5.16–7.51, şişirme veriminin (PP) ise %84.32–93.12 aralığında değiştiği bildirilmiş; tuz ve sıcaklığın ER ve PP üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğu, hava hızının ise sınırlı etkide bulunduğu belirlenmiştir. Süreç optimizasyonunda Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) ve Yapay Sinir Ağı–Genetik Algoritma (ANN–GA) modelleri karşılaştırılmış; ANN–GA modelinin daha düşük hata oranlarıyla daha yüksek tahmin doğruluğu sağladığı belirtilmiştir. Optimum koşullar %4 tuz, 70 °C hava sıcaklığı ve 2.9 m/s hava hızı şeklinde bildirilmiştir. SEM analizleri ön işlem sırasında nişasta granüllerinin kompakt yapısının bozulduğunu, gözenekli ve birbirine kenetlenmiş bir morfoloji oluştuğunu, bu yapısal dönüşümün de mikrodalga şişirme sırasında daha düzgün yüzeyli ve yüksek genleşme gösteren pirinç patlağı üretimini desteklediğini göstermiştir.

Galal vd. (2019) yaptıkları çalışmada dört farklı pirinç çeşidinin tuzlu ve tatlı pirinç patlağı üretimine uygunluğunu belirlemek amacıyla fiziksel, kimyasal, pişirme ve şişirme özelliklerini kapsamlı biçimde değerlendirmiştir. Çeşitlerin fiziksel özellikleri incelendiğinde tane uzunluklarının 4.67–7.80 mm, genişliklerinin 1.83–2.67 mm, yüz tane ağırlığının 1.71–2.31 g, kitle yoğunluğunun ise 0.85–0.90 g/cm<sup>3</sup> aralığında değiştiği bildirilmiştir. Kimyasal bileşimde protein içeriği %6.72–8.23, yağ içeriği %0.66–1.24, kül %0.56–1.27, ham lif %0.65–1.35, toplam karbonhidrat %76.89–78.33 ve amiloz içeriği %18.65–32.47 aralığında bulunmuştur. Şişirme sonuçlarına göre şişirme verimi %85.20–96.72, hacim genişlemesi 1.49–2.18 ml/g, genişleme oranı 1.50–2.50 ve kitle yoğunluğu 0.81–1.20 g/ml arasında değişmiş; bazı çeşitlerde şişirme veriminin %96'nın üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Protein içeriği daha yüksek olan pirinçlerin (%7.5 civarı) patlak ürünlerinde de benzer şekilde daha yüksek toplam kalori değerleri elde edilmiştir. Duyusal analiz sonuçları tuzlu pirinç patlağı örneklerinde çıtırılık skorlarının 3.85–4.30, tat değerlerinin 4.06–4.50, aroma skorlarının 4.40–4.55 ve genel kabulün 4.15–4.38 aralığında olduğunu göstermiştir. Tatlı ürünlerde ise tüm

çeşitlerin genel kabul skorları  $\geq 4.46$  olup yüksek beğeni aldığı bildirilmiştir. Genel olarak çalışma, bu dört pirinç çeşidinin pirinç patlağı üretiminde kullanılabileceğini, şişirme kalitesinin pirincin fiziksel özellikleri (tane boyutu, genişlik), kimyasal bileşimi (özellikle %18–32 amiloz aralığı) ve pişirme özellikleri ile güçlü bir ilişki gösterdiğini ortaya koymuştur.

Parkavi vd. (2020), Hindistan’da yürüttükleri çalışmada sekiz farklı pirinç genotipinin fizikokimyasal ve morfolojik özellikleri ile pirinç patlağı üretimindeki şişme performansı arasındaki ilişkileri incelemiştir. Çalışmada fiziksel tane özelliklerinin oldukça geniş bir aralıkta değiştiği belirtilmiştir. Tane uzunluğu 7.10–9.72 mm, tane genişliği 2.05–2.80 mm arasında; uzunluk/genişlik oranı ise 2.89–4.44 aralığında ölçülmüştür. Çeşitlerin kimyasal bileşimde nişasta içeriği %71.85–75.69, amiloz oranı %22.10–26.70, protein içeriği %5.11–7.09 ve kül içeriği %3.15–4.15 aralığında bulunmuştur. Çalışmada yüksek nişasta ve yüksek amiloz oranına sahip genotiplerin şişirme açısından daha avantajlı olduğu; buna karşılık yüksek protein ve kül içeriğinin şişme performansını olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Şişirme parametreleri incelendiğinde genleşme hacmi 21.56–38.12 ml/g, genleşme oranı 11.68–21.85 ve kabarma verimi %63.36–78.54 aralığında ölçülmüş olup, bu değişkenlerde en yüksek değerleri sağlayan genotiplerin ortak özelliği yüksek amiloz–nişasta içeriği, düşük protein–kül içeriği ve yüksek uzunluk/genişlik oranı olduğu bildirilmiştir.

Swarnakar vd. (2020), kahverengi (öğütülmemiş) pirinçten patlatılmış pirinç üretiminde basınçlı yarı haşlama koşulları ile ön nemlendirme düzeylerinin (%8, %10, %12) patlatma kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada pirinçler önce 196, 294, 392 ve 490 kPa buhar basınçlarında ve 5, 10, 15 dakika sürelerde çeltik halinde yarı haşlanmış; kurutma sonrası kahverengi pirinç formunda %3.5 tuz içeren çözeltide ön nemlendirme uygulanmış ve ardından mikrodalga (1000 W, 35 saniye) ve sıcak kum yataklı (210–240 °C) yöntemlerle patlatılmıştır. Mikrodalga yönteminde optimum koşullar 303.6 kPa, 14.25 dakika ve %11.6 nem olarak belirlenmiş olup, bu koşullarda gerçek deneysel patlatma yüzdesi 61.79, genleşme oranı 4.62, kitle yoğunluğu 146.4 kg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Sıcak kum yataklı yöntemde optimum değerler 260.7 kPa, 15 dakika ve %8 nem olup, bu koşullarda genleşme oranı 6.06, kitle yoğunluğu 157.64 kg/m<sup>3</sup> olarak kaydedilmiştir. Çalışma, kahverengi pirincin kabuk ve kepek tabakasının yarattığı dirence rağmen uygun yarı haşlama ve nem koşullarıyla yüksek genleşme sağlayabileceğini göstermesi açısından önemlidir.

Mom vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, geleneksel Tayland pirinç atıştırılabilirliği olan khao-tanın mikrodalga fırında patlatılmasına yönelik işlem koşulları

optimize edilmiştir. Araştırmada üç farklı pirinç tipi kullanılmış; başlangıç nem içeriği (10–14%), mikrodalga gücü (960–1200 W) ve işlem süresi (20–30 s) değişkenleri değerlendirilmiştir. Elde edilen deneysel veriler, patlama yüzdesinin 33.33–79.16%, genleşme oranının 2.25–4.23, sarılık değerinin ise 1.20–13.85 aralığında değiştiğini göstermiştir. Mikrodalgada patlatılan ürünlerde patlama yüzdesini artıran temel faktörlerin mikrodalga gücü ve işlem süresi olduğu, aşırı yükseltmelerinde ise (özellikle yüksek güç + uzun süre kombinasyonlarında) yanma ve nem kaybı nedeniyle verimin düştüğü rapor edilmiştir. Genleşme oranı açısından en yüksek değerler 1,200 W mikrodalga gücü, 10% başlangıç nemi ve 25–30 saniyelik sürelerde elde edilmiştir. Renk analizinde sarılık ( $b^*$ ) değeri başlangıç nemi düştükçe ve mikrodalga gücü ile süre arttıkça yükselmiş; değerler 1.20–13.85 aralığında kaydedilmiştir. Düşük nem + uzun süre kombinasyonunun maillard reaksiyonu nedeniyle sarılığı artırdığı görülmüştür. Çalışmanın optimizasyon sonuçlarına göre üç ürün için en uygun koşullar yaklaşık %10 başlangıç nemi, 1,200 W mikrodalga gücü ve 25 saniyelik işlem süresi olarak belirlenmiştir ve başlangıç neminin mikrodalga patlatma performansı üzerindeki en kritik değişken olduğu vurgulanmıştır. Çalışma, khao-tan üretiminde mikrodalga kullanımının uygulanabilir ve sağlıklı bir alternatif olduğunu göstermekte olduğunu bildirmiştir.

Lee ve Yang (2020) şişirme işlemi sonrasında pirinç patlaklarında nem içeriği %9.84–10.60 aralığında ölçülmüştür. Renk parametreleri açısından L değeri 82.16–84.67, a değeri 3.27–4.35,  $b^*$  değeri ise 17.55–19.49 arasında bulunmuştur. Ayrıca çalışma bulgularına göre şişirme işlemi, numunelerin in vitro nişasta sindirilebilirliğini artırmıştır.

Dash ve Das (2021), mikrodalga şişirme işlemini doğrulamak amacıyla yaptıkları deneysel çalışmada genleşme oranını 8.28, şişme verimini ise %93.2 olarak raporlamıştır.

Patel vd. (2021), Hindistan’da yürüttükleri çalışmada altı farklı çeltik materyalini üç nem düzeyi (%13, %15, %17), üç tuz oranı (%1.5, %2.0, %2.5) ve üç sıcaklık (220°C, 240°C, 260°C) altında geleneksel ve mikrodalga yöntemleri kullanarak pirinç patlağı üretiminde değerlendirmiştir. Patlatma öncesinde çeltik tanelerinin fiziksel özellikleri incelenmiş; 100 dane ağırlığının 2.06–2.76 g, kitle yoğunluğunun 0.585–0.641 g/mL, uzunluk/genişlik oranının 3.13–4.31, genişleme hacminin ise 5.50–6.50 mL/g aralığında değiştiği belirlenmiştir. Ham tanelerin kimyasal bileşiminde protein içeriği %5.97–7.96, yağ %2.28–2.86, karbonhidrat %72.32–79.41, lif %1.95–2.60, kül %1.64–2.82, nişasta %73.40–78.08 ve amiloz %18.54–21.58 aralıklarında ölçülmüş;



işlem değişkenlerinin ham pirinç kimyası üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı rapor edilmiştir. Üretilen pirinç patlaklarında kimyasal değerlerin; patlak pirinçlerde protein %5.1–7.9, yağ %0.32–3.57, karbonhidrat %65.7–78.5, lif %1.27–3.64, kül %1.26–3.68, amiloz %16.2–28.8, nişasta %73.1–78.5 aralıklarında değiştiği belirlenmiştir. Geleneksel yöntemde tuz oranı, nem düzeyi ve sıcaklığın artması kabarma verimini anlamlı şekilde artırmıştır. Ham verilere göre geleneksel yöntemde şişme verimi %62.02–%76.16 aralığında bulunmuş ve en yüksek değerler %2.5 tuz, %17 nem ve 260°C koşullarında elde edilmiştir. Mikrodalga yönteminde tuz artışı kabarma verimini pozitif etkilemiş; ancak nem düzeyinin ve mikrodalga gücünün etkisi daha sınırlı kalmıştır. Mikrodalga şişme verimi %32.08–%48.37 aralığında gerçekleşmiş olup, bu yöntemin geleneksel işleme göre daha düşük verim sağladığı görülmüştür. Duyusal değerlendirme sonuçlarında renk, lezzet, tat, doku ve genel kabul puanlarının 7.21–8.78 aralığında olduğu ve en yüksek skorların yine yüksek tuz–nem–sıcaklık kombinasyonlarına yakın koşullarda elde edildiği belirtilmiştir. Genel olarak çalışma, geleneksel yöntemin mikrodalgaya kıyasla daha yüksek şişme verimi ve daha iyi duyusal kalite sunduğunu ortaya koymaktadır.

Saha ve Roy (2022), yüksek amiloz içerikli pirinçlerden üretilen pirinç patlaklarında oluşan fiziksel ve kimyasal değişimleri kapsamlı biçimde incelemiştir. Araştırmada kullanılan ham pirinçlerde tane uzunluğu 6.04–6.70 mm, genişlik 1.53–2.36 mm, kalınlık 1.27–1.76 mm, geometrik ortalama çap 2.29–2.93 mm, L/B oranı 2.66–4.42 ve küresellik %36.07–47.83 aralığında bulunmuştur. Şişirme işleminden sonra tanelerin uzunluğu 10.87–13.92 mm, genişliği 3.67–4.47 mm, kalınlığı 3.47–4.27 mm ve geometrik ortalama çapı 5.38–6.28 mm değerlerine yükselmiştir. Kitle yoğunluğu ham pirinçte 0.79–0.87 g/cm<sup>3</sup> iken şişirilmiş üründe 0.08–0.10 g/cm<sup>3</sup>'e düşmüş; gerçek yoğunluk ise 1.00–1.01 g/cm<sup>3</sup> düzeyinden 0.14–0.27 g/cm<sup>3</sup> seviyelerine gerilemiştir. Şişirilmiş ürünlerin nem içeriği %6.15–6.64, renk değerleri L\* 74.67–81.36, a\* 2.51–5.60, b\* 22.15–25.63 aralığında ölçülmüştür. Protein içeriğinin şişirme sonrasında %9.55–12.05 seviyelerinde korunması dikkat çekicidir. Çalışmanın en önemli teknolojik bulgularından biri olan genleşme oranı 6.25–8.82 aralığında gerçekleşmiş olup, yüksek amiloz içeriğine sahip çeşitlerin daha üstün genleşme performansı gösterdiği doğrulanmıştır.

Parganiha vd. (2022), yarı haşlanmış–öğütülmüş pirincin sıcak hava akışkan yatakta (HTST prensibiyle) patlatılması sırasında başlangıç nemi (%10, %12, %14, %16; w.b.) ve işlem sıcaklığının (280, 290, 300 °C) şişme performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Tüm denemelerde tuz oranı %2 (w/w) olarak sabit tutulmuştur.

Elde edilen bulgular, nem arttıkça hem şişirme verimi hem de hacim genişleme oranının (VER) azaldığını ve özellikle %12'nin üzerindeki nem düzeylerinde belirgin bir düşüş görüldüğünü ortaya koymuştur. Buna karşılık sıcaklık artışı tüm materyallerde şişme performansını artırmış ve en yüksek değerler 300 °C'de kaydedilmiştir. Çalışmada kabarma veriminin %61.08–91.70, hacim genişleme oranının ise 5.17–7.60 aralığında değiştiği; en yüksek değerlerin düşük başlangıç neminde (özellikle %10–12) ve yüksek sıcaklıkta (300 °C) elde edildiği belirlenmiştir. Genel olarak çalışma, yarı haşlanmış pirincin başarılı biçimde patlatılabilmesi için kritik nem aralığının %10–12, optimum şişirme sıcaklığının ise 300 °C olduğunu; şişme performansının yalnızca proses koşullarına değil, aynı zamanda materyalin yapısal ve fiziksel özelliklerine de önemli ölçüde bağlı olduğunu göstermektedir.

Sreenidhi vd. (2022), geleneksel yöntemle üretilen pirinç patlaklarının duyuşal özelliklerini incelemiş ve beş farklı yerel pirinç çeşidinden geliştirilen ürünleri 15 yarı eğitimli panelist ile 9-puanlı hedonik ölçek kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmada duyuşal parametreler olan renk, görünüm, tekstür, tat, aroma ve genel kabul puanları çeşitler arasında anlamlı farklılık göstermiştir. Renk puanları 7.40– 9.00, görünüm puanları 7.06 – 8.66, tekstür puanları 7.06 – 8.53, tat puanları 7.00 – 8.73, aroma puanları 7.01 – 8.40 aralığında değişmiştir. Genel kabul ise çeşitler arasında 6.13 – 8.80 aralığında gerçekleşmiştir. Panelistler tarafından en yüksek puanlar renk, görünüm ve genel kabulde üst sınıra yakın değerler alan örneklerle verilmiş; en düşük puanlar ise genel kabulde 6 puan civarında seyretmiştir. Çalışma, duyuşal açıdan kabul edilebilirlik düzeylerinin geniş bir aralıkta değiştiğini ve bazı çeşitlerin belirgin biçimde daha yüksek tüketici beğenisi aldığını göstermektedir.

Shavandi vd. (2023), kızılötesi (IR) şişirme teknolojisinin pirinç patlağı üzerindeki etkilerini araştırmış ve üç IR gücü (350, 450, 550 W) ile üç uygulama mesafesini (10, 20, 30 cm) değerlendirmiştir. Çalışmada hacimsel genişleme değerlerinin IR koşullarına bağlı olarak 1.11–2.24 aralığında değiştiği, kitle yoğunluğunun ise 0.29–0.58 g/cm<sup>3</sup> seviyelerinde gerçekleştiği belirlenmiş; yüksek IR gücü ve kısa mesafenin hacim genişlemesini artırırken yoğunluğu düşürdüğü gösterilmiştir. Uzunluk/genişlik oranı 3.03–3.86 aralığında olup işlem faktörlerinden anlamlı biçimde etkilenmemiştir. Renk analizinde L\* değeri 72.56–78.45, a\* 0.82–1.39, b\* ise 14.85–21.26 aralığında olup yalnızca b\* değişimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Toplam fenolik madde içeriği (TPC) IR şiddeti arttıkça yükselmiş ve 0.032–0.058 mg GAE/g aralığında bulunmuştur. Antioksidan aktivite göstergesi IC<sub>50</sub> 664.30–1421.04 µg/mL aralığında değişmiş, yüksek güç–kısa mesafe uygulamaları

antioksidan kaybını sınırlamıştır. FTIR analizleri, karbonhidrat, protein ve yağ asidi bantlarında yapısal değişimler meydana geldiğini göstermiştir. Bulgular genel olarak IR teknolojisinin pirinç patlağı üretiminde yüksek verimlilik ve etkili kalite kontrol imkânı sunduğunu ortaya koymaktadır.

Swarnakar vd. (2023), Hindistan’da yürüttükleri çalışmada kepek tabakasının genişlemeyi sınırlandırması nedeniyle kabul edilebilirliği düşük olan kahverengi pirinçten pirinç patlağı üretimini optimize etmeyi amaçlamış ve kumda ısıtma yöntemiyle tuz düzeylerini %0–6 arasında değiştirerek şişirilmiş kahverengi pirincin fiziksel, mikroyapısal ve duyusal özelliklerini incelemiştir. Çalışmada genleşme oranı %0 tuzda yaklaşık 1.0–1.5 iken, tuz düzeyi arttıkça yükselmiş ve %4–5 tuz uygulamalarında maksimum genişleme ( $\approx 1.8$ – $2.0$ ) elde edilmiştir; %6 tuzda ise genişleme yeniden düşüş göstermiştir. Mikroyapısal incelemelerde puflanmış kahverengi pirincin kesit yapısının beyaz pirinç patlağına benzer olduğu, ancak kepek tabakasına bağlı yüzey çatlaklarının bulunduğu gözlenmiştir. Ayrıca tuz seviyesinin yükselmesiyle hava boşluklarının belirgin biçimde genişlediği ve özellikle %4–5 tuz seviyelerinde dış duvarın iç gözeneklerle birleşerek daha homojen ve geniş bir hücreli yapı oluşturduğu rapor edilmiştir. Duyusal değerlendirme bulanık mantık tekniğiyle gerçekleştirilmiş ve kalite özelliklerinin önem sırası tat (puan: 78.88) > doku (69.44) > renk (42.77) olarak belirlenmiştir. Genel kabul skorları sırasıyla 24.78 (0% tuz), 36.66 (2% tuz), 57.63 (4% tuz), 57.03 (6% tuz) ve 56.73 (ticari beyaz pirinç patlağı) olarak hesaplanmıştır. Benzerlik analizine göre %4 ve %6 tuz içeren kahverengi pirinç patlakları “İyi” kategorisinde sınıflandırılmış olup ticari ürünle benzer kabul edilebilirlik göstermiştir. Bununla birlikte %6 tuzda duyusal kabul yüksek olsa da genişleme performansı %4–5 düzeylerine kıyasla daha düşük bulunmuştur. Genel olarak çalışma, kahverengi pirinç için optimum tuz seviyesinin %4–5 olduğunu; bu koşullarda ürünün hem genişleme hem de duyusal açıdan ticari beyaz pirinç patlağıyla karşılaştırılabilir nitelikte olduğunu ve böylece kahverengi pirinç patlağının besin içeriği korunmuş bir alternatif olarak önemli potansiyel taşıdığını ortaya koymuştur.

Itagi vd. (2023), farklı renk ve yapısal özelliklere sahip pirinç genotiplerinde patlatma işleminin fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal nitelikler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada patlatma performansı genotipler arasında belirgin farklılık göstermiş; hacim genleşme oranı 2.90–12.20 mL/g, patlama yüzdesi %47.87–85.33 , L/B (uzunluk/genişlik) oranı 2.8–3.7 ve kitle yoğunluğu 116–218 kg/m<sup>3</sup> aralıklarında bulunmuştur. Boyutsal değişim açısından, uzama oranı (boy uzunluğu) 1.71–2.11, genişleme oranı (en genişliği) 2.31–2.93 ve kalınlık yönünde genişleme oranı 1.65–2.53

arasında değişmiş; bu bulgular patlatma ile tanelerde belirgin bir hacimsel ve morfolojik dönüşüm gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Nem içeriği patlatma sonrasında yaklaşık %11.5–14.1 rapor edilmiştir. Pigment içeriği yüksek genotiplerde patlatma sonrasında dahi biyoaktif bileşenlerin önemli lde korunduğu bildirilmiştir. Kimyasal bileşim değerleri karbonhidrat %71.9–75.2, protein %7.50–10.46, yağ %2.13–2.48, kül %1.20–1.54, toplam diyet lifi (TDF) 3.07–3.50 g/100 g, toplam nişasta %85.05–93.51 ve toplam amiloz %6.58–22.95 aralıklarında yer almıştır. Fonksiyonel bileşen düzeyleri toplam oryzanol 19.88–37.15 mg/100 g, toplam fenolik madde 15.32–78.24 mg GAE/100 g, flavonoidler 15.90–94.15 mg CE/100 g olup pigmentli gruplarda antosiyanin retansiyonunun %38–40 seviyelerine kadar çıkabildiği bildirilmiştir. Antioksidan kapasite pigmentli gruplarda daha yüksek bulunmuş; DPPH radikal süpürme kapasitesi 205.1–829.2 mg CE/100 g ve toplam antioksidan kapasite 33.32–64.38 mg QE/100 g aralığında ölçülmüştür. Genel olarak çalışma, özellikle pigment içeren pirinçlerin patlatma sonrasında dahi yüksek besleyici değer, antioksidan kapasite ve fonksiyonel bileşen profili sunduğunu; bu nedenle glütensiz atıştırmalıklar, fonksiyonel kahvaltılık ürünler ve nutrasetik gıda formülasyonları için yüksek potansiyelli hammaddeler olduğunu göstermektedir.

Mishra vd. (2023) tarafından incelenen yarı haşlanmış pirinç tanelerinin fiziksel özelliklerinin çeşitler arasında sınırlı farklılık gösterdiği bildirilmiştir. Tane uzunluğu 6.73–6.97 mm, genişliği 2.43–2.56 mm ve kalınlığı 1.83–1.85 mm aralığında ölçülmüştür. Geometrik ortalama çap 3.10–3.20 mm, yüzey alanı 30.26–32.22 mm<sup>2</sup> ve küresellik %45.96–46.20 arasında bulunmuştur. Bin tane ağırlığı 22.73–24.67 g, kitle yoğunluğu 0.83–0.85 g/mL, gerçek yoğunluk 1.39–1.43 g/mL ve porozite 0.40–0.41 olarak rapor edilmiştir. Çalışma, bu fiziksel parametrelerin pirinç puflama sürecinde ekipman tasarımı ve proses performansı açısından kritik önemde olduğunu vurgulamaktadır.

Abd El Salam vd. (2023), pirinç patlatma kalitesinin sıcaklık (170–230°C) ve örnek ağırlığı (35–45 g) değişimine bağlı olarak nasıl farklılaştığını incelemiş ve patlatma işlemini yerel olarak geliştirilmiş elektrikli kavurma ekipmanında gerçekleştirmiştir. Çalışmada patlatma yüzdesi %79.73–97.88, genleşme oranı 6.92–10.93 ve kitle yoğunluğu 105.68–147.82 g/cm<sup>3</sup> aralıklarında bulunmuştur. Sıcaklık artışı genleşme oranını ve patlama verimini iyileştirmiş; özellikle 190°C uygulaması hem iki yılda da en yüksek patlatma yüzdesi (≈%94) hem de en yüksek genleşme değerleri (≈9.36–10.75) ile optimum koşulu oluşturmuştur. Numune ağırlığı açısından 40 g, en yüksek patlatma yüzdesi (%91.55–93.15) ve genleşme oranı (9.03–9.54) ile en düşük

kitle yoğunluğunu (121.53–125.18 g/cm<sup>3</sup>) sağlamıştır. Düşük sıcaklık (170°C) ve yetersiz numune yükü (35 g) hem patlatma yüzdesini (%85.69–90.79) hem de genleşmeyi (8.38–8.66) düşürmüştür; buna karşılık yüksek numune yükü (45 g) bazı koşullarda genleşmeyi sınırlamıştır. Genel olarak veriler, pirinç patlatma kalitesinin sıcaklık, numune miktarı ve özellikle tanelerin endosperm yapısı ile amiloz/amilopektin oranına bağlı olarak güçlü biçimde değiştiğini; optimum patlatma veriminin 190°C ve 40 g koşullarında elde edildiğini göstermektedir.

Sonsomboonsouk vd. (2024), çimlendirilmiş kahverengi pirincin (GBR) patlatılması öncesinde uygulanan farklı pişirme yöntemlerinin ürün kalitesi üzerindeki etkilerini kapsamlı biçimde incelemiştir. Dört farklı pişirme yaklaşımı değerlendirilmiştir: haşlama–buharlama (PS), elektrikli pirinç pişirme (EC), ultrasonik ön işlem + haşlama–buharlama (UPS) ve ultrasonik ön işlem + elektrikli pişirme (UEC). Patlatma işlemi tüm örneklerde 215 °C sıcaklığında, sıcak tuz (NaCl) ortamında 15 saniye uygulanmıştır. Patlatılmış ürünlerde patlama verimi %77.45–83.21 aralığında bulunmuştur. Fiziksel kalite parametreleri incelendiğinde genleşme oranının 1.56–1.68, kitle yoğunluğunun 0.30–0.36 g/mL ve uzunluk/genişlik oranının 2.55–3.21 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Renk parametreleri L\*, a\*, b\* sırasıyla 49.88–53.94, 4.75–6.47 ve 21.11–22.56 aralığındadır. Tüm patlak ürünlerde nem içeriği %1.17–1.37 arasında değişmiştir. Kimyasal analizlerde patlatılmış ürünlerde kül içeriği %1.33–1.54, diyet lifi (TDF) %10.72–12.82 aralığındadır. Dirençli nişasta ham üründe %0.05 olarak belirlenmiş, ancak patlatılmış ürünlerde tespit edilememiştir. Biyoaktif bileşenlerde ısıtma işlem ve pirolitik etkiler nedeniyle azalmalar gözlenmiştir;  $\gamma$ -oryzanol 46.22–48.23 mg/100g, toplam fenolik madde (TPC) 0.33–0.39 mg GAE/g, DPPH antioksidan aktivitesi 0.12–0.19 mg TEAC/g, ABTS aktivitesi ise 0.23–0.27 mg TEAC/g aralığında ölçülmüştür. Hesaplamalara göre patlatma süreci TPC’de %31.2, DPPH’de %70.7, ABTS’de %56.6 düzeyinde kayıplara neden olmuştur. FTIR analizlerinde kristalin/amorf bant oranının 0.144–0.159 aralığında olması, patlatma işlemi sonrası karbonhidratların kristal yapısında belirgin bir azalma yaşandığını göstermektedir. Sonuç olarak elektrikli pirinç pişirme yönteminin patlatılmış GBR’nin genleşme ve tekstürel özelliklerini iyileştirme açısından güçlü bir potansiyel sunduğu ifade edilmiştir.

Wang vd. (2024), ekstrüde pirinç benzeri tanelerin (FER) mikrodalga yardımıyla patlatılmasını incelemiş ve artan mikrodalga gücünün ürünün gözenekliliğini, su alma kapasitesini ve sindirilebilirliğini anlamlı biçimde yükselttiğini bildirmiştir. Yüksek güç seviyelerinde tanelerde yapısal gevşeme ile birlikte belirgin renk değişimleri gözlenmiştir;

L\* 24.20–36.68, a\* 1.61–4.79 ve b\* 4.43–10.38 aralıklarında değişmiştir. Mikrodalga işlemi sonucunda genişleme indeksi 1.03–1.83 aralığında bulunmuştur. Araştırma genel olarak mikrodalga ısısının ve hızlı su buharı basıncı birikiminin tanenin iç yapısını gevşeterek gözeneklilik oluşturduğunu ve bu mekanizmanın farklı tahıllarda da benzer şekilde işlediğini göstermektedir.

Liu vd. (2025), şişirme teknolojisinin kahverengi pirinç (BR) ve rafine pirinç (RR) üzerindeki fizikokimyasal özellikler, yapı parametreleri ve uçucu bileşik profilleri üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Bulgular, şişirme işleminin her iki pirinç tipinde de nem ve yağ içeriğini düşürdüğünü göstermiştir. Ham pirinçte nem %12.60–14.63 aralığında iken, şişirilmiş örneklerde %6.42–7.50 düzeyine düşmüştür. Kahverengi pirinçten elde edilen pirinç patlağında protein içeriği %8.63–8.99, rafine pirinç patlağında ise %7.70–7.72 olarak belirlenmiştir. Şişirilmiş BR ve şişirilmiş RR’de nişasta içerikleri sırasıyla %57.02–58.01 ve %61.53–62.25 olarak tespit edilmiştir. Yağ içeriği şişirilmiş BR’de %1.97–1.98, şişirilmiş RR’de %0.11–0.35 düzeyinde olduğu belirlenmiştir. FT-IR analizleri, yeni kimyasal grup oluşmadığını; ancak hidrojen bağlarının zayıfladığını ve kısa-düzenli yapının bozulduğunu göstermiştir. GC-MS analizinde toplam 136 uçucu bileşik tanımlanmıştır. Ham örneklerde 29–36 arasında bileşik, şişirilmiş örneklerde ise 51–60 (BR) ve 33–55 (RR) bileşik tespit edilmiştir. Kepek tabakasının yağ ve protein açısından daha zengin olması nedeniyle uçucu bileşik miktarı —özellikle ketonlar— şişirilmiş BR’de RR’ye kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Duyusal değerlendirmede en yüksek genel kabul skorunu kahverengi pirinç patlağı almış (8.13), aroma skoru ise 17.63 olarak belirlenmiştir. Çalışma genel olarak şişirme işleminin pirincin aroma yoğunluğunu artırdığını, uçucu bileşik çeşitliliğini zenginleştirdiğini ve BR ile RR arasında belirgin farklılıklar oluşturduğunu göstermektedir.

Junyusen vd. (2025) yaptıkları çalışmada, Ultra Düşük Hidrostatik Basıncı (ULHP) işleminin şişirilmiş çimlendirilmiş kahverengi pirincin (puffed GBR) fizikokimyasal, yapısal ve biyoaktif özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada pişirilmiş GBR, ULHP ön işlemine 30 °C’de iki farklı koşulda—0.2 MPa–4 saat (2b4h) veya 0.4 MPa–2 saat (4b2h)—tabi tutulmuş; ardından 48 saat boyunca 4 °C’de retrogradasyon, kurutma ve 215 °C’de 15 saniyelik sıcak tuz şişirme işlemi uygulanmıştır. Fiziksel kalite parametrelerinde patlama verimi %89.03–91.74, kitle yoğunluğu 0.33–0.41 g/mL, genişleme oranı 1.34–1.45, uzunluk/genişlik oranı (L/B) 2.36–2.72 aralığında belirlenmiştir. Renk değerleri L\* 55.25–56.00, a\* 11.68–12.49, b\* 26.04–26.74 aralığındadır. Şişirilmiş ürünlerde nem içeriği %2.50–4.53, kül içeriği

%1.85–2.01 aralığında belirlenmiştir. Biyoaktif bileşiklerde  $\gamma$ -oryzanol 51.25–57.28 mg/100 g, toplam fenolik madde (TPC) 0.47–0.54 mg GAE/g olarak ölçülmüştür. Antioksidan aktivitede DPPH 0.17 mg TE/g, ABTS değeri ise 0.31–0.37 mg TE/g aralığında bulunmuştur. Sonuçta ULHP işleminin şişirilmiş çimlendirilmiş kahverengi pirincin hacimsel genişleme, gevreklik, porozite, kristal yapı dönüşümü ve biyoaktif bileşen retansiyonu üzerinde belirgin iyileştirmeler sağladığını; dolayısıyla yüksek kaliteli fonksiyonel pirinç patlağı üretiminde etkili bir ön işlem yöntemi olduğunu göstermektedir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Pirinç Patlağı Üretimi

Bu araştırmada Aliço (Ç1), Aslı (Ç2), Baldo (Ç3), Boyabatkalesi (Ç4), Çakmak (Ç5), Edirne (Ç6), Efe (Ç7), Gönen (Ç8), Hasat (Ç9), Haziran (Ç10), İskender CL (Ç11), Kristal CL (Ç12), Osmancık 97 (Ç13), Ormanlı CL (Ç14), Özgür CL (Ç15), Pınar CL (Ç16), Reis (Ç17), Rekor CL (Ç18), Tarı2020 (Ç19), Turbo CL (Ç20), Ülfet (Ç21) ve Yatkın (Ç22) olmak üzere toplam 22 farklı çeltik çeşidi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çeltik çeşitleri, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Çeltik numunelerindeki yabancı maddeler ayıklanmış, elenmiş ve homojenizasyon sağlanmıştır (Şekil 4). Temizlenen numuneler, özelliklerinin korunması amacıyla kuru ve serin ortam koşullarında polietilen torbalar içerisinde muhafaza edilmiştir.



Şekil 4. Kabuklu/kavuzlu pirinç (çeltik)



### 3.1.1.1. Çeltiklerde Yarı Haşlama (Parboiling) İşlemi



Şekil 5. Çeltikten yarı haşlanmış kargo pirinç üretim şeması

Şekil 5'te görüldüğü üzere her çeşitten 0.3 kg çeltik temizlenmiş, yıkanmış ve süzölmüştür. Sonrasında 1 saat boyunca ortalama  $83 \pm 2$  °C sıcaklıkta yarı haşlama (parboiling) yapılmıştır (Şekil 6). Süzülen çeltik 30 dakika dinlendirilmiştir. Dinlendirme işlemini takiben 100 °C'ye ayarlanmış ev tipi turbosuz fırında (Punto elektrikli fırın, Model: MFA 604M, Güç: 2225 W) ortalama 3 saat boyunca yarı haşlanmış çeltik kurutulmuştur ve oda sıcaklığında 30 dakika dinlendirme sonrası kabuk soyma işlemine geçilmiştir. Kabuk soyma el değirmeni (Kett marka) ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 7). Kabuk soyma sonrası eleme ile tozun uzaklaştırılması neticesinde yarı haşlanmış kargo pirinç elde edilmiştir (Şekil 8) (Swarkanar vd., 2023).



Şekil 6. Yarı haşlama (Parboiling) işlemi sonrası çeltik

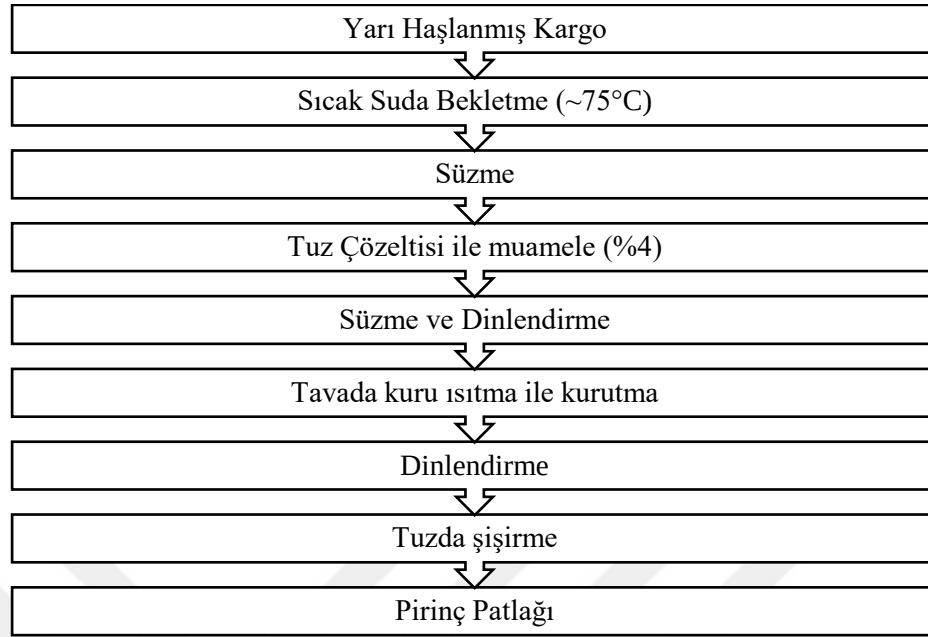


Şekil 7. El değirmeni (Kett marka)



Şekil 8. Yarı haşlanmış, kurutulmuş ve kavuzu ayrılmış pirinç (yarı haşlanmış kargo)

### 3.1.1.2. Tuzda Patlatma Yöntemi ile Şişirme İşlemi



Şekil 9. Yarı haşlanmış kargo pirinçten pirinç patlağı üretim şeması

Şekil 9’da görüldüğü üzere yarı haşlanmış kargo pirinç numuneleri önce 45 dakika süreyle sıcak suda bekletilmiştir. Numuneler süzildükten sonra 1 saat 15 dakika boyunca %4 tuz çözeltisinde bekletilmiş sonra yine süzülüp 30 dakika dinlendirmeye bırakılmıştır. Tavada karıştırılarak numunelerin kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında 10 dakika numunelerin soğuması beklenmiştir. Alüminyum tencerede (Şekil 10) ~230-240°C’ye ısıtılan sofralık tuza, yarı haşlanmış kargo numuneleri eklenip 30-35 saniye boyunca karıştırılarak şişirme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 11) (Swarkanar vd., 2023; Sonsomboonsuk vd., 2024).



Şekil 10. Tuzla şişirme yöntemin yapıldığı alüminyum tencere





Şekil 11. Ham pirinçten pirinç patlağı üretimi süreci (ham pirinç/çeltik, yarı haşlanmış kargo, pirinç patlağı)

### 3.2. Yöntem

#### 3.2.1. Fiziksel Analizler

##### 3.2.1.1. Bin Tane Ağırlığı

Her tekerrürde, çeltik çeşitlerinden, yarı haşlanmış kargo ve pirinç patlağı numunelerinden rastgele 300 adet tane sayılıp hassas terazide (Ohaus Marka Analitik Hassas Terazisi, Model: PA214C) tartılıp bin taneye oranlanarak, bin tane ağırlığı belirlenmiştir, sonuçlar g cinsinden kaydedilmiştir (Şekil 12). Analiz üç tekerrürle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 12. Ohaus marka hassas terazi

##### 3.2.1.2. Uzunluk ve Genişlik

Her bir çeşitte, farklı şişirme aşamalarındaki pirinç (ham pirinç, yarı haşlanmış kargo, pirinç patlağı) taneleri rastgele seçilerek, dijital bir kumpas (Şekil 13) yardımıyla tanelerin uzunluk, genişlik ve kalınlık değerleri ölçülmüştür, sonuçlar mm cinsinden kaydedilmiştir (Itagi vd., 2023).



Şekil 13. Dijital kumpas

### 3.2.1.3. Uzunluk/Genişlik Oranı

Ham pirinç, yarı haşlanmış kargo pirinç ve pirinç patlağında dijital kumpasla ölçülen uzunluk ve genişlik değerlerinin oranlanması ile hesaplanmıştır. Oran, 3'ten büyükse uzun ince; eğer 3'ten küçükse kısa taneli olarak sınıflandırılmıştır (Patel vd.,2021).

### 3.2.1.4. Pirinç Patlağının Şişme Özellikleri

#### 3.2.1.4.1. Uzama ve Genişleme Oranları

Şişirilmemiş ve şişirilmiş pirincin uzunluğu ve genişliği bir kumpas ile manuel olarak ölçülüp milimetre cinsinden kaydedilmiştir. Ölçüm, her çeşidin numunelerinden rastgele seçilen on beş tane üzerinde yapılmıştır. Uzama ve genişleme oranı hesaplanması için ölçülen on beş tanenin ortalaması alınıp, Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak uzama ve genişleme oranları elde edilmiştir (Kumar vd., 2017).

$$\text{Uzama Oranı} = \frac{L_{PP}}{L_{KP}} \quad (1)$$

$$\text{Genişleme Oranı} = \frac{W_{PP}}{W_{KP}} \quad (2)$$

Eşitlik 1 ve 2' belirtilen;  $L_{PP}$  ve  $W_{PP}$ ; şişirme sonrası kahverengi pirinç patlaklarına ait uzunluk ve genişlik,  $L_{KP}$  ve  $W_{KP}$ ; şişirme öncesi yarı haşlanmış kargo pirincin uzunluk ve genişlik değerlerini ifade etmektedir (Kumar vd., 2017).

#### 3.2.1.4.2. Gerçek Hacim ve Toplam Hacim

Gerçek hacim sıvı yer değiştirme tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Her çeşit için farklı şişirme aşamalarındaki (ham pirinç, yarı haşlanmış kargo, pirinç patlağı) 5 g numune hassas terazi (Ohaus Marka Analitik Hassas Terazi, Model: PA214C) yardımıyla tartılmıştır. 50 mL'lik silindire 25 mL saf su alınmış ve üzerine 5 g numune eklenip son hacimleri kaydedilmiştir. Hacim farkı hesaplanarak 5 g numunenin gerçek hacmi bulunmuştur. Oranlama yapılarak numunenin toplam hacmi hesaplanmıştır (mL) (Kumar vd, 2017; Kumar ve Prasad, 2018).

#### 3.2.1.4.3. Pirinç Patlağında Genleşme Oranı

Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmıştır (Kumar vd, 2017).

$$\text{Genleşme Oranı} = V_{PP}/V_{KP} \quad (3)$$

Eşitlik 3'te  $V_{PP}$ ; şişirme sonrası kahverengi pirinç patlağı hacmini,  $V_{KP}$  ise şişme öncesi yarı haşlanmış kargo pirincin hacmini mL cinsinden belirtmektedir (Kumar vd, 2017).

#### 3.2.1.4.4. Pirinç Patlağında Genleşme Hacmi (mL/g)

Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanmıştır, değerler mL/g cinsinden kaydedilmiştir (Maisont ve Narkrugsa, 2009).

$$\text{Genleşme Hacmi (mL/g)} = V_{PP}/W_{HP} \quad (4)$$

Eşitlik 4'te  $V_{PP}$ ; şişirme sonrası kahverengi pirinç patlağı hacmini (mL),  $W_{HP}$  ise şişirmede kullanılan ham pirincin toplam ağırlığını(g) belirtmektedir (Maisont ve Narkrugsa, 2009).

#### 3.2.1.5. Geometrik Ortalama Çap ( $D_g$ )

Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmıştır, değerler mm cinsinden kaydedilmiştir (Kumar vd., 2017).

$$D_g = (L \times W \times T)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$



Eşitlik 5’te L, tane uzunluğu; W tane genişliği, T ise tane kalınlığı ölçümlemlerini mm cinsinden belirtmektedir (Kumar vd., 2017).

#### 3.2.1.6. Yüzey Alanı ( $S_a$ )

Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanmıştır, değerler  $\text{mm}^2$  cinsinden kaydedilmiştir (Kumar ve Prasad, 2018).

$$S_a (\text{mm}^2) = \pi D_g^2 \quad (6)$$

Eşitlik 6’da  $D_g$ ; geometrik ortalama çapı,  $S_a$  yüzey alanını  $\text{mm}^2$  (milimetrekare) belirtmektedir (Kumar ve Prasad, 2018).

#### 3.2.1.7. Küresellik ( $S_p$ )

Küresellik, katı bir cismin şeklinin, aynı hacimdeki bir küreye göre karakteristik özelliğini ifade etmektedir ve Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanmıştır, değerler % cinsinden kaydedilmiştir (Kumar ve Prasad, 2017; Kumar ve Prasad, 2018).

$$S_p (\%) = \frac{(L \times W \times T)^{\frac{1}{3}}}{L} \times 100 \quad (7)$$

Eşitlik 7’de L, tane uzunluğu; W tane genişliği, T ise tane kalınlığı ölçümlemlerini mm cinsinden belirtmektedir (Kumar ve Prasad, 2018).

#### 3.2.1.8. Kitle Yoğunluğu ( $d_k$ )

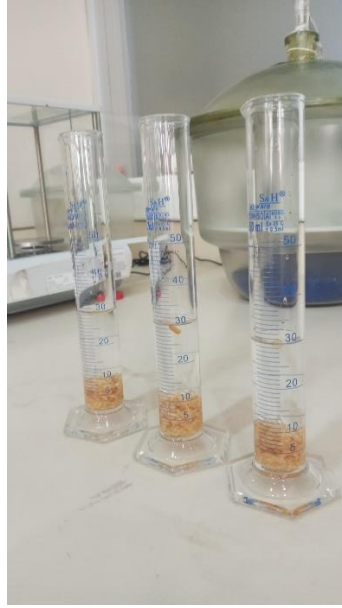
Her bir çeşitten ham pirinç, yarı haşlanmış kargo ve pirinç patlağı numuneleri darası alınan 25 mL’lik bir silindire taneler dökülerek doldurulmuştur. Üst kısmına vurulması suretiyle taneler arası boşluklar azaltılıp silindir tamamen tanelerle doldurulduktan sonra hassas terazide (Ohaus Marka Analitik Hassas Terazi, Model: PA214C) tartılmıştır (Şekil 14). Değerler g/mL olarak ifade edilmiştir (Kumar ve Prasad, 2018). Analiz üç tekerrürle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 14. Kitle yoğunluğu ölçümü

#### 3.2.1.9. Gerçek Yoğunluk ( $d_g$ )

Gerçek yoğunluk, sıvı yer değiştirme tekniği kullanılarak ölçülen numunenin kapladığı gerçek hacim birimi başına kütlenin ölçüsüdür (Kumar ve Prasad, 2018). Her çeşit için farklı şişirme aşamalarındaki (ham pirinç, yarı haşlanmış kargo, pirinç patlağı) 5 g hassas terazi (Ohaus Marka Analitik Hassas Terazi, Model: PA214C) yardımıyla tartılmıştır. 50 mL’lik silindire 25 mL saf su alınıp üzerine 5 g numune eklenip son hacimleri kaydedilmiştir. Hacim farkı hesaplanarak 5 g örneğinin gerçek hacmi bulunmuştur. Böylece örneğin gerçek yoğunluğu numunenin ağırlığının gerçek hacme oranı şeklinde hesaplanmıştır, değerler g/mL cinsinden kaydedilmiştir (Kumar vd., 2017). Analiz üç tekerrürle gerçekleştirilmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Gerçek yoğunluk ölçümü

#### 3.2.1.10. Gözeneklilik/Porozite ( $\epsilon$ )

Numunelerin gözenekliliği, gerçek yoğunluk ( $d_g$ ) ve kitle yoğunluğu ( $d_k$ ) değerlerinden Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanmıştır, değerler % cinsinden kaydedilmiştir (Kumar ve Prasad, 2018).

$$\epsilon (\%) = \frac{d_g - d_k}{d_g} \times 100 \quad (8)$$

#### 3.2.1.11. Viskozite Tayini

Her bir çeşit için yarı haşlanmış kargo ve pirinç patlağı örneklerinden öğütülmüş ve 0.125 mm'lik elekten geçirilmiş 5.0 g pirinç unu hassas terazi yardımıyla, 100 mL behere tartılmıştır. Daha sonra numunelere 45 mL distile su eklenerek %10 (w/w) süspansiyon hazırlanmıştır. Hazırlanan karışım homojenizatörde 13 000 rpm'de 3 dakika karıştırıldıktan sonra 10 dakika manyetik karıştırıcıda homojen hale getirilmiştir. Sonrasında reometre yardımıyla (Anton Paar MCR102) 1-100 s<sup>-1</sup> kayma hızı aralığında kayma gerilimi (Pa) ve viskozite (mPa.s) ölçümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 16). Viskozite ( $\eta$ ), kayma gerilmesi ( $\tau$ ) ve kayma hızı ( $\dot{\gamma}$ ) verileri kaydedilmiştir.



Şekil 16. Viskozite ölçümü

#### 3.2.1.12. Renk Analizi

Renk tayini cihazı (Konica Minolta) kullanılarak pirinç patlağı örneklerinde gerçekleştirilmiştir. Örneklerde  $L^*$ (parlaklık),  $a^*$ (+kırmızı/-yeşil),  $b^*$ (+sarı/-mavi) değerleri ölçülmüştür ve grafik oluşturulmuştur. Ölçümler 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.2. Besinsel İçerik Analizleri

##### 3.2.2.1. Nem ve Kuru Madde (KM) Tayini (%)

Numunelerin nem ve kuru madde içerikleri, infrared hızlı nem ve kuru madde analiz cihazı (OHAUS MB45) kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 17). Bu cihaz, benzer çalışmalarda da nem tayini için kullanılmıştır (Takahashi ve Fujii, 2025). Analizlerde her numuneden öğütülmüş olarak 0.5–0.8 g alınarak alüminyum numune kaplarına homojen bir tabaka oluşturacak şekilde yayılmıştır. Ölçümler, cihazın standart nem tayin programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz tamamlandığında cihaz ekranında görülen “%Moisture” değeri numunenin nem oranı, “%Solids” değeri ise kuru madde içeriği olarak kaydedilmiştir (OHAUS Corporation, n.d.). Her numune en az üç tekerrür halinde analiz edilmiştir.



Şekil 17. Ohaus MB 45 marka infrared nem ve kuru madde tayin cihazı

#### 3.2.2.2. Kül Tayini

Öğütülmüş pirinç patlağı örnekleri 3 g tartılıp darası bilinen porselen yakma kaplarına alınmıştır. Çeker ocak içinde duman çıkma işlemi bitinceye kadar örnekler ön yakma işlemi uygulanmıştır (Şekil 18). Kül fırınında (Nevola Marka) (Şekil 19)  $550 \pm 25$  °C’de 6 saat boyunca yakma işlemi uygulandıktan sonra, sabit tartıma erişince yakma işlemi tamamlanmıştır (Şekil 19). Numuneler desikatöre alınarak oda sıcaklığına geldikten sonra tartılmıştır. Yakma işleminden önce ve sonraki değerlere bakılarak % kül miktarı hesaplanmıştır (MEB, 2010).



Şekil 18. Kül tayini



Şekil 19. Kül Fırını (Nevola marka)

### 3.2.2.3. Amiloz Tayini

Öğütülmüş ve elenmiş pirinç patlağı unundan hassas terazi yardımıyla 100 mg numune tartılmıştır. Standart çözelti hazırlığında patates amilozu kullanılmıştır ve konsantrasyonları 0 (boş), 20, 40, 60 ve 80 mg/ mL olarak ayarlanmıştır. Örnek, 100 mL'lik balon jojeye konup üzerine 1 mL %95'lik etanol ve 9 mL 1 N NaOH eklenmiştir. Nişastanın jelatinizasyonu için sıcak su banyosunda 10 dakika bekletilmiştir. Süre sonunda örnekler soğutulduktan sonra hacim saf su ile 100 mL'ye tamamlanıp balon karıştırılmıştır. Çözeltilere birkaç damla fenolftalein eklenmiş; pembe rengin görülmesi çözeltilerin alkalik pH'ta olduğunu göstermiştir. Çözeltiler, pembe renk tamamen kayboluncaya kadar 1 N asetik asit ile nötralize edilmiştir. Nötralize edilen çözeltilere 2 mL iyot çözeltisi (2.6 g potasyum iyodür içeren 10 mL çözelti içinde çözündürülmüş 0.26 g iyot) eklenmiştir. Renk gelişimi 20 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda sağlandıktan sonra, absorbans 620 nm dalga boyunda spektrofotometrede (Hach Lange DR 3900) ölçülmüştür (Şekil 20) (Saha ve Roy, 2022).





Şekil 20. Amiloz tayini: numune çözeltileri ve spektrofotometrik ölçüm aşaması

#### 3.2.2.4. Protein Analizi

Analizlerde kullanılmak üzere öğütülerek homojen hâle getirilen pirinç patlağı unu örneklerinden ~1.0 g numune, 0.0001 g hassasiyetle Kjeldahl tüplerine tartılmıştır. Üzerine 20 mL derişik  $H_2SO_4$  eklenmiş ve her tüpe bir adet katalizör tableti ( $Se + K_2SO_4$  karışımı) ilave edilmiştir. Numuneler Kjeldahl yakma ünitesine yerleştirilmiş ve sıcaklık  $400\text{ }^{\circ}C$ 'de, çözelti tamamen berrak hâle gelinceye kadar, yaklaşık 4 saat yakma işlemi sürdürülmüştür. Yakma işlemi tamamlanan tüpler oda sıcaklığında soğutulmuş ve distilasyon aşaması için Kjeldahl destilasyon ünitesine aktarılmıştır (Şekil 21).

Amonyağın tutulması amacıyla 500 mL'lik erlene %4.0  $H_3BO_3$  çözeltisi ve birkaç damla protein indikatörü eklenmiştir. Distilasyon aşamasında %40'lık NaOH çözeltisi Khejdal tüpüne yavaşça ilave edilerek 15 damıtma işlemi uygulanmıştır. Distilasyon sonrasında borik asit çözeltisinde toplanan amonyak, standart 0.1 N HCl çözeltisi ile titre edilmiştir. Toplam azot miktarı belirlendikten sonra, AOAC'nin tahıllar için önerdiği dönüşüm katsayısı doğrultusunda (AOAC 979.09), azot değeri 6.25 faktörü ile çarpılarak örneklerin toplam protein yüzdesi hesaplanmıştır (AOAC, 2016).



Şekil 21. Khejdal yakma ünitesi, Khejdal distilasyon ünitesi

#### 3.2.2.5. Yağ Tayini

Soxhlet yöntemi ile ölçülmüştür (Şekil 22). Öğütülen örnekten 5.0 g tartılıp kartuşa alınmıştır. Kartuş çözücü ile ıslatılarak bir pamuk parçasıyla kapatılmıştır. Kartuş ekstraktöre yerleştirilip yeterince çözücü eklenmiştir (yaklaşık 150 mL). Balon, ekstraktör ve soğutucu birbirine bağlanıp su banyosuna yerleştirilmiş ve çözücü yavaş yavaş kaynatılmıştır. 6-8 saatlik ekstrasyon sonrasında balon içindeki çözücü tamamen uzaklaştırılmıştır. Balon etüve konup sabit ağırlığa getirildikten sonra tartılarak yağ miktarı (%) hesaplanmıştır (MEB, 2011).





Şekil 22. Yağ tayini (Soxhlet düzeneği)

#### 3.2.2.6. Ham Selüloz Tayini

Ham selüloz tayini, AOAC (2005) tarafından bildirilen AOAC Official Method 962.09 – Crude Fiber prosedürüne dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Yöntem sıcak asit (%1.25  $H_2SO_4$ ) ve sıcak baz (%1.25 NaOH) sindiriminden sonra kalan organik kalıntının kül analizine tabi tutulması esasına dayanmaktadır (AOAC, 2005).

Ham selüloz tayininin ilkesi, undaki nişastayı asitle, azotlu maddeleri de baz ile erir hale getirip sonrasında geri kalan ham selülozu tespit etmeye dayanmaktadır (MEB, 2013). Her bir pirinç patlağı numunesinden öğütülmüş 2 g örnek, 0.0001 g hassasiyetle tartılarak 500 mL’lik cam balonlara alınmıştır. Balonlara 200 mL 0.255 N sülfürik asit çözeltisi eklenmiş ve karışımlar 30 dakika süreyle kaynatılmıştır. Süre sonunda karışımlar uygun filtre kâğıdı üzerinden süzölmüş, balon içerisinde kalan kısımlar kaynar su ile yıkanarak tekrar süzölmüştür. Asit sindirimini takiben; balonlara 200 mL 0.313 N sodyum hidroksit çözeltisi ilave edilmiş ve aynı şekilde 30 dakika süreyle kaynatılarak baz sindirimi uygulanmıştır (Şekil 23). İşlem sonunda karışımlar yeniden süzölmüş ve kaynar su ile yıkanarak alkali artıklarından tamamen arındırılmıştır. Filtrede kalan kalıntı ve filtrasyon için kullanılan kroze, 103 °C’de etüvde sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuştur. İlk ve son tartımlar arasındaki farkın 0.001 g’ı

geçmemesine dikkat edilmiştir. Kurutma sonrasında kroze ve içerisindeki kalıntı, en az 1 saat süreyle 550 °C’de kül fırınında yakılmış, ardından desikatörde oda sıcaklığına getirilmiş ve 0.001 g hassasiyetle tekrar tartılmıştır. Ham lif miktarı kütle esasına göre yüzde (%) olarak hesaplanmıştır (AOAC, 2005).



Şekil 23. Ham selüloz analizi (asit-bazla kaynatma kısmı)

### 3.2.2.7. $\gamma$ -Orizanol Tayini

Pirinç kepeği yağından ekstrakte edilen örneklerdeki orizanol miktarı, UV-Spektrofotometrik yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Bilinen miktarda (60 mg) yağ örneği 25 mL'lik bir balonjoje içerisine alınmış ve HPLC dereceli n-heptan çözeltisi ile çizgiye kadar tamamlanmıştır. İyi karıştırılmış numunenin absorbansı, 315 nm dalga boyunda UV-spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Cihaz, kör örnek ile kalibre edilmiş ve orizanol miktarı mg/100 g cinsinden ifade edilmiştir (Srisaipet ve Nuddagul, 2014; Kumar ve Prasad, 2018).

$$\text{Orizanol (mg/100 g)} = \frac{\text{Absorbans} \times 25 \text{ (hacim)}}{359 \times \text{örnek ağırlığı (g)}} \times 100 \quad (9)$$

Burada, Absorbans; 315 nm'de okunan değer, 25; yağ örneğinin tamamlandığı hacim (mL), 359; orizanol için kullanılan sabit (absorptivite katsayısı), örnek ağırlığı; kullanılan yağ miktarını (gram) belirtmektedir. Sonuç mg/100 g olarak hesaplanmıştır (Srisaipet ve Nuddagul, 2014; Kumar ve Prasad, 2018).

### 3.2.2.8. Nişasta Tayini

Öğütülmüş pirinç patlağı numunelerinin her birinden 2.5 g tartılıp 100 mL'lik balon jojelere alınmıştır. Sonrasında balon jojeye 50 mL %1.28 N HCl çözeltisi eklenmiş ve kapatılıp 15 dakika kaynatılmıştır (Şekil 24). Kaynama sonrası balon jojeler soğutulup 20 mL saf su eklenmiştir. Balonlar oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiştir. Oda sıcaklığına gelen balon jojelerin üzerine önce 5 mL Carez1 çözeltisi eklenip çalkalandıktan sonra 1 dakika bekletilmiştir. Daha sonra 5 mL Carez 2 çözeltisi eklenip iyice karıştırılmıştır. Takiben her bir balon 100 mL'ye saf su ile tamamlanmıştır. Hazırlanan karışımlar, ince ve kaba filtre kâğıdı içeren hunilerden süzülerek berrak süzüntü elde edilmiştir. Sonrasında süzüntü polarimetre (Şekil 25) tüpüne alınıp okuma gerçekleştirilmiştir (Ondokuz Mayıs Üniversitesi, n.d.).



Şekil 24. Örneklerin kaynatılması



Şekil 25. Polarimetre

### 3.2.2.9. Toplam Karbonhidrat Miktarı Tayini

Aşağıdaki formülle belirlenmiştir, değerler % cinsinden kaydedilmiştir (Itagi vd.,2023).

$$\text{Toplam karbonhidrat (g/100 g)} = 100 - (M_{\text{protein}} + M_{\text{kül}} + M_{\text{yağ}}) \quad (10)$$

Eşitlikte,  $M_{\text{protein}}$ ;100 gram numunede protein miktarını,  $M_{\text{kül}}$ ;100 gram numunede kül miktarını,  $M_{\text{yağ}}$  100 gram numunede yağ miktarını gram cinsinden belirtmektedir (Itagi vd.,2023).



### 3.2.2.10. Antioksidan Aktivite Tayini

Pirinç patlağı unu örneklerinden 2.50 g tartılıp üzerine 25 mL %20' lik metanol çözeltisi eklenmiştir (şekil 26). Sonra 30 dk ultrasonik banyoda tutulup, 0.45 mikron filtreden zeltiiler geçirilmiştir.



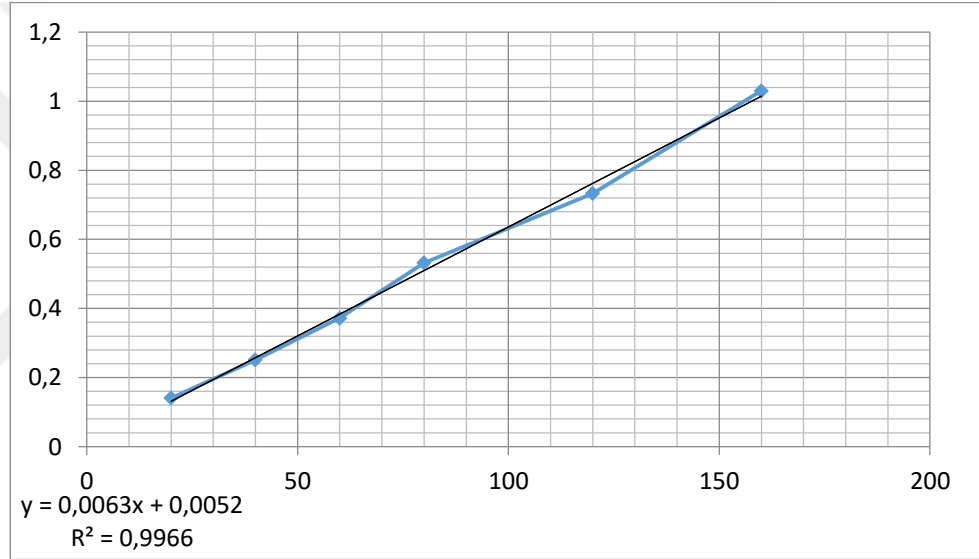
şekil 26. Örnekler

#### 3.2.2.10.1. Toplam Fenolik İçerik Tayini

Pirinç patlağı ekstraktından 300  $\mu\text{L}$  alınmış ve üzerine 3,4 mL saf su eklenmiştir. Karışıma sırasıyla 500  $\mu\text{L}$  metanol ve 200  $\mu\text{L}$  Folin–Ciocalteu reaktifi ilave edilmiştir (şekil 27). Vorteks ile homojenize edilen karışım, oda sıcaklığında 10 dakika bekletilmiştir. Süre sonunda karışıma %10'luk  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  çözeltisinden 600  $\mu\text{L}$  eklenmiş ve son kez vortekslenmiştir. Numuneler, reaksiyonun tamamlanması için oda sıcaklığında karanlık ortamda 120 dakika inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından örneklerin absorbans değerleri, ekstraksız olarak hazırlanan kr çözeltiye karşı 760 nm dalga boyunda llmştir. Kr zeltisi; 3,7 mL saf su, 500  $\mu\text{L}$  metanol, 100  $\mu\text{L}$  Folin–Ciocalteu reaktifi ve 600  $\mu\text{L}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  zeltisi kullanılarak hazırlanmıştır. Örneklerin fenolik madde miktarları; gallik asidin 20, 40, 60, 80, 120 ve 160  $\mu\text{g/mL}$  derişimlerinde hazırlanan standart zeltiileri kullanılarak elde edilen kalibrasyon grafiğinin (şekil 28) doğrusal denklemine göre hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen kalibrasyon doğrusu  $y = 0,0063x + 0,0052$  ( $R^2 = 0,9966$ ) olup, bu denklem aracılığıyla numunelerin toplam fenolik madde içerikleri mg GAE/100 g numune cinsinden belirlenmiştir (Kasangana vd., 2015).



Şekil 27. Toplam fenolik içerik (TPC) analizi için hazırlanan reaksiyon tüpleri



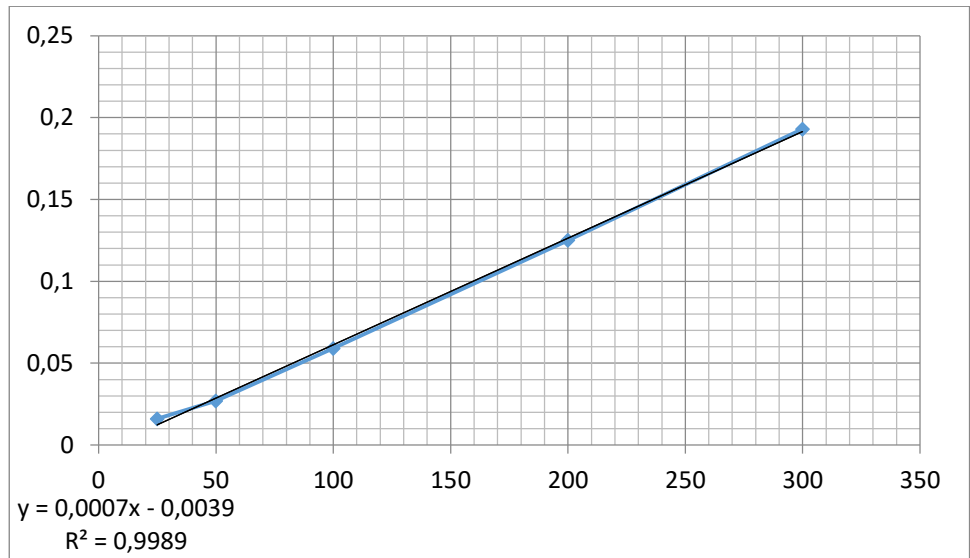
Şekil 28. Toplam fenolik madde analizi kalibrasyon eğrisi

### 3.2.2.10.2. Toplam Flavonoid İçeriği Tayini

Pirinç patlağı ekstraktından 500 µL alınmış ve üzerine %30 (v/v) metanol içeren 3200 µL zelti eklenmiştir. Çözelti kuvvetlice çalkalandıktan sonra sırasıyla 0.5 M sodyum nitrit çözeltisinden 150 µL ve 0.3 M alüminyum klorür çözeltisinden 150 µL ilave edilmiştir (şekil 29). Beş dakikalık bekleme süresinin ardından 1 mL 1 M NaOH zeltisi eklenmiştir. Karışım yeniden vortekslenmiş ve 10 dakikalık inkübasyon sresinden sonra absorbans değeri spektrofotometrede 506 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Kr zelti, 500 µL damıtık su kullanılarak hazırlanmıştır. Aynı işlemler, kateşinin 25, 50, 100, 200 ve 300 µg/mL derişimlerinde hazırlanan standart çözeltilerine de uygulanmıştır. Örneklerin toplam flavonoid madde miktarları, kateşin standart çözeltileri kullanılarak oluşturulan kalibrasyon eğrisinin (şekil 30) doğrusal denklemine göre hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen kalibrasyon doğrusu  $y = 0,0007x - 0,0039$  ( $R^2 = 0,9989$ ) olup, bu denklem kullanılarak numunelerin toplam flavonoid madde içerikleri mg Kateşin Eşdeğeri (CE) / kg numune cinsinden belirlenmiştir (Kasangana vd., 2015).



şekil 29. Toplam flavonoid tayini için hazırlanan reaksiyon tüpleri

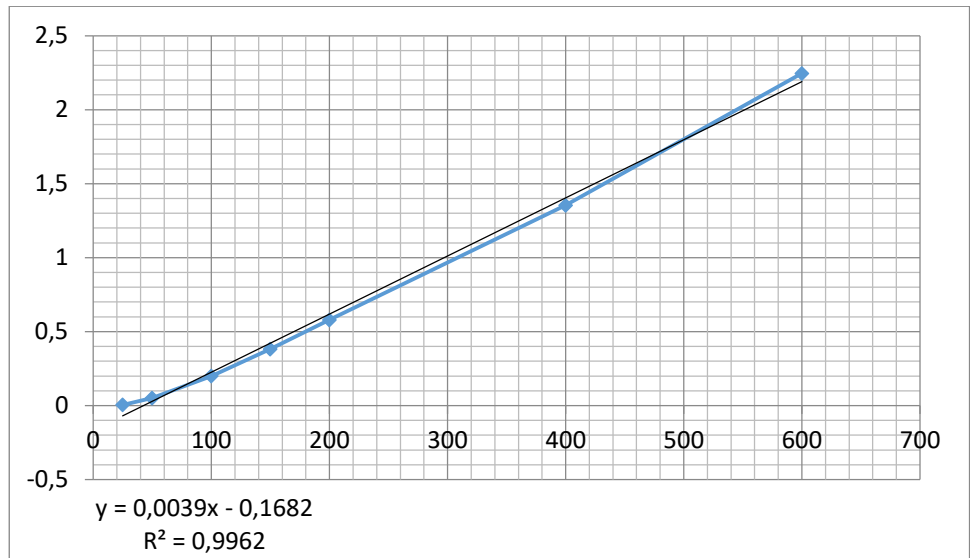


Şekil 30. Toplam flavanoid analizi kalibrasyon eğrisi

### 3.2.2.10.3. Toplam Antioksidan Madde Tayini

Numuneden 500 µL hacminde örnek alınmış ve üzerine 2500 µL saf su eklenmiştir. Ardından karışıma 1000 µL molibdat reaktif çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım 10 dakika boyunca vortekslenmiş ve daha sonra üzeri kapalı şekilde 95 °C sıcaklıktaki su banyosunda 90 dakika tutulmuştur. Süre sonunda karışım su banyosundan çıkarılmış ve musluk suyu ile soğutulmuştur. Kör örnek analizinde, numune yerine 500 µL saf su kullanılmıştır. Reaksiyon karışımlarının absorbans değerleri spektrofotometrede 695 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Standartlardan 500 µL alınıp aynı işlemler yapılmıştır. Örneklerin toplam antioksidan madde miktarları; askorbik asidin 25, 50, 100, 150, 200, 400 ve 600 µg/mL derişimlerinde hazırlanan çözeltileri kullanılarak oluşturulan kalibrasyon eğrisinin (Şekil 31) doğru denklemine göre hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen kalibrasyon doğrusu  $y = 0,0039x - 0,1682$  ( $R^2 = 0,9962$ ) şeklinde olup, bu denklem kullanılarak numunelerin toplam antioksidan kapasitesi mg askorbik asit eşdeğeri/kg numune olarak belirlenmiştir (Kasangana vd., 2015)





Şekil 31. Toplam antioksidan analizi kalibrasyon eğrisi

#### 3.2.2.10.4. DPPH Serbest Radikal Temizleme Tayini

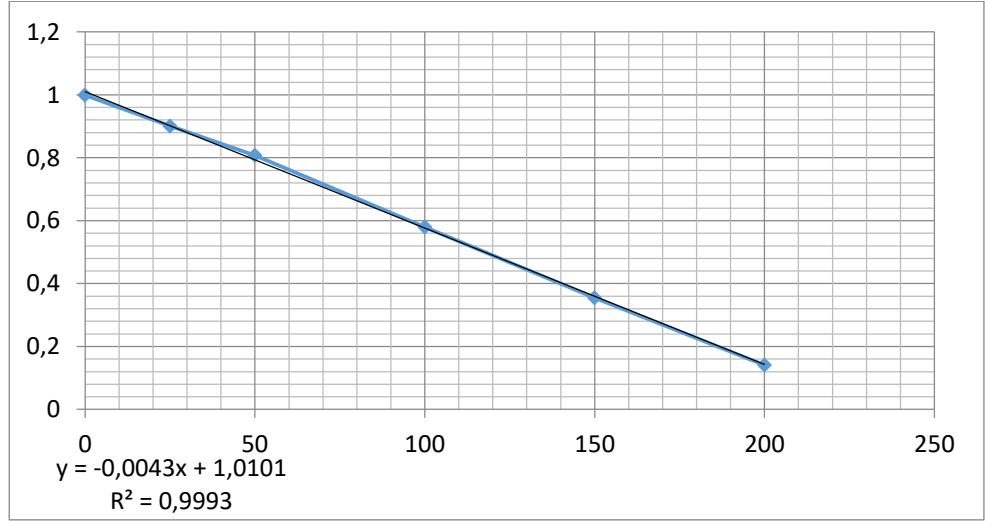
Ana stok DPPH (10 mM) Reaktifinin hazırlanması: 39.5 mg DPPH (2,2 diphenyl 1- picpylhrazyl) 10 mL metanol içinde çözülmüştür.

DPPH çalışma çözeltinin hazırlanması: Ana stok çözeltisinden 2.5 mL alınıp 250 mL'ye metanol ile tamamlanmış, tamamlanan çözeltinin absorbansı 517 nm'de okunduğunda absorbansı  $0.980 \pm 0.02$  değere ayarlanmıştır.

100 µL pirinç patlağı ekstraktı örneği alınarak 3000 µL DPPH çalışma çözeltisi ilave edilmiştir (Şekil 33). Karışım vortekslenip 30 dk beklenmiştir. Elde edilen çözelti daha sonra 517 nm'de Spektrofotometre absorbans ölçümü yapılmıştır. Kör olarak 100 µL metanol kullanılmıştır. Standartlardan (Askorbik asit) 100 µL alınıp aynı işlemler yapılmıştır (Ahmed vd. 2015).

$$\% \text{ İnhibisyon Kapasite} = ((A_c - A_s) / A_c) \times 100 \quad (11)$$

Eşitlik 11'de  $A_c$ , kontrol (DPPH) absorbansı,  $A_s$  örnek absorbansını belirtmektedir.



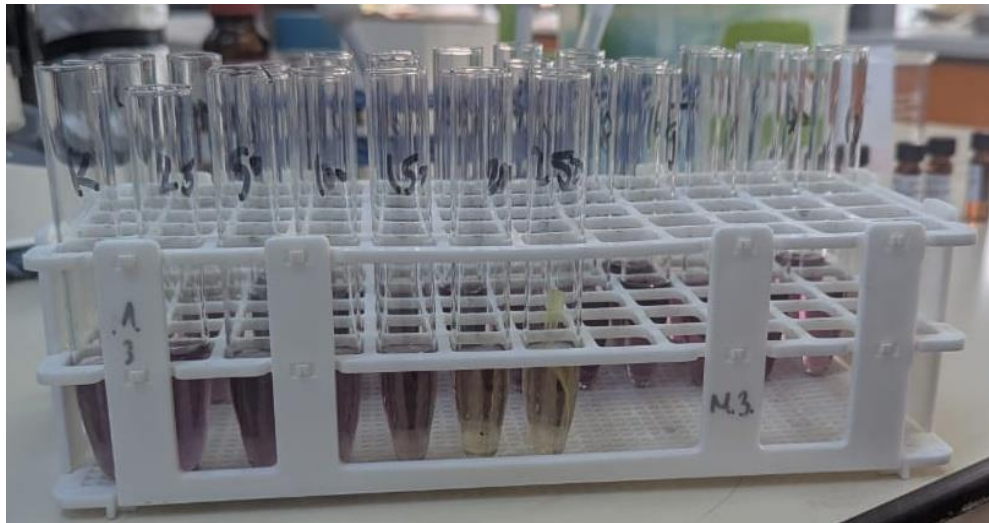
Şekil 32. Askorbik asit standartlarına ait DPPH kalibrasyon eğrisi

Askorbik asit standartlarına ait kalibrasyon eğrisi sonucunda, absorbans ile konsantrasyon arasında  $Abs = -0,0043 \times C + 1,0101$  ( $R^2 = 0,9993$ ) şeklinde doğrusal bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 32).

DPPH analizinde örneklerin askorbik asit eşdeğeri antioksidan kapasiteleri, kalibrasyon eğrisinden elde edilen regresyon denklemi kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar mg AA/100 g cinsinden ifade edilmiştir.

$$C \text{ (mg AA/100 g)} = (1,0101 - Abs_{\text{örnek}}) / 0,043 \quad (12)$$

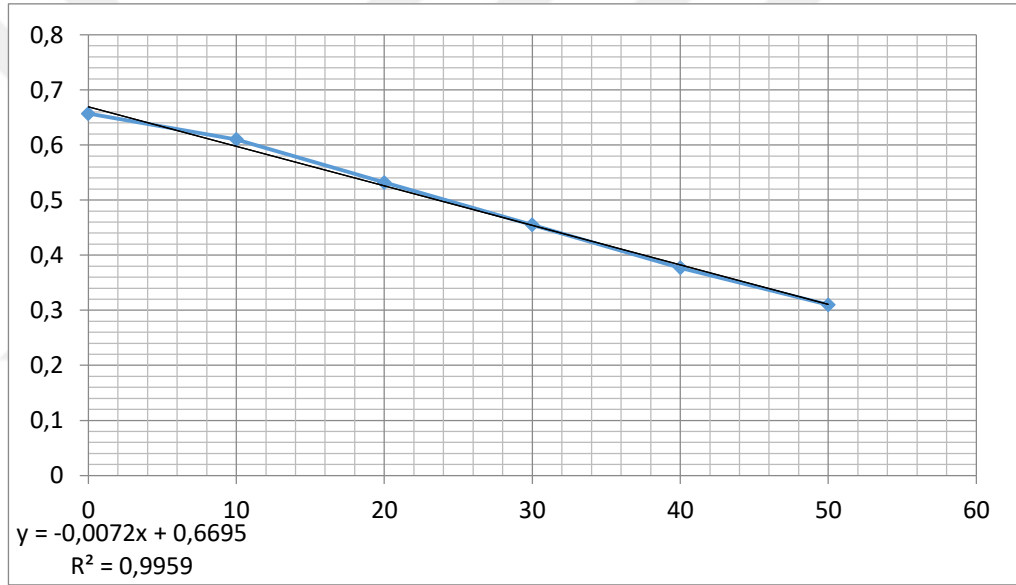
Burada C, askorbik asit eşdeğeri antioksidan kapasiteyi (mg AA/100 g),  $Abs_{\text{örnek}}$  ise 517 nm’de ölçülen örnek absorbansını ifade etmektedir.



Şekil 33. DPPH analizinde örneklerde gözlenen renk değişimi

### 3.2.2.10.5. ABTS Radikal Katyonu Süpürücü Etki Tayini

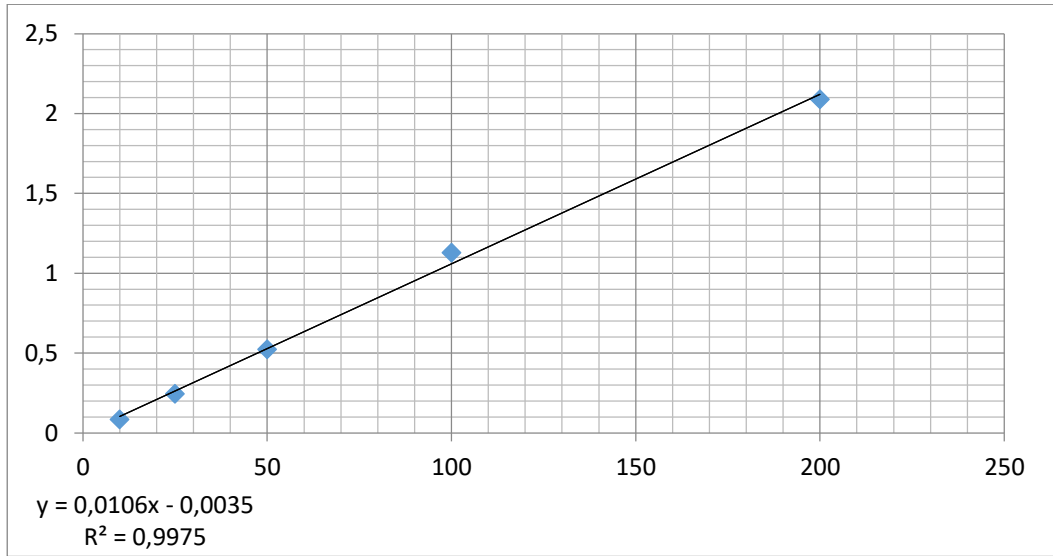
150 µL örnek alınarak 2850 µL ABTS çalışma çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım vortekslenerek 120 dk. karanlıkta bekletilmiştir. Elde edilen çözelti devamında 734 nm spektrofotometrede absorbans ölçümü yapılmıştır. Kör olarak 150 µL metanol kullanılmıştır. Standartlardan (Askorbik asit) 150 µL alınıp aynı işlemler gerçekleştirilmiştir. Örneklerin ABTS•<sup>+</sup> kation radikali süpürücü kapasiteleri, standart askorbik asit çözeltileri kullanılarak oluşturulan kalibrasyon eğrisinin (Şekil 34) doğrusal denkleminden yararlanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen kalibrasyon doğrusu  $y = -0,0072x + 0,6695$  ( $R^2 = 0,9959$ ) olup, bu denklem kullanılarak pirinç patlağı numunelerinin ABTS antioksidan kapasitesi mg askorbik asit eşdeğeri (AAE) / 100 g pirinç patlağı olarak belirlenmiştir (Ahmed vd., 2015).



Şekil 34. ABTS radikal katyonu süpürücü etki analizi kalibrasyon eğrisi

### 3.2.2.10.6. FRAP Toplam Demir İndirgeme Antioksidan Kapasitesi Tayini

250 µL pirinç patlağı ekstraktı örneği alınarak 2750 µL FRAP çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım vortekslenip 30 dk beklenmiştir. Kör olarak 250 µL saf su kullanılmıştır. Standartlardan 250 µL alınıp aynı işlemler yapılmıştır. FRAP madde miktarları; FeSO<sub>4</sub> (25.00, 50.50 100 ve 200 µg mL<sup>-1</sup>) çözeltisi ile elde edilen kalibrasyon grafiğinin doğru denklemi kullanılarak toplam demir indirgeme antioksidan kapasitesi mg FeSO<sub>4</sub> eşdeğeri kg<sup>-1</sup> olarak verilmiştir (Ahmed vd. 2015).



Şekil 35. FeSO<sub>4</sub> standart çözeltilerine ait FRAP kalibrasyon eğrisi

FeSO<sub>4</sub> standartlarına ait kalibrasyon eğrisi sonucunda absorbans ile konsantrasyon arasında  $Abs=0.0106 \cdot C - 0.0035$  ( $R^2=0.9975$ ) şeklinde doğrusal bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 35).

Örneklerin toplam demir indirgeme antioksidan kapasitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar mg FeSO<sub>4</sub>/ 100 g KM olarak ifade edilmiştir:

$$C \text{ (mg FeSO}_4\text{/100 g)} = (Abs_{\text{örnek}} + 0.0035) / 0.106 \quad (13)$$

Burada C, toplam demir indirgeme antioksidan kapasitesi (mg FeSO<sub>4</sub> / 100 g KM), Abs<sub>örnek</sub> FRAP absorbansı (593 nm) belirtmektedir.

### 3.2.2.11. FTIR Özellikleri

FTIR spektroskopisi kullanılacaktır. Pirinç patlağı numunelerinden öğütme ile elde edilen pirinç patlağı unlarından 2 mg alınıp üzerine 50 mg potasyum bromit tuzu eklenerek iyice karıştırılmıştır. Pelet haline getirilip FTIR spektrometresinde yapı analizi yapılmıştır (Kumar ve Prasad, 2018).

### 3.2.3. Duyusal Analizler

9 Noktalı hedonik ölçek kullanılacaktır. Ölçek puanları 1'den 9'a kadar numaralandırılacak ve sonuçlar değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanarak elde edilecektir. Pirinç patlağı örnekleri renk, tekstür (gevreklik, vb.), lezzet, tat kriterlerine göre değerlendirilecektir. Analizde yarı eğitilmiş panelistler (min. 10 kişi) ile yapılacak

ve panelistlerden örnekleri aşağıdaki skala doğrultusunda değerlendirmeleri istenecektir (Yaralı, 2018).



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Bin Tane Ağırlığı

Ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlağı örneklerine ait bin tane ağırlığı (BTA) değerleri Tablo 5 ve Şekil 36'da sunulmuştur. Ham çeltikte BTA değerlerinin 28.72-39.22 g aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük BTA değeri Ç5 çeşidinde ( $28.72 \pm 0.30$  g) belirlenirken, en yüksek BTA değerleri Ç3 ( $39.22 \pm 0.15$  g) ve Ç8 ( $39.13 \pm 0.22$  g) çeşitlerinde tespit edilmiştir. Elde edilen bu bulgular, literatürdeki bildirişlerin (Singh ve ark., 2005) üzerinde değerler olup; farklılığın çeşit özelliği ve yetiştirme tekniklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim, BTA, pirinçte dane iriliği, dolgunluk ve endosperm yoğunluğu ile doğrudan ilişkili temel bir kalite parametresi olup, bu özelliğin genetik yapı, çevresel koşullar ve yetiştirme tekniklerinden önemli ölçüde etkilendiği bildirilmektedir (Juliano, 1993; Bhattacharya, 2011).

Ham çeltikten kargo pirince geçiş aşamasında tüm çeşitlerde BTA değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir azalma ( $p < 0.05$ ) meydana gelmiştir. Kargo pirinçte BTA değerleri 22.57-32.58 g aralığında saptanmıştır. En düşük değer yine Ç5 çeşidinde ( $22.57 \pm 0.10$  g) belirlenirken, en yüksek değer Ç6 çeşidinde ( $32.58 \pm 0.11$  g) hesaplanmıştır. Kabuk soyma ve kepeğin uzaklaştırılması sonrasında tanelerde belirgin bir kütle kaybı meydana gelmekte ve bu durum bin dane ağırlığının düşmesine yol açmaktadır. Öğütme ve ön haşlama (parboiling) işlemleri ise tanelerin nem içeriği, yoğunluğu ve iç yapısında meydana gelen değişimler üzerinden bin dane ağırlığını doğrudan etkilemektedir (Kumar ve Prasad, 2018; Patel vd., 2021). Özellikle ham çeltikte yüksek BTA'ya sahip olan Ç3, Ç6, Ç8 ve Ç16 çeşitlerinin kargo pirinçte de yüksek BTA değerlerini koruduğu saptanmıştır. Bu durum, söz konusu çeşitlerin endosperm yapısının daha yoğun olduğunu göstermektedir.

BTA değerlerine ilişkin literatür incelendiğinde, ham ve işlenmiş pirinç örneklerinde bu özelliğin geniş bir aralıkta değişkenlik gösterebildiği anlaşılmaktadır. Kumar ve Prasad (2013) tarafından yapılan çalışmada ham pirinç, kargo pirinç ve pirinç patlağı numunelerine ait BTA değerleri sırasıyla 36.37 g, 23.21 g ve 22.28 g olarak rapor edilmiştir. Ülkemizde yapılan bir çalışmada Akay vd. (2018), Baldo, Efe, Osmancık-97 ve Yatkın çeşitlerine ait BTA değerlerini sırasıyla 31.97 g, 27.51 g, 26.74 g ve 27.26 g olarak bildirmiştir.

Tablo 5. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında bin tane ağırlığına ilişkin ortalama değerler (g)

| Çeşit kodu | Ham çeltik                  | Kargo pirinç               | Pirinç patlağı             |
|------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Ç1         | 34.38 ± 0.36 <sup>jk*</sup> | 28.97 ± 0.04 <sup>h</sup>  | 27.34 ± 0.09 <sup>g</sup>  |
| Ç2         | 32.95 ± 0.14 <sup>h</sup>   | 26.36 ± 0.04 <sup>d</sup>  | 25.50 ± 0.21 <sup>d</sup>  |
| Ç3         | 39.22 ± 0.15 <sup>p</sup>   | 31.96 ± 0.16 <sup>j</sup>  | 32.18 ± 0.13 <sup>n</sup>  |
| Ç4         | 34.72 ± 0.06 <sup>k</sup>   | 28.20 ± 0.14 <sup>g</sup>  | 27.64 ± 0.06 <sup>h</sup>  |
| Ç5         | 28.72 ± 0.30 <sup>a</sup>   | 22.57 ± 0.10 <sup>a</sup>  | 22.83 ± 0.04 <sup>a</sup>  |
| Ç6         | 38.75 ± 0.23 <sup>o</sup>   | 32.58 ± 0.11 <sup>k</sup>  | 35.72 ± 0.07 <sup>p</sup>  |
| Ç7         | 31.98 ± 0.18 <sup>e</sup>   | 26.95 ± 0.05 <sup>de</sup> | 29.38 ± 0.07 <sup>j</sup>  |
| Ç8         | 39.13 ± 0.22 <sup>op</sup>  | 31.85 ± 0.36 <sup>j</sup>  | 31.59 ± 0.06 <sup>m</sup>  |
| Ç9         | 32.57 ± 0.13 <sup>g</sup>   | 26.63 ± 0.05 <sup>d</sup>  | 27.96 ± 0.01 <sup>i</sup>  |
| Ç10        | 29.42 ± 0.13 <sup>b</sup>   | 24.45 ± 0.11 <sup>b</sup>  | 25.06 ± 0.06 <sup>c</sup>  |
| Ç11        | 32.11 ± 0.11 <sup>ef</sup>  | 26.63 ± 0.44 <sup>d</sup>  | 27.27 ± 0.14 <sup>g</sup>  |
| Ç12        | 31.31 ± 0.12 <sup>d</sup>   | 25.40 ± 0.49 <sup>c</sup>  | 26.98 ± 0.15 <sup>f</sup>  |
| Ç13        | 33.12 ± 0.13 <sup>hi</sup>  | 27.40 ± 0.59 <sup>ef</sup> | 25.54 ± 0.12 <sup>d</sup>  |
| Ç14        | 32.42 ± 0.11 <sup>fg</sup>  | 26.52 ± 0.47 <sup>d</sup>  | 26.34 ± 0.18 <sup>e</sup>  |
| Ç15        | 37.06 ± 0.17 <sup>m</sup>   | 30.20 ± 0.30 <sup>i</sup>  | 31.72 ± 0.09 <sup>m</sup>  |
| Ç16        | 38.18 ± 0.14 <sup>n</sup>   | 31.82 ± 0.19 <sup>j</sup>  | 32.76 ± 0.04 <sup>o</sup>  |
| Ç17        | 32.76 ± 0.02 <sup>gh</sup>  | 27.60 ± 0.35 <sup>f</sup>  | 27.8 ± 0.130 <sup>hi</sup> |
| Ç18        | 30.64 ± 0.12 <sup>c</sup>   | 25.46 ± 0.07 <sup>c</sup>  | 25.16 ± 0.10 <sup>c</sup>  |
| Ç19        | 34.25 ± 0.13 <sup>j</sup>   | 28.50 ± 0.33 <sup>gh</sup> | 29.32 ± 0.04 <sup>j</sup>  |
| Ç20        | 30.39 ± 0.33 <sup>c</sup>   | 24.60 ± 0.28 <sup>b</sup>  | 24.77 ± 0.02 <sup>b</sup>  |
| Ç21        | 33.39 ± 0.23 <sup>i</sup>   | 26.32 ± 0.83 <sup>d</sup>  | 30.48 ± 0.25 <sup>k</sup>  |
| Ç22        | 35.20 ± 0.33 <sup>l</sup>   | 29.01 ± 0.13 <sup>h</sup>  | 30.79 ± 0.33 <sup>l</sup>  |

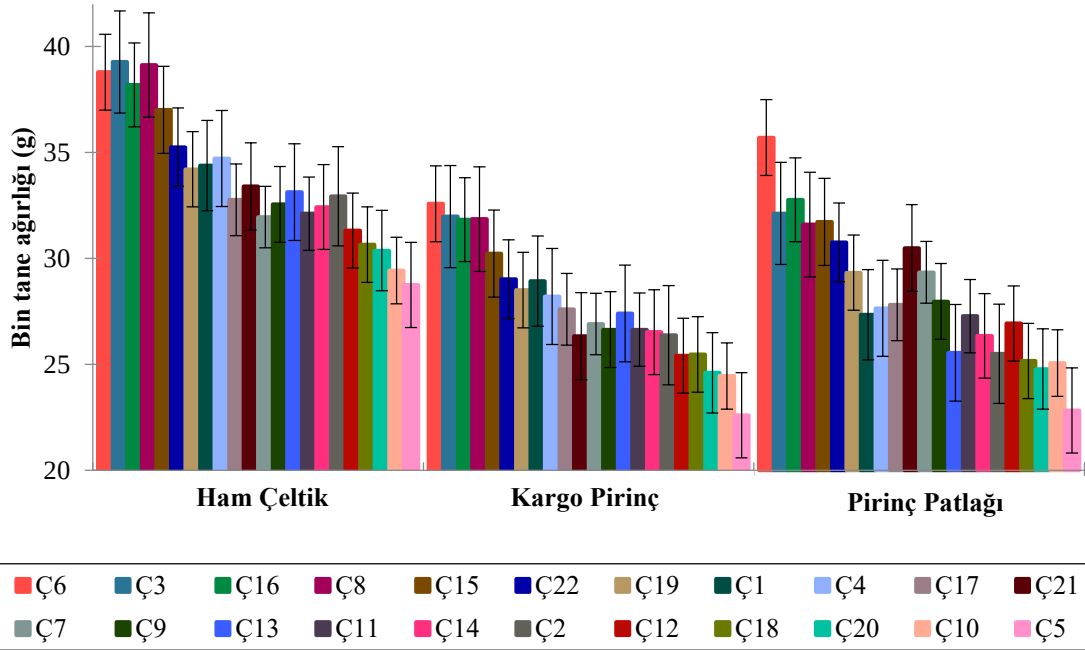
\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.

Itagi vd. (2023) ise BTA değerlerini çeltikte 13.96–28.70 g, kargo pirinçte 11.70–23.02 g ve ürettikleri patlak pirinç numunelerinde 11.63–23.56 g aralığında tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar, hamdan işlenmiş ürüne geçiş sürecinde BTA değerlerinde meydana gelen değişimlerin literatürde tutarlı biçimde rapor edildiğini göstermektedir.

Pirinç patlağı aşamasında BTA değerlerinin 22.83-35.72 g arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük değer Ç5 çeşidinde (22.83±0.04 g), en yüksek değer ise Ç6 çeşidinde (35.72±0.07 g) elde edilmiştir. Bazı çeşitlerde (özellikle Ç6, Ç15, Ç16, Ç21 ve Ç22) patlatma sonrasında BTA değerlerinin kargo pirince kıyasla yeniden arttığı görülmüştür. Bu artışın, patlatma işlemi sırasında tane yapısında meydana gelen hacimsel genişleme, gözenek oluşumu ve nem transferi ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Murugesan ve Bhattacharya, 1986; Mishra vd., 2014). Patlatma işlemiyle birlikte tanenin iç yapısında oluşan boşluklar, bazı çeşitlerde ölçülen kütle değerlerini artırabilmektedir.

Genel olarak işleme basamakları birlikte değerlendirildiğinde, ham çeltikten kargo pirince geçişte BTA değerleri belirgin şekilde azalırken, kargo pirinçten pirinç patlağına geçişte çeşitlere bağlı olarak farklı eğilimlerin ortaya çıktığı görülmüştür. Bu durum, patlama davranışının büyük ölçüde çeşit, endosperm sertliği, nişasta-protein oranı ve başlangıç nem içeriği ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Liu vd., 2020).

Sonuç olarak, incelenen çeşitler arasında bin tane ağırlığı bakımından belirgin farklılıkların bulunduğu ve bu farkların işleme aşamalarına bağlı olarak değiştiği ortaya konulmuştur. Ç3, Ç6, Ç8 ve Ç16 çeşitleri yüksek BTA değerleriyle öne çıkarken, Ç5 çeşidi tüm işleme aşamalarında en düşük BTA değerlerini sergilemiştir. Bu bulgular, pirinç patlağı üretiminde yüksek BTA'ya sahip çeşitlerin hacim artışı, ürün dolgunluğu ve verim açısından daha avantajlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 36. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında bin tane ağırlığı değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir.

#### 4.2. Tane Boyu

Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlağı örneklerine ait tane boyu değerleri Tablo 6 ve Şekil 37’de sunulmuştur. Ham çeltikte tane boyu değerlerinin 8.07-9.67 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük tane boyu Ç5 ( $8.07 \pm 0.13$  mm) ve Ç18 ( $8.16 \pm 0.21$  mm) çeşitlerinde tespit edilirken, en yüksek tane boyu Ç6 ( $9.67 \pm 0.23$  mm), Ç15 ( $9.60 \pm 0.33$  mm) ve Ç16 ( $9.56 \pm 0.20$  mm) çeşitlerinde belirlenmiştir. Literatürde de benzer şekilde çeltik tane uzunluklarında



çeşitler arası belirgin bir morfolojik değişkenlik gözlenmekte olup, bildirilen değerlerin geniş bir aralığa yayıldığı görülmektedir. Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün 2013 yılı faaliyet raporunda, ülkemizde yetiştirilen çeltik çeşitlerinde çeltik tane uzunluklarının 8.5–9.9 mm aralığında değiştiği bildirilmektedir. Aynı raporda Yatkın çeşidinde çeltik tane uzunluğu 8.9 mm, pirinç tane uzunluğu ise 6.4 mm olarak rapor edilmiştir (TAGEM, 2013). Altuntaş ve Naneli (2018) ise Osmancık-97 çeşidinde çeltik tane uzunluğunu 8.77 mm olarak bildirmiştir.

Tane boyu, pirincin sınıflandırılmasında ve ticari değerinin belirlenmesinde en önemli fiziksel parametrelerden biri olup, uzun taneli çeşitlerin genellikle 9.0 mm'nin üzerinde değerlere sahip olduğu bildirilmektedir (Juliano, 1993). FAO'nun (2007) yayınladığı Uluslararası Gıda Kodeksine göre; 6.6 mm'nin üzerindeki tane boyuna sahip olan çeltik çeşitlerinin uzun taneli olarak sayıldığını bildirmektedir. Bu kapsamda Ç3, Ç6, Ç8, Ç10, Ç15 ve Ç16 çeşitlerinin uzun taneli pirinç sınıfına girdiği söylenebilir. Zhou vd. (2015)'e göre SLG7 geni, çeltikte çeşitli dokularda sürekli olarak eksprese (ifade) edilmekte ve SLG7 proteini plazma zarında lokalize olmaktadır. Araştırmacılar, morfolojik ve hücresel analizlerin, hücre bölünmesinden bağımsız olarak; SLG7'nin hücrelerin uzunlamasına uzatılıp enine daraltılması yoluyla ince tanelerin oluşturulmasında etkili olduğunu belirtmiştir. Zuo ve Li (2014) de, çeltik tanesi şeklinin evrimsel uyumun bir belirleyicisi olduğunu ve aynı zamanda tane verimi ile görsel kalite açısından önemli bir tarımsal özellik olduğunu, bu özellik için birkaç genin yakın zamanda karakterize edildiğini bildirmiştir.

Ham çeltikten kargo pirince geçiş aşamasında tüm çeşitlerde tane boyunda istatistiksel olarak önemli düzeyde bir azalma ( $p<0.05$ ) meydana gelmiştir. Kargo pirinçte tane boyu değerleri 6.20-7.33 mm aralığında değişmiştir. En düşük değer Ç20 çeşidinde ( $6.20\pm0.16$  mm), en yüksek değer ise Ç6 ( $7.33\pm0.07$  mm) ve Ç16 ( $7.27\pm0.10$  mm) çeşitlerinde tespit edilmiştir. Literatürde yarı haşlanmış pirinç üzerine yapılan bir çalışmada tane uzunluklarının 6.73–6.97 mm aralığında seyrettiği bildirilmiştir (Mishra vd., 2023). Swarnakar vd. (2014), çeltik tanelerinde ortalama uzunluğun 9.84 mm olduğunu, kabuk uzaklaştırılarak elde edilen kargo pirinçte ise bu değer 6.65 mm'ye düştüğünü rapor etmiştir. Benzer şekilde Itagi ve Singh (2015), çeltik formundaki tanelerin uzunluklarının 8.9–9.7 mm aralığında bulunduğunu, kargo (de-husked) pirinçte ise 6.7–7.1 mm'ye gerilediğini bildirmiştir. Bu bulgular, çeltikten kargo pirince geçişte tane uzunluğunda belirgin bir azalma meydana geldiğini ve çalışmamızdaki sonuçların literatürle uyumlu olduğunu göstermektedir. Uzunluk kaybının, kabuk soyma işleminde tanelerin uç kısımlarında oluşan mekanik mikro-kırılmalar ve aşınmayla

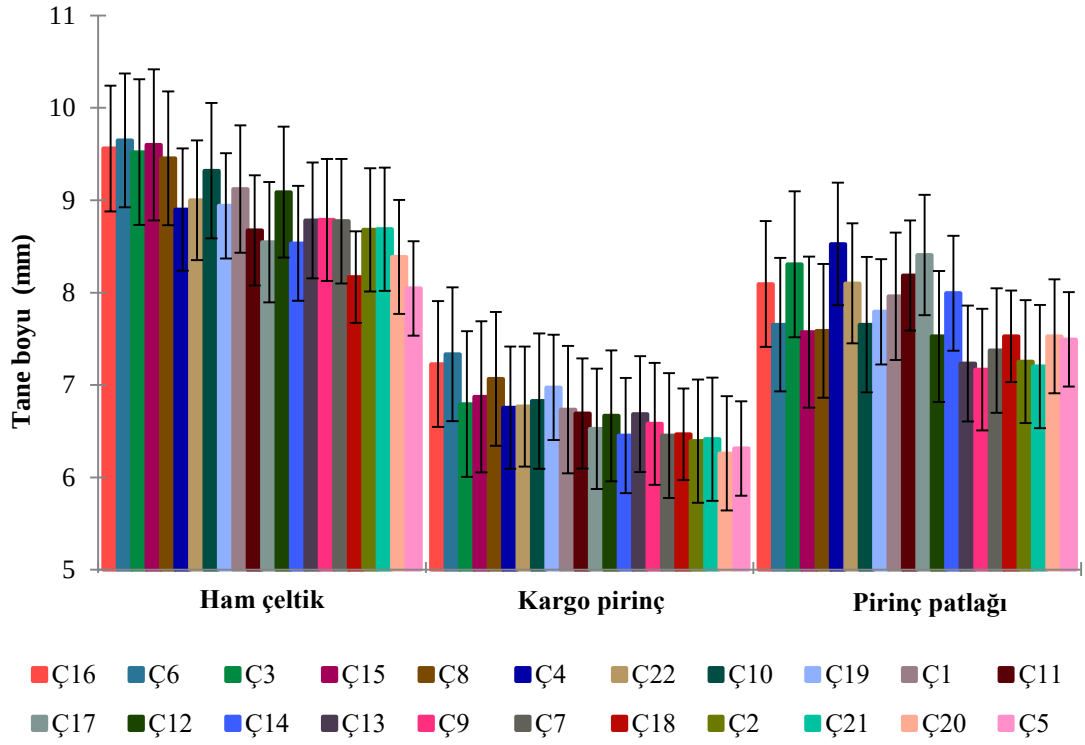
ilişkili olabileceği ifade edilmektedir. Ayrıca literatürde başlangıçta daha uzun tane yapısına sahip pirinçlerin, kargo formuna dönüştürüldüğünde de göreceli olarak daha uzun bir tane morfolojisini koruduğu görülmektedir (Swarnakar vd., 2014; Itagi ve Singh, 2015).

Tablo 6. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane boyuna ilişkin ortalama değerler (mm)

| Çeşit kodu | Ham çeltik                   | Kargo pirinç                  | Pirinç patlağı               |
|------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Ç1         | 9.12 ± 0.10 <sup>fgh*</sup>  | 6.73 ± 0.19 <sup>efghi</sup>  | 7.96 ± 0.40 <sup>bcdef</sup> |
| Ç2         | 8.68 ± 0.14 <sup>bcde</sup>  | 6.39 ± 0.06 <sup>abc</sup>    | 7.25 ± 0.11 <sup>a</sup>     |
| Ç3         | 9.52 ± 0.50 <sup>i</sup>     | 6.79 ± 0.10 <sup>fghi</sup>   | 8.30 ± 0.48 <sup>def</sup>   |
| Ç4         | 8.90 ± 0.11 <sup>cdef</sup>  | 6.75 ± 0.03 <sup>fghi</sup>   | 8.52 ± 0.18 <sup>f</sup>     |
| Ç5         | 8.07 ± 0.13 <sup>a</sup>     | 6.31 ± 0.22 <sup>ab</sup>     | 7.49 ± 0.40 <sup>abc</sup>   |
| Ç6         | 9.67 ± 0.23 <sup>i</sup>     | 7.33 ± 0.07 <sup>l</sup>      | 7.65 ± 0.45 <sup>abcd</sup>  |
| Ç7         | 8.77 ± 0.10 <sup>bcdef</sup> | 6.45 ± 0.16 <sup>abcde</sup>  | 7.37 ± 0.22 <sup>ab</sup>    |
| Ç8         | 9.45 ± 0.09 <sup>hi</sup>    | 7.07 ± 0.22 <sup>jk</sup>     | 7.58 ± 0.19 <sup>abc</sup>   |
| Ç9         | 8.70 ± 0.17 <sup>bcdef</sup> | 6.58 ± 0.08 <sup>bcdefg</sup> | 7.16 ± 0.25 <sup>a</sup>     |
| Ç10        | 9.32 ± 0.26 <sup>ghi</sup>   | 6.87 ± 0.16 <sup>ghij</sup>   | 7.65 ± 0.53 <sup>abcd</sup>  |
| Ç11        | 8.67 ± 0.18 <sup>bcde</sup>  | 6.69 ± 0.08 <sup>defghi</sup> | 8.17 ± 0.15 <sup>cdef</sup>  |
| Ç12        | 9.08 ± 0.05 <sup>fgh</sup>   | 6.66 ± 0.11 <sup>cdefgh</sup> | 7.57 ± 0.39 <sup>abc</sup>   |
| Ç13        | 8.78 ± 0.26 <sup>bcdef</sup> | 6.68 ± 0.06 <sup>defgh</sup>  | 7.23 ± 0.76 <sup>a</sup>     |
| Ç14        | 8.53 ± 0.16 <sup>bc</sup>    | 6.45 ± 0.18 <sup>abcde</sup>  | 7.99 ± 0.46 <sup>bcdef</sup> |
| Ç15        | 9.60 ± 0.33 <sup>i</sup>     | 6.87 ± 0.11 <sup>hij</sup>    | 7.57 ± 0.02 <sup>abc</sup>   |
| Ç16        | 9.56 ± 0.20 <sup>i</sup>     | 7.27 ± 0.10 <sup>kl</sup>     | 8.09 ± 0.21 <sup>cdef</sup>  |
| Ç17        | 8.57 ± 0.13 <sup>bcd</sup>   | 6.52 ± 0.19 <sup>abcdef</sup> | 8.47 ± 0.53 <sup>ef</sup>    |
| Ç18        | 8.16 ± 0.21 <sup>a</sup>     | 6.46 ± 0.16 <sup>abcde</sup>  | 7.52 ± 0.11 <sup>abc</sup>   |
| Ç19        | 8.94 ± 0.27 <sup>defg</sup>  | 6.97 ± 0.09 <sup>ijk</sup>    | 7.79 ± 0.16 <sup>abcde</sup> |
| Ç20        | 8.38 ± 0.13 <sup>ab</sup>    | 6.20 ± 0.16 <sup>a</sup>      | 7.52 ± 0.20 <sup>abc</sup>   |
| Ç21        | 8.68 ± 0.17 <sup>bcde</sup>  | 6.41 ± 0.27 <sup>abcd</sup>   | 7.20 ± 0.33 <sup>a</sup>     |
| Ç22        | 9.00 ± 0.14 <sup>efg</sup>   | 6.77 ± 0.17 <sup>fghi</sup>   | 8.10 ± 0.37 <sup>cdef</sup>  |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.

Pirinç patlağı örneklerinde tane boyu değerleri 7.16-8.52 mm arasında değişmiştir. En düşük değer Ç2, Ç9, Ç13 ve Ç21 çeşitlerinde (~7.20 mm civarı) gözlenirken, en yüksek değer Ç4 (8.52±0.18 mm), Ç17 (8.47±0.53 mm), Ç3 (8.30±0.48 mm) ve Ç16 (8.09±0.21 mm) çeşitlerinde belirlenmiştir. Patlatma işlemi sırasında uygulanan ısı işlem, tane içerisinde suyun hızla buharlaşmasına ve endosperm yapısında hacimsel genişlemeye neden olmakta, bu durum tane boyunun yeniden artmasına yol açmaktadır (Saha ve Roy, 2020). Ancak bu artışın düzeyi, çeşitlere bağlı olarak farklılık göstermektedir.



Şekil 37. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane boyu değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir.

İşleme basamakları birlikte değerlendirildiğinde, ham çeltikten kargo pirince geçişte tane boyunun düzenli olarak azaldığı, kargo pirinçten pirinç patlağına geçişte ise tane boyunun tekrar arttığı belirlenmiştir. Bu durum, patlatma sırasında tanelerin enine ve boyuna yönde birlikte genişlediğini ve özellikle uç kısımlarda meydana gelen deformasyonun tane boyu ölçümlerine doğrudan yansıdığını göstermektedir. Tane boyundaki bu değişimler, pirinç patlağının hacim artışı, gevreklik, kırılma yapısı ve tüketici algısı üzerinde doğrudan etkili olmaktadır (Bhattacharya, 2011). Literatürdeki diğer çalışmalar da bu eğilimi desteklemektedir. Kumar ve Prasad (2018), ham çeltik–kargo pirinç–pirinç patlağı sırasıyla 9.21 mm, 6.61 mm ve 15.93 mm uzunluk değerleri rapor ederek patlatma sonrası uzunlukta belirgin artış olduğunu göstermiştir. Saha ve Roy (2022) ise pirinç patlağı üretiminde kullandıkları pirinç çeşitlerine ait uzunlukları 6.04–6.70 mm; patlatılmış ürünlerde ise 10.87–13.92 mm aralığında belirlemişlerdir. Ham çeltikten kargo pirince geçişte uzunlukta görülen azalma ile patlatma sonrası oluşan boyut artışına ilişkin bulgular, çalışmamızın boyutsal değişim eğiliminin literatürde bildirilen verilerle örtüştüğünü göstermektedir. Kahverengi pirinçte kepek tabakasının varlığı, literatürde taneye daha yüksek mekanik bütünlük kazandıran yapısal bir unsur olarak tanımlanmaktadır (Champagne vd., 2004). Bu nedenle boy yönündeki genişlemenin, beyaz pirince kıyasla daha sınırlı gerçekleşmiş olabileceği

düşünülmektedir. Çalışmamızda en yönünde gözlenen daha belirgin genişleme ve buna bağlı boy/en oranındaki düşüş, literatürde rapor edilen transverse expansion baskınlığıyla uyumlu bir eğilim sergilemektedir (Bagchi 2016; Saha ve Roy 2022).

Sonuç olarak, incelenen çeşitler arasında tane boyu bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğu ve bu özelliğin işleme aşamalarına duyarlı olduğu ortaya konulmuştur. Ham çeltikte Ç6, Ç15 ve Ç16 çeşitleri en uzun tane yapısına sahip olurken, pirinç patlağı formunda da Ç4, Ç17 ve Ç16 çeşitleri en yüksek tane boyu değerleriyle öne çıkmıştır. Bu sonuçlar, pirinç patlağı üretiminde uzun taneli çeşitlerin ürün görünümü ve hacimsel genişleme açısından daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

#### 4.3. Tane Eni

Ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlağı örneklerine ait tane eni ortalama değerleri Tablo 7 ve Şekil 38’de sunulmuştur. Ham çeltikte tane eni değerlerinin 2.85–3.49 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük tane eni Ç10 çeşidinde ( $2.85 \pm 0.06$  mm) tespit edilirken, en yüksek değerler Ç6 ( $3.49 \pm 0.06$  mm) ve Ç3 ( $3.48 \pm 0.11$  mm) çeşitlerinde belirlenmiştir. Tane eni, pirinçte tane dolgunluğunu ve endosperm genişliğini yansıtan temel fiziksel parametrelerden biri olup, bu özelliğin çeşit ve çevre koşullarına bağlı olarak değiştiği bildirilmektedir. Türkiye’de yürütülen çalışmalarda, tane eni değerlerinin benzer aralıklarda seyrettiği görülmektedir. Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından yayımlanan 2013 yılı faaliyet raporunda, ülkemizde tescil edilen çeltik çeşitlerinde çeltik tane genişliklerinin 2.9–3.5 mm, pirinç tane genişliklerinin ise 2.5–3.1 mm aralığında değiştiği rapor edilmiştir. Aynı raporda Yatkin çeşidinde çeltik tane genişliği 3.3 mm, pirinç tane genişliği ise 2.9 mm olarak bildirilmiştir. Çalışmada öğütme işlemi sırasında kabuk ve kepek tabakalarının uzaklaştırılmasına bağlı olarak tane eninde azalma meydana gelmektedir (TAGEM, 2013). Benzer şekilde Altuntaş ve Naneli (2018), Osmancık-97 çeşidine ait tane genişliğini 3.24 mm olarak rapor etmişlerdir. Bu literatür bulguları, çalışmamızda elde edilen ham çeltik tane eni değerlerinin genel dağılım bakımından önceki çalışmalarla uyumlu olduğunu göstermektedir.

Ham çeltikten kargo pirince geçiş aşamasında tüm çeşitlerde tane eni değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma ( $p < 0.05$ ) meydana gelmiştir. Kargo pirinçte tane eni 2.65–3.27 mm aralığında değişmiştir. En düşük değer yine Ç10 çeşidinde ( $2.65 \pm 0.06$  mm), en yüksek değer ise Ç6 çeşidinde ( $3.27 \pm 0.11$  mm) saptanmıştır. Benzer şekilde, Maisont ve Narkrugsa (2009), kahverengi pirinçlerin tane

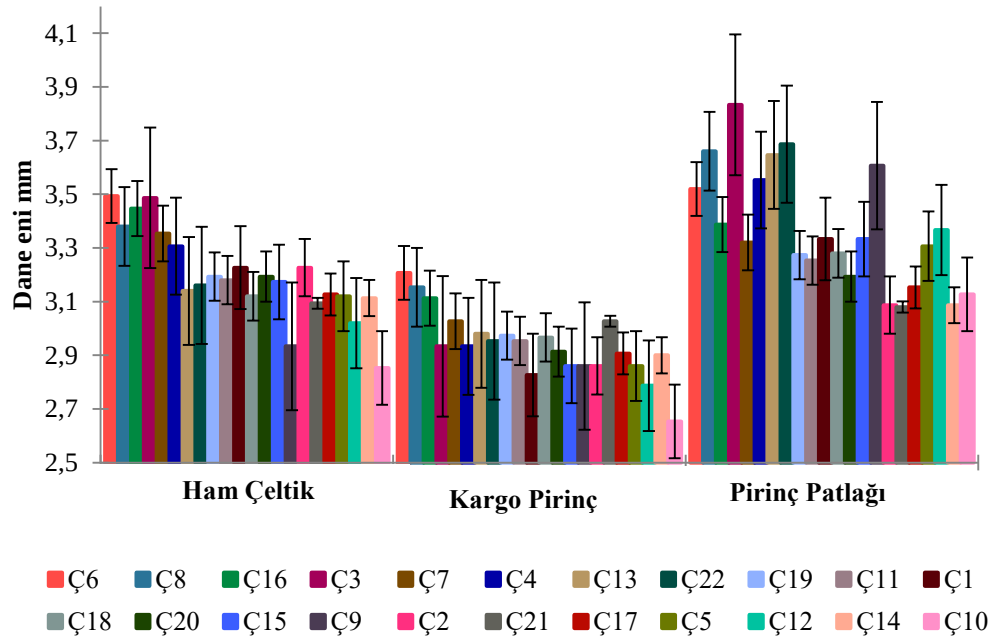
genişliklerini 2.00–2.70 mm aralığında rapor etmiştir. Ayrıca Itagi ve Singh (2015), ham çeltikte tane genişliğini yaklaşık 2.7–3.2 mm, kargo pirinçte ise 2.3–2.5 mm aralığında bildirmiştir. Araştırmacılar, çeltikten kargo pirince geçişte tane genişliğinde gözlenen azalmanın temel olarak yalnızca kabuğun uzaklaştırılmasından kaynaklandığını ve bu aşamada perikarp–aleuron tabakalarının korunduğu için değişimin sınırlı kaldığını belirtmiştir. Çeltikten kargo pirince geçişteki bu hafif daralma, tanelerin doğal morfolojik yapısı ile kabuğun hacimsel katkısının ortadan kalkmasıyla ilişkilendirilmektedir. Bu literatür bulguları, çalışmamızda kargo pirinçte belirlenen tane eni değerleri ve gözlenen azalma eğiliminin önceki çalışmalarla uyumlu olduğunu göstermektedir (Itagi ve Singh, 2015).

Pirinç patlağında tane eni değerlerinin 3.08–3.83 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük değerler Ç2, Ç14 ve Ç21 çeşitlerinde ( $\sim 3.08$  mm) tespit edilirken, en yüksek tane eni Ç3 ( $3.83 \pm 0.18$  mm), Ç22 ( $3.67 \pm 0.13$  mm), Ç13 ( $3.67 \pm 0.12$  mm) ve Ç8 ( $3.66 \pm 0.14$  mm) çeşitlerinde belirlenmiştir. Literatürde benzer eğilimler bildirilmiştir. Kumar ve Prasad (2013), ham pirinç, kargo pirinç ve pirinç patlağı için sırasıyla 2.796 mm, 2.281 mm ve 4.748 mm genişlik değerleri rapor etmiş; 2018 yılında yaptıkları başka bir çalışmada ise bu değerleri 2.86 mm, 2.35 mm ve 4.86 mm olarak bildirmiştir (Kumar ve Prasad, 2013; Kumar ve Prasad, 2018). Saha ve Roy (2022) da benzer şekilde pirinç genişliklerinin 1.53–2.36 mm aralığında değiştiğini, patlatma sonrası ise bu değerlerin 3.67–4.47 mm'ye yükseldiğini ifade ederek genişlikteki artışın belirgin olduğunu vurgulamıştır. Patlatma işlemi sırasında uygulanan yüksek sıcaklığın, tane içindeki suyun hızla buharlaşmasına bağlı olarak yüksek iç basınç oluşturduğu; bu basıncın hücre duvarlarını dışa doğru iterek özellikle tane eninde belirgin bir genişlemeye yol açtığı bildirilmektedir (Murugesan ve Bhattacharya, 1991; Chandrasekhar ve Chattopadhyay, 1990).

Tablo 7. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane enine ilişkin ortalama değerler (mm)

| Çeşit kodu | Ham çeltik                 | Kargo pirinç                | Pirinç patlağı              |
|------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Ç1         | 3.27 ± 0.04 <sup>ef*</sup> | 2.82 ± 0.06 <sup>bc</sup>   | 3.33 ± 0.12 <sup>abcd</sup> |
| Ç2         | 3.27 ± 0.06 <sup>ef</sup>  | 2.86 ± 0.09 <sup>bcd</sup>  | 3.08 ± 0.06 <sup>a</sup>    |
| Ç3         | 3.48 ± 0.11 <sup>i</sup>   | 2.93 ± 0.05 <sup>cdef</sup> | 3.83 ± 0.18 <sup>g</sup>    |
| Ç4         | 3.37 ± 0.08 <sup>fg</sup>  | 2.93 ± 0.06 <sup>cdef</sup> | 3.55 ± 0.17 <sup>def</sup>  |
| Ç5         | 3.12 ± 0.07 <sup>cde</sup> | 2.86 ± 0.05 <sup>bcd</sup>  | 3.30 ± 0.05 <sup>abcd</sup> |
| Ç6         | 3.49 ± 0.06 <sup>i</sup>   | 3.27 ± 0.11 <sup>h</sup>    | 3.52 ± 0.22 <sup>cdef</sup> |
| Ç7         | 3.35 ± 0.03 <sup>gh</sup>  | 3.02 ± 0.12 <sup>fg</sup>   | 3.32 ± 0.17 <sup>abcd</sup> |
| Ç8         | 3.38 ± 0.06 <sup>ghi</sup> | 3.15 ± 0.07 <sup>h</sup>    | 3.66 ± 0.14 <sup>fg</sup>   |
| Ç9         | 2.93 ± 0.07 <sup>ab</sup>  | 2.86 ± 0.03 <sup>bcd</sup>  | 3.60 ± 0.07 <sup>efg</sup>  |
| Ç10        | 2.85 ± 0.06 <sup>a</sup>   | 2.65 ± 0.06 <sup>a</sup>    | 3.12 ± 0.11 <sup>ab</sup>   |
| Ç11        | 3.18 ± 0.02 <sup>de</sup>  | 2.95 ± 0.03 <sup>def</sup>  | 3.25 ± 0.01 <sup>ab</sup>   |
| Ç12        | 3.02 ± 0.09 <sup>bc</sup>  | 2.78 ± 0.03 <sup>b</sup>    | 3.36 ± 0.19 <sup>bcde</sup> |
| Ç13        | 3.14 ± 0.09 <sup>cde</sup> | 2.98 ± 0.02 <sup>ef</sup>   | 3.67 ± 0.12 <sup>fg</sup>   |
| Ç14        | 3.11 ± 0.01 <sup>cde</sup> | 2.90 ± 0.04 <sup>cde</sup>  | 3.08 ± 0.08 <sup>a</sup>    |
| Ç15        | 3.17 ± 0.01 <sup>de</sup>  | 2.86 ± 0.03 <sup>bcd</sup>  | 3.33 ± 0.12 <sup>abcd</sup> |
| Ç16        | 3.44 ± 0.06 <sup>hi</sup>  | 3.11 ± 0.02 <sup>gh</sup>   | 3.38 ± 0.11 <sup>bcde</sup> |
| Ç17        | 3.12 ± 0.13 <sup>cde</sup> | 2.90 ± 0.02 <sup>cde</sup>  | 3.15 ± 0.15 <sup>ab</sup>   |
| Ç18        | 3.12 ± 0.09 <sup>cde</sup> | 2.95 ± 0.08 <sup>def</sup>  | 3.28 ± 0.22 <sup>abc</sup>  |
| Ç19        | 3.19 ± 0.12 <sup>def</sup> | 2.97 ± 0.06 <sup>def</sup>  | 3.27 ± 0.08 <sup>abc</sup>  |
| Ç20        | 3.19 ± 0.03 <sup>def</sup> | 2.91 ± 0.01 <sup>cdef</sup> | 3.19 ± 0.13 <sup>ab</sup>   |
| Ç21        | 3.09 ± 0.04 <sup>cd</sup>  | 3.02 ± 0.06 <sup>fg</sup>   | 3.08 ± 0.14 <sup>a</sup>    |
| Ç22        | 3.16 ± 0.05 <sup>de</sup>  | 2.95 ± 0.02 <sup>def</sup>  | 3.67 ± 0.13 <sup>fg</sup>   |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.



Şekil 38. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane eni değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir.

İşleme basamakları genel olarak değerlendirildiğinde, ham çeltikten kargo pirince geçişte tüm çeşitlerde tane eninde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma meydana gelmiştir. Bu daralma, kabuğun uzaklaştırılmasıyla tanenin hacimsel olarak incilmesi ve dış yüzeydeki mekanik aşınmanın etkisiyle açıklanabilir. Buna karşılık kargo pirinçten pirinç patlağına geçişte tane eninin tüm çeşitlerde yeniden arttığı belirlenmiştir. Patlatma sırasında tanenin iç yapısında suyun yüksek sıcaklık altında hızla buharlaşması, hücre duvarlarını dışa doğru iten yüksek bir iç basınç oluşturmaktadır; bu durum endospermde hücrel genişleme, çok sayıda boşluk oluşumu ve belirgin bir gözenekli yapı ile sonuçlanmaktadır (Chandrasekhar ve Chattopadhyay, 1990; Murugesan ve Bhattacharya, 1991). Nitekim Mariotti vd. (2006), pirinç ve çavdar gibi tanelerin patlatma işleminden sonra çok sayıda farklı boyutta boşluk içeren, ince duvarlarla ayrılmış oldukça poröz bir matris oluşturduğunu ve genişlemenin yönünün taneye bağlı olarak düzensiz biçimde gerçekleştiğini bildirmiştir. Bu mikroyapısal dönüşümler, çalışmamızda patlatma sonrası özellikle tane eninde gözlenen artışla uyumludur ve pirinç patlağının gevreklik, hafiflik ve ağızda dağılma gibi duyu özelliklerinin oluşmasında temel rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, incelenen çeşitler arasında tane eni bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğu ve bu özelliğin işleme aşamalarına yüksek düzeyde duyarlı olduğu belirlenmiştir. Özellikle Ç3, Ç6, Ç8, Ç13 ve Ç22 çeşitleri pirinç patlağı

formunda daha geniş tane eni sergileyerek hacimsel genişleme açısından öne çıkmıştır. Bu bulgular, pirinç patlağı üretiminde geniş tane enine ulaşabilen çeşitlerin gevreklik ve hacimsel kalite açısından daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

#### **4.4. Tane Boy/En Oranı**

Ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlağı örneklerine ait tane boy/en oranları Tablo 8 ve Şekil 39’da sunulmuştur. Ham çeltikte tane boy/en oranları 2.57 ile 3.27 arasında değişmiştir. En yüksek değer Ç10 çeşidinde ( $3.27 \pm 0.11$ ), en düşük değer ise Ç5 çeşidinde ( $2.57 \pm 0.02$ ) belirlenmiştir. Tane boy/en oranının pirincin sınıflandırılmasında temel bir kriter olduğu ve 3.0’ın üzerindeki değerlerin genellikle uzun taneli sınıfa karşılık geldiği literatürde bildirilmektedir (Donduran, 2014). Bhattacharya ve arkadaşları (1972), farklı çeltik çeşitlerinde uzunluk/genişlik (L/B) oranının 1.99–3.96 aralığında değiştiğini ve tane şeklinin fiziksel özellikler üzerinde belirleyici olduğunu bildirmiştir. Patel vd. (2021) ise pirinç patlağı üretiminde kullandıkları çeltik çeşitlerinde boy/en oranlarının 3.13–4.31 arasında değiştiğini rapor ederek, uzun taneli çeşitlerin patlatma işlemine daha yüksek genleşme potansiyeliyle girdiğini vurgulamıştır. Uluslararası Gıda Kodeksinde, ham çeltik (kabuklu pirinç) veya yarı haşlanmış kabuklu pirincin tane boy/en oranının 3.1 ve üzerinde; beyaz veya yarı haşlanmış beyaz pirincin ise 3.0 ve üzerinde olması gerektiği belirtilmiştir (FAO/WHO, 2007). Bu kapsamda Ç9, Ç10, Ç12 ve Ç15 çeşitlerinin uzun taneli pirinç sınıfına daha yakın özellikler sergilediği söylenebilir.

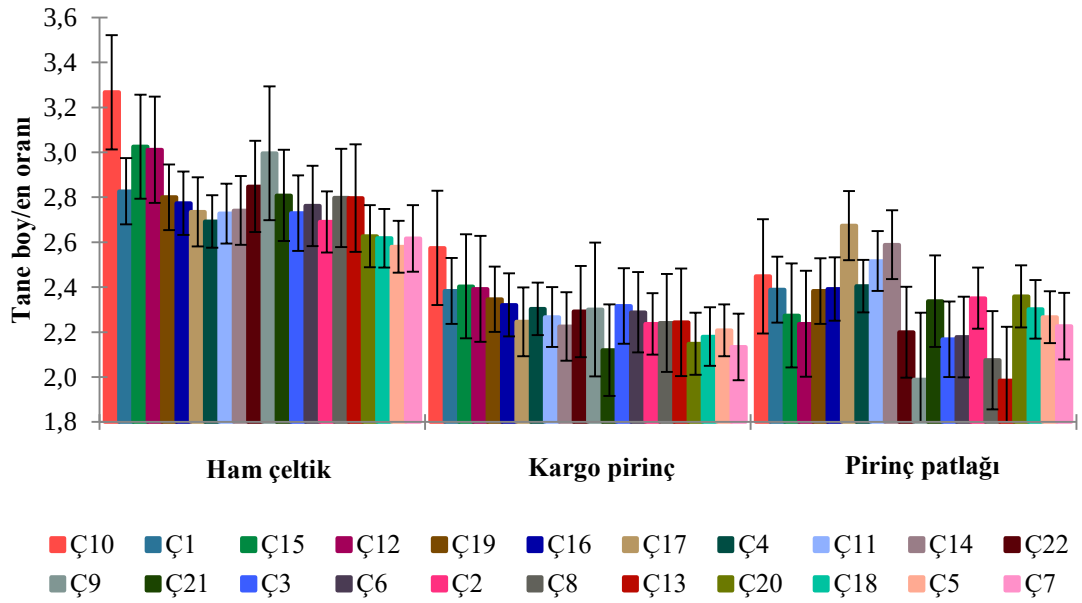


Tablo 8. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane boy/en oranına ilişkin ortalama değerler

| Çeşit kodu | Ham çeltik                 | Kargo pirinç                  | Pirinç patlağı              |
|------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Ç1         | 2.87 ± 0.05 <sup>ef*</sup> | 2.38 ± 0.08 <sup>gh</sup>     | 2.39 ± 0.13 <sup>cdef</sup> |
| Ç2         | 2.69 ± 0.05 <sup>bcd</sup> | 2.23 ± 0.05 <sup>abcdef</sup> | 2.35 ± 0.08 <sup>cdef</sup> |
| Ç3         | 2.72 ± 0.07 <sup>cde</sup> | 2.36 ± 0.02 <sup>efgh</sup>   | 2.16 ± 0.11 <sup>abc</sup>  |
| Ç4         | 2.69 ± 0.06 <sup>bcd</sup> | 2.30 ± 0.06 <sup>efgh</sup>   | 2.40 ± 0.17 <sup>cdef</sup> |
| Ç5         | 2.57 ± 0.02 <sup>a</sup>   | 2.20 ± 0.07 <sup>abcde</sup>  | 2.26 ± 0.13 <sup>bcde</sup> |
| Ç6         | 2.76 ± 0.07 <sup>def</sup> | 2.28 ± 0.07 <sup>defgh</sup>  | 2.18 ± 0.16 <sup>abc</sup>  |
| Ç7         | 2.61 ± 0.05 <sup>ab</sup>  | 2.14 ± 0.09 <sup>ab</sup>     | 2.26 ± 0.16 <sup>abcd</sup> |
| Ç8         | 2.79 ± 0.04 <sup>def</sup> | 2.24 ± 0.04 <sup>bcdef</sup>  | 2.07 ± 0.11 <sup>ab</sup>   |
| Ç9         | 2.99 ± 0.02 <sup>g</sup>   | 2.30 ± 0.01 <sup>defgh</sup>  | 1.98 ± 0.10 <sup>a</sup>    |
| Ç10        | 3.27 ± 0.11 <sup>h</sup>   | 2.57 ± 0.11 <sup>i</sup>      | 2.44 ± 0.15 <sup>defg</sup> |
| Ç11        | 2.72 ± 0.07 <sup>cde</sup> | 2.26 ± 0.05 <sup>cdefg</sup>  | 2.51 ± 0.04 <sup>efg</sup>  |
| Ç12        | 3.01 ± 0.11 <sup>g</sup>   | 2.39 ± 0.04 <sup>h</sup>      | 2.23 ± 0.08 <sup>abcd</sup> |
| Ç13        | 2.79 ± 0.03 <sup>def</sup> | 2.24 ± 0.04 <sup>bcdef</sup>  | 1.98 ± 0.21 <sup>a</sup>    |
| Ç14        | 2.74 ± 0.06 <sup>def</sup> | 2.25 ± 0.04 <sup>abcdef</sup> | 2.58 ± 0.09 <sup>fg</sup>   |
| Ç15        | 3.05 ± 0.10 <sup>g</sup>   | 2.44 ± 0.07 <sup>h</sup>      | 2.27 ± 0.08 <sup>bcde</sup> |
| Ç16        | 2.74 ± 0.01 <sup>def</sup> | 2.32 ± 0.02 <sup>efgh</sup>   | 2.39 ± 0.11 <sup>cdef</sup> |
| Ç17        | 2.74 ± 0.04 <sup>de</sup>  | 2.24 ± 0.08 <sup>bcdef</sup>  | 2.64 ± 0.27 <sup>g</sup>    |
| Ç18        | 2.61 ± 0.03 <sup>ab</sup>  | 2.18 ± 0.02 <sup>abcd</sup>   | 2.32 ± 0.16 <sup>bcde</sup> |
| Ç19        | 2.80 ± 0.05 <sup>def</sup> | 2.36 ± 0.06 <sup>efgh</sup>   | 2.38 ± 0.11 <sup>cdef</sup> |
| Ç20        | 2.62 ± 0.02 <sup>abc</sup> | 2.14 ± 0.06 <sup>abc</sup>    | 2.35 ± 0.08 <sup>cdef</sup> |
| Ç21        | 2.87 ± 0.03 <sup>ef</sup>  | 2.10 ± 0.11 <sup>a</sup>      | 2.33 ± 0.01 <sup>cdef</sup> |
| Ç22        | 2.88 ± 0.02 <sup>f</sup>   | 2.29 ± 0.07 <sup>defgh</sup>  | 2.19 ± 0.14 <sup>abcd</sup> |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.

Ham çeltikten kargo pirince geçişte tüm çeşitlerde tane boy/en oranlarında istatistiksel olarak anlamlı bir azalma ( $p < 0.05$ ) meydana gelmiştir. Kargo pirinç örneklerinde boy/en oranları 2.10–2.57 aralığında belirlenmiştir. Benzer şekilde Itagi ve Singh (2015), incelenen çeşitlerde çeltik tanelerinin boy/en oranlarının 2.9–3.6 aralığında olduğunu; kabuğun uzaklaştırılmasıyla elde edilen kahverengi pirinçte ise boy/en oranlarının 2.7–3.0 seviyelerine gerilediğini bildirmiştir. Araştırmacılar, bu düşüşün dehusking işlemi sırasında kabuğun uzaklaştırılmasıyla birlikte tanenin boyutlarında (özellikle uzunluk ve genişlikte) meydana gelen küçük değişimlerden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu bulgular, çalışmamızda kargo pirinçte gözlenen boy/en oranı düşüşünün işleme bağlı morfolojik değişimlerle ilişkili olduğunu desteklemektedir. Öğütme derecesinin artmasıyla birlikte özellikle tane eninde görece genişleme meydana gelmekte ve bu durum tane geometrisini doğrudan etkilemektedir.



Şekil 39. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane boy/en oranı değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir.

Pirinç patlağında tane boy/en oranlarının 1.98–2.64 aralığında olduğu belirlenmiştir. En düşük değerler Ç9 ve Ç13 çeşitlerinde (1.98), en yüksek değer ise Ç17 çeşidinde ( $2.64 \pm 0.27$ ) saptanmıştır.

Patlatma işlemi sırasında uygulanan yüksek sıcaklık, tanedeki nemin hızla buharlaşmasına neden olmakta; oluşan yüksek iç basınç ise özellikle en yönünde daha belirgin bir genişlemeye yol açarak daha yuvarlak ve düşük boy/en oranına sahip bir yapı oluşturabilmektedir (Chandrasekhar ve Chattopadhyay, 1990; Murugesan ve Bhattacharya, 1991). Bu durum, patlatma sırasında tanelerde en yönündeki (transverse) genişlemenin boy yönündeki (longitudinal) genişmeden daha fazla olmasıyla açıklanmakta olup literatürde benzer şekilde rapor edilmiştir (Bagchi vd., 2016; Saha ve Roy, 2022). Bagchi vd. (2016), değerlendirdikleri ham pirinç örneklerinde tane boy/en oranlarının 3.06–4.36 aralığında değiştiğini bildirmiştir. Patlak pirinç örneklerinde ise en/boy oranının 1.63–2.15 aralığında bulunması, patlatma işlemi sonrasında en yönündeki genişlemenin boy yönündeki uzamadan daha fazla gerçekleşmesi nedeniyle bu oranda belirgin bir düşüş meydana geldiğini göstermektedir. Araştırmacılar, en/boy oranındaki bu azalmanın patlatma sırasında tanede oluşan gözenekli yapı ve düzensiz hücresel genişleme ile ilişkili olduğunu belirtmiştir. Patlama sırasında nişastanın jelatinizasyonu ve hücre duvarlarının buhar basıncıyla dışa doğru itilmesi, tane boy/en oranındaki bu azalmanın temel mekanizması olarak açıklanmaktadır.

İşleme aşamaları birlikte değerlendirildiğinde, ham çeltikten kargo pirince ve oradan pirinç patlağına geçiş boyunca tane boy/en oranının düzenli bir şekilde azaldığı görülmektedir. Bu durum, pirincin tane morfolojisinin işleme koşullarına oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir. Tane şeklinin değişmesi, sadece geometrik yapı açısından değil, aynı zamanda ürünün hacim artışı, gevreklik, ağızda dağılma hissi ve tüketici algısı üzerinde de belirleyici rol oynamaktadır. Pirinç patlatma sırasında yüksek sıcaklığın etkisiyle tane içerisindeki nemin çok hızlı buharlaşması, ani bir iç basınç oluşturarak tanenin özellikle en yönünde genişlemesine yol açmakta; bu durum daha şişkin, yuvarlak bir tane morfolojisinin oluşmasına neden olmaktadır (Chinnaswamy ve Bhattacharya, 1983). Nitekim Saha ve Roy (2022), inceledikleri pirinçlerde en/boy oranlarının 2.66–4.42 aralığında olduğunu; patlatma sonrası bu oranın 2.68–3.82 seviyelerine gerilediğini ve bunun enine genişlemenin boy yönündeki uzamadan daha fazla gerçekleşmesinden kaynaklandığını belirtmiştir. Benzer şekilde Itagi vd. (2023), çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlağında en/boy oranlarını sırasıyla 2.53–3.74, 1.82–2.77 ve 1.82–2.65 aralıklarında rapor ederek işleme basamakları ilerledikçe bu oranın sistematik biçimde azaldığını göstermiştir. Tüm bu literatür bulguları, çalışmamızda elde edilen sonuçlarla da uyum içerisindedir.

Sonuç olarak, çeşitler arasında işleme aşamalarına verilen morfolojik tepkinin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Ç10 çeşidi ham ve kargo pirinç aşamalarında en yüksek tane boy/en oranına sahip olurken, Ç17 çeşidi pirinç patlağı formunda en yüksek şekil stabilitesi gösteren çeşit olmuştur. Buna karşılık Ç9 ve Ç13 çeşitleri patlatma sonrası en düşük boy/en oranlarına sahip olarak daha yuvarlak morfoloji sergilemiştir. Bu sonuçlar, pirinç patlağı üretiminde çeşit seçiminin ürün kalitesi açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır.

#### **4.5. Tane Geometrik Ortalama Çap Değerleri**

Ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlağı örneklerine ait geometrik ortalama çap (GOÇ) değerleri Tablo 9 ve Şekil 40'ta sunulmuştur. Ham çeltikte geometrik ortalama çap değerlerinin 3.73–4.13 mm aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük GOÇ değeri Ç5 çeşidinde ( $3.73 \pm 0.05$  mm) tespit edilirken, en yüksek değerler Ç6 ( $4.13 \pm 0.08$  mm), Ç16 ( $4.13 \pm 0.05$  mm) ve Ç3 ( $4.13 \pm 0.12$  mm) çeşitlerinde belirlenmiştir. Bu bulgular, çeşitler arasında tane hacmi ve dolgunluk bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. Geometrik ortalama çap (GOÇ), tane uzunluğu, genişliği ve kalınlığının birlikte değerlendirilmesiyle hesaplanan ve yarı haşlama ile şişirme işlemleri sırasında pirinç tanesinde meydana gelen boyutsal

değişimlerin nicel olarak izlenmesine olanak sağlayan temel bir boyutsal parametredir (Kumar ve Prasad, 2013; Kumar ve Prasad, 2018). Nitekim Altuntaş ve Naneli (2018), Osmancık-97 çeşidinde GOÇ değerini 3.82 mm olarak rapor etmiş olup, bu değer mevcut çalışmada aynı çeşit için elde edilen 3.84 mm sonucu ile yüksek düzeyde uyum göstermektedir.

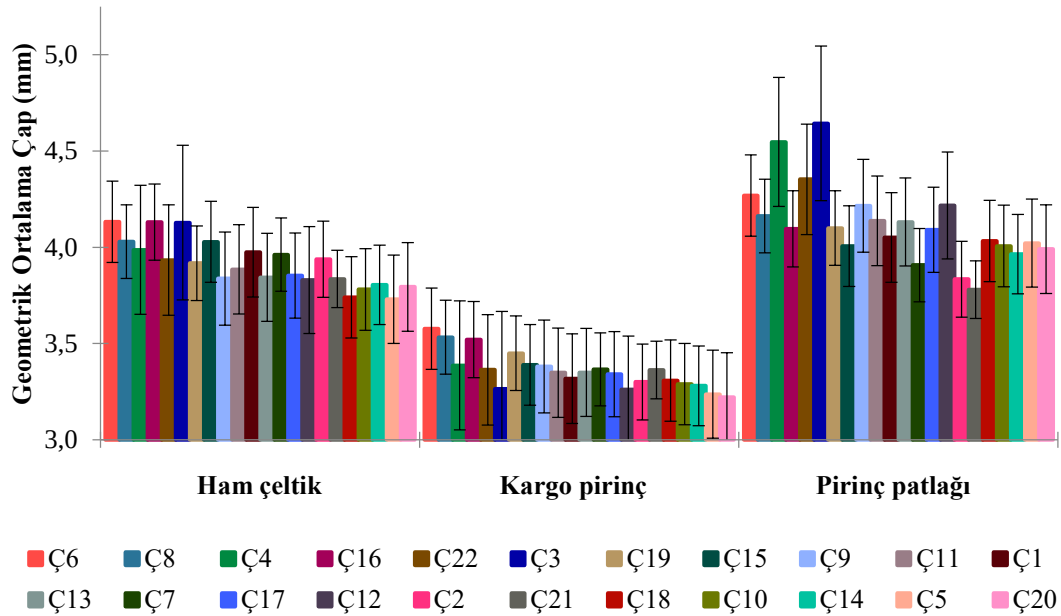
Ham çeltikten kargo pirince geçiş aşamasında tüm çeşitlerde geometrik ortalama çap değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir azalma ( $p<0.05$ ) meydana gelmiştir. Kargo pirinç örneklerinde GOÇ değerleri 3.22–3.58 mm aralığında değişmiştir. En düşük değer Ç20 çeşidinde ( $3.22\pm0.03$  mm), en yüksek değer ise Ç6 çeşidinde ( $3.58\pm0.09$  mm) belirlenmiştir. Çeltikte kavuzun uzaklaştırılmasıyla birlikte kargo pirinçte daha kompakt bir tane yapısının oluşması, GOÇ değerlerinde gözlenen bu düşüşü açıklayan temel etkenlerden biri olarak değerlendirilmektedir (Kumar ve Prasad, 2018). Benzer biçimde, Mishra vd. (2023), yarı haşlanmış pirinçte geometrik ortalama çap değerlerinin 3.10–3.20 mm aralığında değiştiğini rapor etmiş olup, bu değerlerin mevcut çalışmada kargo pirinç örnekleri için belirlenen 3.22–3.58 mm aralığı ile genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir.

Pirinç patlağı örneklerinde ise geometrik ortalama çap değerleri 3.78–4.643 mm aralığında değiştiği ve tüm çeşitlerde kargo pirince kıyasla yeniden arttığı belirlenmiştir. En düşük değer Ç21 çeşidinde ( $3.78\pm0.09$  mm), en yüksek değer ise Ç3 çeşidinde ( $4.64\pm0.23$  mm) tespit edilmiştir. Bu artış, patlatma işlemi sırasında tane içerisindeki suyun hızla buharlaşması, hücresel yapıların genişlemesi ve gözenekli bir yapı oluşması ile açıklanmaktadır (Kumar ve Prasad, 2018). İşleme basamakları birlikte değerlendirildiğinde, patlatma işleminin tane geometrisini en fazla değiştiren aşama olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 9. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane geometrik ortalama çap (mm)

| Çeşit kodu | Ham çeltik                   | Kargo pirinç                 | Pirinç patlağı              |
|------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Ç1         | 3.97 ± 0.07 <sup>gh*</sup>   | 3.32 ± 0.07 <sup>abcde</sup> | 4.05 ± 0.11 <sup>cde</sup>  |
| Ç2         | 3.94 ± 0.05 <sup>efgh</sup>  | 3.30 ± 0.07 <sup>abcde</sup> | 3.83 ± 0.08 <sup>ab</sup>   |
| Ç3         | 4.13 ± 0.12 <sup>i</sup>     | 3.27 ± 0.04 <sup>abc</sup>   | 4.64 ± 0.23 <sup>h</sup>    |
| Ç4         | 3.99 ± 0.05 <sup>gh</sup>    | 3.39 ± 0.04 <sup>def</sup>   | 4.55 ± 0.04 <sup>h</sup>    |
| Ç5         | 3.73 ± 0.05 <sup>a</sup>     | 3.24 ± 0.04 <sup>ab</sup>    | 4.02 ± 0.09 <sup>bcde</sup> |
| Ç6         | 4.13 ± 0.08 <sup>i</sup>     | 3.58 ± 0.09 <sup>h</sup>     | 4.27 ± 0.09 <sup>fg</sup>   |
| Ç7         | 3.96 ± 0.03 <sup>fgh</sup>   | 3.37 ± 0.06 <sup>cdef</sup>  | 3.91 ± 0.08 <sup>abc</sup>  |
| Ç8         | 4.03 ± 0.02 <sup>hi</sup>    | 3.53 ± 0.05 <sup>gh</sup>    | 4.16 ± 0.13 <sup>defg</sup> |
| Ç9         | 3.84 ± 0.08 <sup>abcde</sup> | 3.38 ± 0.03 <sup>def</sup>   | 4.22 ± 0.05 <sup>efg</sup>  |
| Ç10        | 3.78 ± 0.04 <sup>abc</sup>   | 3.29 ± 0.02 <sup>abcde</sup> | 4.01 ± 0.08 <sup>bcde</sup> |
| Ç11        | 3.89 ± 0.04 <sup>cdefg</sup> | 3.35 ± 0.03 <sup>cdef</sup>  | 4.14 ± 0.07 <sup>def</sup>  |
| Ç12        | 3.83 ± 0.02 <sup>abcde</sup> | 3.26 ± 0.03 <sup>abc</sup>   | 4.22 ± 0.19 <sup>efg</sup>  |
| Ç13        | 3.84 ± 0.08 <sup>abcde</sup> | 3.35 ± 0.00 <sup>cdef</sup>  | 4.13 ± 0.17 <sup>def</sup>  |
| Ç14        | 3.80 ± 0.01 <sup>abcd</sup>  | 3.28 ± 0.05 <sup>abcd</sup>  | 3.96 ± 0.18 <sup>abcd</sup> |
| Ç15        | 4.03 ± 0.03 <sup>hi</sup>    | 3.39 ± 0.03 <sup>ef</sup>    | 4.01 ± 0.09 <sup>bcde</sup> |
| Ç16        | 4.13 ± 0.05 <sup>i</sup>     | 3.52 ± 0.04 <sup>gh</sup>    | 4.10 ± 0.06 <sup>cdef</sup> |
| Ç17        | 3.85 ± 0.09 <sup>bcdef</sup> | 3.34 ± 0.07 <sup>bcde</sup>  | 4.09 ± 0.09 <sup>cdef</sup> |
| Ç18        | 3.74 ± 0.09 <sup>ab</sup>    | 3.31 ± 0.07 <sup>abcde</sup> | 4.03 ± 0.10 <sup>bcde</sup> |
| Ç19        | 3.92 ± 0.09 <sup>defgh</sup> | 3.45 ± 0.03 <sup>fg</sup>    | 4.10 ± 0.11 <sup>cdef</sup> |
| Ç20        | 3.79 ± 0.04 <sup>abc</sup>   | 3.22 ± 0.03 <sup>a</sup>     | 3.99 ± 0.06 <sup>bcd</sup>  |
| Ç21        | 3.84 ± 0.04 <sup>abcde</sup> | 3.36 ± 0.05 <sup>cdef</sup>  | 3.78 ± 0.09 <sup>a</sup>    |
| Ç22        | 3.93 ± 0.05 <sup>efgh</sup>  | 3.36 ± 0.11 <sup>cdef</sup>  | 4.35 ± 0.03 <sup>g</sup>    |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.



Şekil 40. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane geometrik ortalama çap değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir.

Ham eltikten kargo pirince geçişte geometrik ortalama çapın belirgin şekilde azaldığı, kargo pirinçten pirinç patlağına geçişte ise tüm çeşitlerde yeniden arttığı açıkça görülmektedir. Geometrik ortalama çapta (GO) görülen bu artış, şişirme sırasında tane boyutlarında meydana gelen hacimsel genleşme ve buna bağlı olarak gelişen poroz yapı ile ilişkilidir. Nitekim GO, tane uzunluğu ve genişliği ile birlikte pirinç patlağının genleşme davranışını yansıtan temel fiziksel parametrelerden biri olup; porozite, yoğunluk ve sertlik değişimleri üzerinden gevreklik, tekstürel gevşeklik ve ağızda dağılma hissi gibi duyusal özelliklerle anlamlı ilişkiler göstermektedir (Saha ve Roy, 2022). Mevcut çalışmada eltik, kargo ve kahverengi pirinç patlağı örneklerinde geometrik ortalama çap değerleri sırasıyla ortalama 3.91 mm, 3.36 mm ve 4.12 mm olarak belirlenmiştir. Literatürde Kumar ve Prasad (2013), ham pirinç, kargo ve pirinç patlağı için geometrik ortalama çap değerlerini sırasıyla 3.779 mm, 2.991 mm ve 6.695 mm olarak bildirmiştir. Ayrıca Saha ve Roy (2022), pirinç patlağı üretiminde kullandıkları öğütülmüş pirinçlerde geometrik ortalama çap değerlerini 2.29–2.93 mm, ürettikleri pirinç patlaklarında ise 5.38–6.28 mm aralığında bildirmiştir. Bu bulgular, şişirme işlemi sırasında meydana gelen boyutsal ve yapısal dönüşümlerin değerlendirilmesinde GO’un, tekil boyut ölçümlerine kıyasla hacimsel genleşme eğilimini daha iyi temsil eden bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır (Kumar ve Prasad, 2018).

Literatür ile kıyaslandığında, mevcut çalışmada elde edilen eltik ve kargo pirinç geometrik ortalama çap değerlerinin literatürde bildirilen değerlerle genel olarak uyumlu olduğu, buna karşın pirinç patlağı geometrik ortalama çap değerlerinin daha düşük bir aralıkta kaldığı görülmektedir. Bu farklılığın; çalışmada kepek tabakası korunmuş (kargo) pirincin kullanılması ile birlikte, kullanılan çeşitler, uygulanan şişirme yöntemi ve işlem koşullarındaki farklılıklardan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, incelenen çeşitler arasında geometrik ortalama çap bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğu ve bu özelliğin işleme aşamalarına yüksek derecede duyarlı olduğu belirlenmiştir. Ham eltik formunda 6, 16 ve 3 eşitleri en yüksek geometrik ortalama çap değerlerini sergilerken, pirinç patlağı formunda ise özellikle 3, 4, 22 ve 6 eşitleri boyutsal artış ve hacimsel genleşme eğilimi açısından ne çıkmıştır. Bu bulgular, pirinç patlağı üretiminde daha yüksek geometrik ortalama çapa ulaşabilen çeşitlerin, bu çalışma koşulları altında, genleşme potansiyeli ve buna bağlı kalite özellikleri açısından göreceli olarak daha avantajlı olabileceğini göstermektedir.

#### 4.6. Tane Yüzey Alanı

Ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlağı örneklerine ait yüzey alanı değerleri Tablo 10 ve Şekil 41’de sunulmuştur. Ham çeltikte yüzey alanı değerlerinin 43.71–53.65 aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük yüzey alanı Ç5 ( $43.71 \pm 1.12$ ) ve Ç18 ( $43.96 \pm 2.16$ ) çeşitlerinde tespit edilirken, en yüksek değerler Ç6 ( $53.65 \pm 2.08$ ), Ç16 ( $53.62 \pm 1.21$ ) ve Ç3 ( $53.57 \pm 3.21$ ) çeşitlerinde belirlenmiştir. Yüzey alanı, tane boyu, eni ve geometrik özelliklerin birleşik etkisini yansıtan ve özellikle ısı–kütle transferi ile doğrudan ilişkili olan temel bir fiziksel parametredir (Mohsenin, 1970; Reddy ve Chakraverty, 2004). Bu çalışmada yüzey alanı, tane geometrik boyutlarından hesaplanan projeksiyon yüzey alanını ifade etmektedir. Kumar vd. (2017), farklı çeltik çeşitlerinde tane yüzey alanının 39.93–51.15 mm<sup>2</sup> aralığında değiştiğini ve bu farklılığın çeşitlerin geometrik ortalama çap ve morfolojik özelliklerinden kaynaklandığını bildirmiştir. Benzer şekilde ülkemizde yapılan bir çalışmada Altuntaş ve Naneli (2018), farklı çeltik çeşitlerinde yüzey alanı değerlerinin geometrik ortalama çapa bağlı olarak hesaplandığını ve bu parametrenin çeşitler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiğini (44.71–53.33 mm<sup>2</sup>) bildirmiştir. Söz konusu çalışmada Osmancık-97 çeşidi için yüzey alanı değeri 48.93 mm<sup>2</sup> olarak rapor edilmiştir (Altuntaş ve Naneli, 2018). Mevcut çalışmada Osmancık-97 çeşidinin yüzey alanı değeri 46.42 mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiş olup, literatür değeri ile genel olarak uyum göstermektedir. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar, çeşitler arasında tane morfolojisine bağlı olarak yüzey alanının anlamlı düzeyde farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Ham çeltikten kargo pirince geçiş aşamasında tüm çeşitlerde yüzey alanı değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma ( $p < 0.05$ ) meydana gelmiştir. Kargo pirinç örneklerinde yüzey alanı değerleri 32.60–40.21 aralığında değişmiştir. En düşük değer Ç20 çeşidinde ( $32.60 \pm 0.60$ ) belirlenirken, en yüksek değer Ç6 çeşidinde ( $40.21 \pm 1.94$ ) saptanmıştır. Bu azalmanın temel nedeni, kabuk kısmının uzaklaştırılmasıyla birlikte tane geometrik boyutlarında meydana gelen küçülme ve buna bağlı olarak hesaplanan yüzey alanının azalmasıdır. Nitekim öğütme derecesinin artmasıyla birlikte yüzey alanının azaldığı; bunun tane dış yüzeyinin daha düzgün hâle gelmesi ve geometrik boyutlardaki küçülme ile ilişkili olduğu literatürde daha önce de bildirilmiştir (Ghadge ve Prasad, 2012). Mishra vd. (2023), öğütülmüş yarı haşlanmış pirinç çeşitlerinde yüzey alanı değerlerinin 30.26–32.22 mm<sup>2</sup> aralığında değiştiğini rapor etmiştir. Mevcut çalışmada ise kepek tabakası uzaklaştırılmamış yarı haşlanmış kargo örneklerinde yüzey alanı değerleri 32.60–40.21 mm<sup>2</sup> aralığında belirlenmiştir. Bu farklılığın, kepek tabakasının korunmasına bağlı olarak tane geometrisinin değişmesiyle

birlikte, kullanılan pirinç çeşitlerinin morfolojik özellikleri ve uygulanan işleme koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Pirinç patlağı örneklerinde ise yüzey alanı değerlerinin 44.90–67.84 aralığında olduğu belirlenmiştir. En düşük yüzey alanı Ç21 çeşidinde ( $44.90 \pm 2.04$ ), en yüksek değer ise Ç3 çeşidinde ( $67.84 \pm 6.65$ ) tespit edilmiştir. Tüm çeşitlerde kargo pirince kıyasla pirinç patlağı formunda yüzey alanının yeniden arttığı görülmüştür. Bu artış, patlatma işlemi sırasında tane içerisindeki suyun hızla buharlaşmasıyla birlikte gözenekli bir yapı oluşması ve endosperm yapısında belirgin hacimsel genişlemenin meydana gelmesiyle açıklanmaktadır (Mariotti vd., 2006; Saha ve Roy, 2022). Kumar ve Prasad (2018), pirinç tanelerinde yüzey alanının işleme bağlı olarak anlamlı biçimde değiştiğini; ham pirinçte  $46.56 \text{ mm}^2$ , yarı haşlanmış pirinçte  $28.61 \text{ mm}^2$  ve pirinç patlağında  $140.31 \text{ mm}^2$  olarak belirlendiğini, şişirme işlemi sonrası yüzey alanının yarı haşlanmış pirince kıyasla yaklaşık beş kat arttığını ve bu artışın ısı işlem sırasında gerçekleşen ısı transferiyle ilişkili olduğunu bildirmiştir. Patlatma işlemi, özellikle tane dış yüzeyinin genişlemesine neden olarak yüzey alanını önemli ölçüde artırmaktadır. Dash ve Das (2019), ön koşullandırma sürecinde tane yapısında porozitenin artmasına bağlı olarak efektif yüzey alanının genişlediğini ve bunun genişleme davranışını desteklediğini bildirmiştir.

Çeşitler bazında değerlendirildiğinde, Ç3, Ç4, Ç6 ve Ç22 çeşitleri pirinç patlağı aşamasında en yüksek yüzey alanı değerleriyle öne çıkmıştır. Buna karşılık Ç21, Ç2 ve Ç7 çeşitleri daha düşük yüzey alanı değerlerine sahip olmuştur. Bu durum, patlatma sırasında genişleme kapasitesinin çeşit özellikleri, endosperm yapısı, nişasta–protein oranı ve başlangıç nem içeriği ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir (Mariotti vd., 2006).



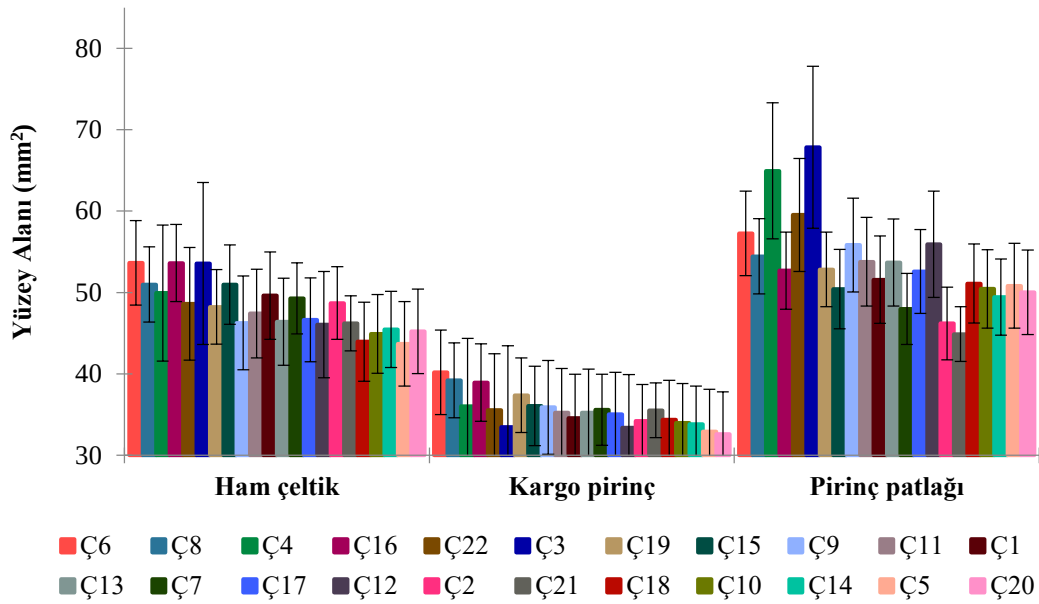
Tablo 10. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane yüzey alanına ilişkin ortalama değerler (mm<sup>2</sup>)

| Çeşit kodu | Ham çeltik                    | Kargo pirinç                  | Pirinç patlağı                 |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Ç1         | 49.62 ± 1.70 <sup>fg*</sup>   | 34.60 ± 1.39 <sup>abcde</sup> | 51.58 ± 2.75 <sup>bcdefg</sup> |
| Ç2         | 48.71 ± 1.24 <sup>defg</sup>  | 34.23 ± 1.41 <sup>abcde</sup> | 46.20 ± 2.00 <sup>ab</sup>     |
| Ç3         | 53.57 ± 3.21 <sup>h</sup>     | 33.49 ± 0.91 <sup>abc</sup>   | 67.84 ± 6.65 <sup>i</sup>      |
| Ç4         | 49.94 ± 1.22 <sup>fg</sup>    | 36.02 ± 0.92 <sup>def</sup>   | 64.95 ± 1.13 <sup>i</sup>      |
| Ç5         | 43.71 ± 1.12 <sup>a</sup>     | 32.92 ± 0.72 <sup>ab</sup>    | 50.83 ± 2.31 <sup>bcdef</sup>  |
| Ç6         | 53.65 ± 2.08 <sup>h</sup>     | 40.21 ± 1.94 <sup>h</sup>     | 57.27 ± 2.39 <sup>gh</sup>     |
| Ç7         | 49.30 ± 0.63 <sup>efg</sup>   | 35.60 ± 1.35 <sup>cdef</sup>  | 47.98 ± 1.96 <sup>abc</sup>    |
| Ç8         | 50.99 ± 0.47 <sup>gh</sup>    | 39.21 ± 1.14 <sup>gh</sup>    | 54.45 ± 3.46 <sup>defgh</sup>  |
| Ç9         | 46.27 ± 1.95 <sup>abcd</sup>  | 35.91 ± 0.73 <sup>def</sup>   | 55.84 ± 1.29 <sup>efgh</sup>   |
| Ç10        | 44.91 ± 0.92 <sup>ab</sup>    | 34.00 ± 0.33 <sup>abcde</sup> | 50.45 ± 2.12 <sup>abcdef</sup> |
| Ç11        | 47.43 ± 1.01 <sup>bcdef</sup> | 35.23 ± 0.66 <sup>cdef</sup>  | 53.77 ± 1.90 <sup>cdefg</sup>  |
| Ç12        | 46.07 ± 0.56 <sup>abcd</sup>  | 33.41 ± 0.64 <sup>abc</sup>   | 55.93 ± 5.03 <sup>fgh</sup>    |
| Ç13        | 46.42 ± 1.88 <sup>abcd</sup>  | 35.26 ± 0.08 <sup>cdef</sup>  | 53.68 ± 4.38 <sup>cdefg</sup>  |
| Ç14        | 45.47 ± 0.35 <sup>abc</sup>   | 33.81 ± 1.12 <sup>abcd</sup>  | 49.44 ± 4.57 <sup>abcd</sup>   |
| Ç15        | 50.98 ± 0.85 <sup>gh</sup>    | 36.08 ± 0.58 <sup>ef</sup>    | 50.42 ± 2.26 <sup>abcdef</sup> |
| Ç16        | 53.62 ± 1.21 <sup>h</sup>     | 38.95 ± 0.78 <sup>gh</sup>    | 52.69 ± 1.55 <sup>cdefg</sup>  |
| Ç17        | 46.64 ± 2.10 <sup>abcde</sup> | 35.07 ± 1.52 <sup>bcde</sup>  | 52.58 ± 2.41 <sup>cdefg</sup>  |
| Ç18        | 43.96 ± 2.16 <sup>a</sup>     | 34.39 ± 1.54 <sup>abcde</sup> | 51.11 ± 2.55 <sup>bcdef</sup>  |
| Ç19        | 48.23 ± 2.13 <sup>cdefg</sup> | 37.38 ± 0.59 <sup>fg</sup>    | 52.83 ± 2.89 <sup>cdefg</sup>  |
| Ç20        | 45.22 ± 0.90 <sup>ab</sup>    | 32.60 ± 0.60 <sup>a</sup>     | 50.03 ± 1.52 <sup>abcde</sup>  |
| Ç21        | 46.22 ± 1.04 <sup>abcd</sup>  | 35.53 ± 1.12 <sup>cdef</sup>  | 44.90 ± 2.04 <sup>a</sup>      |
| Ç22        | 48.61 ± 1.22 <sup>defg</sup>  | 35.57 ± 2.36 <sup>cdef</sup>  | 59.53 ± 0.86 <sup>h</sup>      |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.

Mariotti vd. (2006), pirincin patlatma işlemi sonrası tane yüzey alanında belirgin bir artış meydana geldiğini; ham pirinçte 10.18-19.27 mm<sup>2</sup> aralığında olan yüzey alanı patlatma sonrası 41.89-62.89 mm<sup>2</sup> aralığına yükseldiğini ve bu artışın yaklaşık 4 kat olduğunu bildirmiştir. Araştırmacılar, bu artışı patlatma sırasında suyun ani buharlaşmasına bağlı olarak endosperm yapısında gelişen yüksek poroziteli ve ince duvarlı hücresel yapı ile ilişkilendirmiştir. Saha ve Roy (2022), yüksek amilozlu öğütülmüş yarı haşlanmış pirinç çeşitlerinde yüzey alanı değerlerinin 17.29–27.30 mm<sup>2</sup> aralığında değiştiğini; bu pirinçlerden üretilen pirinç patlaklarında ise yüzey alanının patlatma işlemi sonrası 93.15–124.86 mm<sup>2</sup> aralığına yükseldiğini bildirmiştir. Yazarlar, yüzey alanındaki bu artışın patlatma sırasında tane boyutlarında meydana gelen hacimsel genleşme, poroz yapı oluşumu ve iç basınç gelişimi ile doğrudan ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Bu literatür bulguları, mevcut çalışmada kargo pirinçten elde edilen pirinç patlağı örneklerinde yüzey alanının yeniden artış göstermesiyle uyumlu olup; özellikle kepek tabakasının korunmuş olması, pirinç çeşidine bağlı morfolojik farklılıklar ve uygulanan patlatma koşullarının, yüzey alanı ve genleşme davranışı üzerinde birlikte etkili olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, incelenen çeşitler arasında yüzey alanı bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğu ve bu parametrenin işleme aşamalarına son derece duyarlı olduğu ortaya konulmuştur. Özellikle Ç3 ve Ç22 çeşitleri, pirinç patlağı formunda yüksek yüzey alanı değerleriyle öne çıkmış olup, bu çeşitlerin hacimsel genleşme ve gevreklik gibi fiziksel kalite özellikleri açısından daha avantajlı olduğu değerlendirilmiştir. Patlatma/şişirme işlemi sırasında gelişen poroz ve hücresel yapı, tane dış yüzeyinin genişlemesine neden olmuş ve pirinç patlağı örneklerinde yüzey alanının belirgin biçimde artmasını sağlamıştır.



Şekil 41. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane yüzey alanı değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir.

#### 4.7. Tane Küreselliği

Ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlağı örneklerine ait küresellik değerleri Tablo 11 ve Şekil 42’de sunulmuştur. Ham çeltikte küresellik değerlerinin 40.58–46.35 aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük küresellik değeri Ç10 çeşidinde ( $40.58 \pm 0.73$ ), en yüksek değer ise Ç5 ( $46.35 \pm 0.16$ ) ve Ç18 ( $45.80 \pm 0.37$ ) çeşitlerinde tespit edilmiştir. Küresellik, tanenin şeklinin küreye ne kadar yakın olduğunu ifade eden temel bir geometrik parametre olup, tane boyu, eni ve kalınlığı arasındaki oransal ilişkiden etkilenmektedir (Mohsenin, 1986; Ghadge ve Prasad, 2012).

Ghadge ve Prasad (2012), ham pirinç tanelerinde küresellik değerlerinin %33.33–43.57 aralığında değiştiğini bildirmiş ve bu görece düşük küresellik değerlerini pirinç tanelerinin silindirik morfolojik yapısıyla ilişkilendirmiştir. Benzer şekilde Kumar vd.

(2017), eltik tanelerinde küresellik değerlerinin %34.48–52.21 arasında değiştiğini rapor etmiş ve bu görece düşük küresellik değerleri, pirinç tanelerinin küresel şekilden uzak, uzamış ve silindirik bir geometrik yapı sergilediğini göstermektedir.

Altuntaş ve Naneli (2018), eltik eşitleri için küresellik değerlerini %43.04–45.74 aralığında rapor etmiş ve Osmancık-97 eltiğinde bu değeri %44.96 olarak belirlemiştir. Mevcut çalışmada ise aynı çeşit için küresellik değeri %43.78 olarak saptanmış olup, elde edilen sonucun literatürde bildirilen aralık içerisinde yer aldığı görülmektedir. Her iki çalışmada da Osmancık-97 eşidinin orta düzeyde küreselliğe sahip, silindirik tane morfolojisini yansıttığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle ham çeltikte gözlenen küresellik farklılıklarının, çeşitler arasındaki genetik yapı, tane morfolojisi ve endosperm gelişim düzeyindeki farklılıklardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Ham eltikten kargo pirince geçiş aşamasında tüm çeşitlerde küresellik değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış ( $p<0.05$ ) meydana gelmiştir. Kargo pirinçte küresellik değerleri 48.06–52.47 aralığında değişmiştir. En düşük değer 3 çeşidinde ( $48.06\pm0.47$ ), en yüksek değer ise 21 çeşidinde ( $52.47\pm1.43$ ) belirlenmiştir. Bu artış, kavuz tabakasının uzaklaştırılmasıyla birlikte tanenin dış yüzey morfolojisinin daha düzgün ve homojen bir yapı kazanması ile açıklanabilir. Küresellik, tanenin uzunluk, genişlik ve kalınlık değerlerine bağlı olarak tanımlanan bir geometrik parametre olup, dış yapının elimine edilmesi bu parametre üzerinde doğrudan etkili olabilmektedir (Mohsenin, 1986).

Tablo 11. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane küreselliğine ilişkin ortalama değerler (%)

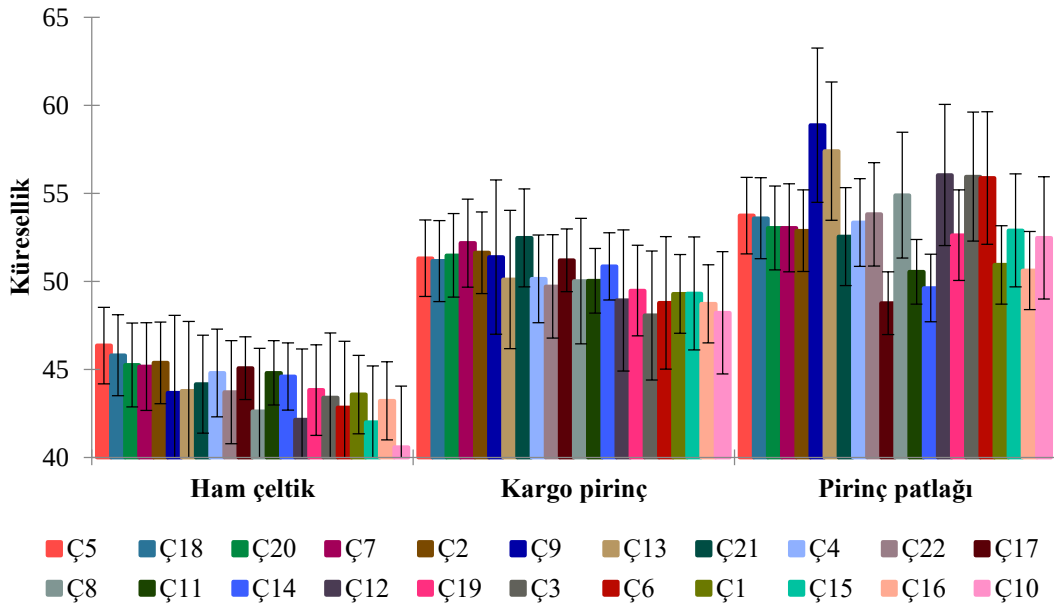
| Çeşit kodu | Ham çeltik                    | Kargo pirinç                 | Pirinç patlağı              |
|------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Ç1         | 43.57 ± 0.29 <sup>cdef*</sup> | 49.29 ± 0.58 <sup>abcd</sup> | 50.94 ± 1.53 <sup>abc</sup> |
| Ç2         | 45.37 ± 0.65 <sup>ijk</sup>   | 51.62 ± 0.63 <sup>fg</sup>   | 52.88 ± 1.63 <sup>bcd</sup> |
| Ç3         | 43.40 ± 0.99 <sup>cde</sup>   | 48.06 ± 0.47 <sup>a</sup>    | 55.95 ± 2.17 <sup>def</sup> |
| Ç4         | 44.80 ± 0.59 <sup>ghij</sup>  | 50.14 ± 0.72 <sup>cdef</sup> | 53.34 ± 1.48 <sup>bcd</sup> |
| Ç5         | 46.35 ± 0.16 <sup>k</sup>     | 51.31 ± 1.69 <sup>efg</sup>  | 53.73 ± 1.79 <sup>cde</sup> |
| Ç6         | 42.84 ± 0.42 <sup>bcd</sup>   | 48.77 ± 0.81 <sup>abc</sup>  | 55.87 ± 2.46 <sup>def</sup> |
| Ç7         | 45.16 ± 0.37 <sup>hij</sup>   | 52.17 ± 1.05 <sup>g</sup>    | 53.04 ± 2.39 <sup>bcd</sup> |
| Ç8         | 42.62 ± 0.39 <sup>bc</sup>    | 50.01 ± 0.99 <sup>cdef</sup> | 54.89 ± 2.66 <sup>de</sup>  |
| Ç9         | 43.67 ± 0.68 <sup>cdef</sup>  | 51.38 ± 0.28 <sup>fg</sup>   | 58.87 ± 1.87 <sup>f</sup>   |
| Ç10        | 40.58 ± 0.73 <sup>a</sup>     | 48.21 ± 1.32 <sup>ab</sup>   | 52.47 ± 2.47 <sup>bcd</sup> |
| Ç11        | 44.80 ± 0.61 <sup>ghij</sup>  | 50.03 ± 0.27 <sup>cdef</sup> | 50.54 ± 1.13 <sup>abc</sup> |
| Ç12        | 42.14 ± 0.47 <sup>b</sup>     | 48.92 ± 0.64 <sup>abc</sup>  | 56.03 ± 0.51 <sup>def</sup> |
| Ç13        | 43.78 ± 0.40 <sup>defg</sup>  | 50.10 ± 0.51 <sup>cdef</sup> | 57.39 ± 3.95 <sup>ef</sup>  |
| Ç14        | 44.60 ± 0.97 <sup>fghi</sup>  | 50.84 ± 0.63 <sup>defg</sup> | 49.62 ± 0.76 <sup>ab</sup>  |
| Ç15        | 41.99 ± 1.09 <sup>b</sup>     | 49.31 ± 0.98 <sup>abcd</sup> | 52.89 ± 1.03 <sup>bcd</sup> |
| Ç16        | 43.22 ± 0.46 <sup>cde</sup>   | 48.72 ± 0.28 <sup>abc</sup>  | 50.61 ± 1.01 <sup>abc</sup> |
| Ç17        | 45.07 ± 0.39 <sup>hij</sup>   | 51.20 ± 0.91 <sup>efg</sup>  | 48.76 ± 2.67 <sup>a</sup>   |
| Ç18        | 45.80 ± 0.37 <sup>jk</sup>    | 51.15 ± 0.54 <sup>efg</sup>  | 53.58 ± 1.29 <sup>cd</sup>  |
| Ç19        | 43.83 ± 0.37 <sup>defg</sup>  | 49.47 ± 0.43 <sup>abcd</sup> | 52.62 ± 1.75 <sup>bcd</sup> |
| Ç20        | 45.24 ± 0.67 <sup>hij</sup>   | 51.48 ± 0.90 <sup>fg</sup>   | 53.04 ± 1.48 <sup>bcd</sup> |
| Ç21        | 44.16 ± 0.37 <sup>efgh</sup>  | 52.47 ± 1.43 <sup>g</sup>    | 52.54 ± 1.67 <sup>bcd</sup> |
| Ç22        | 43.71 ± 0.23 <sup>cdef</sup>  | 49.71 ± 0.95 <sup>bcde</sup> | 53.80 ± 2.07 <sup>cde</sup> |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.

Mishra vd. (2023), yarı haşlanmış ve öğütülmüş pirinç çeşitlerinde küresellik değerlerini %45.96–46.20 aralığında rapor etmiş ve bu değerlerin pirinç tanelerinin silindirik morfolojisini yansıttığını belirtmiştir. Mevcut çalışmada kargo pirinç örneklerinde belirlenen görece daha yüksek küresellik değerleri, öğütme işleminin uygulanmamış olması ve buna bağlı olarak tane dış geometrisinin daha az bozulması ile açıklanabilir. Bununla birlikte, küresellik değerlerinde gözlenen değişimlerin yalnızca işleme aşamalarına değil, çeşitlere özgü tane morfolojisiyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Pirinç patlağı örneklerinde küresellik değerlerinin 48.76–58.87 aralığında değiştiği belirlenmiş olup, en düşük değer Ç17 çeşidinde ( $48.76 \pm 2.67$ ), en yüksek değer ise Ç9 çeşidinde ( $58.87 \pm 1.87$ ) tespit edilmiştir. Tüm çeşitlerde kargo pirince kıyasla pirinç patlağı örneklerinde küresellik değerlerinde genel bir artış eğilimi gözlenmiştir. Bu artış, patlatma işlemi sırasında tanenin yalnızca boyuna değil, özellikle en ve kalınlık yönünde de belirgin biçimde genişlemesi sonucu şeklin daha küresel bir yapıya yaklaşması ile açıklanabilir (Mariotti vd., 2006; Saha ve Roy, 2022). Nitekim Kumar ve Prasad (2013), ham çeltik, yarı haşlanmış pirinç ve pirinç patlağı örneklerinde küresellik

değerlerini sırasıyla %28.98, %41.74 ve %42.23 olarak rapor etmiş; patlatma işlemiyle birlikte yüzey alanında önemli artışlar meydana gelmesine rağmen küresellik ve en-boy oranında görece sınırlı değişimler gözlemlendiğini bildirmiştir. Benzer şekilde Saha ve Roy (2022), öğütülmüş ham pirinç ve pirinç patlağı örneklerinde küresellik değerlerini sırasıyla %36.07–47.83 ve %47.02–54.87 aralıklarında rapor etmiş; pirinç patlağı örneklerinde gözlenen bu artışı, patlatma sırasında tanenin en ve kalınlık yönünde daha baskın genleşme göstermesiyle ilişkilendirmiştir.



Şekil 42. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane küreselliği değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir.

Çeşitler bazında değerlendirildiğinde, özellikle Ç3, Ç6, Ç8, Ç9, Ç12, Ç13 ve Ç22 çeşitlerinin pirinç patlağı aşamasında yüksek küresellik değerlerine ulaştığı görülmektedir. Bu çeşitler, patlatma sırasında daha homojen genleşme davranışı sergilemiştir. Buna karşılık Ç14 ve Ç17 çeşitleri daha düşük küresellik değerleriyle sınırlı bir şekil dönüşümü göstermiştir. Küresellikte gözlenen bu farklılıkların; çeşit özelliği, endosperm yapısı, nişasta organizasyonu, başlangıç nem içeriği ve protein oranı gibi fizikokimyasal özelliklerle ilişkili olduğu literatürde bildirilmektedir (Mohsenin, 1986; Kumar ve Prasad, 2013; Saha ve Roy, 2022).

İşleme basamakları genel olarak birlikte değerlendirildiğinde, ham çeltikten kargo pirince geçişte küresellik değerlerinde artış meydana geldiği, kargo pirinçten pirinç patlağına geçişte ise bu artışın çok daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Bu bulgular, patlatma işleminin tane şeklini küresel geometriye doğru en fazla dönüştüren

temel işlem basamağı olduğunu göstermektedir. Nitekim patlatma sırasında gelişen poroz ve hücreli yapı, tanenin özellikle en ve kalınlık yönünde genişlemesine olanak sağlamakta ve bu durum küresellik değerlerinde belirgin bir artışa neden olmaktadır (Saha ve Roy, 2022).

Sonuç olarak, incelenen çeşitler arasında küresellik bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğu ve bu parametrenin işleme aşamalarına yüksek derecede duyarlı olduğu belirlenmiştir. Özellikle Ç9, Ç12, Ç13 ve Ç22 çeşitleri pirinç patlağı formunda daha yüksek küresellik değerlerine ulaşarak şekil stabilitesi ve fiziksel kalite özellikleri açısından öne çıkmış; bu çeşitlerin patlatma sonrası ürün performansı bakımından daha avantajlı bir profil sergilediği değerlendirilmiştir.

Bu bağlamda, kargo pirince kıyasla pirinç patlağı örneklerinde küresellik değerlerinde gözlenen artışın, patlatma işlemi sırasında tanenin yalnızca boyuna değil, özellikle en ve kalınlık yönünde görece olarak daha baskın bir genişleme göstermesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu durum, patlatma sırasında oluşan iç buhar basıncının tane kesitinde daha izotropik bir genişleme davranışını teşvik etmesiyle ilişkilendirilebilir. Patlatma işlemiyle birlikte tane yapısında gelişen poroz ve hücreli yapı, tanenin üç boyutlu olarak daha homojen genişlemesine olanak sağlamakta ve bunun sonucunda şeklin küresel geometriye daha fazla yaklaştığı görülmektedir.

#### 4.8. Tane Kitle Yoğunluğu

Ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlağı örneklerine ait kitle yoğunluğu değerleri Tablo 12 ve Şekil 43'te sunulmuştur. Ham çeltikte kitle yoğunluğu değerlerinin 0.55–0.66 g/cm<sup>3</sup> aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük kitle yoğunluğu değeri Ç19 çeşidinde (0.55±0.00 g/cm<sup>3</sup>), en yüksek değer ise Ç6 çeşidinde (0.66±0.01 g/cm<sup>3</sup>) tespit edilmiştir. Kitle yoğunluğu, tane iç yapısındaki boşluk oranı ve tane yerleşim özellikleriyle ilişkili temel bir fiziksel parametredir. Şişirme ve benzeri ısı işlemleri sonucunda tane iç yapısında gelişen poroz yapı, kitle yoğunluğunda belirgin azalmaya neden olmaktadır (Mariotti vd., 2006). Nitekim Bhattacharya vd. (1972), çeltikte kitle yoğunluğunu 0.563–0.642 g/mL, öğütülmüş pirinçte ise 0.777–0.847 g/mL aralığında bildirmiş; bu farklılığın büyük ölçüde tane şekli ve uzunluk/genişlik oranına bağlı olduğunu, daha yuvarlak tanelerin daha yüksek kitle yoğunluğu sergilediğini rapor etmiştir. Ghadge ve Prasad (2012), pirinç tanelerinde kitle yoğunluğunun 0.795–0.897 g/mL aralığında değiştiğini bildirmiştir. Araştırmacılar, kitle yoğunluğunun tane yerleşimi ve porozite ile doğrudan ilişkili olduğunu; taneler arası boşluk hacminin artmasının, birim hacimdeki katı madde miktarını azaltarak kitle yoğunluğu değerini

düşürdüğünü vurgulamıştır. Çalışmada kitle yoğunluğunun, kurutma, depolama ve havalandırma gibi işlemlerin tasarımında temel bir mühendislik parametresi olduğu ifade edilmiştir. Ülkemizde yapılan bir çalışmada Altuntaş ve Naneli (2018), Osmancık-97 çeltik çeşidinde yığın kitle yoğunluğu değerini  $657.0 \text{ kg/m}^3$  ( $0.657 \text{ g/cm}^3$ ) olarak bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada ise Osmancık çeltik örneğinde kitle yoğunluğu  $0.62 \text{ g/mL}$  ( $620 \text{ kg/m}^3$ ) olarak belirlenmiş olup, bu değer literatürde bildirilen değerden bir miktar daha düşük bulunmuştur. Bu farklılığın; tane boyut dağılımı, nem içeriği ve yığın yerleşim özelliklerindeki farklılıklardan kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. am çeltikte gözlenen bu farklılıkların, çeşitlere özgü genetik yapı ve tane iç organizasyonundaki değişkenlikten kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ham çeltikten kargo pirince geçiş aşamasında tüm çeşitlerde kitle yoğunluğu değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir artış ( $p<0.05$ ) meydana gelmiştir. Kargo pirinçte kitle yoğunluğu değerlerinin  $0.69\text{--}0.76 \text{ g/cm}^3$  aralığına yükseldiği görülmüştür. En düşük değer Ç5 çeşidinde ( $0.69\pm0.01 \text{ g/cm}^3$ ), en yüksek değerler ise Ç1 ( $0.76\pm0.00 \text{ g/cm}^3$ ) ve Ç18 ( $0.76\pm0.00 \text{ g/cm}^3$ ) çeşitlerinde belirlenmiştir. Bu artış, kabuk tabakasının uzaklaştırılmasıyla birlikte tanenin dış hacminin azalması, buna karşın gerçek tane kütlelerinin büyük ölçüde korunması sonucu tanenin daha kompakt bir yapı kazanması ile açıklanmaktadır. Öğütme işlemlerinin kitle yoğunluğunu artırdığı literatürde de bildirilmektedir (Bhattacharya vd., 1972; Juliano, 1985). Nitekim Juliano (1985), kitle yoğunluğunun çeltikte  $0.56\text{--}0.64 \text{ g/mL}$ , kahverengi pirinçte ise yaklaşık  $0.68 \text{ g/mL}$  aralığında değiştiğini bildirmiştir. Itagi ve Singh (2015), kavuzu uzaklaştırılmış (kargo) pirinç örneklerinde yarı haşlama işlemi sonrasında kitle yoğunluğunun arttığını; ham kargo pirinçte  $835\text{--}848 \text{ kg/m}^3$  ( $0.835\text{--}0.848 \text{ g/cm}^3$ ) aralığında olan değerlerin yarı haşlama sonrası  $848\text{--}877 \text{ kg/m}^3$  ( $0.848\text{--}0.877 \text{ g/cm}^3$ ) aralığına yükseldiğini rapor etmiştir. Araştırmacılar bu artışı, yarı haşlama sırasında tane iç yapısının yeniden düzenlenmesi ve taneler arası boşluk hacminin azalmasına bağlı olarak daha kompakt bir tane paketlenmesinin oluşmasıyla açıklamıştır. Benzer şekilde Mishra vd. (2023), yarı haşlanmış pirinç örneklerinde kitle yoğunluğunun  $0.83\text{--}0.85 \text{ g/mL}$  aralığında değiştiğini bildirerek, bu parametrenin tane yerleşimi ve porozite ile ilişkili olduğunu ve depolama, taşıma ve şişirme işlemlerinde kullanılan ekipmanların tasarımında önemli bir mühendislik göstergesi olduğunu vurgulamıştır.

Pirinç patlağı örneklerinde ise kitle yoğunluğu değerlerinin  $0.30\text{--}0.46 \text{ g/cm}^3$  aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük kitle yoğunluğu değeri Ç4 çeşidinde ( $0.30\pm0.00 \text{ g/cm}^3$ ), en yüksek değer ise Ç21 çeşidinde ( $0.46\pm0.01 \text{ g/cm}^3$ ) tespit edilmiştir. Kargo pirince kıyasla pirinç patlağında kitle yoğunluğunun belirgin şekilde

azaldığı görülmektedir. Bu azalma, patlatma işlemi sırasında tane içindeki suyun hızla buharlaşması ve tane iç yapısında yüksek poroziteye sahip boşluklu hücresel bir yapı oluşması sonucu hacmin artmasına karşın kütlenin sınırlı ölçüde değişmesinden kaynaklanmaktadır (Mariotti vd., 2006). Nitekim Maisont ve Narkrugsa (2009), mikrodalga ile şişirilen pirinç patlaklarında kitle yoğunluğu değerlerinin 0.21–0.33 g/mL aralığında değiştiğini bildirmiştir. Saha ve Roy (2022), pirinç tanelerinde kitle yoğunluğunun 0.79–0.87 g/mL, pirinç patlağı örneklerinde ise şişirme sonrası 0.08–0.10 g/mL aralığına düştüğünü rapor etmiş ve bu belirgin azalmanın tane içinde gelişen yüksek porozite ve boşluklu hücresel yapının bir sonucu olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca Sonsomboonsuk vd. (2024), farklı pişirme yöntemleriyle üretilen çimlendirilmiş kahverengi pirinç patlaklarında kitle yoğunluğunun 0.30–0.36 g/mL, Junyusen vd. (2025) ise 0.33–0.41 g/mL aralığında değiştiğini bildirerek, daha düşük kitle yoğunluğu değerlerinin artan porozite ve daha gevrek bir yapı ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak, pirinç patlağında birim hacme düşen katı madde miktarı azalmakta ve kitle yoğunluğu önemli ölçüde düşmektedir.



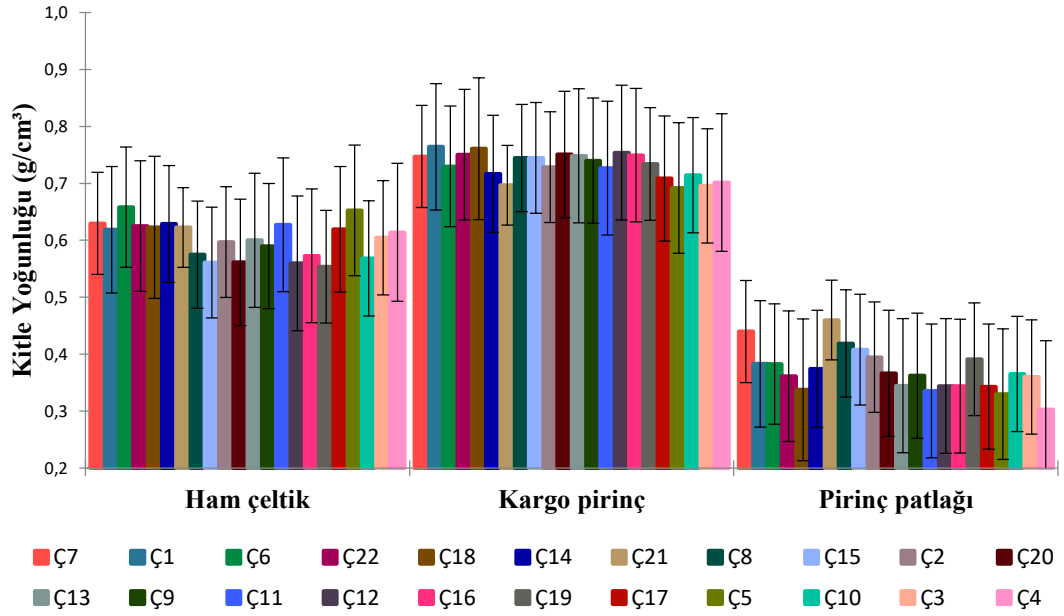
Tablo 12. Farklı eltik çeşitlerinden elde edilen ham eltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane kitle yoğunluğuna ilişkin ortalama değerler (g/cm<sup>3</sup>)

| eşit kodu | Ham eltik                 | Kargo pirinç              | Pirinç patlağı            |
|------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1         | 0.62 ± 0.01 <sup>et*</sup> | 0.76 ± 0.00 <sup>j</sup>  | 0.38 ± 0.01 <sup>tg</sup> |
| 2         | 0.60 ± 0.01 <sup>c</sup>   | 0.73 ± 0.00 <sup>e</sup>  | 0.40 ± 0.01 <sup>g</sup>  |
| 3         | 0.61 ± 0.01 <sup>cde</sup> | 0.70 ± 0.00 <sup>ab</sup> | 0.36 ± 0.00 <sup>d</sup>  |
| 4         | 0.61 ± 0.01 <sup>def</sup> | 0.70 ± 0.00 <sup>bc</sup> | 0.30 ± 0.00 <sup>a</sup>  |
| 5         | 0.65 ± 0.01 <sup>g</sup>   | 0.69 ± 0.01 <sup>a</sup>  | 0.33 ± 0.00 <sup>b</sup>  |
| 6         | 0.66 ± 0.01 <sup>g</sup>   | 0.73 ± 0.01 <sup>e</sup>  | 0.38 ± 0.00 <sup>tg</sup> |
| 7         | 0.63 ± 0.01 <sup>f</sup>   | 0.75 ± 0.00 <sup>gh</sup> | 0.44 ± 0.01 <sup>i</sup>  |
| 8         | 0.58 ± 0.01 <sup>b</sup>   | 0.74 ± 0.00 <sup>gh</sup> | 0.42 ± 0.01 <sup>h</sup>  |
| 9         | 0.59 ± 0.01 <sup>c</sup>   | 0.74 ± 0.00 <sup>tg</sup> | 0.36 ± 0.00 <sup>de</sup> |
| 10        | 0.57 ± 0.01 <sup>ab</sup>  | 0.71 ± 0.00 <sup>d</sup>  | 0.37 ± 0.01 <sup>de</sup> |
| 11        | 0.63 ± 0.01 <sup>f</sup>   | 0.73 ± 0.00 <sup>e</sup>  | 0.34 ± 0.01 <sup>bc</sup> |
| 12        | 0.56 ± 0.00 <sup>ab</sup>  | 0.75 ± 0.00 <sup>hi</sup> | 0.34 ± 0.01 <sup>c</sup>  |
| 13        | 0.60 ± 0.00 <sup>cd</sup>  | 0.75 ± 0.01 <sup>gh</sup> | 0.35 ± 0.01 <sup>c</sup>  |
| 14        | 0.63 ± 0.01 <sup>f</sup>   | 0.72 ± 0.01 <sup>d</sup>  | 0.37 ± 0.01 <sup>ef</sup> |
| 15        | 0.56 ± 0.01 <sup>ab</sup>  | 0.75 ± 0.01 <sup>gh</sup> | 0.41 ± 0.01 <sup>h</sup>  |
| 16        | 0.57 ± 0.01 <sup>b</sup>   | 0.75 ± 0.00 <sup>h</sup>  | 0.34 ± 0.01 <sup>c</sup>  |
| 17        | 0.62 ± 0.00 <sup>ef</sup>  | 0.71 ± 0.01 <sup>cd</sup> | 0.34 ± 0.01 <sup>c</sup>  |
| 18        | 0.62 ± 0.01 <sup>f</sup>   | 0.76 ± 0.00 <sup>ij</sup> | 0.34 ± 0.01 <sup>bc</sup> |
| 19        | 0.55 ± 0.00 <sup>a</sup>   | 0.73 ± 0.00 <sup>ef</sup> | 0.39 ± 0.00 <sup>g</sup>  |
| 20        | 0.56 ± 0.01 <sup>ab</sup>  | 0.75 ± 0.00 <sup>h</sup>  | 0.37 ± 0.01 <sup>de</sup> |
| 21        | 0.62 ± 0.01 <sup>f</sup>   | 0.70 ± 0.00 <sup>ab</sup> | 0.46 ± 0.01 <sup>j</sup>  |
| 22        | 0.63 ± 0.01 <sup>f</sup>   | 0.75 ± 0.00 <sup>h</sup>  | 0.36 ± 0.01 <sup>de</sup> |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.

Çeşitler bazında değerlendirildiğinde, pirinç patlağı formunda 7, 8, 15 ve 21 çeşitlerinin daha yüksek kitle yoğunluğu sergileyerek görece daha sıkı bir yapı gösterdiği belirlenmiştir. Buna karşılık 4, 5 ve 11 eşitleri daha düşük kitle yoğunluğu ile daha gözenekli bir yapı sergilemiştir. Bu durum, patlatma sonrası i yapıdaki boşluk oranının çeşitlere bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Kitle yoğunluğu üzerindeki bu farklılıkların; çeşit özellikleri, tane morfolojisi ve patlatma sırasında gelişen poroz yapı ile ilişkili olduğu, literatürde de rapor edilmiştir (Bhattacharya vd., 1972; Saha ve Roy, 2022; Sonsomboonsuk vd., 2024).

İşleme basamakları genel olarak değerlendirildiğinde, ham çeltikten kargo pirince geçişte kitle yoğunluğunun arttığı, kargo pirinçten pirinç patlağına geçişte ise keskin biçimde azaldığı açıkça görülmektedir. Bu eğilim, patlatma işleminin tane yapısında yüksek hacim artışı ve gözenekli doku oluşturduğunu ve bunun da doğrudan kitle yoğunluğu düşüşüne yol açtığını ortaya koymaktadır. Düşük kitle yoğunluğuna sahip pirinç patlaklarının daha gevrek, hafif ve yüksek hacimli olduğu; yüksek kitle yoğunluğuna sahip olanların ise daha kompakt yapı sunduğu bilinmektedir.



Şekil 43. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane kitle yoğunluğu değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir.

Sonuç olarak, incelenen çeşitler arasında kitle yoğunluğu bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğu ve bu parametrenin işleme aşamalarına son derece duyarlı olduğu belirlenmiştir. Özellikle Ç21, Ç7 ve Ç8 çeşitleri pirinç patlağı formunda daha yüksek kitle yoğunluğu ile öne çıkarken, Ç4 ve Ç5 çeşitleri daha düşük yoğunluklarıyla daha hafif ve gözenekli yapı sergilemiştir. Bu durum, pirinç patlağı üretiminde hedeflenen ürün tekstürüne göre çeşit seçiminin kritik olduğunu göstermektedir.

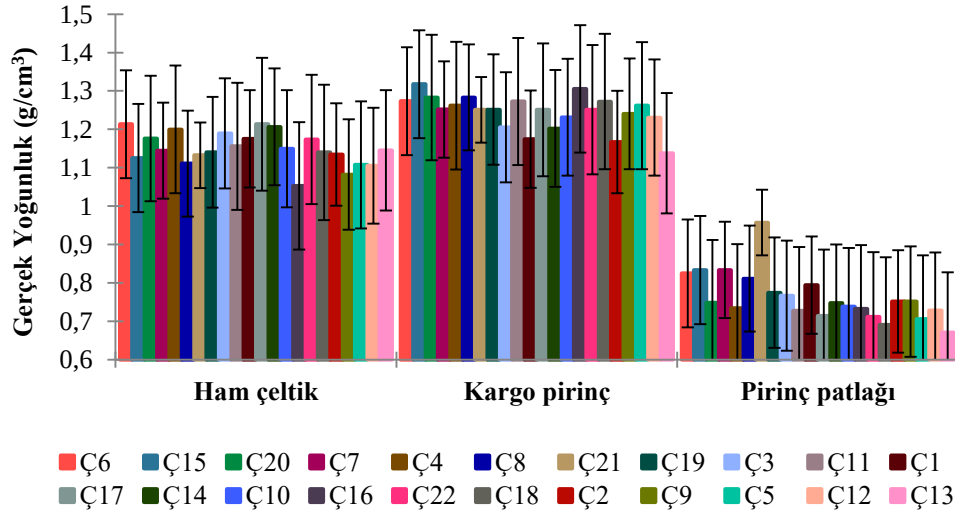
#### 4.9. Tane Gerçek Yoğunluğu

Ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlağı örneklerine ait tane gerçek yoğunluk değerleri Tablo 13 ve Şekil 44'te verilmiştir. Ham çeltikte gerçek yoğunluk değerlerinin 1.05–1.21 g/cm<sup>3</sup> aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük gerçek yoğunluk değeri Ç16 çeşidinde (1.05±0.04 g/cm<sup>3</sup>), en yüksek değerler ise Ç6 (1.21±0.03 g/cm<sup>3</sup>), Ç17 (1.21±0.08 g/cm<sup>3</sup>) ve Ç14 (1.21±0.03 g/cm<sup>3</sup>) çeşitlerinde saptanmıştır. Gerçek yoğunluk, tanenin iç yapısındaki katı maddenin birim hacimdeki kütlesini temsil eden temel bir fiziksel parametre olup, endosperm sıklığı ve nişasta–protein matrisi ile doğrudan ilişkilidir (Kumar ve Prasad, 2018).

Tablo 13. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane gerçek yoğunluğuna ilişkin ortalama değerler (g/cm<sup>3</sup>)

| Çeşit kodu | Ham çeltik                   | Kargo pirinç                | Pirinç patlağı             |
|------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Ç1         | 1.18 ± 0.06 <sup>cdef*</sup> | 1.18 ± 0.02 <sup>ab</sup>   | 0.80 ± 0.01 <sup>gh</sup>  |
| Ç2         | 1.13 ± 0.03 <sup>bcdef</sup> | 1.17 ± 0.02 <sup>ab</sup>   | 0.75 ± 0.00 <sup>ef</sup>  |
| Ç3         | 1.19 ± 0.04 <sup>def</sup>   | 1.21 ± 0.02 <sup>bc</sup>   | 0.77 ± 0.01 <sup>f</sup>   |
| Ç4         | 1.20 ± 0.04 <sup>ef</sup>    | 1.26 ± 0.02 <sup>cdef</sup> | 0.73 ± 0.01 <sup>de</sup>  |
| Ç5         | 1.11 ± 0.02 <sup>abc</sup>   | 1.26 ± 0.00 <sup>cdef</sup> | 0.71 ± 0.02 <sup>bc</sup>  |
| Ç6         | 1.21 ± 0.03 <sup>f</sup>     | 1.27 ± 0.06 <sup>def</sup>  | 0.83 ± 0.05 <sup>i</sup>   |
| Ç7         | 1.14 ± 0.02 <sup>bcdef</sup> | 1.25 ± 0.02 <sup>cde</sup>  | 0.83 ± 0.00 <sup>i</sup>   |
| Ç8         | 1.11 ± 0.02 <sup>abcd</sup>  | 1.28 ± 0.02 <sup>def</sup>  | 0.81 ± 0.01 <sup>hi</sup>  |
| Ç9         | 1.08 ± 0.03 <sup>ab</sup>    | 1.24 ± 0.00 <sup>cd</sup>   | 0.75 ± 0.01 <sup>ef</sup>  |
| Ç10        | 1.15 ± 0.03 <sup>bcdef</sup> | 1.23 ± 0.02 <sup>cd</sup>   | 0.74 ± 0.02 <sup>de</sup>  |
| Ç11        | 1.16 ± 0.06 <sup>bcdef</sup> | 1.27 ± 0.03 <sup>def</sup>  | 0.73 ± 0.02 <sup>cde</sup> |
| Ç12        | 1.11 ± 0.01 <sup>abc</sup>   | 1.23 ± 0.00 <sup>cd</sup>   | 0.73 ± 0.00 <sup>cde</sup> |
| Ç13        | 1.15 ± 0.02 <sup>bcdef</sup> | 1.14 ± 0.00 <sup>a</sup>    | 0.67 ± 0.00 <sup>a</sup>   |
| Ç14        | 1.21 ± 0.03 <sup>ef</sup>    | 1.20 ± 0.00 <sup>bc</sup>   | 0.75 ± 0.00 <sup>ef</sup>  |
| Ç15        | 1.13 ± 0.04 <sup>abcde</sup> | 1.32 ± 0.07 <sup>f</sup>    | 0.83 ± 0.02 <sup>i</sup>   |
| Ç16        | 1.05 ± 0.04 <sup>a</sup>     | 1.31 ± 0.03 <sup>ef</sup>   | 0.73 ± 0.00 <sup>cde</sup> |
| Ç17        | 1.21 ± 0.08 <sup>f</sup>     | 1.25 ± 0.02 <sup>cde</sup>  | 0.71 ± 0.01 <sup>bcd</sup> |
| Ç18        | 1.14 ± 0.01 <sup>bcdef</sup> | 1.27 ± 0.00 <sup>def</sup>  | 0.69 ± 0.00 <sup>ab</sup>  |
| Ç19        | 1.14 ± 0.06 <sup>bcdef</sup> | 1.25 ± 0.00 <sup>cde</sup>  | 0.78 ± 0.02 <sup>fg</sup>  |
| Ç20        | 1.18 ± 0.06 <sup>cdef</sup>  | 1.28 ± 0.09 <sup>def</sup>  | 0.75 ± 0.02 <sup>ef</sup>  |
| Ç21        | 1.13 ± 0.07 <sup>bcdef</sup> | 1.25 ± 0.00 <sup>cde</sup>  | 0.96 ± 0.00 <sup>j</sup>   |
| Ç22        | 1.17 ± 0.03 <sup>cdef</sup>  | 1.25 ± 0.02 <sup>cde</sup>  | 0.71 ± 0.00 <sup>bcd</sup> |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.



Şekil 44. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane gerçek yoğunluk değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir.

Literatürde özellikle ham çeltik örnekleri için bildirilen gerçek yoğunluk değerlerinin dar bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Nitekim Bhattacharya vd. (1972), ham çeltik örneklerinde gerçek yoğunluk değerlerinin yaklaşık 1.18–1.22 g/mL

aralığında değiştiğini bildirmiş ve çeltikte gözlenen görece düşük gerçek yoğunluğu, kavuz ile tane arasında bulunan hava boşluklarının varlığı ile ilişkilendirmiştir. Araştırmacılar, özellikle daha yuvarlak tanelerde bu i boşlukların daha belirgin olduğunu ve nem artışıyla birlikte bu boşlukların kısmen dolması sonucu gerçek yoğunluğu arttığını belirtmiştir. Kumar vd. (2017), ham eltik örneklerinde gerçek yoğunluk değerlerinin 1.075–1.150 g/mL aralığında olduğunu bildirmiş ve bu durumun, çeşitler arasında morfolojik farklılıklar bulunmasına rağmen tane i yapısının yoğunluk bakımından benzer özellikler sergilediğini gösterdiğini ifade etmiştir. Benzer şekilde Altuntaş ve Naneli (2018), farklı eltik örneklerinde gerçek yoğunluk değerlerinin 1.03–1.14 g/cm<sup>3</sup> aralığında değiştiğini rapor etmiş ve bu değişimin tane morfolojisi, i boşluk oranı ve nem içeriği gibi yapısal faktörlerle ilişkili olduğunu belirtmiştir. Patle vd. (2020), farklı eltik genotiplerinde gerçek yoğunluk değerlerinin 1.12–1.44 g/mL aralığında değiştiğini bildirerek, bu parametrenin genetik farklılıklara bağlı olarak endosperm kompaktlığını yansıttığını vurgulamıştır. Mevcut çalışmada elde edilen gerçek yoğunluk değerlerinin literatürde bildirilen aralıklarla uyumlu olması, gerçek yoğunluğu eltik ve pirinçte tane i yapısının btnliğn ve katı faz organizasyonunu yansıtan nispeten stabil bir fiziksel parametre olduğunu desteklemektedir. Bu bağlamda gerçek yoğunluğu, işleme koşullarından çok tanenin içsel yapısal özellikleriyle ilişkili olduğu ve depolama, ayırma ve işleme ekipmanlarının tasarımında dikkate alınması gereken temel bir özellik olduğu söylenebilir.

Ham eltikten kargo pirince geçiş aşamasında tüm çeşitlerde gerçek yoğunluk değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış ( $p<0.05$ ) meydana gelmiştir. Kargo pirinç örneklerinde gerçek yoğunluk değerleri 1.14–1.32 g/cm<sup>3</sup> aralığında değişmiştir. En düşük değer 13 çeşidinde ( $1.14\pm0.00$  g/cm<sup>3</sup>), en yüksek değer ise 15 çeşidinde ( $1.32\pm0.07$  g/cm<sup>3</sup>) belirlenmiştir. Bu artış, kabuk ve kepek tabakalarının uzaklaştırılması sonucunda tanenin dış hacminin azalmasına karşılık katı madde içeriğinin korunması ve endosperm yapısının daha kompakt hale gelmesi ile açıklanmaktadır. Öğütme derecesi arttıķa gerçek yoğunluğu arttığı literatürde de açıkça rapor edilmiştir (Bhattacharya vd., 1972; Juliano, 1985). Itagi ve Singh (2015), ham eltik örneklerine ait gerçek yoğunluk değerlerinin 1035–1250 kg/m<sup>3</sup> aralığında değiştiğini; yarı haşlama işlemi sonrasında ise ham eltik örneklerinde gerçek yoğunluk değerlerinin 934–1220 kg/m<sup>3</sup> aralığına düştüğünü bildirmiştir. De-husked (kargo) pirinç örneklerinde gerçek yoğunluk değerlerinin ham eltiğe kıyasla daha yüksek olduğu ve ham de-husked pirinçlerde bu değerlerin 1399–1409 kg/m<sup>3</sup> aralığında bulunduğu rapor edilmiştir. Yarı haşlanmış de-husked pirinç örneklerinde ise gerçek yoğunluk değerlerinin 1392–1429

kg/m<sup>3</sup> aralığında değiştiği belirtilmiştir. Çalışmada yarı haşlama işleminin de-husked pirinçte gerçek yoğunluk üzerinde sınırlı düzeyde, ancak istatistiksel olarak anlamlı değişimlere yol açtığını ifade etmişlerdir. Bu bulgular, gerçek yoğunluğun pirinçte uygulanan hidrotermal işlemlere ve tane i yapısında meydana gelen fiziksel yeniden düzenlenmelere duyarlı bir parametre olduğunu göstermektedir (Itagi ve Singh, 2015). Benzer şekilde Mishra vd. (2023), yarı haşlanmış pirinç örneklerinde gerçek yoğunluk değerlerinin 1.39–1.43 g/mL aralığında değiştiğini bildirmiştir. Bu değerler, yarı haşlama işlemi sırasında tanede gerçekleşen hidrotermal dönüşümler sonucu endosperm yapısının daha kompakt ve homojen hle gelmesiyle ilişkilendirilmektedir. Özellikle nişasta granüllerinin jelatinizasyonu ve bunu takiben yeniden düzenlenmesi, tane içindeki katı fazın birim hacimde daha yoğun biçimde dağılmasına neden olmakta ve gerçek yoğunluk değerlerinin yüksek seviyelerde ölçülmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla gerçek yoğunluk, yarı haşlanmış pirinçte endosperm sıklığı ve i yapısal düzenlenmenin derecesini yansıtan temel bir fiziksel gösterge olarak değerlendirilmektedir (Mishra vd., 2023).

Pirinç patlağı örneklerinde ise gerçek yoğunluk değerlerinin 0.67–0.96 g/cm<sup>3</sup> aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük değer 13 çeşidinde (0.67±0.00 g/cm<sup>3</sup>), en yüksek değer ise 21 çeşidinde (0.96±0.00 g/cm<sup>3</sup>) tespit edilmiştir. Kargo pirince kıyasla pirinç patlağında gerçek yoğunluğun belirgin biçimde azaldığı görülmektedir. Bu düşüş, patlatma işlemi sırasında tanedeki suyun hızla buharlaşması, nişastanın jelatinizasyonu ve tane i yapısında çok sayıda gözenek oluşması sonucu tanenin hacminin önemli ölçüde artmasına karşın kütlenin sınırlı düzeyde değişmesi ile açıklanmaktadır (Chinnaswamy ve Bhattacharya, 1983; Kumar ve Prasad, 2013). Kumar ve Prasad (2018), ham pirinçte gerçek yoğunluk değerlerinin yaklaşık 1.05 g/cm<sup>3</sup> düzeyinde olduğunu, yarı haşlama işlemi sonrasında ise jelatinizasyon ve retrogradasyon süreçleriyle endosperm yapısının daha kompakt hle gelmesi sonucu bu değerin 1.36 g/cm<sup>3</sup> seviyelerine yükseldiğini bildirmiştir. Buna karşılık, şişirme işlemi sonrasında tane i yapısında gelişen hücresel ve yüksek poroziteli yapı nedeniyle gerçek yoğunluk değerlerinin 0.12 g/cm<sup>3</sup> düzeylerine kadar belirgin biçimde düştüğü rapor edilmiştir (Kumar ve Prasad, 2018). Mevcut çalışmada elde edilen gerçek yoğunluk değerleri de işleme aşamalarına bağlı olarak benzer bir eğilim sergilemiş; özellikle patlatma/şişirme işlemi sonrasında gerçek yoğunlukta gözlenen anlamlı azalış, literatürde bildirilen sonuçlarla uyumlu bulunmuştur. Bu durum, yüksek sıcaklık altında oluşan ani i buhar basıncının tane hacmini hızla artırması, katı matrisin genişlemesi ve nem içeriğinin azalması ile ilişkilendirilmekte olup; gerçek yoğunluğun pirinçte

endosperm kompaktlığı ve porozite değişimini yansıtan duyarlı bir fiziksel gösterge olduğunu doğrulamaktadır. Kahverengi pirinçte kepek ve aleuron tabakasının korunması, endosperm-nişasta-protein matrisinin daha bütüncül ve mekanik olarak dirençli bir yapı sergilemesine neden olmaktadır. Bu yapı, tanenin iç hacminde görece daha düşük porozite oluşmasına yol açarak daha kompakt bir iç yapı gelişimiyle ilişkilendirilmektedir; bu durumun, gerçek yoğunluk değerlerinin artış eğilimi göstermesine neden olabileceği bildirilmektedir (Juliano, 1985). Kepek tabakasının genişlemeye karşı oluşturduğu yapısal direnç ile yarı haşlanma işlemi sırasında endosperm matrisinde meydana gelen fiziksel yeniden düzenlenmelerin, patlatma sırasında hücresel porozite oluşumunu sınırlandırabildiği rapor edilmiştir (Swarnakar vd., 2020). Bu yapısal sınırlamaların, kahverengi pirinçten elde edilen pirinç patlaklarında genleşmenin görece sınırlı kalmasına ve daha kompakt bir iç yapının oluşmasına yol açabileceği tartışılmıştır. Nitekim literatürde, farklı işleme derecelerine sahip pirinçlerden elde edilen patlak ürünlerde gerçek yoğunluk değerlerinin bu tür yapısal farklılıklara bağlı olarak değişkenlik gösterebildiği rapor edilmiştir (Kumar ve Prasad, 2018). Bu durum, mevcut çalışmada kahverengi pirinç esaslı patlak örneklerinde ölçülen görece yüksek gerçek yoğunluk değerlerinin yapısal bir temele dayandığını göstermektedir.

Çeşitler bazında değerlendirildiğinde, pirinç patlağı formunda Ç21, Ç6, Ç7 ve Ç15 çeşitleri daha yüksek gerçek yoğunluk sergileyerek görece daha sıkı bir iç yapı göstermiştir. Buna karşılık Ç13, Ç18 ve Ç17 çeşitleri daha düşük gerçek yoğunluk değerleriyle daha gözenekli ve gevşek bir yapı ortaya koymuştur. Bu durum, patlatma işlemi sonrasında tane iç yapısında oluşan boşluk hacminin ve hücresel porozitenin çeşitlere bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Gerçek yoğunlukta gözlenen bu farklılıkların; tane morfolojisi, endosperm yapısının kompaktlığı, nişasta kristalitesi, protein içeriği ve patlatma öncesi başlangıç nem düzeyi gibi içsel ve işlemsel faktörlerle yakından ilişkili olduğu literatürde bildirilmektedir (Juliano, 1985; Chinnaswamy ve Bhattacharya, 1983; Kumar ve Prasad, 2018).

İşleme basamakları birlikte değerlendirildiğinde, ham çeltikten kargo pirince geçişte gerçek yoğunluğun arttığı, kargo pirinçten pirinç patlağına geçişte ise keskin bir düşüş meydana geldiği açıkça görülmektedir. Bu eğilim, Kumar ve Prasad (2013) tarafından rapor edilen bulgularla da örtüşmektedir. Söz konusu çalışmada ham çeltikte gerçek yoğunluk  $1044.8 \text{ kg/m}^3$  iken, kabuk uzaklaştırma ve yarı haşlama sonrası elde edilen kahverengi/ yarı haşlanmış pirinçte bu değer  $1391.1 \text{ kg/m}^3$ 'e yükseldiği; şişirme işlemi sonrasında ise ani hacimsel genleşme ve poroz yapı gelişimi nedeniyle

gerçek yoğunluğun yaklaşık  $104 \text{ kg/m}^3$  ( $\approx 0.10 \text{ g/cm}^3$ ) seviyelerine kadar düştüğü bildirilmiştir (Kumar ve Prasad, 2013). Bu eğilim, patlatma işleminin tane iç yapısında maksimum düzeyde gözenekli doku oluşturduğunu ve bunun da doğrudan gerçek yoğunluk kaybına yol açtığını ortaya koymaktadır. Düşük gerçek yoğunluğa sahip pirinç patlaklarının daha hafif, daha gevrek ve daha yüksek hacimli ürün özelliği gösterdiği literatürde bildirilmektedir (Hoke vd., 2005). Buna karşılık, yüksek gerçek yoğunluğa sahip ürünlerin daha kompakt ve daha sert bir yapı sunduğu ifade edilmektedir (Kumar ve Prasad, 2018).

Sonuç olarak, incelenen çeşitler arasında gerçek yoğunluk bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğu ve bu parametrenin işleme aşamalarına son derece duyarlı olduğu ortaya konulmuştur. Özellikle Ç21 çeşidi pirinç patlağı formunda en yüksek gerçek yoğunluk değerine sahip olurken, Ç13 çeşidi en düşük gerçek yoğunluk değeri ile en gözenekli yapıyı sergilemiştir. Bu bulgular, pirinç patlağı üretiminde hedef ürün tekstürüne göre çeşit seçiminin kritik olduğunu açıkça göstermektedir. Bu bağlamda, gerçek yoğunluk parametresi, pirinç patlağı üretiminde hem proses kontrolü hem de ürün tasarımı açısından kullanılabilir bir kalite göstergesi olarak değerlendirilebilir.

#### **4.10. Gözeneklilik (Porozite)**

Ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlağı örneklerine ait gözeneklilik (porozite) değerleri Tablo 14 ve Şekil 45'te sunulmuştur. Ham çeltikte gözeneklilik değerlerinin %41.07–52.26 aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük gözeneklilik değeri Ç5 çeşidinde ( $\%41.07 \pm 3.27$ ), en yüksek değer ise Ç20 çeşidinde ( $\%52.26 \pm 3.91$ ) tespit edilmiştir. Gözeneklilik, tane yığınının içerisindeki boşluk hacminin toplam hacme oranını ifade eden ve özellikle hava ile ısı transferi açısından kritik öneme sahip bir fiziksel parametredir (Mohsenin, 1986). Ham çeltikte gözlenen bu farklılıkların; tane boyutları, şekli ve yüzey pürüzlülüğü gibi morfolojik özelliklerin çeşitler arasında değişkenlik göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim Bhattacharya vd. (1972), ham çeltik örneklerinde porozite değerlerinin %46–54 aralığında değiştiğini ve bu parametrenin tane şekli ile ilişkili olduğunu bildirmiştir (Bhattacharya vd., 1972). Benzer şekilde, Altuntaş ve Naneli (2018) farklı çeltik çeşitlerinde porozite değerlerini %33.84–38.80 aralığında rapor etmiş ve porozitenin yığın hacim ağırlığı ile ters yönlü bir ilişki sergilediğini ifade etmiştir (Altuntaş ve Naneli, 2018). Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, ham çeltikte gözeneklilik değerlerinin büyük ölçüde tane

morfolojisine bağılı olarak şekillendiğı ve porozitenin, işleme ve depolama süreçlerinde yığın davranışını belirleyen temel fiziksel parametrelerden biri olduğı görölmektedir.

Ham çeltikten kargo pirince geçiş aşamasında gözeneklilik değerlerinin genel olarak azaldığı görölmektedir. Kargo pirinçte gözeneklilik değerleri %34.25–45.16 aralığında değişmiştir. En düşük değer Ç13 çeşidinde ( $\%34.25 \pm 0.06$ ), en yüksek değer ise Ç5 çeşidinde ( $\%45.16 \pm 0.10$ ) belirlenmiştir. Bu azalma, kabuğun uzaklaştırılmasıyla birlikte tanenin dış yüzeyinin daha düzgün bir yapı kazanması, tane geometrisinin değişmesi ve partiküller arası boşluk hacminin azalması ile açıklanabilir.

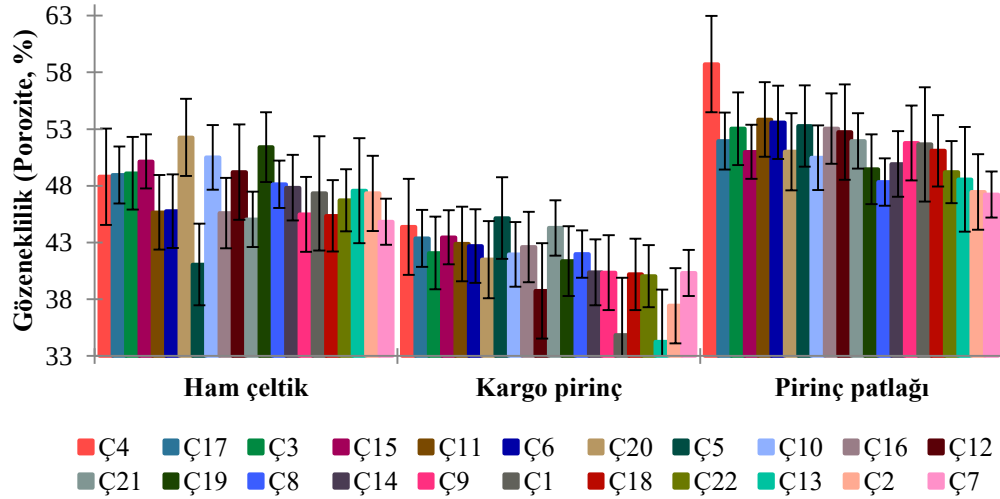
Öğütme işleminin gözeneklilik üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğı literatürde de rapor edilmiştir (Bhattacharya vd., 1972). Itagi ve Singh (2015), ham çeltikte porozite değerlerinin %47.3–51.1 aralığında olduğı, yarı haşlama işlemi sonrasında bu değerlerin %50.9–56.4 aralığına yükseldiğı rapor edilmiştir. Buna karşılık, de-husked (kargo) pirinç örneklerinde porozite değerlerinin ham formda %39.4–40.3 aralığında olduğı, yarı haşlama sonrası ise bu değerlerin %37.3–44.7 aralığında değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir. Bu değişimin, ham ve yarı haşlanmış çeltikte tane hacmindeki genişleme ve yığın içi paketlenmenin gevşemesiyle; kahverengi pirinçte ise yarı haşlama sonrası tane yapısında meydana gelen kompaktlaşma ve gerçek–yığın yoğunluğu farkının azalmasıyla ilişkili olduğı ifade edilmiştir (Itagi ve Singh, 2015).



Tablo 14. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında gözenekliliğe ilişkin ortalama değerler (%)

| Çeşit kodu | Ham çeltik                     | Kargo pirinç                  | Pirinç patlağı                 |
|------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Ç1         | 47.34 ± 0.84 <sup>bcdef*</sup> | 34.85 ± 0.61 <sup>ab</sup>    | 51.65 ± 0.76 <sup>efghi</sup>  |
| Ç2         | 47.33 ± 0.86 <sup>bcdef</sup>  | 37.43 ± 0.31 <sup>bc</sup>    | 47.46 ± 0.85 <sup>ab</sup>     |
| Ç3         | 49.11 ± 2.24 <sup>defgh</sup>  | 42.08 ± 3.95 <sup>efghi</sup> | 53.03 ± 1.04 <sup>ghi</sup>    |
| Ç4         | 48.80 ± 1.71 <sup>cdefgh</sup> | 44.39 ± 3.09 <sup>hi</sup>    | 58.72 ± 3.41 <sup>j</sup>      |
| Ç5         | 41.07 ± 3.27 <sup>a</sup>      | 45.16 ± 0.10 <sup>i</sup>     | 53.27 ± 1.41 <sup>hi</sup>     |
| Ç6         | 45.76 ± 0.40 <sup>bcde</sup>   | 42.70 ± 0.85 <sup>efghi</sup> | 53.59 ± 1.07 <sup>hi</sup>     |
| Ç7         | 44.84 ± 0.99 <sup>b</sup>      | 40.32 ± 0.25 <sup>cdefg</sup> | 47.23 ± 1.07 <sup>a</sup>      |
| Ç8         | 48.13 ± 2.05 <sup>bcdefg</sup> | 41.99 ± 1.25 <sup>efgh</sup>  | 48.33 ± 0.83 <sup>abc</sup>    |
| Ç9         | 45.48 ± 1.66 <sup>bcde</sup>   | 40.36 ± 0.67 <sup>cdefg</sup> | 51.78 ± 1.28 <sup>efghi</sup>  |
| Ç10        | 50.51 ± 1.18 <sup>fgh</sup>    | 41.95 ± 0.78 <sup>efgh</sup>  | 50.48 ± 0.46 <sup>cdefg</sup>  |
| Ç11        | 45.66 ± 1.82 <sup>bcde</sup>   | 42.88 ± 1.12 <sup>efghi</sup> | 53.85 ± 0.81 <sup>i</sup>      |
| Ç12        | 49.21 ± 2.19 <sup>efgh</sup>   | 38.74 ± 0.65 <sup>cd</sup>    | 52.74 ± 1.71 <sup>ghi</sup>    |
| Ç13        | 47.57 ± 0.82 <sup>bcdef</sup>  | 34.25 ± 0.06 <sup>a</sup>     | 48.57 ± 0.31 <sup>abcd</sup>   |
| Ç14        | 47.84 ± 1.15 <sup>bcdefg</sup> | 40.37 ± 1.66 <sup>cdefg</sup> | 49.93 ± 1.16 <sup>bcdef</sup>  |
| Ç15        | 50.15 ± 1.76 <sup>fgh</sup>    | 43.46 ± 0.80 <sup>ghi</sup>   | 51.00 ± 0.38 <sup>defgh</sup>  |
| Ç16        | 45.60 ± 1.85 <sup>bcde</sup>   | 42.60 ± 1.93 <sup>efghi</sup> | 53.04 ± 2.21 <sup>ghi</sup>    |
| Ç17        | 48.96 ± 1.88 <sup>defgh</sup>  | 43.36 ± 4.12 <sup>fghi</sup>  | 51.94 ± 1.58 <sup>fghi</sup>   |
| Ç18        | 45.36 ± 1.53 <sup>bcd</sup>    | 40.20 ± 0.89 <sup>cdef</sup>  | 51.09 ± 1.38 <sup>defgh</sup>  |
| Ç19        | 51.42 ± 1.58 <sup>gh</sup>     | 41.37 ± 1.16 <sup>defgh</sup> | 49.47 ± 1.42 <sup>abcdef</sup> |
| Ç20        | 52.26 ± 3.91 <sup>h</sup>      | 41.50 ± 0.26 <sup>defgh</sup> | 51.00 ± 0.86 <sup>defgh</sup>  |
| Ç21        | 45.04 ± 3.53 <sup>bc</sup>     | 44.29 ± 1.10 <sup>hi</sup>    | 51.95 ± 1.28 <sup>fghi</sup>   |
| Ç22        | 46.71 ± 0.90 <sup>bcdef</sup>  | 40.05 ± 0.15 <sup>cde</sup>   | 49.21 ± 1.00 <sup>abcde</sup>  |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.



Şekil 45. Farklı çeltik çeşitlerine ilişkin ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında tane gözeneklilik (porozite) değişimleri. Barlar, ortalama değerlerden standart sapmaları göstermektedir.

Benzer şekilde Mishra vd. (2023), yarı haşlanmış pirinç örneklerinde porozite değerlerini yaklaşık %40–41 aralığında rapor etmiş ve bu değerlerin çeşitler arasında sınırlı farklılıklar gösterdiğini bildirmiştir. Mevcut çalışmada yarı haşlanmış pirinç örneklerinde porozite aralığı, literatürde bildirilen bu değerlerle genel olarak uyumlu olmakla birlikte, daha geniş bir dağılım sergilemiştir. Bu durum, çalışmada incelenen çeşitlerin morfolojik özellikleri, tane boyutları ve yoğunluk ilişkilerindeki farklılıkların porozite üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca porozitenin, kitle ve gerçek yoğunluk arasındaki farktan türetilen bir parametre olması nedeniyle, işleme koşulları ve tane iç yapısındaki yeniden düzenlenmeye yüksek duyarlılık gösterdiği; dolayısıyla yarı haşlanmış pirinçlerin şişirme performansının öngörülmesinde önemli bir gösterge olduğu değerlendirilmektedir. Bu nedenle, kargo ve yarı haşlanmış pirinçlerde gözeneklilik değerleri, patlatma öncesi ham madde karakterizasyonunda ve işlem koşullarının belirlenmesinde dikkate alınması gereken önemli bir fiziksel gösterge olarak değerlendirilmektedir.

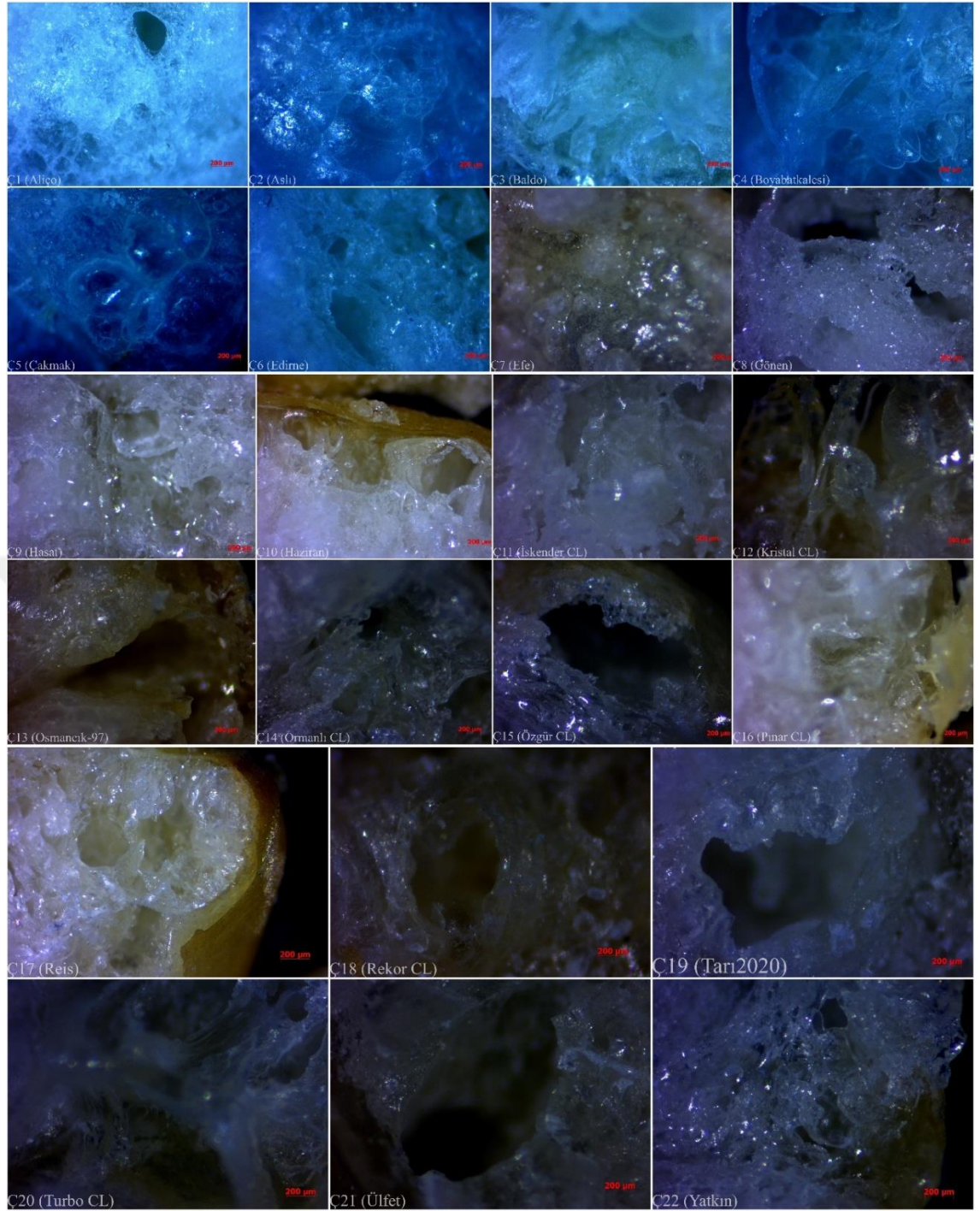
Pirinç patlağı örneklerinde ise gözeneklilik değerlerinin %47.23–58.72 aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük gözeneklilik değeri Ç7 çeşidinde ( $\%47.23 \pm 1.07$ ), en yüksek değer ise Ç4 çeşidinde ( $\%58.72 \pm 3.41$ ) tespit edilmiştir. Kargo pirince kıyasla pirinç patlağında gözenekliliğin belirgin şekilde arttığı görülmektedir. Bu artış, patlatma sırasında tanenin içindeki suyun ani buharlaşması, nişastanın jelatinizasyonu ve retrogradasyonu ile birlikte iç yapıda çok sayıda mikro ve makro gözenek oluşması sonucu hacmin önemli ölçüde artmasıyla açıklanmaktadır (Mir vd., 2014; Mariotti vd., 2006). Kumar ve Prasad (2013), porozite değerlerinin ham çeltikte %50.84 olduğunu, yarı haşlama işlemi sonrasında bu değer %49.54'e düştüğünü ve şişirme işlemi ile %46.31 seviyesine kadar azaldığını bildirmiştir. Benzer şekilde Kumar ve Prasad (2018), porozite değerlerinin ham çeltikte %51.05 iken yarı haşlama sonrası %42.64'e düştüğünü ve şişirme işlemi ile %31.43 seviyesine kadar azaldığını rapor etmiştir. Literatürde bildirilen bu azalma eğilimi, özellikle yüksek genleşme sonrası yığın içi paketlenmenin artması ve gerçek–yığın yoğunluğu farkının azalmasıyla ilişkilendirilmiştir. Saha ve Roy (2022) tarafından yüksek amiloz içerikli pirinçlerden üretilen pirinç patlağı örneklerinde gözeneklilik (porozite) değerlerinin %45.51–64.12 aralığında değiştiği rapor edilmiştir. Elde edilen bu yüksek porozite değerleri, pirinç patlaklarının düşük yığın yoğunluğu ( $0.08\text{--}0.10\text{ g/cm}^3$ ) ve patlatma sırasında gelişen boşluklu–hücreli iç yapısıyla ilişkilendirilmiş; porozitenin pirinç patlağının genleşme davranışı ve gevrek tekstürel özelliklerini yansıtan temel yapısal bir parametre olduğu vurgulanmıştır. Mevcut çalışmada pirinç patlağı örneklerinde daha yüksek porozite

değerlerinin elde edilmesi, kullanılan çeşitlerin morfolojik özellikleri, iç poroz yapı gelişimi ve patlatma koşullarına bağlı olarak gözenek dağılımının daha heterojen bir yapı sergilemesiyle açıklanabilir. Oluşan bu yüksek porozite, pirinç patlağının düşük yoğunluklu, hafif ve gevrek bir tekstür kazanmasında belirleyici rol oynamaktadır.

Çeşitler bazında değerlendirildiğinde, pirinç patlağı formunda Ç4, Ç11, Ç12, Ç6 ve Ç5 çeşitleri daha yüksek gözeneklilik değerleriyle öne çıkmıştır. Buna karşılık Ç7, Ç13 ve Ç8 çeşitleri daha düşük gözeneklilik sergilemiştir. Bu farklılıklar, patlatma sonrası iç yapıda oluşan boşluk oranının; çeşit, nişasta yapısı, protein oranı, tane sertliği ve başlangıç nem içeriği gibi fizikokimyasal ve yapısal özelliklere bağlı olarak değişkenlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır (Mir vd., 2014; Saha ve Roy, 2022). Nitekim Sonsomboonsuk vd. (2024) çalışmasında, patlatma öncesi uygulanan pişirme yöntemlerinin pirinç tanelerinin iç porozite gelişimini doğrudan etkilediği ortaya konulmuştur. Özellikle patlatma sonrası tanelerde geniş ve birbiriyle bağlantılı gözeneklerin geliştiğini ve yapının boşluklu-hücreli bir matrise dönüştüğünü açıkça ortaya koymuştur. Çalışmada, porozite artışının patlatma sırasında tane içindeki suyun ani buharlaşmasıyla oluşan yüksek iç basınçtan kaynaklandığı ve bu yapısal dönüşümün düşük yığın yoğunluğu ve yüksek genleşme ile doğrudan ilişkili olduğu vurgulanmıştır (Sonsomboonsuk vd., 2024).

İşleme basamakları genel olarak birlikte değerlendirildiğinde, ham çeltikten kargo pirince geçişte gözenekliliğin azaldığı, kargo pirinçten pirinç patlağına geçişte ise keskin biçimde arttığı açıkça ortaya konulmuştur. Bu durum, patlatma işleminin tane iç yapısında maksimum düzeyde gözenekli doku oluşturarak ürünün hacmini, gevrekliğini, kırılabilirliğini ve ağızda dağılma özelliklerini belirgin şekilde geliştirdiğini göstermektedir. Yüksek gözenekliliğe sahip pirinç patlaklarının kaplama ve aroma tutma kapasitesinin de daha yüksek olduğu bilinmektedir.

Sonuç olarak, incelenen çeşitler arasında gözeneklilik bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğu ve bu parametrenin işleme aşamalarına son derece duyarlı olduğu ortaya konulmuştur. Özellikle Ç4 ve Ç11 çeşitleri pirinç patlağı formunda yüksek gözeneklilik ile öne çıkarken, Ç7 çeşidi daha düşük gözeneklilik ile daha kompakt bir yapı sergilemiştir. Bu gözenekli ve hücreli yapı, Zeiss stereomikroskop ile elde edilen mikrogörüntülerde açık biçimde izlenebilmekte olup (Şekil 46), patlatma işlemi sonrası gelişen poroz iç yapıyı görsel olarak doğrulamaktadır.



Şekil 46. Farklı çeşitlere ait (Ç1-Ç22) pirinç patlaklarının enine iç kesitlerinde, 200 µm ölçekli, büyütmeli gözenekli (poroz) mikroyapıların görünümü (Zeiss stereomikroskop-AxioCam ERc 5s)

Bu bulgular, pirinç patlağı üretiminde hedeflenen gevreklik ve hacme bağlı olarak çeşit seçiminin kritik öneme sahip olduğunu açıkça göstermektedir. Bu yapısal farklılıklar, pirinç patlağı örneklerinden elde edilen stereomikroskop görüntülerinde de açık biçimde izlenebilmektedir. Zeiss stereomikroskop (AxioCam ERc 5s) kullanılarak elde edilen mikrogörüntülerde, yüksek gözeneklilik sergileyen çeşitlerde daha geniş, düzensiz ve birbiriyle bağlantılı gözenekli hücresel yapıların geliştiği; düşük

gözenekliliğe sahip çeşitlerde ise daha kompakt ve sınırlı boşluk hacmine sahip bir iç yapı oluştuğu görülmektedir (Şekil 46). Bu mikroyapısal gözlemler, porozite ölçümleriyle elde edilen sayısal bulguları görsel olarak desteklemektedir.

Bu çalışmada farklı çeltik çeşitlerine ait ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlağı örneklerinde bin tane ağırlığı, dane boyu, dane eni, geometrik ortalama çap, yüzey alanı, kitle yoğunluğu, gerçek yoğunluk ve gözeneklilik gibi temel fiziksel özellikler belirlenmiş ve işleme basamaklarına bağlı olarak meydana gelen değişimler bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, işleme aşamalarının tane geometrisi, iç yapı organizasyonu ve hacimsel özellikler üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu açıkça ortaya koymuştur.

Ham çeltikte bin tane ağırlığı değerlerinin yaklaşık 28.72–39.22 g/1000 tane aralığında değiştiği ve özellikle iri taneli çeşitlerde bu değerlerin belirgin şekilde yüksek olduğu görülmüştür. Kargo pirince geçişte BTA'nın %10–20 oranında azaldığı, pirinç patlağı formunda ise bazı çeşitlerde toplam kaybın %25'i aştığı belirlenmiştir. Bu azalma, öğütme sırasında kabuğun uzaklaşması ve patlatma sırasında tanedeki hacimsel genişleme ile açıklanabilir. Dane boyu değerleri ham çeltikte 8.07–9.67 mm aralığında iken, kargo pirinçte bu değerlerin ortalama %20 civarında azalarak 6–7 mm seviyesine düştüğü görülmüştür. Pirinç patlağı örneklerinde tane enindeki artışın, boy yönündeki değişime göre daha belirgin olması, patlama sırasında tanede en ve kalınlık yönünde daha yüksek genleşme oranlarının gerçekleştiğine işaret etmektedir. Bu durum, patlatma sırasında iç buhar basıncının tanede izotropik olmayan bir genleşmeye yol açtığını bildiren literatür bulguları ile uyumludur (Mariotti vd., 2006; Saha ve Roy, 2022).

Geometrik ortalama çap ve yüzey alanı değerleri ham çeltikten kargo pirince geçişte azalmış, pirinç patlağı aşamasında ise tüm çeşitlerde belirgin şekilde artmıştır. Örneğin bazı çeşitlerde yüzey alanı ham çeltikte yaklaşık 43–50 mm<sup>2</sup> iken, pirinç patlağında bu değerlerin %10–30 oranında arttığı ve 58–67 mm<sup>2</sup> seviyelerine ulaştığı belirlenmiştir. Bu artış, pirinç patlağının daha geniş yüzey alanına sahip olmasını sağlayarak ürünün aroma tutma kapasitesi ve gevrek yapısı üzerinde önemli etkiler oluşturmuştur. Literatürde de yüzey alanı artışının patlatılmış ürünlerde tüketici algısı ve tekstürel kalite ile doğrudan ilişkili olduğu bildirilmektedir (Mariotti vd., 2006).

Kitle yoğunluğu ve gerçek yoğunluk değerlerinin işleme aşamalarına duyarlılığı belirgin şekilde ortaya çıkmıştır. Ham çeltikte kitle yoğunluğu genellikle 0.55–0.66 g/cm<sup>3</sup>, gerçek yoğunluk ise 1.05–1.21 g/cm<sup>3</sup> aralığında bulunmuştur. Kargo pirinçte gerçek yoğunluk değerleri 1.14–1.32 g/cm<sup>3</sup> aralığına yükselirken, pirinç patlağında bu değer 0.67–0.96 g/cm<sup>3</sup> aralığına kadar gerilemiştir. Yoğunluktaki bu azalma, patlatma

sırasında tanede oluşan gözenekli yapı nedeniyle birim hacimdeki kütle kaybıyla ilişkilidir. Düşük yoğunluklu pirinç patlaklarının daha hafif ve gevrek bir yapı gösterdiği literatürde de belirtilmektedir. Gözeneklilik (porozite) değerleri incelendiğinde, ham çeltikte orta düzeyde (%41–52) olan porozitenin, kargo pirinç aşamasında %34–45 bandına düştüğü, pirinç patlağında ise yeniden belirgin şekilde artarak %47–59 aralığına ulaştığı görülmüştür. Özellikle Ç4, Ç5, Ç6 ve Ç11 çeşitlerinde gözeneklilik değerleri diğer çeşitlere göre daha yüksek bulunmuş ve bu çeşitlerin patlatma sırasında daha belirgin hacim artışı gösterdiği belirlenmiştir. Gözeneklilik artışı, pirinç patlağının hafiflik, kırılabilirlik ve aroma tutma kapasitesi üzerinde kritik bir parametre olup, literatürde patlatılmış tahıl ürünlerinin tekstürel kalitesinin en güçlü belirleyicilerinden biri olarak rapor edilmektedir (Kumar ve Prasad, 2013; Saha ve Roy, 2022).

Gözeneklilik (porozite) değerleri incelendiğinde, ham çeltikte orta düzeyde (%41–52) olan porozitenin, kargo pirinç aşamasında %34–45 bandına düştüğü, pirinç patlağında ise yeniden belirgin şekilde artarak %47–59 aralığına ulaştığı görülmüştür. Özellikle Ç4, Ç5, Ç6 ve Ç11 çeşitlerinde gözeneklilik değerleri diğer çeşitlere göre daha yüksek bulunmuş ve bu çeşitlerin patlatma sırasında daha belirgin hacim artışı gösterdiği belirlenmiştir. Gözeneklilik artışı, pirinç patlağının hafiflik, kırılabilirlik ve aroma tutma kapasitesi üzerinde kritik bir parametre olup, literatürde patlatılmış tahıl ürünlerinin tekstürel kalitesinin en güçlü belirleyicilerinden biri olarak rapor edilmektedir (Kumar ve Prasad, 2013; Saha ve Roy, 2022).

Tüm parametreler birlikte değerlendirildiğinde, çeşit faktörünün pirinç patlağı kalitesinde son derece belirleyici olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır. Ç4, Ç5, Ç6, Ç11 ve Ç12 gibi çeşitler yüksek gözeneklilik, düşük yoğunluk ve yüksek yüzey alanı ile patlatma için avantajlı özellikler sergilerken; Ç7, Ç8 ve Ç13 gibi çeşitler daha düşük genleşme ve daha kompakt yapı özellikleri göstermiştir. Bu farklılıkların çeşitlerin endosperm sertliği, nişasta-protein yapısı ve başlangıç nem içeriği ile yakından ilişkili olduğu değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, işleme basamaklarının (ham çeltik → kargo pirinç → pirinç patlağı) tüm fiziksel özellikler üzerinde istatistiksel olarak anlamlı değişimlere neden olduğu belirlenmiştir. Pirinç patlağı üretiminde geometrik ortalama çap ve yüzey alanı artarken, kitle ve gerçek yoğunluk belirgin şekilde azalmakta, gözeneklilik ise maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bu değişimler, patlatma sırasında tanede meydana gelen hacimsel genleşme, düzensiz hücresel genişleme ve gözenek oluşumu ile doğrudan ilişkilidir. Ayrıca yüksek gözeneklilik, düşük yoğunluk ve geniş yüzey alanı

sergileyen çeşitlerin gevreklik, ağızda dağılma hissi, kaplama ve aroma tutma kapasitesi bakımından daha avantajlı olduğu ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, pirinç patlağı üretiminde kullanılacak çeltik çeşitlerinin seçiminde fiziksel özelliklerin mutlaka dikkate alınması gerektiğini ve uygun çeşit seçiminin nihai ürün kalitesini doğrudan belirlediğini göstermektedir.

#### **4.11. Şişme (Genleşme) Özellikleri (Uzama Oranı, Genişleme Oranı, Hacim Genleşme Oranı ve Genleşme Hacmi)**

Bu çalışmada farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlaklarının uzama oranı, genişleme oranı, hacim genleşme oranı ve genleşme hacmi değerleri belirlenmiş ve söz konusu parametredeki çeşitler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Tablo 15 ve Şekil 47’de sunulan veriler, pirinç patlaklarının şişme davranışlarının çeşide bağlı olarak istatistiksel açıdan anlamlı düzeyde değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur ( $p < 0.05$ ). Elde edilen değerler, yarı haşlanmış kahverengi pirinçten sıcak tuzda şişirme ile pirinç patlağına dönüşümü sırasında meydana gelen net boyutsal değişimi yansıtmakta olup, patlatma sonrasında tanelerde oluşan morfolojik farklılıkların nicel bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Kumar ve Prasad, 2013; Saha ve Roy, 2022).

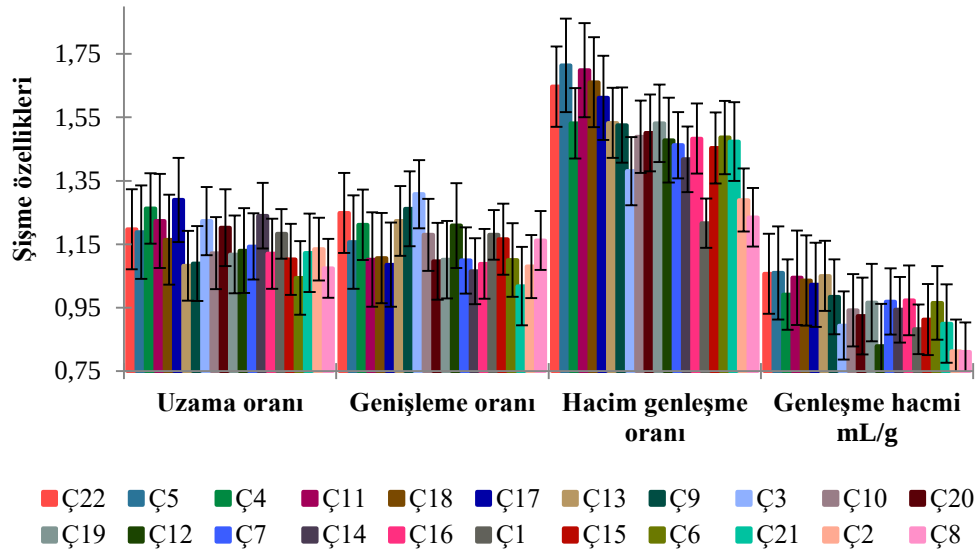
Şişirme esnasında tane içindeki serbest ve bağlı suyun hızla buharlaşması sonucu oluşan basınç, perikarp ve endosperm yapısını hem boyuna hem enine doğrultuda genişletmektedir. Bu temel fiziksel mekanizma, uzama, genişleme ve hacimsel genleşme davranışlarının birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Murugesan ve Bhattacharya, 1986; Mir vd., 2016).



Tablo 15. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen ham çeltik, kargo pirinç ve pirinç patlaklarında şişme (genleşme) özelliklerine ilişkin ortalama değerler

| Çeşit kodu | Uzama Oranı (%)                | Genişleme Oranı (%)          | Hacim Genleşme Oranı (%)  | Genleşme Hacmi (mL/g)      |
|------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Ç1         | 1.18 ± 0.06 <sup>bcdefgh</sup> | 1.18 ± 0.05 <sup>cdef</sup>  | 1.22 ± 0.03 <sup>a</sup>  | 0.88 ± 0.05 <sup>b</sup>   |
| Ç2         | 1.14 ± 0.03 <sup>abcdef</sup>  | 1.08 ± 0.03 <sup>abc</sup>   | 1.29 ± 0.09 <sup>b</sup>  | 0.81 ± 0.02 <sup>a</sup>   |
| Ç3         | 1.22 ± 0.08 <sup>efgh</sup>    | 1.31 ± 0.08 <sup>g</sup>     | 1.38 ± 0.05 <sup>c</sup>  | 0.89 ± 0.03 <sup>bc</sup>  |
| Ç4         | 1.26 ± 0.03 <sup>gh</sup>      | 1.21 ± 0.03 <sup>efg</sup>   | 1.53 ± 0.02 <sup>e</sup>  | 0.99 ± 0.00 <sup>f</sup>   |
| Ç5         | 1.19 ± 0.09 <sup>bcdefgh</sup> | 1.16 ± 0.02 <sup>bcdef</sup> | 1.71 ± 0.05 <sup>g</sup>  | 1.06 ± 0.02 <sup>h</sup>   |
| Ç6         | 1.04 ± 0.06 <sup>a</sup>       | 1.10 ± 0.10 <sup>abcd</sup>  | 1.49 ± 0.00 <sup>de</sup> | 0.97 ± 0.02 <sup>ef</sup>  |
| Ç7         | 1.14 ± 0.04 <sup>abcdef</sup>  | 1.10 ± 0.09 <sup>abc</sup>   | 1.46 ± 0.00 <sup>de</sup> | 0.97 ± 0.00 <sup>ef</sup>  |
| Ç8         | 1.07 ± 0.02 <sup>ab</sup>      | 1.16 ± 0.07 <sup>bcdef</sup> | 1.24 ± 0.05 <sup>ab</sup> | 0.81 ± 0.02 <sup>a</sup>   |
| Ç9         | 1.09 ± 0.04 <sup>abcd</sup>    | 1.26 ± 0.04 <sup>fg</sup>    | 1.53 ± 0.03 <sup>e</sup>  | 0.98 ± 0.01 <sup>f</sup>   |
| Ç10        | 1.12 ± 0.09 <sup>abcde</sup>   | 1.18 ± 0.07 <sup>cdef</sup>  | 1.49 ± 0.08 <sup>de</sup> | 0.94 ± 0.02 <sup>de</sup>  |
| Ç11        | 1.22 ± 0.03 <sup>efgh</sup>    | 1.10 ± 0.01 <sup>abcd</sup>  | 1.70 ± 0.01 <sup>g</sup>  | 1.04 ± 0.01 <sup>gh</sup>  |
| Ç12        | 1.13 ± 0.07 <sup>abcdef</sup>  | 1.21 ± 0.08 <sup>defg</sup>  | 1.48 ± 0.02 <sup>de</sup> | 0.83 ± 0.01 <sup>a</sup>   |
| Ç13        | 1.08 ± 0.11 <sup>abc</sup>     | 1.22 ± 0.03 <sup>fg</sup>    | 1.53 ± 0.04 <sup>e</sup>  | 1.05 ± 0.01 <sup>gh</sup>  |
| Ç14        | 1.24 ± 0.09 <sup>fgh</sup>     | 1.07 ± 0.04 <sup>ab</sup>    | 1.42 ± 0.05 <sup>cd</sup> | 0.94 ± 0.02 <sup>de</sup>  |
| Ç15        | 1.10 ± 0.01 <sup>abcd</sup>    | 1.17 ± 0.05 <sup>bcdef</sup> | 1.45 ± 0.04 <sup>de</sup> | 0.91 ± 0.00 <sup>bcd</sup> |
| Ç16        | 1.12 ± 0.02 <sup>abcde</sup>   | 1.09 ± 0.04 <sup>abc</sup>   | 1.48 ± 0.02 <sup>de</sup> | 0.97 ± 0.00 <sup>ef</sup>  |
| Ç17        | 1.29 ± 0.10 <sup>h</sup>       | 1.09 ± 0.06 <sup>abc</sup>   | 1.61 ± 0.03 <sup>f</sup>  | 1.02 ± 0.01 <sup>g</sup>   |
| Ç18        | 1.16 ± 0.01 <sup>bcdefg</sup>  | 1.11 ± 0.08 <sup>abcde</sup> | 1.66 ± 0.02 <sup>fg</sup> | 1.04 ± 0.00 <sup>gh</sup>  |
| Ç19        | 1.12 ± 0.03 <sup>abcde</sup>   | 1.10 ± 0.01 <sup>abcd</sup>  | 1.53 ± 0.05 <sup>e</sup>  | 0.97 ± 0.01 <sup>ef</sup>  |
| Ç20        | 1.20 ± 0.00 <sup>defgh</sup>   | 1.10 ± 0.04 <sup>abc</sup>   | 1.50 ± 0.03 <sup>e</sup>  | 0.92 ± 0.02 <sup>cd</sup>  |
| Ç21        | 1.12 ± 0.03 <sup>abcde</sup>   | 1.02 ± 0.04 <sup>a</sup>     | 1.47 ± 0.03 <sup>de</sup> | 0.90 ± 0.00 <sup>bc</sup>  |
| Ç22        | 1.20 ± 0.04 <sup>cdefgh</sup>  | 1.25 ± 0.05 <sup>fg</sup>    | 1.65 ± 0.02 <sup>fg</sup> | 1.06 ± 0.01 <sup>h</sup>   |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.



Şekil 47. Farklı çeltik çeşitlerinin pirinç patlaklarındaki şişme özelliklerine ilişkin değişimler. Barlar, ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir.



Uzama oranı değerlerinin 1.04–1.29 aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük uzama oranı Ç6 çeşidinde ( $1.04 \pm 0.06$ ), en yüksek uzama oranı ise Ç17 çeşidinde ( $1.29 \pm 0.10$ ) tespit edilmiştir. Uzama oranı, patlatma sırasında tanenin boy yönünde meydana gelen genleşmeyi yansıtmakta olup, bu parametrede gözlenen farklılıkların tane endosperm yapısı, nişasta granül organizasyonu ve jelatinizasyon davranışıyla ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Literatürde de uzama oranının büyük ölçüde tane içindeki su dağılımı, nişasta granüllerinin jelatinizasyon derecesi ve amorf–kristalin yapı dönüşümlerine bağlı olarak değiştiği bildirilmektedir (Murugesan ve Bhattacharya, 1986; Mir vd., 2016). Kumar vd. (2017) pirinç patlaklarında uzama oranını 1.255–1.798 arasında rapor etmiş; özellikle uzun taneli çeşitlerde daha yüksek şişme potansiyeli bulunduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Pal vd. (2019) siyah pirinçten ürettikleri pirinç patlağı örneklerinde uzama oranının 1.03–1.37 aralığında değiştiğini bildirmiş; bu değer aralığının çalışmamızda elde edilen 1.04–1.29 sonuçlarıyla büyük ölçüde uyumlu olduğu görülmüştür. Bagchi vd. (2016) ise patlak pirinçlerde uzama oranlarını 1.43–1.88 aralığında rapor etmiş ve bu özelliğin büyük ölçüde genotipe bağlı olduğunu vurgulamıştır.

Genişleme oranı değerleri 1.02–1.31 aralığında bulunmuştur. En düşük genişleme oranı Ç21 çeşidinde ( $1.02 \pm 0.04$ ), en yüksek genişleme oranı ise Ç3 çeşidinde ( $1.31 \pm 0.08$ ) belirlenmiştir. Genişleme oranı, tanenin en yönündeki şişme kapasitesini yansıtmakta olup, pirinç patlaklarının karakteristik hacimli ve şişkin yapısının oluşmasında belirleyici rol oynamaktadır. En yönündeki genleşmenin, şişirme sırasında gelişen buhar basıncının hücresel duvarları enine doğrultuda genişletmesiyle ilişkili olduğu bildirilmektedir (Murugesan ve Bhattacharya, 1986; Mir vd., 2016). Kumar vd. (2017), farklı pirinç çeşitlerinden ürettikleri patlaklarda en yönündeki genişleme oranlarının 1.83–2.258 aralığında değiştiğini rapor etmiş ve bu davranışın çeşit özelliğine bağlı olarak önemli farklılıklar gösterebildiğini belirtmiştir.

Hacim genleşme oranı değerleri 1.22–1.71 aralığında değişmiştir. En düşük hacim genleşme oranı Ç1 çeşidinde ( $1.22 \pm 0.03$ ), en yüksek değer ise Ç5 çeşidinde ( $1.71 \pm 0.05$ ) tespit edilmiştir. Ç11 ( $1.70 \pm 0.01$ ) ve Ç18 ( $1.66 \pm 0.02$ ) çeşitleri de yüksek hacim genleşme kapasitesi sergilemiştir. Hacim genleşme oranı, uzama ve genişleme davranışlarının bileşik etkisini yansıtmakta olup, şişirme performansının bütüncül olarak değerlendirilmesinde en kapsayıcı parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir. Literatürde, hacimsel genleşme oranının uygulanan ön işlemler, tane nemi, ısı işlem koşulları ve tane yapısal bütünlüğü gibi faktörlerden önemli ölçüde etkilendiği bildirilmektedir. Chinnaswamy ve Bhattacharya (1983), pirinçte hacimsel

genleşme oranlarının 1.0–7.6 aralığında değişebildiğini; bu geniş aralığın büyük ölçüde öğütme derecesi ve kepek tabakasının uzaklaştırılmasıyla ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Benzer şekilde Shavandi vd. (2023) ise kabuğu alınmış beyaz pirinçten elde edilen patlak ürünlerde hacimsel genleşme oranlarının 1.11–2.24 aralığında değiştiğini ve bu farklılıkların genotip ve şişirme koşullarıyla ilişkili olduğunu rapor etmiştir.

Kahverengi pirinç kullanılarak yürütülen çalışmalarda ise hacimsel genleşme oranlarının daha sınırlı kaldığı bildirilmektedir. Nitekim Sonsomboonsuk vd. (2024), sıcak tuzda şişirilmiş çimlendirilmiş kahverengi pirinçte hacimsel genleşme oranının 1.56–1.68 aralığında değiştiğini bildirmiştir. Mevcut çalışmada elde edilen 1.22–1.71 aralığındaki hacim genleşme oranlarının, kepekli materyaller için bildirilen bu değerlerle genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir.

Hacimsel genleşmenin görece düşük düzeyde gerçekleşmesi, kahverengi pirinçte kepek tabakasının patlatma sırasında tane içinde oluşan buhar basıncının hızlı ve homojen biçimde gelişmesini sınırlaması ve buna bağlı olarak hücresel genişlemeyi baskılamasıyla açıklanabilir. Literatürde, kepek tabakasının hacimsel genleşme üzerinde belirgin bir sınırlayıcı etki oluşturduğu; hacimsel genleşmenin ise tane içi buhar basıncının hücresel yapıyı ne ölçüde genişletebildiğini yansıtan temel kalite göstergelerinden biri olduğu bildirilmektedir (Chinnaswamy ve Bhattacharya, 1983; Dash ve Das, 2021).

Genleşme hacmi değerleri 0.81–1.06 mL/g aralığında belirlenmiştir. En düşük genleşme hacmi Ç2 ve Ç8 çeşitlerinde ( $0.81\pm0.02$  mL/g), en yüksek değerler ise Ç5 ( $1.06\pm0.02$  mL/g) ve Ç22 ( $1.06\pm0.01$  mL/g) çeşitlerinde saptanmıştır. Genleşme hacmi, birim kütle başına oluşan hacmi ifade etmekte olup, pirinç patlaklarının hafiflik, gözeneklilik ve tekstürel özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Literatürde genleşme hacmi yüksek ürünlerin daha düşük yığın yoğunluğuna sahip olduğu ve buna bağlı olarak daha gevrek bir yapı sergilediği, bu durumun tüketici beğenisi ve duyuşsal kabul edilebilirlikle ilişkili olduğu bildirilmektedir (Maisont ve Narkrugsa, 2009; Patel vd., 2021).

Maisont ve Narkrugsa (2009), mikrodalga ile şişirilen pirinçlerde genleşme hacminin 5.16–10.39 mL/g aralığında değiştiğini; bu parametrenin amiloz içeriğiyle anlamlı düzeyde ilişkili olduğunu bildirmiştir. Galal vd. (2019), pirinç patlağı örneklerinde genleşme hacmi değerlerinin 1.49–2.18 mL/g arasında değiştiğini rapor etmiştir. Patel vd. (2021), öğütülmüş çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlaklarında genleşme hacminin 5.50–6.50 mL/g aralığında olduğunu bildirmiştir. Itagi vd. (2023) ise farklı pirinç genotipleriyle yürüttükleri çalışmada genleşme hacminin 2.90–12.20

mL/g arasında deęiřtięini ve en dūřuk genleřme hacminin pigmentli (kırmızı) pirinęte gōrūldūęunū rapor etmiřtir.

Mevcut ęalıřmada genleřme hacmi deęerlerinin literatūrede bildirilen pek ęok ęalıřmaya kıyasla daha dūřuk aralıktaki seyretmesi, kahverengi pirinę kullanımı ve kepek tabakasının korunmuř olmasıyla iliřkilendirilebilir. Kepek fraksiyonunda bulunan fenolik bileřikler ve diyet lifinin, niřasta jelatinizasyonunu ve hūcre sel geniřlemeyi sınırlandırarak hacimsel genleřmeyi baskılayabildięi bildirilmektedir. Nitekim Itagi vd. (2023), kepekli ve pigmentli pirinęlerde fenolik bileřiklerin niřasta jelatinizasyonunu ve hacimsel genleřmeyi sınırlayabildięini; yūks ek boyutsal geniřlemenin her zaman yūks ek hacim genleřmesiyle sonuęlanmadıęını vurgulamıřtır.

Çeřitler bazında değerlendirildiğinde, ۆzellikle Ç5, Ç11, Ç17, Ç18 ve Ç22 çeşitleri uzama, genişleme ve hacim genleşme parametreleri bakımından daha yūks ek şişme kapasitesi sergilemiştir. Buna karşılık Ç2, Ç8 ve Ç21 çeşitleri gōrece dūřuk şişme performansı gōstermiřtir. Bu farklılıkların; tane sertliği, nişasta–protein matrisi, amiloz/amilpektin oranı ve başlangıç nem iğeriği gibi faktōrlerle ilişkili olduğu değerlendirilmektedir (Chinnaswamy ve Bhattacharya, 1983; Saha ve Roy, 2022). Ayrıca Kumar vd. (2017), uzama ve genişleme oranlarının yūks ek olmasının her zaman yūks ek hacimsel genleşme ile sonuğlanmadığını; şişirme performansının daha doğru biğimde hacim genleşme oranı ile temsil edildiğini vurgulamıştır.

Genel olarak deęerlendirildięinde, řiřme ۆzellikleri aęısından yūks ek deęerlere sahip pirinę patlaklarının daha dūřuk yoęunluk, daha yūks ek gōzeneklilik ve daha geniř yūzey alanı ile doęrudan iliřkili olduęu gōrūlmektedir. Bu durum, ęalıřmanın ۆnceki bōlūmlerinde belirlenen kitle yoęunluęu, geręek yoęunluk ve gōzeneklilik sonuęları ile de uyum gōstermektedir. Sonuęlar, pirinę patlaęı űretiminde hedeflenen gevreklik, hacim ve tūketici beęenisine gōre uygun ęeltik ęeřidi seęiminin kritik ۆneme sahip olduęunu aęıkęa ortaya koymaktadır.

#### **4.12. Pirinę Patlağında Renk Değerleri**

Pirinę patlaklarının renk ۆzellikleri CIELAB renk uzayında  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  parametreleri ve toplam renk farkı ( $\Delta E$ ) ile değerlendirilmiş; sonuğlar Tablo 16 ve şekil 48’de sunulmuştur. CIELAB sisteminde  $L^*$  “ağıklık/parlaklık” (0 = siyah, 100 = beyaz),  $a^*$  kırmızılık–yeşillik eksenini ( $+a^*$  kırmızıya),  $b^*$  ise sarılık–mavilik eksenini ( $+b^*$  sarıya) karşılık gelecek şekilde tanımlar (ISO, 2019). Bu kapsamda Tablo 16’deki değerler, pirinę patlağı ۆrneklerinin genel olarak yūks ek  $L^*$  (ağık/parlak gōrūnūm) ve

pozitif  $b^*$  (sarımsı ton), buna karşın düşük-orta  $a^*$  (sınırlı kırmızılık) sergilediğini göstermektedir.

$L^*$  değerleri (Tablo 16) 76.40 ile 83.85 aralığında değişmiş ve çeşitler arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar oluşmuştur. En yüksek  $L^*$  değeri Ç21’de ( $83.85 \pm 0.26$ ) belirlenirken; en düşük  $L^*$  değeri Ç18’de ( $76.40 \pm 0.18$ ) ve onu izleyen Ç4’te ( $76.96 \pm 0.04$ ) saptanmıştır. Bu bulgu, Ç21’in görsel olarak daha “açık/beyaza yakın” bir patlak rengi sunduğunu; Ç18 ve Ç4’ün ise daha koyu tonlara kaydığını düşündürmektedir. Tahıl bazlı ürünlerde patlatma gibi yüksek sıcaklık/kısa süre prosesleri sırasında görülen koyulaşma, çoğunlukla Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon sonucu oluşan kahverengi pigmentlerin (melanoidinler vb.) artışıyla ilişkilendirilir; bu süreçler tipik olarak  $L^*$ ’yi düşürme eğilimindedir (El Hosry vd., 2025; Kathuria vd., 2023). Dolayısıyla Ç18 ve Ç4 gibi düşük  $L^*$  değerine sahip çeşitlerde, patlatma koşullarında (lokal sıcaklık artışı, yüzey nemi, tane içi buhar basıncı) esmerleşme reaksiyonlarının daha etkin ilerlemiş olması olasıdır.

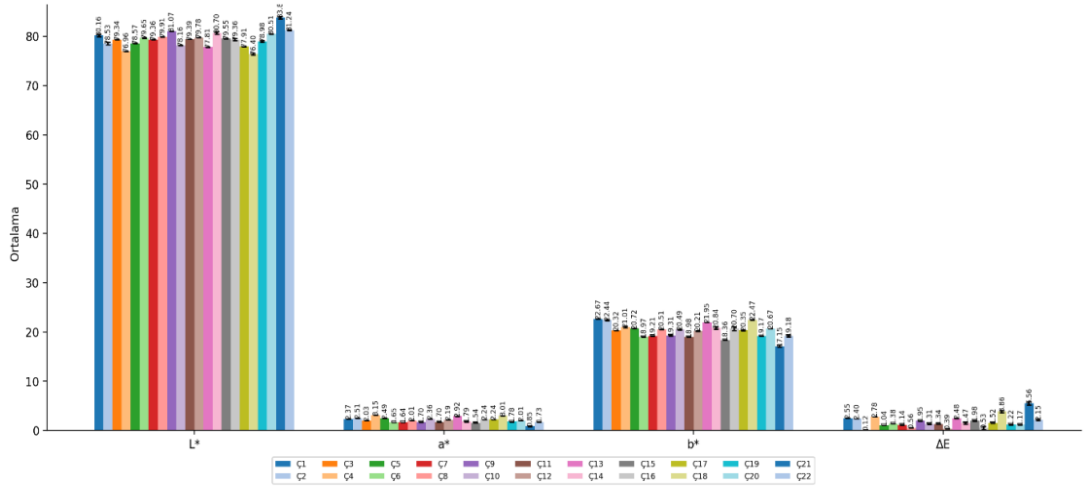
$a^*$  değerleri 0.85 ile 3.15 aralığında bulunmuştur (Tablo 16).  $a^*$ ’nın en düşük olduğu çeşit Ç21 ( $0.85 \pm 0.07$ ) olup, bu örneğin kırmızılık bileşeninin oldukça sınırlı kaldığını göstermektedir. En yüksek  $a^*$  değerleri ise Ç4 ( $3.15 \pm 0.02a$ ) ve Ç18 ( $3.01 \pm 0.05$ ) örneklerinde belirlenmiştir.  $a^*$  değerindeki artış, patlatma gibi yüksek sıcaklık uygulamalarında ilerleyen enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ve bunlara bağlı reaksiyon ürünlerinin oluşumu ile ilişkilendirilmektedir. Nitekim patlatılmış tahıllarda Maillard reaksiyonu ve karamelizasyonun birlikte ilerleyebildiği ve bu reaksiyonların renk parametrelerini, özellikle kırmızılık ve sarılık bileşenlerini etkileyebildiği bildirilmiştir (Cattaneo vd., 2015; Kathuria vd., 2023; Konkubaeva vd., 2025).

Tablo 16. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlaklarına ilişkin renk değerleri

| Çeşit kodu | L*                          | a*                       | b*                        | ΔE*                      |
|------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Ç1         | 80.16 ± 0.25 <sup>d**</sup> | 2.37 ± 0.02 <sup>e</sup> | 22.67 ± 0.05 <sup>a</sup> | 2.55 ± 0.02 <sup>d</sup> |
| Ç2         | 78.53 ± 0.28 <sup>h</sup>   | 2.51 ± 0.03 <sup>d</sup> | 22.44 ± 0.11 <sup>a</sup> | 2.40 ± 0.01 <sup>d</sup> |
| Ç3         | 79.34 ± 0.03 <sup>f</sup>   | 2.03 ± 0.03 <sup>g</sup> | 20.32 ± 0.01 <sup>e</sup> | 0.12 ± 0.03 <sup>i</sup> |
| Ç4         | 76.96 ± 0.04 <sup>k</sup>   | 3.15 ± 0.02 <sup>a</sup> | 21.01 ± 0.15 <sup>c</sup> | 2.78 ± 0.01 <sup>c</sup> |
| Ç5         | 78.57 ± 0.02 <sup>h</sup>   | 2.49 ± 0.02 <sup>d</sup> | 20.72 ± 0.02 <sup>d</sup> | 1.04 ± 0.03 <sup>g</sup> |
| Ç6         | 79.65 ± 0.08 <sup>e</sup>   | 1.65 ± 0.02 <sup>i</sup> | 18.97 ± 0.02 <sup>g</sup> | 1.38 ± 0.01 <sup>f</sup> |
| Ç7         | 79.36 ± 0.04 <sup>f</sup>   | 1.64 ± 0.03 <sup>i</sup> | 19.21 ± 0.09 <sup>f</sup> | 1.14 ± 0.06 <sup>g</sup> |
| Ç8         | 79.91 ± 0.04 <sup>e</sup>   | 2.01 ± 0.03 <sup>g</sup> | 20.51 ± 0.02 <sup>d</sup> | 0.56 ± 0.03 <sup>h</sup> |
| Ç9         | 81.07 ± 0.01 <sup>b</sup>   | 1.70 ± 0.05 <sup>i</sup> | 19.31 ± 0.10 <sup>f</sup> | 1.95 ± 0.04 <sup>e</sup> |
| Ç10        | 78.16 ± 0.06 <sup>i</sup>   | 2.36 ± 0.04 <sup>e</sup> | 20.49 ± 0.06 <sup>d</sup> | 1.31 ± 0.07 <sup>f</sup> |
| Ç11        | 79.39 ± 0.02 <sup>f</sup>   | 1.70 ± 0.01 <sup>i</sup> | 18.98 ± 0.07 <sup>g</sup> | 1.34 ± 0.06 <sup>f</sup> |
| Ç12        | 79.78 ± 0.01 <sup>e</sup>   | 2.19 ± 0.05 <sup>f</sup> | 20.21 ± 0.10 <sup>e</sup> | 0.39 ± 0.01 <sup>h</sup> |
| Ç13        | 77.81 ± 0.03 <sup>j</sup>   | 2.92 ± 0.05 <sup>c</sup> | 21.95 ± 0.01 <sup>b</sup> | 2.48 ± 0.04 <sup>d</sup> |
| Ç14        | 80.70 ± 0.26 <sup>c</sup>   | 1.79 ± 0.08 <sup>h</sup> | 20.84 ± 0.27 <sup>c</sup> | 1.47 ± 0.13 <sup>f</sup> |
| Ç15        | 79.55 ± 0.05 <sup>f</sup>   | 1.54 ± 0.02 <sup>j</sup> | 18.36 ± 0.08 <sup>h</sup> | 1.98 ± 0.07 <sup>e</sup> |
| Ç16        | 79.36 ± 0.22 <sup>f</sup>   | 2.24 ± 0.02 <sup>f</sup> | 20.70 ± 0.41 <sup>d</sup> | 0.53 ± 0.36 <sup>h</sup> |
| Ç17        | 77.91 ± 0.03 <sup>j</sup>   | 2.24 ± 0.01 <sup>f</sup> | 20.35 ± 0.11 <sup>e</sup> | 1.52 ± 0.02 <sup>f</sup> |
| Ç18        | 76.40 ± 0.18 <sup>i</sup>   | 3.01 ± 0.05 <sup>b</sup> | 22.47 ± 0.09 <sup>a</sup> | 3.86 ± 0.20 <sup>b</sup> |
| Ç19        | 78.98 ± 0.16 <sup>g</sup>   | 1.78 ± 0.02 <sup>h</sup> | 19.17 ± 0.01 <sup>f</sup> | 1.22 ± 0.06 <sup>f</sup> |
| Ç20        | 80.51 ± 0.03 <sup>c</sup>   | 2.01 ± 0.03 <sup>g</sup> | 20.67 ± 0.00 <sup>d</sup> | 1.17 ± 0.03 <sup>g</sup> |
| Ç21        | 83.85 ± 0.26 <sup>a</sup>   | 0.85 ± 0.07 <sup>k</sup> | 17.15 ± 0.23 <sup>i</sup> | 5.56 ± 0.35 <sup>a</sup> |
| Ç22        | 81.24 ± 0.11 <sup>b</sup>   | 1.73 ± 0.01 <sup>h</sup> | 19.18 ± 0.21 <sup>f</sup> | 2.15 ± 0.19 <sup>e</sup> |

\*\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.

b\* değerleri 17.15–22.67 aralığında değişmiştir (Tablo 16). En yüksek b\* değeri Ç1 (22.67±0.05), Ç2 (22.44±0.11) ve Ç18 (22.47±0.09) çeşitlerinde görülürken, en düşük b\* değeri belirgin şekilde Ç21’de (17.15±0.23) saptanmıştır. b\* değerinin yüksek olması pirinç patlağında daha “sarı/krem” tonların baskın olduğunu gösterir ve bu durum tüketici tarafından “kızarmış/işlenmiş” algısını güçlendirebilir; ancak bu algının olumlu/olumsuz yönü ürün tipine ve hedeflenen renk standardına bağlıdır. Bu çalışmada Ç21’in hem en yüksek L\*’ye sahip olması hem de en düşük b\* değerini göstermesi, Ç21’in daha “açık ve daha az sarı” bir görsel profile sahip olduğunu; buna karşılık Ç1, Ç2 ve Ç18 çeşitlerine ait pirinç patlaklarında sarılık bileşeninin daha baskın olduğunu ortaya koymaktadır (Tablo 16).



Şekil 48. Farklı çeltik çeşitlerinin pirinç patlaklarındaki renk değerlerine ilişkin değişimler. Barlar, ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir.

Renk farklılığının bütüncül değerlendirilmesi için kullanılan  $\Delta E$  değerleri (Tablo 12) 0.12–5.56 aralığında bulunmuştur.  $\Delta E$ , CIELAB uzayında iki renk arasındaki öklidyen uzaklığı temsil eder ve CIE/ISO çerçevesinde  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  bileşenlerinden türetilir (ISO, 2019). Bu çalışmada en düşük  $\Delta E$ , Ç3'te ( $0.12 \pm 0.03$ ) olup bu örneğin referansa göre renk değişiminin son derece küçük düzeyde kaldığını göstermektedir. Buna karşılık en yüksek  $\Delta E$ , Ç21'de ( $5.56 \pm 0.35a$ ) belirlenmiş, ikinci yüksek değer ise Ç18'de ( $3.86 \pm 0.20$ ) gözlenmiştir. Literatürde  $\Delta E_{ab}$  için algılanabilirlik eşiğinin “just noticeable difference (JND)” kavramı çerçevesinde yaklaşık  $\Delta E_{ab} \approx 2.3$  değerine karşılık geldiği bildirilmektedir (Mokrzycki ve Tatol, 2012). Bu bakımdan, Ç21 ve Ç18'in  $\Delta E$  değerleri, renk farkının tüketici tarafından kolaylıkla fark edilebileceği bir düzeye işaret ederken; Ç3, Ç12, Ç16 ve Ç8 gibi düşük  $\Delta E$  değerli örneklerin renk açısından daha “yakın/stabil” bir profile sahip olduğu söylenebilir (Tablo 16).

Pirinçte renk oluşumunun yalnızca tek bir fiziksel parametreye bağlı olmadığı; özellikle ısıtma işlem sırasında Maillard reaksiyonları ile kepek kaynaklı pigmentlerin birlikte etkili olduğu bildirilmektedir. Nitekim Lamberts vd. (2006), pirinçte yüksek sıcaklık ve nem koşullarında indirgen şekerler ile serbest amino grupları arasındaki Maillard reaksiyonlarının ilerlediğini ve bunun  $L^*$  değerinde azalma,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinde artış ile sonuçlandığını ortaya koymuştur. Ayrıca kepek pigmentlerinin endosperme difüzyonunun da renk koyulaşmasına katkı sağladığı belirtilmiştir (Lamberts vd., 2006). Bu süreçlerin şiddetinin, patlatma sırasında uygulanan sıcaklık–nem dengesine duyarlı olduğu ve uygun nem koşullarında daha yüksek  $L$  değerlerinin korunabildiğini destekleyen sonuçlar rapor edilmiştir (Cheon vd., 2015). Bu mekanizma, patlatma sonrası bazı çeşitlerde gözlenen yüksek  $\Delta E$  değerlerinin, özellikle

başlangıç nem içeriği yüksek örneklerde daha belirgin hale gelmesini açıklayabilecek niteliktedir.

Literatürde patlatma işleminin, pirinçte genel olarak parlaklık ( $L^*$ ) artışı ile sonuçlandığı yaygın biçimde bildirilmektedir. Dash ve Das (2021), pirinç patlağı örneklerinde yüksek  $L^*$  (79.47) ve sınırlı kromatik bileşenler ( $a^* = 1.15$ ;  $b^* = 4.71$ ) rapor etmişlerdir. Bununla birlikte, literatürde bildirilen  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  aralıklarının; pirinç çeşidi, kepek varlığı ve uygulanan şişirme/patlatma yöntemi ile önemli ölçüde değişkenlik gösterebildiği de vurgulanmaktadır. Saha ve Roy (2022), yüksek amilozlu pirinç patlaklarında  $L^*$  değerlerini 74.67–81.36 aralığında rapor etmiş; Mir vd. (2016) ise kahverengi pirinç patlağı örneklerinde  $L^*$  değerlerinin 71.03–74.93 aralığında seyrettiğini bildirmiştir. Kahverengi ve kepekli pirinçlerde daha düşük  $L^*$  değerlerinin gözlenmesi, kepek tabakasında bulunan pigmentler ve Maillard reaksiyonlarına yatkın bileşenlerin renk oluşumunu etkileyen başlıca faktörler arasında yer almasıyla ilişkilendirilmektedir (Saha ve Roy, 2022).

Mevcut çalışmada elde edilen  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinin, özellikle kahverengi pirinç patlağı üzerine yapılan çalışmalarla daha yakın davranış eğilimleri sergilemesi, çalışmada kepekli pirinç patlağı örneklerinin değerlendirilmiş olmasıyla uyumludur. Nitekim Sonsomboonsuk vd. (2024), sıcak tuzla patlatma yöntemiyle üretilen çimlendirilmiş kahverengi pirinç patlaklarında  $L^*$  değerlerinin 49.88–53.94 aralığında değiştiğini;  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinin sırasıyla 4.75–6.47 ve 21.11–22.56 aralığında seyrettiğini bildirmiştir.

$\Delta E$  değerleri açısından bakıldığında, literatürde patlatma işleminin renk uzayında belirgin bir değişime neden olduğu açıkça görülmektedir. Kumar ve Prasad (2013), patlatılmış pirinçte  $\Delta E$  değerini 33.14 olarak rapor etmiş; Shavandi vd. (2023) ise optimum şişirme koşullarında  $\Delta E$  değerini 10.98 olarak bildirmiştir (Kumar ve Prasad, 2013; Shavandi vd., 2023). Bu geniş aralık,  $\Delta E$ 'nin kullanılan yöntem, nem içeriği ve tane yapısına son derece duyarlı bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.

Patlatma sonrası pirinç patlağı örneklerinde renk parametrelerinin birlikte değerlendirilmesi, çeşitler arasında belirgin ve çok boyutlu farklılıkların ortaya çıktığını göstermektedir. Bu bağlamda Ç18 örneğinde düşük  $L^*$  ile birlikte yüksek  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinin gözlenmesi, daha koyu ve sarımsı bir renk tonuna kayışı işaret etmekte olup; bu durum patlatma sırasında yüksek sıcaklıkta ilerleyen Maillard reaksiyonları, karamelizasyon ve kepek kaynaklı pigmentlerin etkisiyle açıklanabilir. Buna karşılık Ç21 örneğinde yüksek  $L^*$  ile birlikte  $\Delta E$  değerinin de yüksek bulunması, bu çeşitte patlatma sonrası renk farkının ağırlıklı olarak parlaklık ekseninde ( $\Delta L^*$ ) gerçekleştiğini

düşündürmektedir. Nitekim Ç21’de patlatma sonrası ölçülen nem içeriğinin diğer çeşitlere kıyasla daha yüksek olması, tane yüzeyinde etkin sıcaklığın görece sınırlanmasına ve esmerleşme reaksiyonlarının baskılanmasına yol açarak daha açık bir renk görünümünü desteklemiş olabilir. Bu durum, Ç21’in renk davranışının anormal bir sapma değil; nem–ısı transferi etkileşimi açısından istisnai bir örnek olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Genel olarak bu bulgular, pirinç patlağı örneklerinde renk oluşumunun yalnızca tek bir parametreye bağlı olmadığını; patlatma koşulları ile çeşit kaynaklı bileşimin (nişasta fraksiyonu, protein içeriği, indirgen şekerler ve serbest amino grupları) birlikte etkili olduğunu ortaya koymaktadır (Kathuria vd., 2023). Nitekim tahıl bazlı ürünlerde artan işlem sıcaklığının, termal esmerleşme reaksiyonlarını hızlandırarak renk koyulaşmasını teşvik ettiği bildirilmektedir (Cattaneo vd., 2015; El Hosry vd., 2025).

Sonuç olarak, pirinç patlağı örneklerinde renk oluşumunun; patlatma işlemi sırasında gelişen poroz ve hücresel yapı, iç endospermin açığa çıkma düzeyi, kepek varlığı ve patlatma sonrası nem dağılımı gibi çoklu faktörlerin etkileşimiyle şekillendiği anlaşılmaktadır. Tablo 16’da sunulan bulgular, renk parametrelerinin ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ve  $\Delta E$ ) çeşitlere duyarlı olduğunu ve özellikle parlaklık ( $L^*$ ) ile toplam renk farkı ( $\Delta E$ ) bakımından belirgin ayrışmaların bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, mevcut çalışmada gözlenen renk farklılıklarının literatürde bildirilen sonuçlarla uyumlu biçimde proses–çeşit etkileşiminin doğal bir sonucu olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda endüstriyel ölçekte pirinç patlağı üretiminde hedeflenen renk profilinin sağlanabilmesi için çeşit seçimi ile patlatma proses parametrelerinin birlikte ve bütüncül olarak optimize edilmesi gerektiğini desteklemektedir.

#### **4.13. Pirinç Patlağında Nem, Kuru Madde, Protein, Yağ ve Kül İçeriği**

Bu çalışmada farklı çeltik çeşitlerine ait pirinç patlağı örneklerinin nem (%), kuru madde (%), protein (%), yağ (%) ve kül (%) içerikleri belirlenmiş; çeşitler arasındaki farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testiyle değerlendirilmiştir. Buna göre, çeşitlere ilişkin ortalama değerler Tablo 17 ve Şekil 49’da verilmiştir. Genel olarak sonuçlar, pirinç patlağı gibi ısı ile şişirilmiş/taneli ürünlerde kimyasal bileşimin yalnızca hammaddenin kompozisyonuna değil; patlatma sırasında gerçekleşen su kaybı, tane iç yapısında gözenek oluşumu ve olası yüzey bileşenlerinin (tuz/kaplama vb.) değişimine de duyarlı olduğunu göstermektedir. Puflama/patlatma işlemleri, tanede suyun hızlı buharlaşmasına bağlı olarak nihai ürün nemini düşürebilmekte; buna karşılık bileşenler yüzde (kuru madde) esasına göre ifade edildiğinde protein, lif ve kül gibi fraksiyonlarda



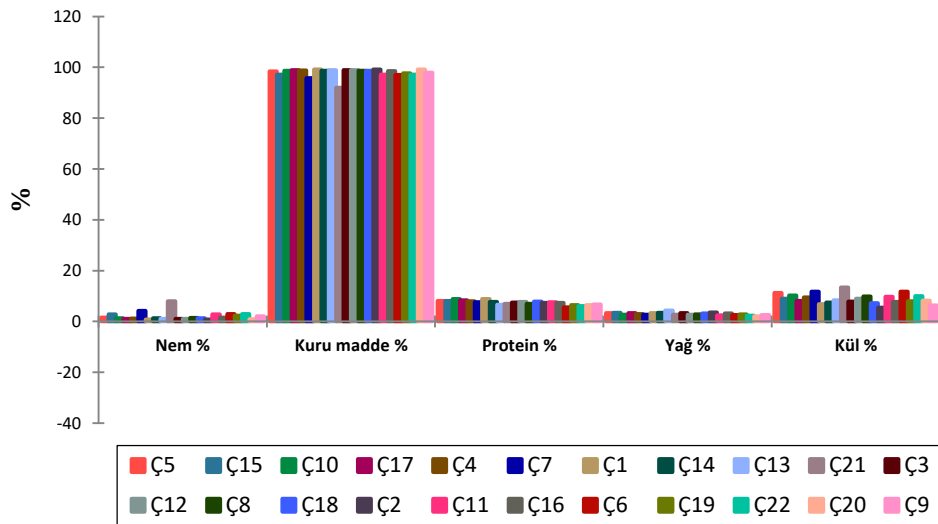
görelî artışlar ortaya çıkabilmektedir. Nitekim pirinç ve geleneksel pirinç ürünleri üzerinde yapılan çalışmalarda, işleme sonrası nem ve karbonhidrat içeriğinde azalma; protein, lif ve kül oranlarında ise görelî artışlar rapor edilmiştir. Benzer şekilde, kahverengi pirinç patlağı örneklerinde de bu eğilimin doğrulandığı bildirilmiştir (Bhattacharjee ve Das, 2020; Apirattananusorn vd., 2025).

Nem ve kuru madde değerleri Tablo 17’de görüldüğü üzere, birbiriyle belirgin bir ters yönlü ilişki sergilemiştir. Nem içeriği %0.79 (Ç1) ile %8.04 (Ç21) aralığında değişirken, buna paralel olarak kuru madde %91.96 (Ç21) ile %99.22 (Ç1) aralığında bulunmuştur (Tablo 13). Literatürde pirinç patlağı/rice cake benzeri ürünlerde nemin genellikle düşük olması beklenir; örneğin kahverengi pirinç patlağı için nemin ham çeltiğe göre daha düşük çıktığı bildirilmektedir (Apirattananusorn vd., 2025). Bu bağlamda Ç21’in neminin istatistiksel olarak en yüksek grupta yer alması ( $8.04 \pm 0.09$ ) dikkat çekicidir (Tablo 17). Puflama işlemi sırasında tanede suyun hızlı buharlaşmasına bağlı olarak nem içeriği belirgin biçimde azalmakta ve bu durum ürünün gevrekliğini artırmaktadır. Ancak puflama sonucu oluşan yüksek porozite ve geniş özgül yüzey alanı, pirinç patlağını çevresel neme karşı daha duyarlı hâle getirmektedir. Bu nedenle pirinç patlağı gibi gözenekli ürünler, depolama süresince ortamdan nem alarak zamanla gevreklik kaybı yaşayabilmekte ve bu durum raf ömrü açısından kritik bir faktör olarak değerlendirilmektedir (Mariotti vd., 2006; Kumar ve Prasad, 2018).

Tablo 17. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlaklarına ilişkin nem, kuru madde, protein, yağ ve kül içeriği değerleri (%)

| Çeşit kodu | Nem                       | Kuru madde                 | Protein                  | Yağ                       | Kül                       |
|------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Ç1         | 0.79 ± 0.07               | 99.22 ± 0.07 <sup>l</sup>  | 8.85 ± 0.02 <sup>s</sup> | 3.32 ± 0.01 <sup>k</sup>  | 6.90 ± 0.03 <sup>c</sup>  |
| Ç2         | 0.87 ± 0.06 <sup>ab</sup> | 99.14 ± 0.06 <sup>kl</sup> | 7.36 ± 0.02 <sup>t</sup> | 3.63 ± 0.03 <sup>n</sup>  | 5.52 ± 0.06 <sup>a</sup>  |
| Ç3         | 1.06 ± 0.06 <sup>c</sup>  | 98.94 ± 0.06 <sup>j</sup>  | 7.43 ± 0.03 <sup>j</sup> | 3.36 ± 0.04 <sup>l</sup>  | 7.83 ± 0.05 <sup>ef</sup> |
| Ç4         | 1.23 ± 0.10 <sup>de</sup> | 98.77 ± 0.10 <sup>ht</sup> | 7.98 ± 0.04 <sup>o</sup> | 2.91 ± 0.02 <sup>h</sup>  | 9.51 ± 0.03 <sup>ht</sup> |
| Ç5         | 1.57 ± 0.04 <sup>g</sup>  | 98.43 ± 0.04 <sup>f</sup>  | 8.09 ± 0.03 <sup>p</sup> | 3.28 ± 0.01 <sup>j</sup>  | 11.21 ± 0.07 <sup>k</sup> |
| Ç6         | 2.98 ± 0.11 <sup>j</sup>  | 97.03 ± 0.11 <sup>c</sup>  | 5.55 ± 0.06 <sup>a</sup> | 2.59 ± 0.04 <sup>d</sup>  | 11.80 ± 0.04 <sup>l</sup> |
| Ç7         | 4.25 ± 0.05 <sup>k</sup>  | 95.75 ± 0.05 <sup>b</sup>  | 7.67 ± 0.05 <sup>l</sup> | 2.76 ± 0.03 <sup>g</sup>  | 11.83 ± 0.01 <sup>l</sup> |
| Ç8         | 1.40 ± 0.08 <sup>ef</sup> | 98.61 ± 0.08 <sup>gh</sup> | 6.96 ± 0.05 <sup>f</sup> | 2.80 ± 0.01 <sup>g</sup>  | 9.90 ± 0.11 <sup>ij</sup> |
| Ç9         | 2.13 ± 0.02 <sup>h</sup>  | 97.88 ± 0.02 <sup>e</sup>  | 6.71 ± 0.05 <sup>e</sup> | 2.61 ± 0.02 <sup>d</sup>  | 6.30 ± 0.04 <sup>b</sup>  |
| Ç10        | 1.34 ± 0.17 <sup>ef</sup> | 98.66 ± 0.17 <sup>h</sup>  | 8.84 ± 0.02 <sup>s</sup> | 2.70 ± 0.02 <sup>f</sup>  | 10.20 ± 0.03 <sup>j</sup> |
| Ç11        | 2.83 ± 0.00 <sup>j</sup>  | 97.17 ± 0.00 <sup>c</sup>  | 7.59 ± 0.04 <sup>k</sup> | 2.40 ± 0.01 <sup>c</sup>  | 9.78 ± 0.04 <sup>ij</sup> |
| Ç12        | 1.10 ± 0.14 <sup>cd</sup> | 98.90 ± 0.14 <sup>ij</sup> | 7.80 ± 0.03 <sup>n</sup> | 2.66 ± 0.03 <sup>e</sup>  | 9.06 ± 0.00 <sup>h</sup>  |
| Ç13        | 1.02 ± 0.14 <sup>bc</sup> | 98.98 ± 0.14 <sup>jk</sup> | 6.60 ± 0.05 <sup>d</sup> | 4.40 ± 0.06 <sup>o</sup>  | 8.39 ± 0.03 <sup>g</sup>  |
| Ç14        | 1.29 ± 0.09 <sup>e</sup>  | 98.71 ± 0.09 <sup>h</sup>  | 7.73 ± 0.05 <sup>m</sup> | 3.51 ± 0.01 <sup>m</sup>  | 7.45 ± 0.07 <sup>de</sup> |
| Ç15        | 2.86 ± 0.14 <sup>j</sup>  | 97.15 ± 0.14 <sup>c</sup>  | 8.16 ± 0.04 <sup>q</sup> | 3.48 ± 0.01 <sup>m</sup>  | 9.05 ± 0.04 <sup>h</sup>  |
| Ç16        | 1.51 ± 0.02 <sup>fg</sup> | 98.50 ± 0.02 <sup>fg</sup> | 7.30 ± 0.02 <sup>h</sup> | 3.22 ± 0.02 <sup>i</sup>  | 7.80 ± 0.05 <sup>ef</sup> |
| Ç17        | 1.11 ± 0.05 <sup>cd</sup> | 98.89 ± 0.05 <sup>ij</sup> | 8.40 ± 0.02 <sup>r</sup> | 3.34 ± 0.02 <sup>kl</sup> | 8.08 ± 0.02 <sup>fg</sup> |
| Ç18        | 1.34 ± 0.04 <sup>ef</sup> | 98.66 ± 0.04 <sup>h</sup>  | 7.85 ± 0.02 <sup>n</sup> | 3.22 ± 0.02 <sup>i</sup>  | 7.28 ± 0.02 <sup>cd</sup> |
| Ç19        | 2.38 ± 0.12 <sup>i</sup>  | 97.62 ± 0.12 <sup>d</sup>  | 6.49 ± 0.02 <sup>c</sup> | 2.79 ± 0.01 <sup>g</sup>  | 8.01 ± 1.32 <sup>fg</sup> |
| Ç20        | 0.89 ± 0.16 <sup>ab</sup> | 99.12 ± 0.16 <sup>kl</sup> | 6.46 ± 0.02 <sup>c</sup> | 2.07 ± 0.01 <sup>a</sup>  | 8.30 ± 0.03 <sup>fg</sup> |
| Ç21        | 8.04 ± 0.09 <sup>l</sup>  | 91.96 ± 0.09 <sup>a</sup>  | 7.02 ± 0.03 <sup>g</sup> | 2.67 ± 0.01 <sup>ef</sup> | 13.38 ± 0.03 <sup>m</sup> |
| Ç22        | 2.90 ± 0.09 <sup>j</sup>  | 97.10 ± 0.09 <sup>c</sup>  | 6.07 ± 0.05 <sup>b</sup> | 2.29 ± 0.01 <sup>b</sup>  | 10.05 ± 0.02 <sup>j</sup> |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.



Nem–kuru madde arasındaki ters yönlü ilişki, puflama sırasında gerçekleşen hızlı su buharlaşmasının doğal bir sonucu olup, ürünün poröz ve hafif yapısının oluşumunu desteklemektedir.

Literatürde pirinç patlağının nem içeriğinin, puflama koşullarına ve kullanılan yönteme bağlı olarak oldukça geniş bir değişkenlik gösterebildiği bildirilmektedir. Basavaraj vd. (2015), ince kum ortamında gerçekleştirilen yüksek sıcaklıklı ve çok kısa süreli puflama işlemi sonrasında elde edilen pirinç patlağının nem içeriğinin %1–2 gibi son derece düşük seviyelere indiğini rapor etmiştir. Benzer biçimde, Khan vd. (2017) tarafından yürütülen çalışmada pirinç patlaklarının nem içeriğinin %1.15–1.37 aralığında değiştiği bildirilmiştir. Bu çalışmalarda, patlatma/şişirme sırasında tanede bulunan suyun ani buharlaşma ile neredeyse tamamen uzaklaştırılması sonucunda ürünün kırılğan ve hücrel iç yapısının geliştiği vurgulanmıştır (Basavaraj vd., 2015; Khan vd., 2017).

Daha yüksek nem değerleri ise farklı puflama teknikleri ve ön işlemlerle ilişkilendirilmektedir. Junyusen vd. (2025), çimlendirilmiş kahverengi pirinçten elde edilen patlaklarda nem içeriğini %2.50–4.53 aralığında rapor etmiş; çimlendirme ve kahverengi pirinç yapısına rağmen, puflama sırasında uygulanan yüksek sıcaklığın tanedeki suyu hızla buharlaştırarak düşük nihai nem seviyelerinin oluşmasına yol açtığını belirtmiştir (Junyusen vd., 2025). Öte yandan, bazı çalışmalarda pirinç patlağının nihai nem içeriğinin nispeten daha yüksek değerlerde rapor edildiği görülmektedir. Kumar ve Prasad (2018), pirinç patlağında nem içeriğini %7.12 olarak bildirmiş; puflama sırasında uygulanan yüksek sıcaklık ve kısa süreli ısıl işlemin tanedeki suyu hızla uzaklaştırdığını, buna rağmen ürünün yüksek porozite ve belirgin gevreklik özelliklerini koruduğunu ifade etmiştir (Kumar ve Prasad, 2018). Benzer şekilde, Liu vd. (2025) puflama işlemi sonrası elde edilen pirinç patlaklarında nem içeriğinin %6.42–7.50 aralığında değiştiğini rapor etmiş; bu düzeydeki düşük nem içeriğinin pirinç patlağında mikrobiyal stabiliteyi artırdığı, raf ömrünü uzattığı ve ürünün fiziksel kalite sürekliliği üzerinde kritik rol oynadığı vurgulanmıştır (Liu vd., 2025). Ayrıca, Huang vd. (2018) puflanan pirinçte nem içeriğini %8.56 olarak rapor etmiş; bu bulgu, şişirme/patlatma sonrası pirinç patlağında bildirilen nispeten yüksek nem değerlerinin, uygulanan yönteme bağlı olarak literatürde kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, mevcut çalışmada özellikle Ç21 örneğinde belirlenen görece yüksek nem değeri; uygulanan işlem koşulları ile puflama sonrası çevresel etkileşimler dikkate alındığında, literatürde rapor edilen değerlerle uyumlu olarak değerlendirilmektedir.

Bu alışmalar birlikte değerlendirildiğinde, pirinç patlağının nihai nem içeriğinin; kullanılan puflama yöntemi, uygulanan sıcaklık–süre profili, ön işlem koşulları ve şişirme/patlatma sonrası çevresel etkileşimlere bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterebildiği anlaşılmaktadır. Literatürde çoğunlukla düşük nem değerleri rapor edilmekle birlikte, bazı üretim ve işlem koşullarında görece daha yüksek nihai nem içeriklerinin de bildirildiği görülmektedir. Buna rağmen, düşük veya görece daha yüksek nihai nem değerlerinde dahi, pirinç patlağının poröz ve hücresel iç yapısını koruyabildiği; bu durumun, puflama sırasında tanede gerçekleşen hızlı su buharlaşması ve buna bağlı yapısal yeniden düzenlenme ile doğrudan ilişkili olduğu ifade edilmektedir.

Protein içeriği açısından çeşitler arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir (Tablo 13). Protein değerleri %5.55 (6) ile %8.85 (1) aralığında değişmiştir. Pirinç patlağına ilişkin çalışmalarda protein değerlerinin çeşit ve ürün tipine bağlı olarak değişebildiği bildirilmektedir (Bagchi vd., 2016). Mevcut çalışmada elde edilen bulgular da bu eğilimle uyumludur. Protein düzeyi daha yüksek olan bazı çeşitlerin (1, 10, 17) patlatma sonrası göreli olarak daha yüksek protein oranı sergilemesi; patlatma işlemi sırasında su içeriğinin azalmasına bağlı olarak protein fraksiyonunun kuru madde bazında daha belirgin hale gelmesiyle açıklanabilir. Ayrıca, eşitler arasındaki endosperm–protein matrisi farklılıklarının, tane kırılğanlığı ve genişleme davranışı üzerinden dolaylı biçimde nihai üründeki oransal protein değerlerini etkileyebileceği düşünülmektedir.

Literatürde, pirinç patlağı örneklerinde bildirilen protein içeriklerinin; kullanılan pirinç çeşidi ve genotip özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebildiği rapor edilmiştir. Bagchi vd. (2016), pirinç patlağı örneklerinde protein içeriğinin %7.06–10.63 aralığında değiştiğini rapor etmiş ve çeşitler arasındaki protein farklılıklarının patlatma işlemi sonrasında da büyük ölçüde korunduğunu göstermiştir (Bagchi vd., 2016). Benzer biçimde, Kumar ve Prasad (2018) pirinç patlağı örneklerinde protein içeriğini 6.19 g/100 g düzeyinde belirlemiş; patlatma işleminin protein miktarı üzerinde belirgin bir değişime yol açmadığını ve protein fraksiyonunun işleme aşamalarına karşı görece stabil kaldığını ifade etmiştir (Kumar ve Prasad, 2018).

Huang vd. (2018) tarafından yürütülen çalışmada, farklı eltik çeşitlerinden pirinç patlaklarına ait protein içeriklerinin %6.82–8.05 aralığında değiştiği rapor edilmiş; patlatma öncesi ve sonrası karşılaştırmalarda toplam protein içeriğinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişim gözlenmediği belirtilmiştir. Bununla birlikte, patlatma işleminin proteinlerin çözünürlük özellikleri ve fraksiyon dağılımı üzerinde belirgin

etkiler oluşturduğu ve bu etkilerin proteinlerin denatüre olarak agregasyon eğilimi göstermesiyle ilişkili olduğu vurgulanmıştır.

Patel vd. (2021), geleneksel ve mikrodalga patlatma yöntemleriyle elde edilen pirinç patlaklarında protein içeriğinin %5.97–7.96 aralığında seyrettiğini bildirmiş; çeşitler arasında anlamlı farklılıklar bulunmasına karşın tuz oranı, kondisyonlama nemi ve patlatma sıcaklığı gibi işlem parametrelerinin protein içeriğı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Itagi vd. (2023) patlatma sonrası pirinç örneklerinde protein içeriğinin 7.50–10.46 g/100 g aralığında değıştiğini ve de-husked ile patlatılmış örnekler arasında protein düzeylerinin genotipe bağılı olarak benzer seyrettiğini rapor etmiştir.

Buna karşılık, bazı çalışmalarda protein içeriğı yalnızca miktar açısından değıl, aynı zamanda ürün performansı ile ilişkisi bağlamında da ele alınmıştır. Saha ve Roy (2022), pirinç patlağı örneklerinde protein içeriğinin %9.55–12.05 aralığında değıştiğini ve protein içeriğı daha yüksek olan örneklerin daha yüksek genişleme oranı sergilediğini bildirmiştir. Ayrıca, protein içeriğı yüksek olan pirinç patlaklarının duysal kabul açısından daha avantajlı olduğu rapor edilmiş; bu durum, patlatma sırasında proteinlerin kısmen denatüre olarak nişasta matrisi ile daha fazla çapraz bağlanma bölgesi oluşturması ve bu yapısal etkileşimlerin tane içi basınç gelişimini desteklemesiyle ilişkilendirilmiştir (Saha ve Roy, 2022). Bu bağlamda, mevcut çalışmada yalnızca pirinç patlağı örnekleri üzerinden elde edilen %5.55–8.85 aralığındaki protein değıerleri, literatürde pirinç patlağı ürünleri için rapor edilen aralıklarla uyumlu bir dağılım sergilemektedir.

Pirinç patlaklarının yağ içeriğı %2.07 (Ç20) ile %4.40 (Ç13) aralığında değışmiştir (Tablo 17). Pirinç ürünlerinde yağ fraksiyonu büyük ölçüde kepek ve embriyo tabakasından kaynaklanmakta olup, pirincin işlenme derecesi ve tane bileşimi yağ miktarını etkileyen temel faktörler arasında yer almaktadır. Patlatma gibi ısıl işlemler yağın mutlak miktarını doğrudan “oluşturmaz”; ancak bileşenlerin yüzde olarak ifade edilmesi ve olası fraksiyon kayıpları nedeniyle görelı dalgalanmalar gözlenebilmektedir (Bhattacharjee ve Das, 2020). Bu çalışmada bazı çeşitlerde yağ içeriğinin nispeten yüksek bulunması (örneğin Ç13), kepek kalıntısı, tane içi lipid dağılımı veya çeşide özgü yapısal özelliklerle ilişkili olabilir.

Literatürde bildirilen yağ içeriğı aralıklarının, kullanılan pirinç formu ve işleme öncesi öğütme derecesine bağılı olarak değışkenlik gösterebildiğı bildirilmektedir. Huang vd. (2018), puflanmış pirinç ürünlerinde yağ içeriğinin %0.83–1.65 aralığında değıştiğini rapor etmiş; şişirme/patlatma işleminin yağ içeriğı üzerinde istatistiksel

olarak anlamlı bir azaltıcı etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Araştırmacılar, puflama sonrası yağ içeriğinde gözlenen azalmanın; yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında lipidlerin parçalanarak yağ asitleri ve monogliseritlere dönüşmesi ile ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, serbest yağ fraksiyonunun amyloz ile kompleks oluşturarak amyloz–yağ kompleksleri meydana getirmesinin, ekstrakte edilebilir yağ miktarının azalmasına katkıda bulunduğu vurgulanmıştır (Huang vd., 2018).

Itagi vd. (2023), yalnızca kabuğu alınmış (de-husked) ve kepek tabakası korunmuş pirinçlerden elde edilen pirinç patlağı örneklerinde toplam yağ içeriğinin %2.13–2.48 g/100 g aralığında değiştiğini bildirmiştir. Çalışmada, puflama işlemi sonrasında pirinç patlaklarında yağ içeriğinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişim gözlenmediği ifade edilmiş; bu durumun geleneksel pirinç genotiplerinde bulunan ısıya dayanıklı lipid–protein ve/veya karbonhidrat–lipid komplekslerinin puflama sırasında yağ fraksiyonunu stabilize etmesiyle ilişkili olabileceği belirtilmiştir. Bu komplekslerin, yüksek sıcaklık koşullarına rağmen toplam yağ içeriğinin korunmasında rol oynadığı vurgulanmıştır.

Liu vd. (2025) ise kahverengi ve rafine pirinçten elde edilen pirinç patlağı örneklerinde yağ içeriğini sırasıyla %1.97–1.98 ve %0.11–0.35 aralığında rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, şişirme/patlatma işleminin ham pirince kıyasla her iki pirinç formunda da toplam yağ içeriğini düşürdüğünü belirtmiştir. Bununla birlikte, kahverengi pirinç patlaklarında rafine pirinç patlaklarına göre daha yüksek yağ içeriği saptanmış; bu durumun kahverengi pirincin kepek ve embriyo tabakasını koruması nedeniyle lipidçe zengin fraksiyonların yapıda muhafaza edilmesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Öğütme derecesinin artmasıyla birlikte kepek tabakasının uzaklaştırılması, rafine pirinçte yağ içeriğinin belirgin biçimde azalmasına yol açmaktadır (Liu vd., 2025). Bu literatür bulguları doğrultusunda, mevcut çalışmada pirinç patlağı örneklerinde yağ içeriği; kullanılan pirinç formu, öğütme derecesi ve uygulanan puflama koşulları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Elde edilen yağ içeriği değerlerinin, rafine pirinç patlakları için bildirilen düşük yağ aralıklarının üzerinde; buna karşılık kepek tabakası korunmuş veya yalnızca kabuğu alınmış pirinçlerden elde edilen pirinç patlakları için rapor edilen literatür değerleriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

Kül içeriği (mineral madde göstergesi) %5.52 (Ç2) ile %13.38 (Ç21) arasında değişmiş ve çeşitler arasında önemli farklılıklar bulunmuştur (Tablo 17). Kül; mineral içeriğe ek olarak, üründe varsa tuz/kaplama gibi inorganik katkıların etkisini de yansıtabilir. Pirinç patlağında kül değerlerinin çeşitlere göre değiştiği daha düşük

aralıklarda rapor edilmiş olsa da (%0.2-0.5 gibi) bu çalışmaların çoğu farklı ürün tipleri ve farklı analiz bazlarına/örnek hazırlamaya sahiptir (Khan vd., 2017). Bu çalışmada, kül değerlerinin yüksek olması, ürünün “pirinç patlağı” olarak tanımlanan örnek matrisinin (örnekleme/öğütme, olası yüzey kalıntıları, tuz/kaplama varlığı, yöntem/hesaplama bazının farklılığı) kül üzerinde belirgin etkilerinin olabileceğini düşündürmektedir. Özellikle Ç21’in hem en yüksek nem hem en yüksek kül göstermesi (Tablo 17), bu örneğin proses/depo dinamiklerinin (nem alma gibi) yanında mineral madde düzeyinin de farklılaştığını işaret eder. Bu tür sonuçlarda, örneklerin aynı bazda raporlandığının (yaş baza mı, kuru baza mı), analiz protokolünün (AOAC, ISO vb.) ve numune hazırlama adımlarının net şekilde yöntem bölümünde belirtilmesi kritik önem taşır.

Literatürde, puflama işlemi sonrasında kül içeriğinde gözlenen artışların büyük ölçüde tuz kullanımına bağlı olduğu bildirilmektedir. Nitekim Saha ve Roy (2022), puflama sonrası pirinç patlaklarında toplam kül içeriğinin %3.09–5.12 (wb) aralığına yükseldiğini ve bu artışı ön şartlandırma aşamasında uygulanan %4 NaCl ilavesiyle ilişkilendirmiştir (Saha ve Roy, 2022). Benzer şekilde, Sonsomboonsuk vd. (2024) ve Junyusen vd. (2025), sıcak tuz ortamında gerçekleştirilen puflama işlemlerinde toplam kül içeriğinin ham ürüne kıyasla anlamlı düzeyde arttığını ve bu artışın temel olarak sodyum klorürün ürün yüzeyine tutunmasından kaynaklandığını bildirmiştir (Sonsomboonsuk vd., 2024; Junyusen vd., 2025). Buna karşılık, tuz kullanılmadan gerçekleştirilen puflama uygulamalarında kül içeriğinde anlamlı bir değişim gözlenmediği rapor edilmiştir (Kumar ve Prasad, 2018).

Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, pirinç patlağında belirlenen yüksek kül değerlerinin puflama işleminin kendisinden ziyade, kullanılan tuzlu puflama koşulları ve örnek matrisine özgü faktörlerle ilişkili olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 17, pirinç patlağında kimyasal bileşimin çeşit faktörüne duyarlı olduğunu; nem–kuru madde dengesinin çeşitler arasında ciddi farklılık gösterdiğini ve bunun raf ömrü/gevreklik gibi kalite çıktılarıyla doğrudan ilişkili olabileceğini ortaya koymaktadır. Protein ve yağ değerleri daha sınırlı bir aralıkta değişirken, kül içeriği bazı çeşitlerde belirgin biçimde yükselmiştir. Bu bulgular, pirinç patlağı üretiminde çeşit seçiminde yalnızca fiziksel şişme parametrelerinin değil, aynı zamanda kimyasal bileşimin (özellikle nem ve kül) kalite standardizasyonu açısından dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında pirinç patlağı örneklerinin kimyasal bileşimi (nem, kuru madde, protein, yağ ve kül) incelendiğinde, çeşit faktörünün özellikle nem–kuru madde

dengesi ve kül içeriği üzerinde belirgin bir etkisi olduğu görölmüştür (Tablo 17, Şekil 49). Nem içeriği %0.79 (Ç1) ile %8.04 (Ç21) arasında değişmiş ve buna paralel olarak kuru madde %91.96–99.22 aralığında farklılaşmıştır; bu durum ürünün gevreklik ve raf ömrü açısından kritik bir çeşit bağımlılığına işaret etmektedir. Protein (%5.55–8.85) ve yağ (%2.07–4.40) değerleri daha sınırlı aralıklarda değişmekle birlikte, kül içeriğinde %5.52–13.38 gibi geniş bir dağılım gözlenmesi, hem çeşit kaynaklı mineral fraksiyon farklılıklarının hem de olası yöntemsel/ürün kaynaklı etkilerin (baz raporlama, öğütme homojenliği, yüzey kalıntıları) birlikte değerlendirilmesini gerektirmiştir.





#### 4.14. Pirinç Patlağında Toplam Karbonhidrat, Nişasta, Ham Selüloz ve Amiloz Değerleri

Bu çalışmada pirinç patlağı örneklerinin karbonhidrat bileşenleri (toplam karbonhidrat ve nişasta) ile yapı ilişkili fraksiyonları (ham selüloz) ve nişasta fraksiyonunun fonksiyonel belirteci olan amiloz düzeyi birlikte değerlendirilmiştir (Tablo 18 ve Şekil 50).

Tablo 18. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlaklarına ilişkin toplam karbonhidrat, nişasta, ham selüloz ve amiloz içeriklerine ilişkin ortalama değerler (%)

| Çeşit kodu | Toplam karbonhidrat         | Nişasta                     | Ham selüloz               | Amiloz                       |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Ç1         | 80.93 ± 0.03 <sup>hi*</sup> | 69.24 ± 0.03 <sup>c</sup>   | 1.44 ± 0.03 <sup>gh</sup> | 26.32 ± 0.35 <sup>k</sup>    |
| Ç2         | 83.49 ± 0.05 <sup>l</sup>   | 72.10 ± 0.02 <sup>d</sup>   | 1.59 ± 0.04 <sup>ij</sup> | 23.95 ± 0.13 <sup>j</sup>    |
| Ç3         | 81.38 ± 0.05 <sup>ij</sup>  | 69.23 ± 0.03 <sup>c</sup>   | 1.47 ± 0.05 <sup>gh</sup> | 21.10 ± 0.09 <sup>fg</sup>   |
| Ç4         | 79.60 ± 0.07 <sup>de</sup>  | 65.89 ± 0.02 <sup>b</sup>   | 1.91 ± 0.03 <sup>l</sup>  | 21.65 ± 0.12 <sup>fgh</sup>  |
| Ç5         | 77.43 ± 0.09 <sup>b</sup>   | 60.86 ± 0.03 <sup>a</sup>   | 1.72 ± 0.03 <sup>k</sup>  | 22.45 ± 0.32 <sup>hi</sup>   |
| Ç6         | 80.06 ± 0.12 <sup>ef</sup>  | 61.44 ± 0.02 <sup>a</sup>   | 1.34 ± 0.02 <sup>f</sup>  | 18.66 ± 0.06 <sup>b</sup>    |
| Ç7         | 77.74 ± 0.08 <sup>b</sup>   | 89.22 ± 0.02 <sup>j</sup>   | 1.92 ± 0.04 <sup>l</sup>  | 17.25 ± 0.04 <sup>a</sup>    |
| Ç8         | 80.34 ± 0.15 <sup>fg</sup>  | 71.97 ± 0.07 <sup>d</sup>   | 0.76 ± 0.04 <sup>a</sup>  | 22.93 ± 0.04 <sup>ij</sup>   |
| Ç9         | 84.38 ± 0.10 <sup>m</sup>   | 70.79 ± 0.07 <sup>cd</sup>  | 1.61 ± 0.04 <sup>ij</sup> | 23.58 ± 0.04 <sup>j</sup>    |
| Ç10        | 78.27 ± 0.04 <sup>c</sup>   | 71.00 ± 0.12 <sup>cd</sup>  | 1.50 ± 0.05 <sup>h</sup>  | 23.47 ± 0.06 <sup>ij</sup>   |
| Ç11        | 80.23 ± 0.06 <sup>fg</sup>  | 85.06 ± 0.03 <sup>i</sup>   | 1.01 ± 0.05 <sup>c</sup>  | 20.88 ± 0.13 <sup>efg</sup>  |
| Ç12        | 80.49 ± 0.06 <sup>fgh</sup> | 75.52 ± 0.74 <sup>ef</sup>  | 1.13 ± 0.04 <sup>d</sup>  | 20.96 ± 0.41 <sup>efg</sup>  |
| Ç13        | 80.61 ± 0.03 <sup>gh</sup>  | 76.42 ± 0.18 <sup>fgh</sup> | 1.41 ± 0.04 <sup>g</sup>  | 20.46 ± 0.10 <sup>cdef</sup> |
| Ç14        | 81.31 ± 0.07 <sup>ij</sup>  | 76.26 ± 2.94 <sup>fg</sup>  | 1.76 ± 0.04 <sup>k</sup>  | 20.55 ± 1.63 <sup>cdef</sup> |
| Ç15        | 79.31 ± 0.07 <sup>d</sup>   | 88.43 ± 0.03 <sup>j</sup>   | 1.32 ± 0.03 <sup>f</sup>  | 19.84 ± 0.62 <sup>cde</sup>  |
| Ç16        | 81.68 ± 0.06 <sup>j</sup>   | 74.08 ± 0.23 <sup>e</sup>   | 1.19 ± 0.05 <sup>e</sup>  | 21.76 ± 0.13 <sup>gh</sup>   |
| Ç17        | 80.18 ± 0.04 <sup>fg</sup>  | 74.00 ± 0.83 <sup>e</sup>   | 1.31 ± 0.02 <sup>f</sup>  | 21.80 ± 0.46 <sup>gh</sup>   |
| Ç18        | 81.66 ± 0.04 <sup>j</sup>   | 75.94 ± 0.95 <sup>efg</sup> | 1.56 ± 0.04 <sup>i</sup>  | 20.73 ± 0.53 <sup>defg</sup> |
| Ç19        | 82.71 ± 1.30 <sup>k</sup>   | 75.40 ± 3.10 <sup>ef</sup>  | 0.92 ± 0.04 <sup>b</sup>  | 21.02 ± 1.72 <sup>efg</sup>  |
| Ç20        | 83.17 ± 0.05 <sup>kl</sup>  | 78.20 ± 2.22 <sup>h</sup>   | 1.65 ± 0.05 <sup>j</sup>  | 19.47 ± 1.23 <sup>bc</sup>   |
| Ç21        | 76.93 ± 0.04 <sup>a</sup>   | 87.93 ± 0.03 <sup>j</sup>   | 0.73 ± 0.04 <sup>a</sup>  | 20.68 ± 0.27 <sup>defg</sup> |
| Ç22        | 81.59 ± 0.04 <sup>j</sup>   | 77.80 ± 0.52 <sup>gh</sup>  | 0.92 ± 0.04 <sup>b</sup>  | 19.70 ± 0.29 <sup>bcd</sup>  |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.

Genel olarak pirinç patlağı, bileşimi itibarıyla nişasta-temelli bir ürün olup; ısı ve/veya basınç etkisi altında gerçekleştirilen patlatma işlemi sırasında endosperm matriksinde belirgin yapısal dönüşümler meydana gelmektedir. Bu süreçte nişasta granüllerinde jelatinizasyon, kristalin bölgelerin amorflaşması ve moleküler düzeyde yeniden düzenlenmeler ön plana çıkmaktadır. Bu süreçte amilozun lipitlerle kompleksleşmesi, nişasta yapısının yeniden organizasyonunda önemli rol oynamaktadır (Kaur ve Singh, 2000; Mahanta ve Bhattacharya, 2010). Bu bağlamda Tablo 14'te

gözlenen varyasyonlar yalnızca çeşit farklılıklarını değil; aynı zamanda nişasta matriksinin yapısal özelliklerini, moleküler etkileşim potansiyelini ve patlatma koşullarına karşı gösterdiği yanıtı da yansıtmaktadır (Saha ve Roy, 2020; Saha ve Roy, 2022).

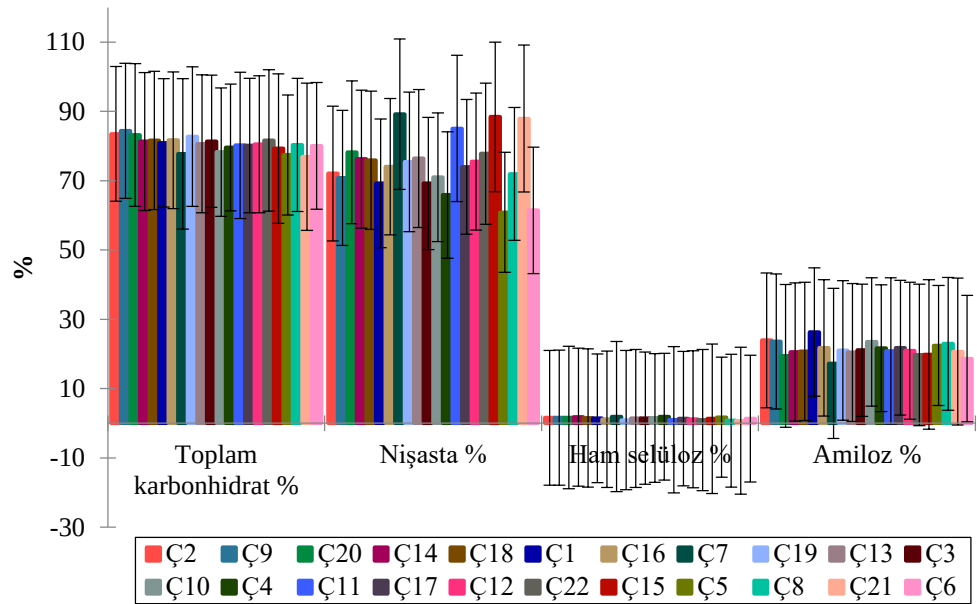
Toplam karbonhidrat değerleri, en düşük Ç21 ( $76.93 \pm 0.04$ ) ve en yüksek Ç9 ( $84.38 \pm 0.10$ ) arasında değişim göstermiştir (Tablo 14). Bu değerler, FAO (2003) tarafından tanımlanan fark yöntemi esas alınarak hesaplanmış olup; bu yaklaşımda karbonhidrat değeri, protein, yağ ve kül fraksiyonlarındaki göreceli dağılıma bağlı olarak çeşitler arasında farklılık gösterebilmektedir (FAO, 2003). Pirinç ürünlerinde patlatma gibi termal işlemlerin karbonhidrat fraksiyonunu doğrudan azaltması beklenmemekle birlikte, hesaplama yaklaşımı ve örnek matrisindeki bileşen dağılımı toplam karbonhidrat değerinde göreceli değişimlere yol açabilmektedir (Forsido vd., 2019; Saha ve Roy, 2020).

Literatürde pirinç patlağı ürünlerinin toplam karbonhidrat içeriğine ilişkin bildirilen değerlerin, kullanılan pirinç çeşidi, genotip ve uygulanan işleme yöntemine bağlı olarak değişkenlik gösterebildiği rapor edilmiştir. Paraman vd. (2012), pirinç patlağı örneklerinde toplam karbonhidrat içeriğini %82.9 olarak bildirmiştir (Paraman vd., 2012). Benzer şekilde, Kumar ve Prasad (2018) tarafından yürütülen çalışmada, pirinç patlağı örneklerinde toplam karbonhidrat içeriği %82.38 olarak belirlenmiş ve bu değer işlenmemiş formlara kıyasla daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Araştırmacılar, söz konusu artışın şişirme/patlatma işlemi sırasında meydana gelen hızlı nem kaybına bağlı olarak kuru madde oranının yükselmesi ile ilişkilendirmiştir (Kumar ve Prasad, 2018).

Farklı pirinç çeşitleri ve genotipleri üzerinden yürütülen çalışmalarda ise toplam karbonhidrat içeriğinin daha dar aralıklarda değiştiği bildirilmiştir. Khan vd. (2017) ve Itagi vd. (2023) çalışmalarında ise farklı çeşit ve genotiplerde toplam karbonhidrat içeriğinin sırasıyla %75.50–78.57 ve %71.91–75.20 aralığında değiştiği belirtilmiştir. Bu sonuçlar, çeşit/genotip etkisinin belirgin olduğunu, ancak aralığın nispeten dar kaldığını göstermektedir (Khan vd., 2017; Itagi vd., 2023).

İşleme koşullarına odaklanan çalışmalar da benzer bir tablo çizmektedir. Patel vd. (2021), farklı şişirme/patlatma yöntemleriyle üretilen örneklerde toplam karbonhidratın yaklaşık %70–78 aralığında kaldığını ve yöntemler arasında yalnızca sınırlı farklılıklar bulunduğunu bildirmiştir (Patel vd., 2021). Bu bulgular, pirinç patlağında karbonhidratın işleme koşullarına görece dayanıklı bir bileşen olduğunu göstermektedir.

Öte yandan, Huang vd. (2018) tarafından yürütülen çalışmada, şişirme/patlatma işleminin toplam karbonhidrat miktarından ziyade karbonhidrat fraksiyonlarının dağılımını etkilediği; patlatma sonrası toplam nişasta içeriğinin azalmasına karşın düşük molekül ağırlıklı şeker fraksiyonlarının arttığı rapor edilmiştir. Bu durum, şişirme/patlatma işleminin karbonhidratın nicel miktarından çok yapısal bileşimi üzerinde etkili olabileceğini ortaya koymaktadır (Huang vd., 2018). Benzer şekilde, kahverengi pirinç patlağı üzerine yapılan bir çalışmada toplam karbonhidrat %79.60 olarak belirlenmiş ve şişirme sonrasında karbonhidratın ürün matrisinde baskın bileşen olmaya devam ettiği vurgulanmıştır (Apirattananusorn, 2025). Bu çalışmadaki değerler (%76.93–%84.38), literatürle uyumlu olup; karbonhidratın nicel olarak büyük ölçüde korunduğunu göstermektedir. Gözlenen farklılıklar esas olarak çeşit/genotip özellikleri ve fark yöntemine bağlı göreceli dağılımdan kaynaklanmaktadır.



Şekil 50. Farklı çeltik çeşitlerinin pirinç patlaklarındaki toplam karbonhidrat, nişasta, ham selüloz ve amiloz içeriklerine ilişkin değişimler. Barlar, ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir.

Nişasta değerleri, en düşük Ç5 ( $60.86 \pm 0.03$ ), en yüksek Ç7 ( $89.22 \pm 0.02$ ) olarak bulunmuştur (Tablo 18). Bu geniş varyasyon, pirinç patlağı gibi şişirilmiş ürünlerde nişastanın yalnızca nicel bir bileşen olmadığını; patlatma davranışını yönlendiren temel bir yapı taşı olduğunu göstermektedir. Nişastadaki çeşitler arası farklılıklar; tanedeki endosperm yoğunluğu ile nişasta–protein/lipit organizasyonu gibi yapısal özelliklerle yakından ilişkilidir (Saha ve Roy, 2020). Buna ek olarak, patlatma

sırasında nişastanın jelatinizasyonu ve buna eşlik eden yapısal dönüşümler (kristalinite azalması ve nişasta matriksinin yeniden organizasyonu gibi), ürünün mikroyapısını belirleyerek tekstürel özellikler ve gevreklik üzerinde doğrudan etkili olmaktadır (Mahanta ve Bhattacharya, 2010; Sonsomboonsuk vd., 2024). Sonsomboonsuk vd. (2024), patlatma öncesi daha kompakt bir iç yapıya sahip tanelerin şişirme/patlatma sırasında daha yüksek iç basınç oluşturarak daha poröz ve gevrek bir yapı geliştirdiğini bildirmiştir. Bu bağlamda, Tablo 14'te nişasta içeriği yüksek olan çeşitlerin (örneğin Ç7), yalnızca yüksek nişasta oranlarıyla değil, patlatma sırasında sergiledikleri yapısal yanıt potansiyeli açısından da değerlendirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır (Mahanta ve Bhattacharya, 2010; Saha ve Roy, 2022; Sonsomboonsuk vd., 2024).

Literatür sonuçları da bu durumu desteklemektedir. Kumar ve Prasad (2018), pirinç patlağında toplam nişastayı yaklaşık %74.90 olarak rapor etmiş ve patlatma sırasında jelatinizasyon ile kısmi bozunmanın bir bölümünü rezistan nişastaya dönüştürebileceğini belirtmiştir (Kumar ve Prasad, 2018). Çeşit ve yöntem farklılıklarını inceleyen çalışmaların çoğu, toplam nişasta içeriğinin geniş ama tutarlı bir aralıkta kaldığını göstermektedir: çeşitli araştırmalarda değerlerin yaklaşık %73.13–93.51 arasında değiştiği, işleme etkisinin ise çoğunlukla sınırlı olduğu rapor edilmiştir (Patel vd., 2021; Itagi vd., 2023). Bu bulgular, patlatmanın nişastanın miktarını büyük ölçüde korurken, fraksiyonel ve yapısal özellikleri üzerinde daha belirgin etkiler oluşturduğunu düşündürmektedir. Buna paralel olarak, Apirattananusorn (2025) çalışmasında kahverengi pirinç patlağının toplam nişasta içeriği %82.11 olarak belirlenmiş; bu ürünün nişasta sindirim hızının hem haşlanmış beyaz pirince hem de haşlanmış kahverengi pirince kıyasla daha yavaş olduğu ve bunun daha düşük glisemik indeks (GI) ve glisemik yük (GL) değerleriyle ilişkili olduğu rapor edilmiştir (Apirattananusorn, 2025). Dolayısıyla, patlatma sonrası nişastada gözlenen değişimler yalnızca miktara değil; jelatinizasyon derecesi, moleküler yeniden organizasyon ve rezistan fraksiyon oluşumu gibi süreçlere bağlıdır.

Sonuç olarak, şişirme/patlatma sırasında oluşan yüksek sıcaklık ve ani basınç değişimleri, pirinç tanelerindeki nişastanın davranışını belirleyici ölçüde etkilemektedir. Mevcut bulgular, literatürle uyumlu biçimde, toplam nişasta miktarındaki değişimin sınırlı kaldığını; buna karşılık nişastanın yapısal dönüşümü ve buna bağlı fonksiyonel özelliklerde belirgin farklılıklar geliştiğini ortaya koymaktadır (Mariotti vd., 2006; Kumar ve Prasad, 2018; Patel vd., 2021). Bu durum, pirinç patlağının kalite özelliklerinin yalnızca nişasta yüzdesiyle değil, nişastanın patlatma sırasında sergilediği yapısal ve fonksiyonel yanıtla belirlendiğini göstermektedir.

Ham selüloz değerleri %0.73–%1.92 aralığında bulunmuş; en düşük Ç21 (%0.73  $\pm$  0.04), en yüksek Ç7 (%1.92  $\pm$  0.04) belirlenmiştir (Tablo 18). Patlatılmış ürünlerde lif/selüloz fraksiyonunun yükselmesi, çoğu durumda “lif miktarındaki gerçek bir artıştan” ziyade; nem, çözünabilir fraksiyonlar ve uçucu bileşen kayıpları gibi faktörlere bağlı görece değişimlerle açıklanabilir (Bhattacharjee ve Das, 2020). Ayrıca ham selüloz, toplam diyet lifini tam yansıtmayıp; yöntem gereği selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi fraksiyonların bir kısmını operasyonel olarak temsil eder. Dolayısıyla “ham selüloz” ile “toplam diyet lifi” aynı kavram gibi tartışılmamalıdır (Forsido vd., 2019; FSSAI, 2016). Bu nedenle, yüksek ham selülozlu çeşitler (Ç7 gibi) için patlatma sonrası kırılabilirlik/gevreklik ve ağız hissi ile birlikte değerlendirme yapılması daha doğru olacaktır; çünkü lif/selüloz fraksiyonu, endosperm matriksinin mekanik özelliklerini değiştirerek gaz hücrelerinin oluşumunu ve morfolojisini etkileyebilmekte, buna bağlı olarak da ürünün genleşme ve kırılma davranışı dolaylı biçimde şekillenebilmektedir (Ilo vd., 2000; Mariotti vd., 2006; Saeleaw ve Schleining, 2011; Foschia vd., 2013). Nitekim Paraman vd. (2012), pirinç patlaklarında lif ve diğer çözünmeyen bileşenlerin hamurun gaz tutma kapasitesini azaltarak genleşmeyi sınırladığını bildirmiştir.

Diyet lifi, selülozun da içinde yer aldığı daha geniş bir bileşen grubunu ifade etmektedir. Bu nedenle ham selüloz değerleri, lif yapısına ilişkin doğrudan bir karşılaştırma sağlamasa da; tahıldaki hücre duvarı fraksiyonlarının puflama işlemiyle nasıl etkilendiğine dair dolaylı bilgi sunmaktadır. Literatür bulguları puflama sonrası lif fraksiyonunun tamamen ortadan kalkmadığını göstermektedir. Kumar vd. (2017) pirinç patlağında ham selülozu %1.23; Khan vd. (2017) ise diyet lifini %0.88–0.92 aralığında rapor etmiştir. (Kumar vd., 2017; Khan vd., 2017). Benzer biçimde Galal vd. (2019), puflanmış örneklerde ham selülozun %0.62–1.23 arasında değiştiğini ve hem işleme koşulları hem de çeşidin belirleyici olduğunu vurgulamıştır (Galal vd., 2019). Kahverengi pirinç patlağında bildirilen daha yüksek lif düzeyleri (%3.65–3.89), kepek tabakasının korunmasıyla ilişkilendirilmiştir (Apirattananusorn, 2025). Bu çalışmada toplam diyet lifi doğrudan ölçülmemiş; yalnızca ham selüloz belirlenmiştir. Dolayısıyla sonuçlar, lif fraksiyonundaki değişimleri dolaylı biçimde yansıtmaktadır. Yine de elde edilen bulgular, literatürle uyumlu olarak, puflama sırasında hücre duvarı bileşenlerinin tamamen kaybolmadığını göstermektedir (Bourekoua vd., 2023).

Amiloz değerleri %17.25–%26.32 aralığında değişmiş; en düşük Ç7 (%17.25  $\pm$  0.04), en yüksek Ç1 (%26.32  $\pm$  0.35) tespit edilmiştir (Tablo 18). Amiloz, jelatinizasyon sonrası ağ oluşumu, retrogradasyon eğilimi ve amiloz–lipit kompleksleşmesi üzerinden genleşme, gözenek yapısı ve gevreklik gibi özellikleri etkileyen kritik bir parametredir

(Saha ve Roy, 2020). Ancak literatür, amiloz–patlatma ilişkisinin çoğu zaman doğrusal olmadığını ortaya koymaktadır. Bazı çalışmalarda orta–yüksek amiloz düzeyleri avantaj sağlarken, çok yüksek değerlerde genleşmenin sınırlanabildiği bildirilmiştir (Saha ve Roy, 2020). Bu durum; patlatma teknolojisi (kum/yağ/IR/yüksek basınç), tane nemi, yarı haşlama -kurutma ön işlemleri, “genleşme” tanımındaki farklılıklar ve ürün tipine bağlı süreç farklarıyla açıklanmaktadır (Saha ve Roy, 2020; Shavandi vd., 2023). Nitekim Chandrasekhar ve Chattopadhyay (1991), optimum genleşmenin belirli bir amiloz aralığında ortaya çıktığını; bunun çeşit, başlangıç nemi, hidrotermal işlem şiddeti ve protein içeriğiyle yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Saha ve Roy (2022), benzer amiloz düzeylerine sahip örneklerde dahi genleşme ve duysal tercihlerin farklılaşabildiğini; dolayısıyla patlatma performansının yalnızca amiloz miktarıyla açıklanamayacağını vurgulamıştır. Maisont ve Narkrugsa (2009), düşük amilozlu bazı çeşitlerde kabuk kilitlenmesi ve ventral tabaka kalınlığının genleşmeyi sınırlayabildiğini bildirerek, amilozun etkisinin tane morfolojisi ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Patlatma sürecine ilişkin çalışmalar da benzer bir tablo çizmektedir. Kumar ve Prasad (2018), patlatılmış pirinçte amilozu %19.20 (db) olarak rapor etmiş ve jelatinizasyon/retrogradasyon süreçlerine bağlı sınırlı değişimler olabileceğini belirtmiştir (Kumar ve Prasad, 2018). Patel vd. (2021) amiloz oranlarının %18.54–21.58 arasında kaldığını; Itagi vd. (2023) ise genotipe bağlı olarak 6.58–22.95 g/100 g aralığında değiştiğini bildirmiştir. Bu çalışmalar, patlatmanın toplam amilozu belirgin biçimde azaltmadığını; ancak çözünbilir/çözünmeyen fraksiyon dağılımını değiştirebildiğini göstermektedir (Patel vd., 2021; Itagi vd., 2023).

Literatür genelinde; amilozun genleşmeyi belirgin biçimde etkilediği, birçok durumda orta–yüksek amiloz düzeylerinde genleşmenin maksimuma yaklaştığı, ancak ilişkinin her zaman doğrusal olmadığı yönünde bir uzlaşma bulunmaktadır (Chandrasekhar ve Chattopadhyay, 1991; Joshi vd., 2014). Bu nedenle amiloz kritik bir parametre olmakla birlikte tek başına belirleyici değildir (Saha ve Roy, 2020). Bu bağlamda, çalışmamızda elde edilen bulgular da literatürle uyumlu biçimde, patlatma performansının yalnızca amiloz miktarıyla açıklanamayacağını ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, amilozun en yüksek olduğu Ç1’in (%26.32) ve en düşük olduğu Ç7’nin (%17.25) aynı zamanda nişasta ve selüloz dağılımında da uçlarda yer alması; pirinç patlağında patlatma yanıtının yalnızca “tek bir bileşen” ile açıklanamayacağını, bunun yerine tanedeki nişasta–protein–lif–lipoid matriksinin birlikte rol oynadığını düşündürmektedir (Villareal vd., 1987; Mahanta ve Bhattacharya, 2010). Amiloz

tayininde yaygın kullanılan iyot-kolorimetrik yaklaşımların aslında “görünen amiloz” (iyot bağlayabilen fraksiyon) kavramına dayandığı; bu nedenle amiloz-lipit kompleksleri ile uzun zincirli amilopektin fraksiyonlarının ölçümü etkileyerek değeri yöntem ve işlem koşullarına duyarlı hale getirebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır (Sowbhagya ve Bhattacharya, 1971; Tuaño vd., 2021).

Toplam karbonhidrat, nişasta, ham selüloz ve amilozun birlikte değerlendirilmesi; pirinç patlağı kalitesinin yalnızca “nişasta miktarı” ile değil, aynı zamanda nişastanın kompozisyonu (amiloz/amilopektin oranı), jelatinizasyon ve kristalinite değişimleri, porozite gelişimi ve işleme bağlı yapısal dönüşümler üzerinden şekillendiğini göstermektedir (Saha ve Roy, 2020; Liu vd., 2025). Bu bağlamda, çeşitler arasındaki yüksek–düşük profiller Şekil 50’de sütun grafiği üzerinde de belirgin biçimde ayrılmaktadır. Örneğin karbonhidrat yönünden üst grupta yer alan çeşitler (Ç9 ve Ç2 gibi) ile nişasta bakımından belirgin şekilde ayrılan Ç7’nin aynı ürün tipi içinde farklı fonksiyonel beklentiler doğurabileceği; amiloz düzeyi yüksek çeşitlerde ise patlatma sonrası sertlik/kırılma davranışı ve hacimsel genleşmenin farklılaşabileceği literatürde bildirilen bulgularla uyumludur (Mahanta ve Bhattacharya, 2010; Saha ve Roy, 2022).

#### **4.15. Pirinç Patlağında Gama-orizanol, Biyoaktif Bileşenler ve Antioksidan Kapasitesi**

Pirinç patlağı örneklerinde gama-orizanol, biyoaktif bileşenler ve antioksidan kapasite parametreleri çeşitlere göre belirgin farklılık göstermiştir (Tablo 19, Şekil 51). Bu durum, pirincin fenolik profili ile lipofilik antioksidan fraksiyonunun (özellikle  $\gamma$ -orizanol) genotip, tane fraksiyonu ve işlem koşullarına bağlı farklılaşmalarla uyumludur (Walter ve Marchesan, 2011; Goufo ve Trindade, 2014). Patlatma benzeri süreçlerde, ürüne ve matrise bağlı olarak bazı çalışmalarda fenoliklerin ekstrakte edilebilirliği ve antioksidan kapasitenin artabildiği (Choi vd., 2019), buna karşılık daha şiddetli ısı koşullarında termal bozunma/oksidasyon nedeniyle azalma görülebildiği bildirilmektedir; söz konusu farklılıkların çoğu, proses şiddeti ve matriks yapısına bağlanmaktadır (Mir vd., 2016; Shavandi vd., 2023). Bu çalışma özelinde, çeşit faktörü baskın bir değişken olarak öne çıkmış ve aynı proses koşullarında dahi “yüksek biyoaktif–yüksek antioksidan” profili veren çeşitler belirlenmiştir (Tablo 19, Şekil 51).

Pirinç kepeği yağında daha zengin bulunan ve kimyasal olarak fitosteril ferulatların karışımından oluşan bir biyoaktif fraksiyon olarak tanımlanan  $\gamma$ -orizanol, pirinç bazlı ürünlerde sağlıkla ilişkili işlevsel özelliklere katkı sağlaması nedeniyle dikkat çekmektedir. Literatürde, bu bileşik grubunun bazı vitamin E fraksiyonlarına

kıyasla daha yüksek antioksidan aktivite gösterebildiği; ayrıca kolesterol metabolizması, oksidatif stres ve çeşitli fizyolojik süreçler üzerinde olumlu etkiler oluşturabildiği rapor edilmiştir (Boonsit vd., 2010). Mevcut çalışmada  $\gamma$ -orizanol değerleri 74.06–156.58 mg/100 g aralığında değişmiş; en yüksek değer Ç14'te ( $156.58 \pm 0.05$  mg/100 g), en düşük değer Ç6'da ( $74.06 \pm 0.06$  mg/100 g) elde edilmiştir (Tablo 19).  $\gamma$ -orizanolün pirinç kepeği/yağ fraksiyonu ile ilişkili lipofilik bir antioksidan olduğu; antioksidan ve fonksiyonel özellikleri nedeniyle özellikle pirinç bazlı fonksiyonel ürünlerde sıklıkla önemli bir gösterge olarak ele alındığı rapor edilmektedir (Scavariello, 1998; Juricic vd., 2025). Ç14 ( $156.58 \pm 0.05$ ) ve Ç20 ( $148.55 \pm 0.04$  mg/100 g) gibi yüksek  $\gamma$ -orizanol gösteren çeşitlerin patlak ürünlerde fonksiyonel bileşen açısından avantaj sağlayabileceği düşünülmektedir; ancak bu lipofilik fraksiyonun DPPH/ABTS gibi özellikle ekstraksiyon koşulları ve polariteye duyarlı testlerle ilişkisinin fenoliklere kıyasla farklılaşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Goufo ve Trindade, 2014).

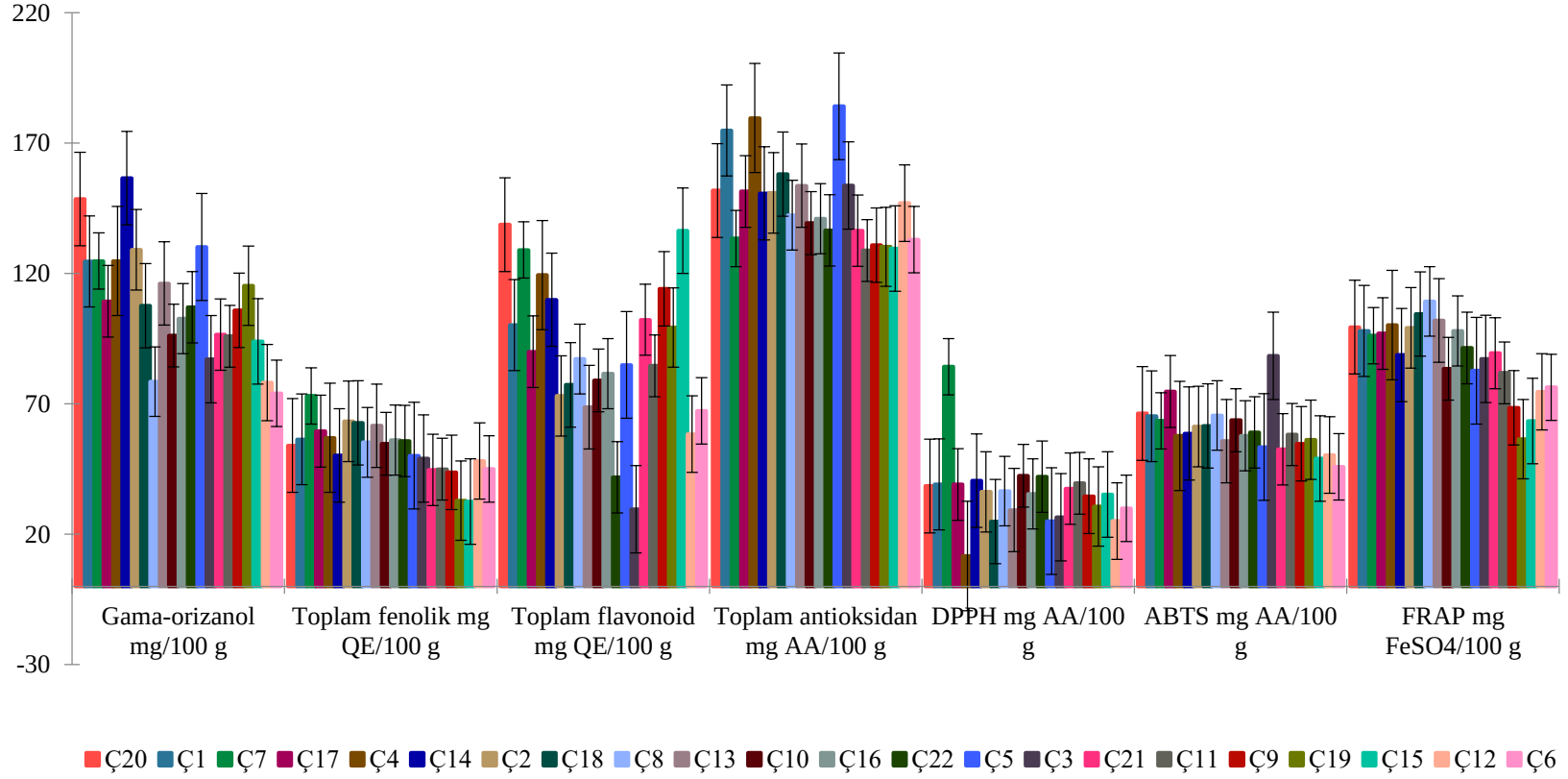
Srisaipet ve Nuddagul (2014) tarafından yapılan çalışmada, rafine pirinç kepeği yağında  $\gamma$ -orizanolün 80–180 °C aralığında ısıtıldığında 120 °C'nin altında büyük ölçüde stabil kaldığı; 120 °C'nin üzerinde ise belirgin kayıplar gösterdiği rapor edilmiştir. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde,  $\gamma$ -orizanolün tamamen kararsız olmadığı; ancak yüksek sıcaklık ve şiddetli ısı koşullara duyarlı bir bileşen olduğu anlaşılmaktadır (Srisaipet ve Nuddagul, 2014).



Tablo 19. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlaklarına ilişkin gama-orizanol, biyoaktif bileşenler ve antioksidan kapasitesi değerleri

| Çeşit kodu | Gama-orizanol<br>(mg/100 g) | Toplam fenolik (mg<br>QE/100 g) | Toplam flavonoid<br>(mg QE/100 g) | Toplam antioksidan<br>(mg AA/100 g) | DPPH<br>(mg AA/100 g)     | ABTS<br>(mg AA/100 g)      | FRAP<br>(mg FeSO <sub>4</sub> /100<br>g) |
|------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
| Ç1         | 124.60 ± 0.02 <sup>p*</sup> | 56.39 ± 0.02 <sup>fg</sup>      | 100.17 ± 0.02 <sup>j</sup>        | 174.85 ± 0.03 <sup>t</sup>          | 39.11 ± 0.01 <sup>o</sup> | 65.24 ± 0.02 <sup>l</sup>  | 97.93 ± 0.02 <sup>lm</sup>               |
| Ç2         | 129.13 ± 0.03 <sup>r</sup>  | 63.26 ± 0.01 <sup>h</sup>       | 73.03 ± 0.02 <sup>de</sup>        | 150.93 ± 0.01 <sup>n</sup>          | 36.24 ± 0.10 <sup>k</sup> | 61.31 ± 0.04 <sup>i</sup>  | 99.15 ± 0.01 <sup>mn</sup>               |
| Ç3         | 87.09 ± 0.03 <sup>d</sup>   | 49.04 ± 0.03 <sup>ed</sup>      | 29.53 ± 0.03 <sup>a</sup>         | 153.74 ± 0.03 <sup>r</sup>          | 26.51 ± 0.02 <sup>d</sup> | 88.38 ± 2.32 <sup>o</sup>  | 87.22 ± 0.02 <sup>h</sup>                |
| Ç4         | 124.79 ± 0.03 <sup>q</sup>  | 56.96 ± 0.01 <sup>fg</sup>      | 119.39 ± 0.02 <sup>l</sup>        | 179.61 ± 0.01 <sup>u</sup>          | 11.64 ± 0.04 <sup>a</sup> | 57.73 ± 0.03 <sup>h</sup>  | 100.21 ± 0.02 <sup>n</sup>               |
| Ç5         | 130.15 ± 0.02 <sup>s</sup>  | 50.14 ± 0.01 <sup>de</sup>      | 84.92 ± 0.01 <sup>ghi</sup>       | 184.12 ± 0.01 <sup>v</sup>          | 25.01 ± 0.04 <sup>c</sup> | 53.43 ± 0.03 <sup>e</sup>  | 82.70 ± 4.07 <sup>fg</sup>               |
| Ç6         | 74.06 ± 0.06 <sup>a</sup>   | 45.02 ± 0.01 <sup>bc</sup>      | 67.31 ± 0.02 <sup>d</sup>         | 133.02 ± 0.02 <sup>c</sup>          | 29.97 ± 0.04 <sup>f</sup> | 45.85 ± 0.02 <sup>a</sup>  | 76.32 ± 0.02 <sup>e</sup>                |
| Ç7         | 124.74 ± 0.04 <sup>q</sup>  | 73.03 ± 0.02 <sup>i</sup>       | 129.03 ± 0.02 <sup>m</sup>        | 133.42 ± 0.01 <sup>f</sup>          | 84.23 ± 0.03 <sup>t</sup> | 63.51 ± 0.01 <sup>k</sup>  | 96.19 ± 0.01 <sup>k</sup>                |
| Ç8         | 78.53 ± 0.03 <sup>c</sup>   | 55.24 ± 0.01 <sup>fg</sup>      | 87.17 ± 0.01 <sup>hi</sup>        | 142.35 ± 0.02 <sup>k</sup>          | 36.53 ± 0.03 <sup>l</sup> | 65.51 ± 0.01 <sup>lm</sup> | 109.28 ± 0.01 <sup>q</sup>               |
| Ç9         | 105.89 ± 0.06 <sup>j</sup>  | 43.71 ± 0.01 <sup>b</sup>       | 114.16 ± 0.01 <sup>kl</sup>       | 130.85 ± 0.01 <sup>d</sup>          | 34.57 ± 0.05 <sup>h</sup> | 54.65 ± 0.03 <sup>f</sup>  | 68.48 ± 0.01 <sup>c</sup>                |
| Ç10        | 96.18 ± 0.05 <sup>g</sup>   | 54.69 ± 0.02 <sup>f</sup>       | 78.98 ± 0.01 <sup>efg</sup>       | 139.31 ± 0.02 <sup>i</sup>          | 42.45 ± 0.02 <sup>s</sup> | 63.71 ± 0.01 <sup>k</sup>  | 83.46 ± 0.01 <sup>g</sup>                |
| Ç11        | 95.92 ± 0.02 <sup>f</sup>   | 44.92 ± 0.01 <sup>bc</sup>      | 84.61 ± 17.32 <sup>ghi</sup>      | 128.83 ± 0.01 <sup>a</sup>          | 39.56 ± 0.06 <sup>p</sup> | 58.22 ± 0.03 <sup>hi</sup> | 81.91 ± 0.01 <sup>f</sup>                |
| Ç12        | 78.15 ± 0.05 <sup>b</sup>   | 48.06 ± 0.01 <sup>bcd</sup>     | 58.36 ± 0.02 <sup>c</sup>         | 146.97 ± 0.01 <sup>l</sup>          | 25.05 ± 0.05 <sup>c</sup> | 50.35 ± 0.02 <sup>c</sup>  | 74.60 ± 0.02 <sup>d</sup>                |
| Ç13        | 116.18 ± 0.03 <sup>o</sup>  | 61.59 ± 0.01 <sup>h</sup>       | 68.72 ± 0.02 <sup>d</sup>         | 153.64 ± 0.01 <sup>q</sup>          | 29.24 ± 0.04 <sup>c</sup> | 55.70 ± 0.03 <sup>g</sup>  | 101.96 ± 0.01 <sup>o</sup>               |
| Ç14        | 156.58 ± 0.05 <sup>u</sup>  | 50.21 ± 0.01 <sup>de</sup>      | 109.92 ± 0.03 <sup>k</sup>        | 150.72 ± 0.01 <sup>m</sup>          | 40.52 ± 0.02 <sup>q</sup> | 58.63 ± 0.02 <sup>hi</sup> | 88.74 ± 0.01 <sup>i</sup>                |
| Ç15        | 93.91 ± 0.03 <sup>c</sup>   | 32.49 ± 0.53 <sup>a</sup>       | 136.37 ± 0.02 <sup>n</sup>        | 129.61 ± 0.02 <sup>b</sup>          | 35.19 ± 0.02 <sup>i</sup> | 49.01 ± 0.01 <sup>b</sup>  | 63.45 ± 0.01 <sup>b</sup>                |
| Ç16        | 102.63 ± 0.04 <sup>i</sup>  | 56.14 ± 0.02 <sup>fg</sup>      | 81.62 ± 0.02 <sup>fgh</sup>       | 141.03 ± 0.01 <sup>j</sup>          | 35.45 ± 0.03 <sup>i</sup> | 57.80 ± 0.02 <sup>h</sup>  | 98.00 ± 0.02 <sup>lm</sup>               |
| Ç17        | 109.33 ± 0.03 <sup>m</sup>  | 59.54 ± 0.02 <sup>gh</sup>      | 90.00 ± 0.02 <sup>i</sup>         | 151.48 ± 0.01 <sup>o</sup>          | 39.08 ± 0.03 <sup>o</sup> | 74.72 ± 0.01 <sup>n</sup>  | 96.97 ± 0.01 <sup>kl</sup>               |
| Ç18        | 107.62 ± 0.02 <sup>l</sup>  | 62.72 ± 0.02 <sup>h</sup>       | 77.27 ± 0.02 <sup>ef</sup>        | 158.13 ± 0.02 <sup>s</sup>          | 24.83 ± 0.03 <sup>b</sup> | 61.51 ± 0.02 <sup>j</sup>  | 104.49 ± 0.02 <sup>p</sup>               |
| Ç19        | 115.31 ± 0.02 <sup>n</sup>  | 32.83 ± 0.02 <sup>a</sup>       | 99.25 ± 0.02 <sup>j</sup>         | 130.22 ± 0.02 <sup>c</sup>          | 30.61 ± 0.01 <sup>g</sup> | 56.23 ± 0.03 <sup>g</sup>  | 56.42 ± 0.02 <sup>a</sup>                |
| Ç20        | 148.55 ± 0.04 <sup>t</sup>  | 54.01 ± 0.01 <sup>ef</sup>      | 138.75 ± 0.02 <sup>n</sup>        | 151.82 ± 0.02 <sup>p</sup>          | 38.52 ± 0.02 <sup>n</sup> | 66.34 ± 0.01 <sup>m</sup>  | 99.41 ± 0.01 <sup>mn</sup>               |
| Ç21        | 96.52 ± 0.04 <sup>h</sup>   | 44.64 ± 0.02 <sup>bc</sup>      | 102.26 ± 0.01 <sup>j</sup>        | 136.39 ± 0.01 <sup>g</sup>          | 37.48 ± 0.01 <sup>m</sup> | 52.51 ± 1.15 <sup>d</sup>  | 89.42 ± 0.01 <sup>i</sup>                |
| Ç22        | 107.08 ± 0.05 <sup>k</sup>  | 55.76 ± 0.01 <sup>fg</sup>      | 41.80 ± 0.03 <sup>b</sup>         | 136.53 ± 0.01 <sup>h</sup>          | 42.05 ± 0.01 <sup>r</sup> | 59.02 ± 0.01 <sup>i</sup>  | 91.42 ± 0.01 <sup>j</sup>                |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p < 0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.



Şekil 51. Farklı çeltik çeşitlerinin pirinç patlaklarındaki  $\gamma$ -orizanol, biyoaktif bileşenler ve antioksidan kapasitesine ilişkin değişimler. Barlar, ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir.

Literatürde, pirinç patlağında  $\gamma$ -orizanol içeriğinin 77.53 mg/100 g olarak rapor edildiği ve çimlendirilmiş esmer pirinçten elde edilen pirinç patlaklarında bu değerin 46.22–48.23 mg/100 g aralığında olduğu bildirilmiştir. Her iki çalışmada da, ham ürüne kıyasla  $\gamma$ -orizanol düzeylerinin düştüğü ve bu azalmanın şişirme/patlatma sırasında uygulanan ısı işlemlerin yol açtığı parçalanma ve/veya bileşen kayıplarıyla ilişkili olabileceği belirtilmiştir (Kumar ve Prasad, 2018; Sonsomboonsuk vd., 2024). Buna karşılık Junyusen vd. (2025), çimlendirilmiş esmer pirinçten elde edilen pirinç patlaklarında  $\gamma$ -orizanol içeriğinin 51.25–57.28 mg/100 g aralığında değiştiğini ve şişirme/patlatma işleminin yalnızca sınırlı düzeyde kayba yol açtığını rapor etmiştir.

Öte yandan Lu vd. (2025), kahverengi pirinçte  $\gamma$ -orizanol düzeylerini değerlendirirken çeşit, tane boyu ve yetiştirme coğrafyasını birlikte ele almış; Japonica ve glutinous çeşitlerin İndica'ya kıyasla anlamlı farklılık gösterdiğini, buna karşın kısa ve uzun taneli pirinçler arasında toplam  $\gamma$ -orizanol açısından belirgin bir fark bulunmadığını bildirmiştir. Nitekim, mevcut çalışmada  $\gamma$ -orizanol düzeylerinin 74.06–156.58 mg/100 g aralığında değişmesi belirgin olarak çeşit etkisine işaret etse de; Lu vd.'nın yaklaşımıyla uyumlu olarak, pirinç patlağı üretiminde kullanılan çeltiklerin olası Japonica-İndica farklılığı ile  $\gamma$ -orizanol değerlerinin paralel seyretmediği görülmüştür. Bununla birlikte, Japonica-benzeri çeşitlerde  $\gamma$ -orizanolün çoğunlukla orta–yüksek; İndica-benzeri çeşitlerde ise genellikle orta–düşük aralıkta yoğunlaştığı dikkati çekmiştir. Ancak her iki grupta da istisnaların bulunması,  $\gamma$ -orizanol düzeyinin yalnızca tane şekli veya boyu ile açıklanamayacağını göstermektedir. Bu eğilim, Japonica ve İndica arasında  $\gamma$ -orizanol bakımından anlamlı farklılıklar olduğunu; buna karşılık kısa-tane/uzun-tane ayrımının toplam  $\gamma$ -orizanol açısından belirleyici olmadığını bildiren literatürle uyumludur. Bunun yanında,  $\gamma$ -orizanol düzeylerinde gözlenen farklılaşmanın, çeşit faktörünün yanı sıra yetiştirme koşulları ve yetiştirme coğrafyasıyla ilişkili olabileceği, ancak işleme koşullarının olası etkilerinin de tamamen göz ardı edilmemesi gerektiği değerlendirilmektedir (Lu vd., 2025).

Mevcut çalışmada pirinç patlaklarında belirlenen  $\gamma$ -orizanol düzeylerinin (74.06–156.58 mg/100 g), literatürde şişirilmiş/patlatılmış ürünler için rapor edilen aralıklardan genellikle daha yüksek olması yalnızca patlatma işlemiyle açıklanabilecek bir durum değildir. Bulgular, özellikle kepek tabakasının korunması, başlangıç hammaddesinin esmer pirinç olması ve yarı haşlama (parboiling) sürecinin birlikte etkili olabileceğine işaret etmektedir. Nitekim, Min vd. (2014), yarı haşlama işleminin kepekte yoğunlaşan lipofilik antioksidanların ( $\gamma$ -orizanol dâhil) tamamen parçalanmasına yol açmadığını;

tersine, bağılı fraksiyonların kısmen serbestleşmesi ve taneye difüzyonun kolaylaşması yoluyla bazı çeşitlerde görece artışlara dahi neden olabildiğini bildirmiştir. Bununla birlikte, bu etkinin tüm genotiplerde aynı şekilde gözlenmediği vurgulanmaktadır (Min vd., 2014). Benzer şekilde, pirinç patlağında yapılan bir çalışmada Kumar ve Prasad (2018), yarı haşlama sonrasında  $\gamma$ -orizanol düzeylerinde artış, şişirme/patlatma sonrasında ise ısıtma işlemine bağılı kısmi azalma olduğunu rapor etmiş; bunun kepek tabakasının tamamen uzaklaştırılmaması ve lipofilik bileşenlerin endosperme difüzyonuyla ilişkili olabileceğini belirtmiştir. Dolayısıyla, her ne kadar şişirme/patlatma gibi şiddetli ısıtma işlemler  $\gamma$ -orizanolü belirli ölçüde azaltma potansiyeline sahip olsa da, mevcut çalışmadaki görece yüksek değerler; çeşit/genotip farkları, kepek tabakasının korunma düzeyi ve yarı haşlamanın oluşturduğu yapısal-kimyasal dönüşümlerin birleşik etkisi olarak değerlendirilebilir.

Toplam fenolik içerik (TPC) 32.49–73.03 mg QE/100 g aralığındadır. En yüksek TPC, Ç7’de ( $73.03 \pm 0.02$  mg QE/100 g) iken; en düşük TPC, Ç15 ( $32.49 \pm 0.53$ ) ve Ç19 ( $32.83 \pm 0.02$ ) çeşitlerinde bulunmuştur (Tablo 19). TPC’nin Folin–Ciocalteu yaklaşımıyla belirlendiği çalışmalarda, bu yöntemin fenolik dışı indirgen bileşiklerden de etkilenebildiği; buna rağmen matriksler arası karşılaştırmada yaygın ve kabul gören bir “toplam indirgen kapasite/fenolik göstergesi” sunduğu vurgulanır (Singleton ve Rossi, 1965; Pérez vd., 2023). Patlatma gibi yüksek sıcaklık–kısa süre işlemlerde fenoliklerin bir kısmının serbestleşmesi veya bağılı fraksiyonların erişilebilirliğinin artması olasıdır; buna karşın proses şiddeti arttığında bozunma ve polimerleşme gibi mekanizmalarla azalma da görülebilir (Mir vd., 2016; Choi vd., 2019). Bu tabloda Ç7’nin TPC açısından belirgin üstünlüğü, aynı zamanda DPPH’de de en yüksek değeri vermesiyle (aşağıda) birlikte değerlendirildiğinde, Ç7’nin fenolik kaynaklı radikal süpürme kapasitesinin güçlü olduğunu düşündürmektedir (Tablo 15). Nitekim, DPPH’nin özellikle fenolik hidroksil gruplarının radikal giderme kapasitesine duyarlı olduğu literatürde vurgulanmaktadır (Molyneux, 2004; Kedare ve Singh, 2011).

Literatürde patlatma ve benzeri ısıtma işlemlerin pirinçte toplam fenolik içeriğini (TPC) çoğu durumda azalttığı, ancak bu etkinin genotip ve işlem koşullarına bağılı olarak değişebildiği bildirilmektedir. Shavandi vd. (2023), kızılötesi patlatma koşullarına bağılı olarak TPC’nin 0.058 mg GAE/g düzeyine gerileyebildiğini ve işlem şiddeti arttıkça önemli düşüşler görüldüğünü rapor belirtmiştir. Itagi vd. (2023) patlatma sonrası TPC’nin tüm genotiplerde 15.32–78.24 mg GAE/100 g aralığına indiğini ve azalmanın istatistiksel olarak önemli olduğunu bildirmiştir. Çimlendirilmiş kahverengi pirinçlerde Junyusen vd. (2025) TPC’yi 0.47–0.54 mg GAE/g, Sonsomboonsuk vd.

(2024) ise 0.33–0.39 mg GAE/g olarak saptamış; bazı ön işlemlerin kaybı kısmen sınırlayabildiğini, ancak genel eğilimin yine de azalma yönünde olduğunu belirtmiştir. Bu sonuçlar, patlatma sırasında fenolik bileşiklerin tamamen yok olmadığını; fakat çoğunlukla ısıl bozunma ve oksidasyon nedeniyle düşüş gösterdiğini, uygun genotip/ön işlem kombinasyonlarında ise kısmi korunmanın mümkün olabildiğini ortaya koymaktadır (Sonsomboonsuk vd., 2024; Junyusen vd., 2025).

Bu çalışmada elde edilen TPC değerlerinin literatürde bildirilen aralıklarla uyum göstermesi, patlatmanın fenolikler üzerinde çoğunlukla azaltıcı ancak çeşide duyarlı bir etki oluşturduğunu desteklemektedir. Ç7 çeşidinin hem TPC hem de DPPH açısından en yüksek değerlere sahip olması, patlatma sonrasında bu çeşitte fenolik bileşiklerin nispeten daha iyi korunduğuna işaret etmektedir. Buna karşılık, diğer çeşitlerde gözlenen daha düşük TPC düzeyleri, fenoliklerin ısıl bozunma ve oksidatif parçalanmaya çeşide özgü olarak daha yatkın olabileceğini düşündürmektedir.

Toplam flavonoid içeriği (TFC), 29.53–138.75 mg QE/100 g aralığında değişmiştir (Tablo 19). En yüksek TFC, Ç20’de ( $138.75 \pm 0.02$  mg QE/100 g) ve Ç15’te ( $136.37 \pm 0.02$ ) gözlenirken; en düşük TFC, Ç3’ten ( $29.53 \pm 0.03$ ) elde edilmiştir.  $AlCl_3$  kolorimetrik yöntemi, flavonoidleri  $Al^{3+}$  ile kompleksleşme yoluyla belirlemekte olup; kullanılan standart (örneğin QE) ve matriks kaynaklı etkileşimler nedeniyle sonuçların yöntemsel ayrıntılarla birlikte raporlanmasının kritik olduğu bildirilmektedir (Chandra vd., 2014; Shraim vd., 2021). Bu çalışmada TFC değerlerinin yüksek olduğu Ç15 ve Ç20 çeşitlerinin, “toplam antioksidan kapasite” parametresinde de yüksek bir bantta yer alması, flavonoid fraksiyonunun antioksidan kapasiteye katkısını düşündürmektedir. Bununla birlikte, antioksidan testlerinin farklı kimyasal prensiplere dayanması nedeniyle birebir paralellik her zaman beklenmemelidir (Benzie ve Strain, 1996; van den Berg vd., 1999).

Patlatma/şişirme işlemlerine odaklanan çalışmalarda da TFC’nin ürün ve çeşide bağlı olarak geniş aralıklar gösterebildiği bildirilmektedir. Mir vd. (2016), patlak pirinçlerde TFC’yi 21.06–25.52  $\mu$ g kateşin eşdeğeri/g; Itagi vd. (2023) ise 15.90–94.15 mg CE/100 g aralığında rapor etmiştir. Bu sonuçlar, işlem koşulları ve tane yapısına bağlı olarak ürünler arasında belirgin varyasyon olabileceğine işaret etmektedir (Mir vd., 2016; Itagi vd., 2023).

Hidrotermal işlemler üzerine yapılan çalışmalar, flavonoid dağılımının işlem türüne ve tane yapısına duyarlı olduğunu; özellikle kepek tabakasının korunmasının suda çözünebilen bileşenlerin matrikste tutulmasına katkı sağlayabildiğini göstermektedir (Min vd., 2014). Ayrıca flavonoidlerin yalnızca çözünebilir değil, hücre

duvarına bağılı çözünmeyen fraksiyonda da yer aldığı ve bu fraksiyonun toplam düzeye anlamlı katkı sağlayabildiği bildirilmektedir (Goufo ve Trindade, 2014).

Literatür genel olarak flavonoid düzeylerinin pirinç grupları arasında önemli ölçüde değiştiğini ve flavonoidlerin toplam fenolik içerik ile antioksidan kapasiteyle genellikle pozitif ilişkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır (Shen vd., 2009). Bu çalışmada kullanılan hammaddenin kepeği korunmuş kahverengi pirinç olması, sonuçların yorumlanması açısından önemlidir. Kepeğin varlığı, patlatılmış ürünlerde flavonoid fraksiyonunun çeşitler arasında farklı düzeylerde korunmasına katkı sağlamış olabilir. Bu kapsamda, elde edilen sonuçların literatürde bildirilen genel eğilimlerle uyumlu olduğu; gözlenen aralık genişliğinin ise tane iç yapısı, kepek oranı, başlangıç kompozisyonu ve işlem parametrelerindeki farklılıklardan kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.

Toplam antioksidan kapasitesi, 128.83–184.12 mg AA/100 g aralığında değişmiş; en yüksek değer Ç5'te ( $184.12 \pm 0.01$ ) ve Ç4'te ( $179.61 \pm 0.01$ ), en düşük değer ise Ç11'de ( $128.83 \pm 0.01$ ) gözlenmiştir (Tablo 19). Ç5 çeşidinin TPC'si orta düzeyde ( $50.14 \pm 0.01$ ) olmasına rağmen, toplam antioksidan kapasitede lider olması; antioksidan kapasitesinin yalnızca toplam fenolik miktarıyla değil; fenolik bileşiklerin kompozisyonu, lipofilik antioksidanlar ve işlem koşullarına bağlı ekstraksiyon/serbestleşme dinamikleri gibi faktörlerle de şekillenebildiğini göstermektedir (Goufo ve Trindade, 2014; Shavandi vd., 2023). Ayrıca patlatma/ısıtma işlem sırasında oluşan Maillard reaksiyonu ürünlerinin indirgen kapasitesini ve bazı antioksidan test sonuçlarını artırabildiği farklı gıda matrislerinde rapor edilmiştir; bu nedenle sonuçlar ürünün renk/ısı geçmişiyle birlikte yorumlanmalıdır (Mir vd., 2016; Choi vd., 2019).

Literatürde, pirinç patlağında toplam antioksidan kapasitenin işlem koşullarına duyarlı olduğu bildirilmektedir. Itagi vd. (2023), pirinç patlağı örneklerinde toplam antioksidan kapasitenin (TAC) 33.3–64.4 mg QE/100 g aralığında olduğunu ve patlatma/şişirme işleminin TAC üzerinde belirgin bir azalmaya yol açtığını rapor etmiştir. Walter ve Marchesan (2011) ise pirinç tanelerinde toplam antioksidan kapasitenin/aktivitenin perikarp rengi ve genotipe bağılı olarak geniş bir aralıkta değiştiğini vurgulamıştır.

Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, şişirme işleminin antioksidan kapasite üzerinde sabit ve öngörülebilir bir etkiye sahip olmadığını; sonucun genotip, fenolik profilin niteliği ve proses koşullarına göre değişebildiğini göstermektedir.

DPPH sonuçları 11.64–84.23 mg AA/100 g aralığındadır; en yüksek DPPH Ç7’de ( $84.23 \pm 0.03$ ), en düşük DPPH Ç4’te ( $11.64 \pm 0.04$ ) belirlenmiştir (Tablo 19). DPPH testi radikal süpürme kabiliyetini izleyen, özellikle fenolik bileşiklerle güçlü ilişki gösterebilen bir yaklaşımdır; ancak çözücü sistemi ve örnek matriksi DPPH kinetiğini etkileyebilir (Kedare ve Singh, 2011; Molyneux, 2004). Bu çalışmada Ç7’nin hem TPC bakımından en yüksek grupta yer alması hem de DPPH bakımından belirgin şekilde öne çıkması, Ç7’nin polar fenolik fraksiyonun radikal süpürme etkisinin güçlü olabileceğine işaret eder (Tablo 19). Öte yandan Ç4’ün DPPH’de en düşük değeri vermesi, Ç4’teki antioksidan kapasitenin daha çok “indirgen güç” (FRAP) veya lipofilik fraksiyonlar üzerinden şekillenebileceği ihtimalini göstermektedir.

Literatür bulguları da bu eğilimi destekler niteliktedir. Junyusen vd. (2025), çimlendirilmiş kahverengi pirinçten (GBR) ürettikleri pirinç patlaklarında DPPH değerinin 0,17 mg TE/g olduğunu bildirmiştir. Benzer biçimde, Sonsomboonsuk vd. (2024) da GBR’de sıcak tuz puflaması sonrasında DPPH’nin 0.12–0.19 mg TEAC/g aralığına gerilediğini bildirmiştir. Araştırmalarda, puflama (şişirme) sürecinde DPPH’de gözlenen bu azalmanın ısıl bozunma ve oksidatif reaksiyonlarla ilişkili olabileceği belirtilmektedir (Sonsomboonsuk vd., 2024; Junyusen vd., 2025). Buna paralel olarak, Rajarajeswari vd. (2022), patlatma ve yarı haşlama gibi işlemlerin pirinçte DPPH aktivitesini çoğu durumda azalttığını; ancak bazı koşullarda Maillard reaksiyonu ürünlerinin katkısıyla sınırlı ve geçici artışlar görülebileceğini bildirmiştir (Rajarajeswari vd., 2022). Benzer biçimde, Min vd. (2014) hidrotermal işlemlerin (parboiling ve ıslak pişirme) DPPH kapasitesini genel olarak düşürdüğünü; bununla birlikte, bağlı fenoliklerin serbestleşmesine bağlı kısmi korunma veya artışların da ortaya çıkabileceğini rapor ederek bu değerlendirmeyi desteklemiştir (Min vd., 2014). Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, mevcut çalışmadaki DPPH sonuçları pirinç patlağı matrisinde antioksidan kapasitesinin tek bir parametreyle açıklanamayacağını; DPPH’nin TPC, FRAP ve lipofilik fraksiyonlarla birlikte ele alındığında daha sağlıklı yorumlanabileceğini göstermektedir.

ABTS sonuçları 45.85–88.38 mg AA/100 g aralığında olup en yüksek ABTS Ç3’te ( $88.38 \pm 2.32$ ), en düşük ABTS ise Ç6’da ( $45.85 \pm 0.02$ ) bulunmuştur (Tablo 19). ABTS/TEAC testi, farklı reaksiyon mekanizmalarını yakalayabilmesi ve belirli koşullarda hem hidrofilik hem de lipofilik antioksidanlara yanıt verebilmesi nedeniyle literatürde çoğunlukla DPPH gibi testlerle birlikte kullanılmakta ve sonuçları tamamlayıcı nitelikte değerlendirilmektedir (van den Berg vd., 1999; Ilyasov vd., 2020). Bu tabloda Ç3’ün ABTS’de lider olmasına karşın TFC’nin en düşük ( $29.53 \pm 0.03$ ) ve

TPC'nin orta-alt bantta ( $49.04 \pm 0.03$ ) yer alması, toplam antioksidan kapasitenin yalnızca fenolik bileşiklere bağlı olmadığını düşündürmektedir. Nitekim, Shen vd. (2009), pirinçte ABTS ile belirlenen kapasitenin fenoliklerle genelde güçlü ilişki gösterdiğini, ancak bazı genotiplerde bu ilişkinin zayıflayabildiğini bildirerek sonuçların bileşen kompozisyonundan etkilendiğine işaret etmiştir (Shen vd., 2009). Benzer biçimde, pirinçte  $\gamma$ -orizanol ve tokoferoller/tokotrienoller gibi lipofilik fraksiyonların da antioksidan yanıtı katkı sağlayabildiği belirtilmektedir (Finocchiaro vd., 2007). Ayrıca Ç3'te ABTS için standart sapmanın ( $\pm 2.32$ ) görece yüksek olması, ölçüm tekrarları, ekstrakt homojenliği ve reaksiyon süresi gibi metot-içi faktörlerin dikkatle kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Literatürde şişirilmiş pirinç ürünlerinde ABTS ile belirlenen toplam antioksidan kapasitenin geniş bir aralıkta rapor edildiği görülmektedir. Bagchi vd. (2021), patlak/şişirilmiş pirinç ürünlerinde 1.37–3.21 ppm AAE/mg değerlerini bildirirken, Sonsomboonsuk vd. (2024) patlatma/şişirme sonrası pirinç patlağı örneklerinde 23–27 mg TEAC/100 g düzeylerini rapor etmiştir (Bagchi vd., 2021; Sonsomboonsuk vd., 2024). Buna ek olarak, Bagchi vd. (2016) patlatma/şişirme sonrasında antioksidan kapasitenin bazı çeşitlerde korunduğunu ve 838.90–3147.31 ppm AAE/g aralığına ulaşabildiğini bildirmiştir. Yazarlar, ABTS<sup>+</sup> testinin hem suda çözünen hem de yağda çözünen bileşenlere duyarlı olması nedeniyle pirinçte fenolikler, flavonoidler,  $\gamma$ -orizanol, tokoferoller/tokotrienoller ve antosiyaninlerin toplam kapasiteye birlikte katkı sağlayabildiğini vurgulamıştır (Bagchi vd., 2016).

Bu çalışmada elde edilen ABTS değerlerinin (45.85–88.38 mg AA/100 g), söz konusu literatür aralığının orta bölümünde yer alması, şişirme işlemi sırasında antioksidan kapasitenin tamamen kaybolmadığını; buna karşılık ürün matriksindeki fenolik ve fenolik-dışı bileşen kompozisyonu ile yöntem farklılıklarının sonucu belirgin biçimde şekillendirdiğini düşündürmektedir (Tablo 19).

FRAP değerleri 56.42–109.28 mg FeSO<sub>4</sub>/100 g aralığında değişmiş; en yüksek FRAP Ç8'de ( $109.28 \pm 0.01$ ), en düşük FRAP Ç19'da ( $56.42 \pm 0.02$ ) bulunmuştur (Tablo 19). FRAP testi, radikal süpürmeden ziyade “indirgen güç” üzerinden antioksidan kapasiteyi ölçer ve elektron verme potansiyeline duyarlıdır (Benzie ve Strain, 1996). Bu nedenle FRAP'ın DPPH/ABTS ile tam paralel gitmemesi beklenir; nitekim, Ç8 FRAP'te lider iken DPPH'de orta banttadır ( $36.53 \pm 0.03$ ). Bu durum, Ç8'de indirgen kapasiteye katkı veren bileşenlerin (örneğin bazı fenolik asitler veya reaksiyon ürünleri) baskın olabileceğini düşündürmektedir (Tablo 15). Uygulama açısından FRAP'ı yüksek çeşitlerin, patlak ürünlerde depolama sırasında antioksidan kapasitenin korunumu ve



oksidatif stabilite açısından potansiyel avantaj sağlayabileceği düşünülebilir. Bununla birlikte, FRAP artışının her zaman daha uzun raf ömrüyle sonuçlanmadığı; ürün matriksi, yağ asidi profili ve depolama koşullarının bu ilişkiyi belirgin biçimde değiştirdiği bildirilmiştir. Bu bulgu, bazı çalışmalarda FRAP başlangıçta yüksek olmasına rağmen depolama boyunca hızla azalmış ve tahmin edilen raf ömrü kısalmıştır (Bianchi vd., 2021; De Lacerda de Oliveira vd., 2022). Özetle FRAP sonuçlarının raf ömrü ve oksidasyon indeksleriyle birlikte değerlendirilmesi gereklidir.

Isıl işlem bağlamında ise, FRAP'ın tek yönlü bir yanıt vermediği gösterilmiştir: Yamuangmorn vd. (2021), farklı pirinç ürünlerinde FRAP'ın ısıl işleme tek yönlü yanıt vermediğini; bazı koşullarda artış, bazı koşullarda stabilite veya sınırlı azalma gözlemlendiğini bildirmiştir (Yamuangmorn vd., 2021). Benzer biçimde, Bagchi vd. (2021) farklı işlem görmüş siyah pirinç ürünlerinde FRAP değerlerinin 0.25–0.76 mg AAE/g arasında değiştiğini rapor ederek, FRAP'ın işlem koşulları ve ürün matriksine duyarlı karmaşık bir gösterge olduğunu vurgulamıştır. Sonuç olarak, mevcut FRAP bulguları çeşitler arası farkları yansıtan önemli bir gösterge olmakla birlikte, raf ömrü yorumlarında oksidasyon indeksleriyle birlikte ele alınmalıdır.

Genel olarak Tablo 19'daki antioksidan özellikler birlikte değerlendirildiğinde, çeşitler arasında ortaya çıkan “fenolik/antioksidan kapasite” farklılıklarının tek bir parametre ile açıklanamayacak kadar çok bileşenli ve mekanizma-temelli olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle verilerin sunumunda Tablo 19'a ek olarak parametrelerin çeşitler bazında karşılaştırmalı verildiği sütun grafikler (Şekil 51), yalnızca “hangi çeşitte değer daha yüksek?” sorusunu değil; aynı zamanda hangi ürün/çeşit profilinin hangi antioksidan mekanizmaya daha yatkın olduğu sorusunu daha görünür kılmaktadır (Tablo 19; Şekil 51). Nitekim, aynı patlatma koşullarında dahi çeşitlerin endosperm yapısı, fenoliklerin bağlı/serbest form oranı, lipofilik fraksiyon ( $\gamma$ -orizanol vb.) düzeyi ve işlemin bu bileşenleri “erişilebilir” hâle getirme kapasitesi farklılaştığı için ürünler arası antioksidan profil çok boyutlu şekilde ayrışır. Bu bulgu, literatürde hidrotermal/patlatma benzeri işlemlerin fenolik fraksiyonların dağılımı, lipofilik antioksidanlar ve biyoyararlanabilirlik üzerinde seçici etkiler oluşturabildiğine ilişkin raporlarla da uyumludur (Goufo ve Trindade, 2014; Min vd., 2014; Saha ve Roy, 2020).

Bu çalışmada ürünler (çeşitler) arasında görülen farklılıklar incelendiğinde, bazı çeşitlerin fenolik bileşikler bakımından yoğun ve radikal süpürmeye eğilimli bir profil sergilediği dikkat çekmektedir. Örneğin Ç7, toplam fenolik içeriği bakımından en yüksek grupta yer almasının yanında DPPH'de de açık ara en yüksek değeri vermiştir (Tablo 19; Şekil 51). Bu eşleşme, Ç7'nin antioksidan kapasitesinin daha çok hidrojen

atomu transferi / radikal süpürme mekanizması ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir; Nitekim, DPPH'nin özellikle fenolik hidroksil gruplarının radikal giderme kapasitesine duyarlı olduğu literatürde vurgulanmaktadır (Molyneux, 2004; Kedare ve Singh, 2011). Buna karşın, Ç7'nin  $\gamma$ -orizanol düzeyinin yüksek olmasına rağmen (lipofilik fraksiyon), asıl ayırt edici performansının TPC–DPPH ekseninde yoğunlaşması; bu ürün profilinde özellikle serbest/polar fenoliklerin daha belirleyici olabileceğine işaret etmektedir (Goufo ve Trindade, 2014).

Bazı çeşitlerde ise antioksidan kapasite indirgen güç (reducing power) üzerinden daha baskın görünmektedir. Örneğin Ç8'in FRAP değerinin en yüksek grupta yer alması, bu ürünün antioksidan profilinin DPPH/ABTS'den ziyade “elektron verme/indirgeme” kapasitesi yüksek bileşenlerle şekillenebileceğini düşündürmektedir (Tablo 19; Şekil 51). FRAP testi radikal süpürmeden çok ferrik iyonu indirgeme kapasitesini yansıttığı için, fenoliklerin miktarından ziyade fenolik kompozisyonu ve elektron transferine yatkın bileşikler daha etkili olabilir (Benzie ve Strain, 1996). Bu açıdan Ç8'in “FRAP-odaklı” bir üstünlük sergilemesi, ürünler arasındaki farklılığın yalnızca toplam fenolik miktarından değil, fenolik profilinin niteliğinden de kaynaklandığını desteklemektedir (Goufo ve Trindade, 2014).

Öte yandan bazı ürünlerde (çeşitlerde) antioksidan yanıtın, daha geniş spektrumlu bir test olan ABTS ile belirginleştiği görülmektedir. Ç3'ün ABTS bakımından en yüksek değeri vermesinin yanısıra flavonoid içeriğinin düşük grupta yer alması, ABTS'nin örnekteki farklı antioksidan fraksiyonları “toplam etki” olarak yakalayabilmesiyle uyumludur (Tablo 19; Şekil 51). ABTS'nin hem hidrofilik hem lipofilik bileşenlere görece duyarlı kabul edilmesi, bazı çeşitlerde fenolik dışı bileşenlerin (ör. tokoller,  $\gamma$ -orizanol türevleri, işlem kaynaklı reaksiyon ürünleri) ABTS yanıtına katkısının artabileceğini düşündürmektedir (van den Berg vd., 1999; Ilyasov vd., 2020). Bununla birlikte Ç3'te ABTS için standart sapmanın göreceli olarak yüksek oluşu, çeşitler arası karşılaştırmada bu parametrenin ekstraksiyon homojenliği, reaksiyon süresi ve reaktif stabilitesi gibi analitik koşullara hassasiyetini de hatırlatmaktadır. Bu nedenle ABTS sonuçları yorumlanırken yöntem kontrolü mutlaka vurgulanmalıdır (Ilyasov vd., 2020).

Bazı çeşitler ise lipofilik antioksidan fraksiyon üzerinden öne çıkmaktadır. Ç14 ve Ç20'nin  $\gamma$ -orizanol düzeylerinin belirgin biçimde yüksek olması, bu çeşitlerin patlak ürün olarak “fonksiyonel bileşen” perspektifinden avantajlı olabileceğini göstermektedir (Tablo 19; Şekil 51).  $\gamma$ -orizanolün antioksidan ve sağlıkla ilişkili biyolojik etkileri literatürde geniş biçimde raporlanmıştır; ancak bu bileşenin DPPH/FRAP gibi testlere katkısı, ekstraksiyon çözücüsünün polaritesi ve testin kimyasal prensibi nedeniyle

fenoliklerle aynı doğrultuda görünmeyebilir (Goufo ve Trindade, 2014). Nitekim, Min vd. (2014), hidrotermal işlem sonrasında  $\gamma$ -orizanolün büyük ölçüde korunduğunu, buna karşın suda çözünebilen fenolik fraksiyon ve ilgili antioksidan test sonuçlarının belirgin biçimde azaldığını bildirmiştir. Bu bulgu,  $\gamma$ -orizanolce zengin çeşitlerde “antioksidan kapasite” yorumunun yalnızca DPPH/FRAP sıralamasına dayanarak yapılmasının yanıltıcı olabileceğini; lipofilik fraksiyonu yakalayabilen uygun ekstraksiyon–test kombinasyonlarının birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Goufo ve Trindade, 2014; Min vd., 2014). Bu noktada ürünler arası farklılıkları açıklamada kritik bir başka unsur da “toplam antioksidan kapasite” ölçümünün, tek bir bileşen sınıfını değil; örnekteki farklı antioksidan fraksiyonların toplam etkisini yansıtmasıdır. Örneğin TPC’si orta bantta olmasına rağmen toplam antioksidan kapasite bakımından yüksek çıkan çeşitler, fenolik kompozisyonun daha etkili fraksiyonlardan oluşması veya patlatma sırasında oluşabilen Maillard reaksiyon ürünlerinin indirgen kapasiteye katkısı gibi mekanizmalarla açıklanabilir (Mir vd., 2016). Bu nedenle çeşitlerin toplam antioksidan kapasite sıralaması, bazen TPC/TFC sıralamasını birebir izlemeyebilir; bu da Tablo 19’daki “ayrışan” ürün profillerini bilimsel olarak anlamlandıran önemli bir bulgudur (Tablo 19; Şekil 16).

Son olarak, literatürde patlatma proseslerinin bazı koşullarda fenoliklerin ekstrakte edilebilirliğini artırabileceğini (Choi vd., 2019), bazı koşullarda ise özellikle radikal süpürme temelli testlerde antioksidan kapasitede düşüşe yol açabileceği bildirildiğinden (Mir vd., 2016; Shavandi vd., 2023); bu çalışmada gözlenen ürünler arası farkların ana belirleyicisinin çeşit + matriks bileşimi olduğu güçlü biçimde söylenebilir. Ancak proses şiddeti (sıcaklık–süre), başlangıç nemi, tane yapısı ve ekstraksiyon protokolü değiştiğinde “hangi çeşit hangi mekanizma üzerinden öne çıkıyor?” sorusunun yanıtı da değişebilecektir. Bu nedenle Tablo 19 ve Şekil 51 birlikte, sadece mevcut sıralamayı vermekle kalmayıp; gelecekte proses optimizasyonu yapılırken hedeflenen fonksiyonel özelliklere göre çeşit seçimine rehberlik edecek bir “profil haritası” sunmaktadır (Tablo 19; Şekil 16).

#### 4.16. Reolojik ve Viskozite Davranışlarının Değerlendirilmesi

##### 4.16.1. Kargo Pirinçte Reolojik ve Viskozite Davranışları

Kargo pirince ait reolojik ölçümlerden elde edilen viskozite değerleri Tablo 20 ve Şekil 52’de sunulmuştur. 10, 20, 30, 60 ve 100 s kayma hızlarında oluşturulan akış eğrileri, tüm çeşitlerin belirgin biçimde Newtonian olmayan bir akış davranışı sergilediğini göstermektedir. Tablo 16 incelendiğinde, kayma hızının artmasıyla birlikte viskozite değerlerinin genel olarak azalma eğilimi gösterdiği; ancak bazı çeşitlerde yüksek kayma hızlarında plato veya sınırlı düzeyde artışlar görülebildiği dikkati çekmektedir. Bu bulgular, kargo pirinç süspansiyonlarının psödoplastik (kayma ile incelen) karakterde olduğunu ve bu davranışın, uygulanan kayma altında nişasta–protein ağının kısmen çözülmesi, yapı birimlerinin hizalanması ve buna bağlı olarak iç sürtünmenin azalmasıyla ilişkili olabileceğini göstermektedir (Steffe, 1996; Rao, 2007).

Tablo 20’deki veriler, kargo pirinç çeşitleri arasında viskozite düzeyi bakımından önemli farklılıklar olduğunu da ortaya koymaktadır. Düşük kayma hızında ( $10\text{ s}^{-1}$ ) Ç5, Ç6, Ç8, Ç14 ve Ç15 çeşitlerinin,  $100\text{ mPa}\cdot\text{s}$  düzeyine yaklaşan veya bu değeri aşan viskoziteleri ile öne çıktığı görülmektedir. Örneğin 10 s’de Ç5’in viskozitesi  $129.74\text{ mPa}\cdot\text{s}$ , Ç8’in  $151.07\text{ mPa}\cdot\text{s}$  ve Ç15’in  $137.12\text{ mPa}\cdot\text{s}$  düzeyindedir. Buna karşılık Ç2, Ç3, Ç19 ve Ç20 gibi çeşitlerde aynı kayma hızında viskozite değerleri  $6\text{--}45\text{ mPa}\cdot\text{s}$  aralığında kalmaktadır. Bu bulgular, kargo pirinçten hazırlanan süspansiyonların reolojik davranışının yalnızca nişasta konsantrasyonuna değil; aynı zamanda granül morfolojisi, amiloz/amilopetin oranı, protein ve lif miktarı ile kısmen öğütme inceliğine bağlı olarak çeşit bazında değiştiğini göstermektedir (Singh vd., 2003; Bello vd., 2006). Nitekim, pirince uygulanan fiziksel işlemlerin tanedeki supramoleküler yapıyı değiştirerek kompleks viskoziteyi ve sabit kayma koşullarındaki (shear-thinning) davranışını önemli ölçüde etkileyebildiği bildirilmektedir (Pathaw vd., 2021). Bu çerçevede, farklı çeşitlerde gözlenen viskozite düzeyleri; nişasta, protein ve lipid fraksiyonları arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan yapısal farklılıklarla ilişkilendirilebilir (Fitzgerald vd., 2003). Dolayısıyla, yüksek viskoziteye sahip çeşitlerde daha kararlı ve yoğun bir nişasta–protein ağı; düşük viskoziteye sahip çeşitlerde ise daha sınırlı bağlanma ve daha serbest akışlı bir yapı olduğu düşünülmektedir.

Tablo 20. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen kargo pirinç örneklerinde, farklı kayma hızlarındaki viskozite değerleri (mPa·s)

| Çeşit Kodu | 10 kayma hızı (s <sup>-1</sup> ) | 20 kayma hızı (s <sup>-1</sup> ) | 30 kayma hızı (s <sup>-1</sup> ) | 60 kayma hızı (s <sup>-1</sup> ) | 100 kayma hızı (s <sup>-1</sup> ) |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Ç1         | 91.90 ± 9.31 <sup>fg</sup>       | 73.33 ± 1.86 <sup>ij</sup>       | 54.21 ± 2.43 <sup>ij</sup>       | 47.22 ± 5.25 <sup>h</sup>        | 48.38 ± 4.36 <sup>gh</sup>        |
| Ç2         | 28.55 ± 2.47 <sup>b</sup>        | 41.67 ± 1.52 <sup>cd</sup>       | 32.45 ± 2.23 <sup>cd</sup>       | 15.69 ± 1.93 <sup>ab</sup>       | 14.06 ± 2.29 <sup>ab</sup>        |
| Ç3         | 6.17 ± 0.87 <sup>a</sup>         | 10.78 ± 3.95 <sup>a</sup>        | 15.43 ± 3.33 <sup>a</sup>        | 13.57 ± 1.83 <sup>a</sup>        | 12.30 ± 1.80 <sup>a</sup>         |
| Ç4         | 53.89 ± 7.24 <sup>cd</sup>       | 53.02 ± 3.05 <sup>ef</sup>       | 40.25 ± 1.50 <sup>defg</sup>     | 22.76 ± 0.39 <sup>cdefg</sup>    | 14.84 ± 2.91 <sup>abc</sup>       |
| Ç5         | 129.74 ± 6.75 <sup>jk</sup>      | 99.34 ± 7.15 <sup>kl</sup>       | 89.90 ± 9.78 <sup>m</sup>        | 76.92 ± 2.92 <sup>j</sup>        | 75.85 ± 2.85 <sup>i</sup>         |
| Ç6         | 125.80 ± 6.23 <sup>j</sup>       | 80.56 ± 8.54 <sup>j</sup>        | 61.38 ± 4.24 <sup>jk</sup>       | 51.67 ± 7.64 <sup>h</sup>        | 53.33 ± 7.64 <sup>h</sup>         |
| Ç7         | 60.96 ± 7.43 <sup>d</sup>        | 34.78 ± 7.16 <sup>bc</sup>       | 26.43 ± 5.20 <sup>bc</sup>       | 16.73 ± 2.08 <sup>abc</sup>      | 15.91 ± 3.41 <sup>abc</sup>       |
| Ç8         | 151.07 ± 7.76 <sup>l</sup>       | 64.78 ± 3.38 <sup>ghi</sup>      | 47.77 ± 3.43 <sup>ghi</sup>      | 26.59 ± 1.60 <sup>efg</sup>      | 26.80 ± 1.20 <sup>ef</sup>        |
| Ç9         | 90.19 ± 2.83 <sup>fg</sup>       | 54.75 ± 1.33 <sup>ef</sup>       | 38.87 ± 0.42 <sup>def</sup>      | 25.17 ± 2.16 <sup>defg</sup>     | 26.20 ± 0.91 <sup>ef</sup>        |
| Ç10        | 114.02 ± 0.03 <sup>hi</sup>      | 49.65 ± 0.02 <sup>de</sup>       | 36.44 ± 0.04 <sup>de</sup>       | 26.26 ± 0.25 <sup>efg</sup>      | 28.53 ± 0.07 <sup>f</sup>         |
| Ç11        | 93.52 ± 5.52 <sup>g</sup>        | 68.18 ± 3.18 <sup>hi</sup>       | 65.34 ± 5.34 <sup>k</sup>        | 57.50 ± 2.50 <sup>i</sup>        | 45.72 ± 4.28 <sup>g</sup>         |
| Ç12        | 108.12 ± 4.95 <sup>h</sup>       | 65.16 ± 3.41 <sup>ghi</sup>      | 45.05 ± 2.70 <sup>fgh</sup>      | 22.36 ± 0.83 <sup>cdef</sup>     | 21.50 ± 0.86 <sup>cde</sup>       |
| Ç13        | 90.37 ± 7.68 <sup>fg</sup>       | 56.15 ± 7.38 <sup>efg</sup>      | 41.27 ± 4.58 <sup>efg</sup>      | 28.67 ± 0.91 <sup>fg</sup>       | 30.18 ± 1.64 <sup>f</sup>         |
| Ç14        | 122.52 ± 3.12 <sup>ij</sup>      | 103.20 ± 6.64 <sup>l</sup>       | 99.96 ± 6.84 <sup>n</sup>        | 97.49 ± 8.58 <sup>k</sup>        | 90.46 ± 8.66 <sup>j</sup>         |
| Ç15        | 137.12 ± 2.88 <sup>k</sup>       | 91.61 ± 8.08 <sup>k</sup>        | 74.35 ± 5.57 <sup>l</sup>        | 74.73 ± 3.09 <sup>j</sup>        | 72.84 ± 3.67 <sup>i</sup>         |
| Ç16        | 82.00 ± 8.89 <sup>ef</sup>       | 71.39 ± 6.30 <sup>hij</sup>      | 45.19 ± 7.37 <sup>fgh</sup>      | 29.01 ± 5.28 <sup>g</sup>        | 30.20 ± 6.22 <sup>f</sup>         |
| Ç17        | 72.45 ± 2.69 <sup>e</sup>        | 51.82 ± 0.74 <sup>ef</sup>       | 37.65 ± 0.71 <sup>def</sup>      | 24.20 ± 3.96 <sup>defg</sup>     | 23.43 ± 2.03 <sup>def</sup>       |
| Ç18        | 92.33 ± 7.37 <sup>fg</sup>       | 65.67 ± 7.51 <sup>ghi</sup>      | 33.67 ± 5.84 <sup>cde</sup>      | 18.94 ± 2.12 <sup>abcd</sup>     | 18.56 ± 3.85 <sup>abcd</sup>      |
| Ç19        | 26.20 ± 6.33 <sup>b</sup>        | 33.07 ± 5.23 <sup>bc</sup>       | 26.44 ± 2.53 <sup>bc</sup>       | 15.33 ± 0.84 <sup>ab</sup>       | 14.17 ± 2.05 <sup>ab</sup>        |
| Ç20        | 45.80 ± 6.30 <sup>c</sup>        | 29.88 ± 7.07 <sup>b</sup>        | 22.73 ± 6.12 <sup>ab</sup>       | 13.86 ± 2.11 <sup>a</sup>        | 11.92 ± 1.32 <sup>a</sup>         |
| Ç21        | 81.85 ± 7.85 <sup>ef</sup>       | 52.60 ± 8.78 <sup>ef</sup>       | 35.23 ± 3.12 <sup>de</sup>       | 20.33 ± 2.55 <sup>bcd</sup>      | 20.37 ± 3.02 <sup>bcd</sup>       |
| Ç22        | 74.22 ± 2.31 <sup>e</sup>        | 61.55 ± 1.36 <sup>fgh</sup>      | 51.06 ± 0.96 <sup>hi</sup>       | 49.63 ± 1.27 <sup>h</sup>        | 50.41 ± 0.99 <sup>gh</sup>        |

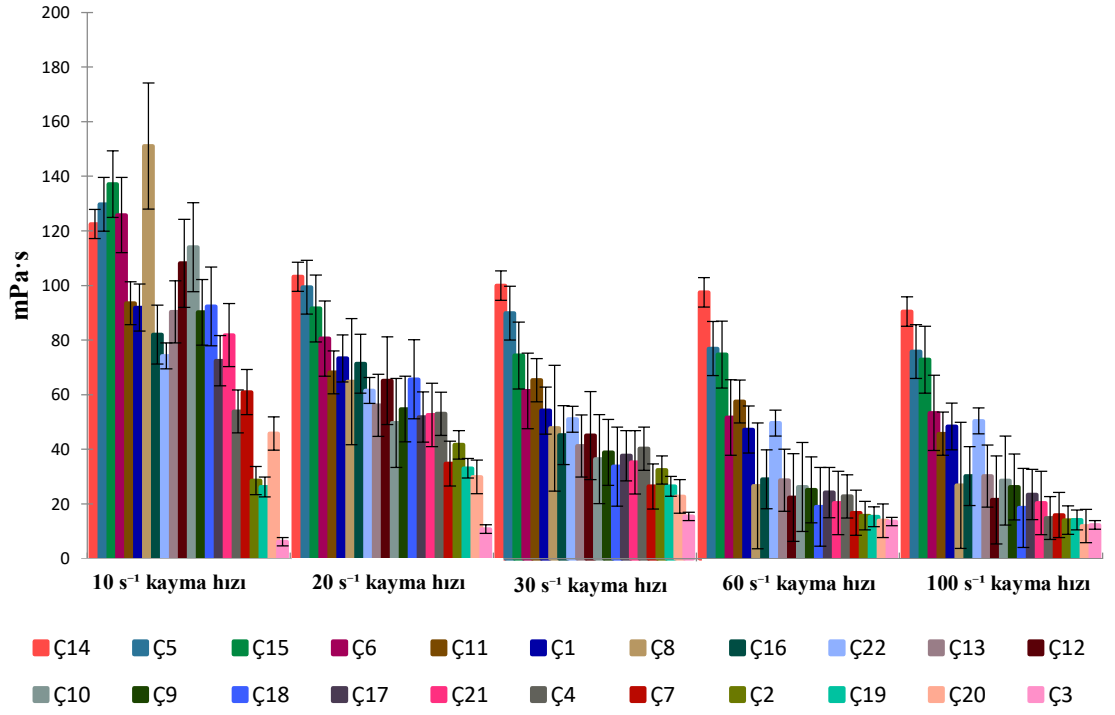
\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler, p<0.05 önem düzeyinde farklı değildir.

Akış eğrileri reolojik modeller açısından değerlendirildiğinde, Tablo 16 verileri kargo pirinç süspansiyonlarının Power-law (güç yasası) modeli ile açıklanabileceğini göstermektedir. Güç kanunu modeli  $\tau = K\dot{\gamma}^n$  şeklinde ifade edilmekte olup burada  $\tau$  kayma gerilmesi,  $\dot{\gamma}$  kayma hızı,  $K$  kıvam katsayısı,  $n$  ise akış davranış indisidir. Çalışmada, doğrudan kayma gerilmesi ölçülmemekle birlikte, viskozitenin (yaklaşık olarak  $\eta \sim \tau/\dot{\gamma}$ ) kayma hızına karşı sistematik şekilde azalması, tüm çeşitlerde  $n < 1$  ile tutarlı bir akış karakterine işaret etmekte ve dolayısıyla sistemin kayma ile incelenen bir Güç yasası davranışı sergilediğini düşündürmektedir. Özellikle Ç5, Ç6, Ç8, Ç14 ve Ç15 gibi yüksek viskoziteli çeşitlerde düşük kayma hızlarında viskozitenin çok yüksek, yüksek kayma hızlarında ise anlamlı derecede düşük olması, bu çeşitlerin yüksek kıvam katsayısına (yüksek  $K$ ) ve belirgin shear-thinning davranışa (düşük  $n$ ) sahip olduğunu düşündürmektedir. Literatürde, pirinç esaslı sistemlerde sabit kayma koşullarındaki akışın Güç yasası yaklaşımıyla başarılı biçimde tanımlanabildiği ve akış davranış indisindeki azalmanın kayma ile incelenen davranışını güçlendirdiği bildirilmiştir (Chun

ve Yoo, 2004; Liu vd., 2020). Bu bulgular, çalışmamızda gözlenen viskozite azalımının Güç yasası tipindeki kayma ile incelme davranışıyla tutarlı olduğunu düşündürmektedir.

Kargo pirinç süspansiyonlarında viskozite,  $10 \text{ s}^{-1}$  kayma hızında 6,17–151,07 mPa·s,  $20 \text{ s}^{-1}$ 'de 10,78–103,20 mPa·s,  $30 \text{ s}^{-1}$ 'de 15,43–99,96 mPa·s,  $60 \text{ s}^{-1}$ 'de 13,57–97,49 mPa·s ve  $100 \text{ s}^{-1}$  kayma hızında ise 11,92–90,46 mPa·s aralığında değişim göstermiştir (Tablo 20). Bu sayısal aralıklar, kargo pirinç süspansiyonlarının düşük kayma hızlarında daha koyu, yüksek kayma hızlarında ise belirgin biçimde daha akışkan bir karakter sergilediğini ortaya koymaktadır. Literatürde de, yarı-haşlanmış (parboiled) pirinç esaslı sistemlerde kayma hızının artmasıyla viskozitenin düştüğü ve bu ürünlerin belirgin psödoplastik (shear-thinning) özellikler sergilediği rapor edilmiştir. Bu bulgular, kargo pirinç süspansiyonlarında gözlenen viskozite–kayma hızı ilişkisiyle paralellik göstermektedir (Chinnaswamy vd., 1985; Bhattacharya, 2012).

Diğer taraftan, bazı yüksek viskoziteli akış eğrilerinde (özellikle Ç5, Ç8, Ç14) düşük kayma hızlarında viskozitenin hızla yükselmesi ve çok düşük kayma hızlarında ölçümün zorlaşması, sistemde bir akma gerilmesi varlığına da işaret etmektedir. Bu tür sistemler, Herschel–Bulkley modeli ( $\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$ ) ile daha iyi açıklanabilmektedir. Burada  $\tau_0$  akma gerilmesi olup, sistemin akmaya başlayabilmesi için aşılması gereken minimum gerilmeyi temsil etmektedir. Tablo 16'da kayma gerilmesi ( $\tau$ ) doğrudan ölçülmediğinden, burada yapılan değerlendirme akış eğrisi morfolojisine dayalı nitel bir yorum niteliğindedir. Bununla birlikte, düşük kayma hızlarında çok yüksek viskozite ve kayma hızındaki küçük artışlarla belirgin düşüş gözlenmesi, özellikle Ç5, Ç8 ve Ç14 çeşitlerinde akma gerilmesi benzeri bir davranış olabileceğine işaret etmektedir. Literatürde de nişasta-temelli ve tahıl kökenli süspansiyonlarda Herschel–Bulkley modelinin akış davranışını başarıyla tanımladığı bildirilmektedir (Rao, 2007; Lux vd., 2022). Bu eğilimler, bazı kargo pirinç süspansiyonlarında akmaya başlamadan önce belirli bir başlangıç direncinin bulunabileceğine işaret etmektedir; ancak bu durumun 'akma gerilmesi' olarak tanımlanabilmesi için stres kontrollü ölçümlere ihtiyaç vardır.



Şekil 52. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen kargo pirinç örneklerinde, farklı kayma hızlarındaki viskozite değişimleri. Barlar, ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir.

Düşük viskoziteli çeşitler (Ç2, Ç3, Ç19, Ç20) için akış eğrileri daha “yassı” olup, kayma hızı arttıkça viskozitenin azalması daha yumuşak bir eğriyle gerçekleşmektedir. Bu tür profiller, daha düşük  $K$  değerlerini ve  $n$ 'nin 1'e daha yakın olduğu sistemleri işaret edebilir; dolayısıyla bu çeşitlerin Newtonian davranışa görece daha yakın, daha az yapılı ve daha akışkan süspansiyonlar oluşturduğu söylenebilir. Buna karşılık, orta viskozite düzeyine sahip Ç7, Ç9, Ç11, Ç12, Ç13, Ç16, Ç17, Ç18, Ç21 ve Ç22 çeşitleri, Güç yasası modeline uyan, belirgin kayma ile incelme karakteri gösteren, ancak akma gerilmesi davranışı daha sınırlı olan “ara” profiller sunmaktadır. Bu çeşitlerin akış eğrileri, gıda formülasyonlarında hem işlenebilirlik hem de ürünün kaşık, ağız ve dil üzerindeki kıvam algısı açısından denge sağlayan seçenekler olarak değerlendirilebilir (Ahmed vd., 2016; Jeon vd., 2025).

Proses tasarımı açısından bakıldığında, Tablo 20'de verilen viskozite–kayma hızı verileri, kargo pirinç süspansiyonlarının karıştırma, pompalama, ısıtma-soğutma ve kaplama süreçlerinde gösterecekleri davranış hakkında önemli ipuçları sunmaktadır. Yüksek viskoziteli ve belirgin kayma ile incelme davranışı gösteren çeşitlerin, düşük kayma bölgelerinde (tank içinde, bekleme sırasında) yoğun, koyu kıvamlı bir yapı sunması; yüksek kayma alanlarında (pompa, boru hattı, nozul çıkışı) ise akıcılığın artması, hem işlem kontrolü hem de ürün kıvamının tüketici tarafından algılanması

açısından avantajlıdır. Düşük viskoziteli sistemler ise özellikle püskürtmeli kaplama, sprey kurutma veya içecek formülasyonlarında, düşük enerji gereksinimi ve yüksek akışkanlıkları nedeniyle tercih sebebi olabilir (Steffe, 1996; Rao, 2007). Bu bulgular, kargo pirinç çeşitleri arasındaki reolojik farkların, sadece laboratuvar ölçüm sonuçları olarak değil; aynı zamanda endüstriyel ölçekte proses optimizasyonu ve ürün tasarımı açısından da kritik olduğunu ortaya koymaktadır.





#### 4.16.2. Pirinç Patlağında Reolojik ve Viskozite Davranışları

Bu çalışmada, pirinç patlağı örneklerinin farklı kayma hızlarındaki viskozite davranışları değerlendirilmiş ve çeşitler arasında önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir ( $p < 0.05$ ). Elde edilen sonuçlar, pirinç patlağının reolojik özelliklerinin genetik yapı, nişasta-protein matrisi, endosperm sertliği ve patlatma sonrası oluşan gözeneklilik düzeyi ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir (Tablo 21; Şekil 53).

Reolojik ölçümler, kontrollü kayma/stres reometresi (Anton Paar MCR 102, Avusturya) kullanılarak, paralel plaka geometri (25 mm çap) ve 1 mm boşluk ayarında, 25 °C’de gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın sabit tutulmasıyla termal dalgalanmaların viskozite üzerindeki etkisi minimize edilmiştir. Nişasta bazlı sistemlerde sıcaklık artışının viskoziteyi genellikle üstel (eksponansiyel) biçimde düşürdüğü bilinmektedir. Bu nedenle, elde edilen sonuçların 25 °C koşulları için geçerli olduğu; özellikle 40–60 °C gibi prosesle daha ilişkili sıcaklıklarda mutlak viskozite değerlerinin farklılaşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Literatürde de patlatma işleminin nişasta ağ yapısını zayıflatarak sistemin akış direncini düşürdüğü rapor edilmektedir. Örneğin Kumar ve Prasad (2018), pirinç patlağı örneklerinde pasting (RVA) viskozitesinin belirgin biçimde azaldığını ve bunun jelatinizasyon sonrası daha gevşek bir nişasta matrisinin oluşumuyla ilişkili olduğunu bildirmiştir (Kumar ve Prasad, 2018). Her ne kadar söz konusu çalışma jelleşme (pasting) viskozitesini, bu araştırma ise kayma (shear) viskozitesini değerlendirmiş olsa da, her iki yaklaşım da patlatmanın nişasta yapısını modifiye ederek akış direncini zayıflattığını göstermektedir. RVA esasen jel oluşumu ve pışme davranışını karakterize ederken, reometre ölçümleri doğrudan akış altında viskoziteyi değerlendirmektedir; ancak her iki yöntemde de patlatmanın nişasta–protein matrisini zayıflatan etkisi benzer eğilimler ortaya koymaktadır (Morales-Martínez vd., 2014).

Tablo 21’de sunulan pirinç patlağı çeşitlerine ait viskozite değerleri, tüm kayma hızlarında belirgin biçimde çeşit etkisinin bulunduğunu ve pirinç patlağı süspansiyonlarının Newtonian olmayan bir akış davranışı sergilediğini ortaya koymaktadır. Pirinç patlağı süspansiyonlarında viskozite, 10 s<sup>-1</sup> kayma hızında 107,65–522,99 mPa·s, 20 s<sup>-1</sup>’de 91,20–402,21 mPa·s, 30 s<sup>-1</sup>’de 71,30–353,44 mPa·s, 60 s<sup>-1</sup>’de 47,01–290,94 mPa·s ve 100 s<sup>-1</sup> kayma hızında ise 44,41–254,79 mPa·s aralığında değişim göstermiştir (Tablo 21). Bu sonuçlar, pirinç patlağı süspansiyonlarının düşük kayma hızlarında daha koyu ve yoğun, kayma hızı arttıkça ise belirgin biçimde daha akışkan bir yapı kazandığını ortaya koymakta; dolayısıyla sistemin kayma ile incelen psödoplastik karakterini desteklemektedir. Kayma hızının 10 s<sup>-1</sup>’dan 100 s<sup>-1</sup>’e

yükselmesiyle birlikte bütün çeşitlerde viskozitenin sistematik olarak azalması, bu süspansiyonların kayma ile incelleme (shear-thinning) karakterde olduğunu açıkça göstermektedir. Bu bulgu, nişasta temelli gıda sistemlerinde yaygın olarak rapor edilen davranışla uyumlu olup, uygulanan kayma altında nişasta-protein ağının kısmen çözülmesi, granül ve agregaların akış yönünde hizalanması ve buna bağlı olarak iç sürtünmenin azalması ile açıklanmaktadır (Steffe, 1996; Rao, 2007). Benzer biçimde, puflanmış tahıl unlarının oluşturduğu süspansiyonlarda da jelatinizasyon ve mikro-yapısal değişimlerin etkisiyle belirgin bir kayma ile incelleme (shear-thinning) akış davranışı rapor edilmiştir (Lux vd., 2022).

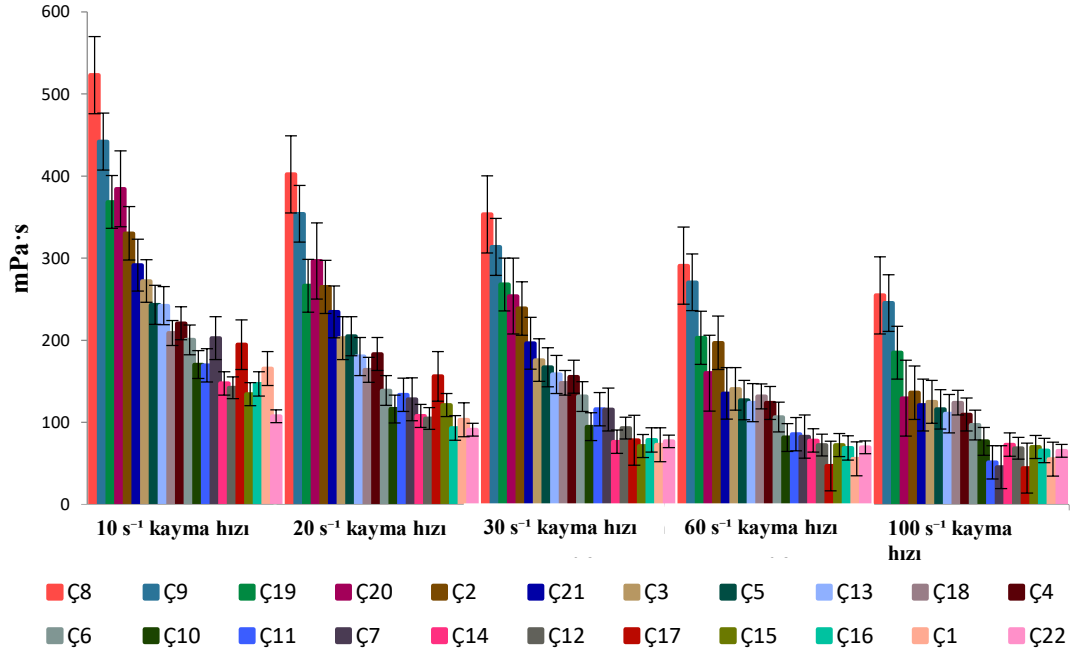
Tablo 21 incelendiğinde, düşük kayma hızında ( $10 \text{ s}^{-1}$ ) ölçülen viskozite değerlerinin oldukça geniş bir aralıkta dağıldığı görülmektedir. Özellikle Ç8 (522,99 mPa·s), Ç9 (442,09 mPa·s), Ç20 (384,44 mPa·s) ve Ç19 (368,50 mPa·s) gibi çeşitler, diğer örneklerle kıyasla çok daha yüksek viskozite değerleri sergileyerek daha güçlü ve yoğun bir süspansiyon yapısına işaret etmektedir. Buna karşılık, Ç22 (107,65 mPa·s), Ç12 (142,17 mPa·s) ve Ç15 (134,45 mPa·s) gibi çeşitlerin aynı kayma hızında daha düşük viskozite değerleri göstermesi, bu sistemlerin daha zayıf yapılı ve daha serbest akışlı olduğunu düşündürmektedir. Bu çeşitler arası farklar, pirinç patlağı ununun reolojik davranışının yalnızca nişasta miktarına değil; nişasta granül boyutu ve morfolojisi, amiloz/amilopketin oranı, protein ve lif içeriği ile öğütme inceliği (partikül boyutu) gibi yapısal özelliklere güçlü biçimde bağlı olduğunu göstermektedir (Singh vd., 2003; Ahmed vd., 2015).

Tablo 21. Farklı eltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlağı örneklerinde, farklı kayma hızlarındaki viskozite değerleri (mPa.s)

| eşit Kodu | 10 kayma hızı (s <sup>-1</sup> ) | 20 kayma hızı (s <sup>-1</sup> ) | 30 kayma hızı (s <sup>-1</sup> ) | 60 kayma hızı (s <sup>-1</sup> ) | 100 kayma hızı (s <sup>-1</sup> ) |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1         | 165.740 ± 5.13 <sup>c</sup>      | 103.390 ± 1.61 <sup>b</sup>      | 72.742 ± 3.62 <sup>a</sup>       | 55.847 ± 7.97 <sup>a</sup>       | 55.434 ± 7.91 <sup>b</sup>        |
| 2         | 330.323 ± 4.52 <sup>j</sup>      | 265.042 ± 4.94 <sup>l</sup>      | 238.780 ± 6.91 <sup>i</sup>      | 196.908 ± 2.75 <sup>j</sup>      | 136.390 ± 4.63 <sup>i</sup>       |
| 3         | 272.228 ± 6.74 <sup>h</sup>      | 202.635 ± 0.32 <sup>j</sup>      | 175.950 ± 4.07 <sup>g</sup>      | 140.875 ± 4.18 <sup>h</sup>      | 125.023 ± 4.19 <sup>h</sup>       |
| 4         | 220.775 ± 2.37 <sup>f</sup>      | 183.353 ± 8.88 <sup>i</sup>      | 155.605 ± 5.52 <sup>e</sup>      | 123.770 ± 6.66 <sup>f</sup>      | 109.650 ± 6.01 <sup>f</sup>       |
| 5         | 243.333 ± 7.64 <sup>g</sup>      | 205.103 ± 5.16 <sup>j</sup>      | 167.260 ± 2.74 <sup>fg</sup>     | 127.225 ± 7.78 <sup>fg</sup>     | 115.985 ± 9.25 <sup>fg</sup>      |
| 6         | 200.665 ± 9.02 <sup>de</sup>     | 138.863 ± 7.06 <sup>g</sup>      | 131.660 ± 4.80 <sup>d</sup>      | 106.505 ± 3.97 <sup>e</sup>      | 96.946 ± 2.77 <sup>e</sup>        |
| 7         | 202.530 ± 7.53 <sup>de</sup>     | 128.105 ± 6.90 <sup>ef</sup>     | 115.640 ± 9.36 <sup>c</sup>      | 82.775 ± 7.78 <sup>d</sup>       | 45.602 ± 4.40 <sup>a</sup>        |
| 8         | 522.990 ± 7.11 <sup>n</sup>      | 402.210 ± 1.00 <sup>o</sup>      | 353.435 ± 3.11 <sup>m</sup>      | 290.935 ± 0.61 <sup>l</sup>      | 254.785 ± 2.89 <sup>l</sup>       |
| 9         | 442.085 ± 1.91 <sup>m</sup>      | 354.085 ± 3.91 <sup>n</sup>      | 313.805 ± 1.19 <sup>l</sup>      | 270.690 ± 4.31 <sup>k</sup>      | 245.360 ± 4.64 <sup>k</sup>       |
| 10        | 170.397 ± 8.85 <sup>c</sup>      | 116.379 ± 5.84 <sup>cd</sup>     | 94.802 ± 8.06 <sup>b</sup>       | 81.788 ± 5.55 <sup>cd</sup>      | 77.080 ± 5.50 <sup>d</sup>        |
| 11        | 169.667 ± 9.50 <sup>c</sup>      | 133.550 ± 6.45 <sup>fg</sup>     | 116.195 ± 8.81 <sup>c</sup>      | 85.745 ± 5.75 <sup>d</sup>       | 51.341 ± 3.66 <sup>ab</sup>       |
| 12        | 142.165 ± 9.70 <sup>b</sup>      | 104.984 ± 6.50 <sup>b</sup>      | 93.222 ± 6.01 <sup>b</sup>       | 72.594 ± 5.86 <sup>bc</sup>      | 68.600 ± 5.94 <sup>cd</sup>       |
| 13        | 242.240 ± 9.76 <sup>g</sup>      | 180.340 ± 9.66 <sup>i</sup>      | 158.500 ± 8.50 <sup>ef</sup>     | 124.125 ± 5.88 <sup>f</sup>      | 110.613 ± 6.10 <sup>f</sup>       |
| 14        | 147.590 ± 7.90 <sup>b</sup>      | 107.950 ± 8.79 <sup>bc</sup>     | 76.577 ± 7.97 <sup>a</sup>       | 78.044 ± 6.50 <sup>bcd</sup>     | 72.954 ± 5.90 <sup>cd</sup>       |
| 15        | 134.450 ± 8.55 <sup>b</sup>      | 121.330 ± 6.33 <sup>de</sup>     | 71.299 ± 4.30 <sup>a</sup>       | 72.579 ± 2.42 <sup>bc</sup>      | 70.271 ± 2.73 <sup>cd</sup>       |
| 16        | 147.017 ± 6.58 <sup>b</sup>      | 93.304 ± 6.32 <sup>a</sup>       | 78.832 ± 2.49 <sup>a</sup>       | 69.007 ± 0.33 <sup>b</sup>       | 65.774 ± 0.14 <sup>c</sup>        |
| 17        | 194.695 ± 9.69 <sup>d</sup>      | 156.105 ± 6.11 <sup>h</sup>      | 78.400 ± 3.40 <sup>a</sup>       | 47.005 ± 4.00 <sup>a</sup>       | 44.407 ± 2.59 <sup>a</sup>        |
| 18        | 208.877 ± 7.97 <sup>ef</sup>     | 164.085 ± 6.29 <sup>h</sup>      | 148.155 ± 3.22 <sup>e</sup>      | 131.747 ± 0.65 <sup>fgh</sup>    | 124.070 ± 1.06 <sup>gh</sup>      |
| 19        | 368.495 ± 7.50 <sup>k</sup>      | 266.480 ± 3.52 <sup>l</sup>      | 268.065 ± 8.07 <sup>k</sup>      | 203.050 ± 3.95 <sup>j</sup>      | 185.070 ± 2.93 <sup>j</sup>       |
| 20        | 384.440 ± 9.06 <sup>l</sup>      | 296.640 ± 5.75 <sup>m</sup>      | 253.875 ± 4.38 <sup>j</sup>      | 160.143 ± 9.79 <sup>i</sup>      | 129.538 ± 4.83 <sup>hi</sup>      |
| 21        | 291.667 ± 7.64 <sup>i</sup>      | 234.645 ± 4.65 <sup>k</sup>      | 196.407 ± 7.98 <sup>h</sup>      | 135.413 ± 4.39 <sup>gh</sup>     | 121.355 ± 3.65 <sup>gh</sup>      |
| 22        | 107.647 ± 6.58 <sup>a</sup>      | 91.201 ± 5.36 <sup>a</sup>       | 76.982 ± 9.24                    | 69.728 ± 7.37 <sup>b</sup>       | 65.477 ± 6.08 <sup>c</sup>        |

\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler, p<0.05 önem düzeyinde farklı değildir.

Kayma hızı arttıkça, yüksek viskoziteli çeşitlerde viskozitedeki düşüşün daha belirgin olması, bu grupta kayma ile incelme (shear-thinning) davranışının daha güçlü olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle 8 ve 9 gibi çeşitlerde, düşük kayma hızlarında çok yüksek olan viskozitenin yüksek kayma hızlarında anlamlı düzeyde azalması; düşük kayma koşullarında güçlü bir üç boyutlu ağ yapısının varlığına, ancak bu yapının kayma etkisi altında hızla yeniden dzenlenebildiğine işaret etmektedir. Buna karşılık, bazı orta viskoziteli çeşitlerde (rneğin 6, 12 ve 16) viskozitenin kayma hızına bağlı olarak daha kademeli azalması, daha stabil ve kaymaya karşı nispeten dirençli bir nişasta–protein matrisi olabileceğini düşündürmektedir. Benzer akış profilleri pirinç ve nişasta bazlı sistemlerde daha önce de rapor edilmiş; kayma altında viskozite azalımının, nişasta ağının zayıflaması ve yapı birimlerinin yeniden düzenlenmesiyle ilişkili olduğu belirtilmiştir (Kim ve Yoo, 2006; Pathaw vd., 2021).



Şekil 53. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlağı örneklerinde, farklı kayma hızlarındaki viskozite değişimleri. Barlar, ortalama değerlerin standart sapmalarını göstermektedir.

Düşük viskoziteli çeşitlerde (örneğin Ç1, Ç14, Ç15 ve Ç22) akış eğrilerinin daha “yassı” bir profil sergilediği ve kayma hızı arttıkça viskozite azalmasının daha sınırlı olduğu gözlenmektedir. Bu tür profiller, kıvam katsayısının (K) daha düşük ve akış davranış indisinin (n) 1’e daha yakın olduğu sistemleri işaret etmekte; dolayısıyla bu çeşitlerin Newtonian davranışa görece daha yakın, daha az yapılı ve daha akışkan süspansiyonlar oluşturduğunu düşündürmektedir (Steffe, 1996; Rao, 2007). Buna karşılık, orta–yüksek viskozite grubunda yer alan çeşitler, belirgin psödoplastik davranış sergilemekle birlikte hem işlenebilirlik hem de ürün kıvam algısı açısından daha dengeli bir reolojik profil sunmaktadır. Bu tür ara profillerin, gıda formülasyonlarında karıştırma, pompalama ve ısıtma işlem gibi proses adımları açısından avantaj sağladığı literatürde bildirilmektedir (Fitzgerald vd., 2003; Ye vd., 2016). Benzer şekilde, Park vd. (2025), pirinç patlağı esaslı sistemlerde kayma hızı arttıkça viskozitenin azaldığını ve psödoplastik (kayma ile incelen) bir akış karakteri gösterdiğini bildirmiştir. Araştırmacılar, bu davranışın patlatma sırasında oluşan gözenekli mikro yapı, kısmi jelatinizasyon ve moleküler yeniden düzenlenme ile ilişkili olduğunu ve özellikle gözenekli ürünlerin mekanik stabilitesi açısından önemli bir avantaj sağladığını vurgulamaktadır (Park vd., 2025). Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, pirinç

patlağının akış karakterinin Newtonian olmayan ve kayma ile incelen sistemlerle uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.

Patlatma işlemine ilişkin literatür bulguları, bu çalışmada elde edilen reolojik sonuçları destekler niteliktedir. Itagi vd. (2023), farklı pirinç genotiplerinden ürettikleri pirinç patlaklarında şişirme/patlatma işleminin nişasta granül bütünlüğünü zayıflattığını ve endospermde belirgin biçimde gözenekli bir yapı oluşturduğunu bildirmiştir. Araştırmacılar, RVA ile belirlenen pasting viskozitesindeki düşüşü; patlatma sırasında gelişen ani buhar basıncı, kısmi jelatinizasyon ve nişasta-protein ağının parçalanmasıyla açıklamaktadır (Itagi vd., 2023). Bizim çalışmamızda pasting parametreleri ölçülmemekle birlikte, kayma viskozitesi sonuçlarında gözlenen düşüş eğilimi, söz konusu yapısal zayıflama mekanizmasıyla nitel olarak uyumludur. Ayrıca Itagi vd. (2023), patlatma performansındaki farklılıkların genetik yapı, endosperm yoğunluğu ve lif içeriği ile yakından ilişkili olduğunu vurgulamış; bu bulgu, çeşitler arasında saptadığımız reolojik farklılıkların yalnızca işlem koşullarından değil, hammadde özelliklerinden de kaynaklanabileceğini göstermektedir (Itagi vd., 2023).

Tablo 21’de aynı kayma hızında verilen istatistiksel harf grupları, çeşitler arasındaki viskozite farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle düşük kayma hızlarında yüksek viskoziteli çeşitlerin üst harf gruplarında, düşük viskoziteli çeşitlerin ise alt harf gruplarında yer alması, pirinç patlağı çeşitlerinin reolojik davranışında çeşit etkisinin belirleyici olduğunu açıkça göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, Tablo 21’de sunulan viskozite-kayma hızı ilişkisi, pirinç patlağı süspansiyonlarının Power-law tipi psödoplastik davranış sergilediğini; bazı yüksek viskoziteli çeşitlerde ise Herschel-Bulkley modeli ile açıklanabilecek akma gerilmesi (yield stress) benzeri bir davranışın olası olduğunu düşündürmektedir (Rao, 2007; Ye vd., 2016). Bu sonuçlar, pirinç patlağı çeşitleri arasındaki reolojik farklılıkların yalnızca temel bilimsel açıdan değil; aynı zamanda endüstriyel proses tasarımı ve ürün geliştirme açısından da kritik öneme sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Benzer şekilde, kuru ısı ile modifiye edilen pirinç unlarında görünür viskozitenin belirgin biçimde arttığı ve buna bağlı olarak kıvam katsayısının yükseldiği, ancak akış davranış indisinin düşmesiyle sistemlerin psödoplastik karakterini koruduğu rapor edilmiştir. Bu durum, patlatma sonrası bazı çeşitlerde gözlenen viskozite artışının, nişasta-protein etkileşimlerinin güçlenmesi ve su tutma kapasitesindeki artışla ilişkili olabileceğini düşündürmektedir (Qin vd., 2016).

Literatürde pirinç patlağı ununa ilişkin reolojik açıdan sınırlı sayısal veri bulunmaktadır. Jahangir vd. (2009), pirinç patlağı unu süspansiyonunun 25 °C’de Brookfield viskozimetre ile yaklaşık 200 cps viskozite verdiğini bildirmiştir (Jahangir vd., 2009). Bu değer tek nokta ölçümü olmakla birlikte, şişirilmiş/patlatılmış pirinç ürünlerinde viskozitenin orta düzeylerde seyredebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, söz konusu çalışma akış eğrisi ( $10\text{--}100\text{ s}^{-1}$ ) sunmadığı için akış davranışı ve kayma ile incelme özellikleri açısından doğrudan karşılaştırma yapmak mümkün değildir.

Bu bulgular, kargo pirinç ile pirinç patlağı birlikte değerlendirildiğinde daha anlamlı hâle gelmektedir. Kargo pirinçten pirinç patlağına geçiş, akış karakterini değiştirmemiş; ancak viskozite düzeylerini çeşit-spesifik biçimde yeniden düzenlemiştir. Patlatma sonrasında özellikle Ç8, Ç9, Ç19 ve Ç20 gibi bazı çeşitlerde viskozitenin belirgin biçimde yükselmesi; patlatma sırasında gelişen ani buhar basıncının endospermde gözenekli bir yapı oluşturmaya rağmen, nişasta–protein kalıntılarının suyla etkileşimini ve su tutma kapasitesini artırarak daha yoğun bir süspansiyon fazı meydana getirmesiyle ilişkili olabilir. Buna karşın, hem kargo hem de patlak örneklerde viskozitenin kayma hızıyla azalması, sistemin psödoplastik (kayma ile incelen) akış karakterini koruduğunu göstermektedir. Dolayısıyla patlatma, bazı çeşitlerde akış direncini artırabilmekte; ancak yapı kayma altında hızla çözülebildiğinden proses sırasında akışkanlık yine artmaktadır. Bu bulgular, reolojik davranışın yalnızca işleme koşullarıyla değil, çeşit-bazlı mikro-yapısal özelliklerle birlikte ele alınması gerektiğini ve patlatma parametrelerinin hammadde özellikleriyle birlikte optimize edilmesinin kritik önem taşıdığını göstermektedir.

#### 4.17. Pirinç Patlaklarında Nişasta Yapısının FTIR ile Değerlendirilmesi

Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, moleküllerin titreşim özelliklerini inceleyerek bağ türleri, fonksiyonel gruplar ve mikro-çevredeki çok küçük yapısal değişimleri doğrudan ortaya koyabilen güçlü bir tekniktir. Özellikle karbonil, hidroksil ve amin gibi dipol momenti olan bağların titreşim frekanslarındaki kaymaların izlenmesi yoluyla; hidrojen bağları, protonasyon–deprotonasyon olayları, metal–ligand etkileşimleri ve konformasyonel değişimler hakkında ayrıntılı bilgi sağlar. FTIR, farklı fonksiyonel grupları aynı anda algılayabildiği için, çok bileşenli gıda sistemlerinde pratik bir avantaj sağlar; çünkü tek bir ölçümle proteinler, amino asit yan zincirleri, ko-faktörler ve su molekülleri birlikte değerlendirilebilir. Ayrıca reaksiyon-indüklü FTIR fark spektroskopisi, belirli bir işlem (ısı, ışık, oksidasyon vb.) sırasında yalnızca değişime uğrayan grupların titreşimlerinin seçici biçimde ayırt edilmesine olanak verir. Bu yönleriyle FTIR, biyokimyasal ve gıda sistemlerinde yapısal–fonksiyonel ilişkilerin çözülmesinde tamamlayıcı ve çoğu durumda benzersiz bilgiler sunar (Berthomieu ve Hienerwadel, 2009). Bununla birlikte, gıda sistemlerinde kalite, güvenlik ve özgünlüğün doğru belirlenmesi gereksinimi dikkate alındığında, FTIR’ın hızlı, tahribatsız ve minimal örnek hazırlama gerektiren yapısı önemli bir üstünlük sağlamaktadır. Orta kızılötesi (MIR) bölgedeki “parmak izi” spektrumu sayesinde ürünlerin bileşimi, saflığı ve orijini kısa sürede doğrulanabilmekte; olası adulterasyon ve kontaminasyonlar tarama düzeyinde saptanabilmektedir. Çözücü kullanımının az olması, yüksek örnekleme hızı ve çok bileşenli sistemleri aynı anda değerlendirebilmesi, FTIR’i gıdalarda rutin kalite kontrol ve doğrulama uygulamaları için güçlü bir araç haline getirmektedir (Rodriguez-Saona ve Allendorf, 2011).

Pirinç patlaklarına ait FTIR spektrumları, ürün matrisinin temel bileşeninin nişasta olduğunu açık biçimde ortaya koymuştur. Spektrumlarda 3200–3700  $\text{cm}^{-1}$  aralığında gözlenen geniş bant, nişastanın hidroksil grupları ve matrikse adsorbe/bağlanmış su ile ilişkili O–H gerilme titreşimlerini temsil etmektedir. Bu bant, su–nişasta hidrojen bağı ağındaki yeniden düzenlemelere duyarlı olup, nem ve kısa-mesafe yapısal düzen hakkında önemli bilgiler sunmaktadır (Lu vd., 2021; Dankar vd., 2024). Bu nedenle FTIR, pirinç patlaklarında patlatma işleminin nişasta–su etkileşimleri ve yapısal yeniden organizasyon üzerindeki etkilerini değerlendirmede güçlü bir araçtır.

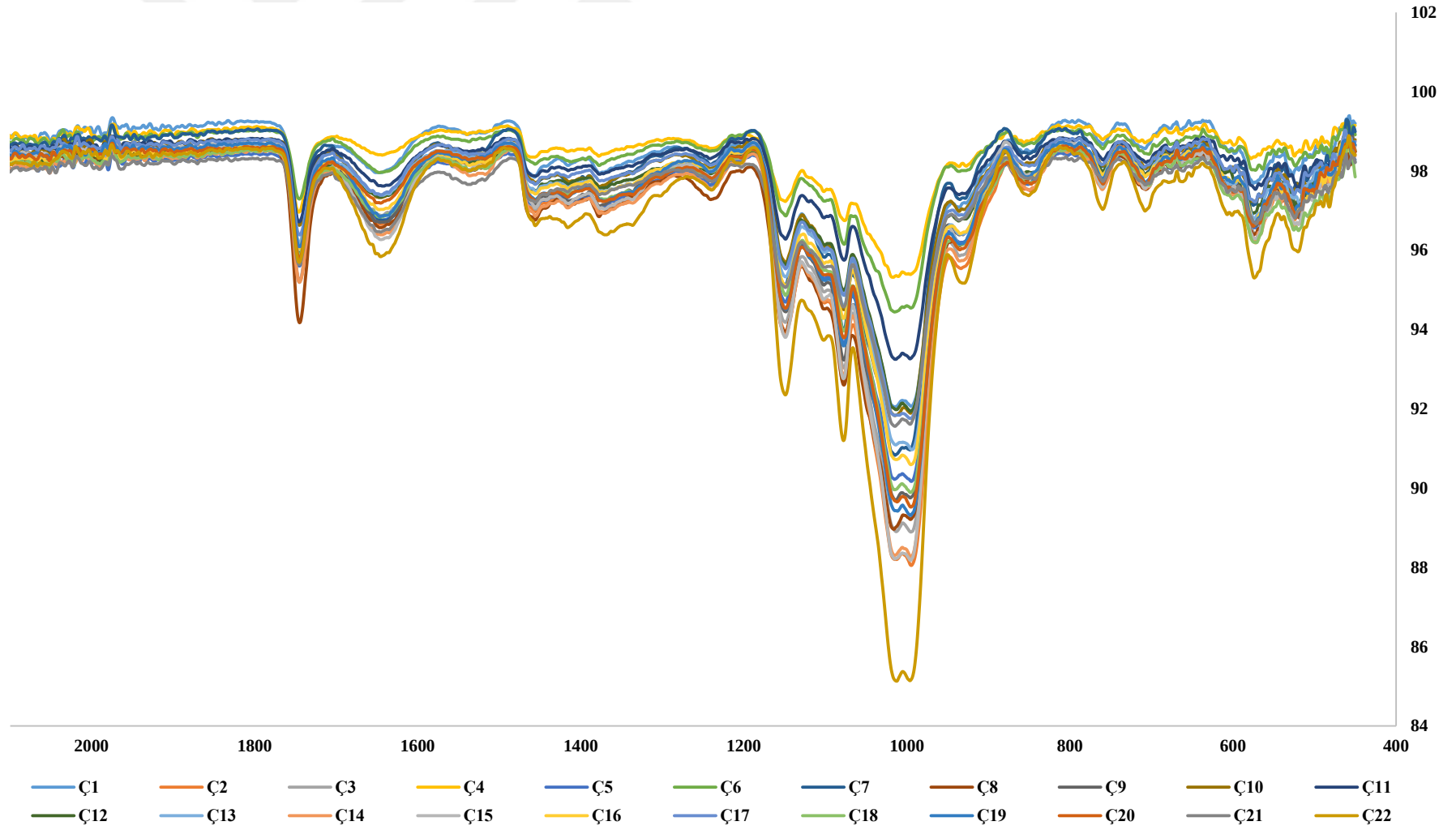
2920–2850  $\text{cm}^{-1}$  aralığında gözlenen bantlar, alifatik C–H ( $\text{CH}_2/\text{CH}_3$ ) gerilme titreşimlerine karşılık gelmekte olup matristeki hidrokarbon zincirlerine (özellikle lipidlerin  $\text{CH}_2/\text{CH}_3$  gruplarına) duyarlıdır. Ayrıca ~1743  $\text{cm}^{-1}$  civarında tespit edilen bant, esterleşmiş lipid/yağ asitlerine ait C=O (karbonil) gerilme titreşimleri ile

ilişkilendirilmekte ve pirinç patlaklarında düşük düzeyde de olsa lipid varlığını desteklemektedir (Forfang vd., 2017; Mekonnen, 2023). Dolayısıyla, pirinç patlağı gibi lipid içeriği görece düşük ürünlerde dahi FTIR spektrumunda gözlenen bu karakteristik bantlar, matristeki küçük lipid fraksiyonlarının güvenilir biçimde izlenmesine olanak sağlamaktadır.

Nişastanın yapısal özellikleri açısından en kritik bölge  $1200\text{--}900\text{ cm}^{-1}$  aralığı olup, bu bölge FTIR analizinde “parmak izi bölgesi” olarak tanımlanmaktadır. Bu bölgede  $1047\text{ cm}^{-1}$  bandı daha çok düzenli (kristalin benzeri) nişasta bölgeleriyle,  $1022\text{ cm}^{-1}$  bandı ise amorf bölgelerle ilişkilendirilmektedir. Bu nedenle  $R(1047/1022)$  oranı, nişastanın kısa menzilli moleküler düzen derecesinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir parametredir (van Soest vd., 1995; Warren vd., 2016; Lu vd., 2021). Buna ek olarak,  $995\text{ cm}^{-1}$  bandının nişasta zincirlerindeki çift sarmal (double-helix) düzen ile ilişkili olduğu ve  $R(995/1022)$  oranının helikal yapı organizasyonuna dair tamamlayıcı bir gösterge olarak kullanılabileceği literatürde rapor edilmiştir (Capron vd., 2007; Warren vd., 2016).

Bu çalışmada pirinç patlakları için hesaplanan  $R(1047/1022)$  değerlerinin  $0.666\text{--}0.790$  aralığında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 54). Patlatma sırasında uygulanan yüksek sıcaklık ve ani genleşme, nişasta granüllerinde jelatinizasyonu hızlandırarak kristalin bölgelerin çözünmesine ve yapının kısmen amorf hale gelmesine katkıda bulunabilmektedir. Bu nedenle elde edilen oranların genel olarak düşük–orta düzeyde olması, patlak ürünlerin işlenme karakteriyle uyumludur (Lu vd., 2021). Bununla birlikte örnekler arasında belirgin farklılıklar mevcuttur. Ç4 örneği,  $R(1047/1022)=0.790$  değeri ile kısa menzilli düzenin en yüksek olduğu örnek iken; Ç22 örneği,  $R(1047/1022)=0.666$  değeri ile daha belirgin amorf karakter sergilemiştir (Şekil 54). Bu farklılık, patlatma koşulları, başlangıç nemi ve depolama süresince gerçekleşebilecek yapısal değişimlerin, nişastanın kısa menzilli düzeni üzerinde etkili olabileceğine işaret etmektedir.





Şekil 54. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlağı örneklerinde FTIR değişimleri

Heliks yapıyı temsil eden R(995/1022) oranlarının örnekler arasında değişkenlik göstermesi, patlak ürün matrisinin tamamen homojen bir amorf yapıdan oluşmadığını düşündürmektedir. Literatürde, jelatinize veya yoğun işlem görmüş nişasta sistemlerinde genel amorflaşmaya rağmen çift sarmal (double-helix) yapıların kısmen korunabildiği ve amorf matris içerisinde heterojen mikro-yapıların oluşabildiği bildirilmektedir (Capron vd., 2007; Warren vd., 2016). Bu bağlamda, bazı örneklerde R(1047/1022) oranı düşük olmasına rağmen R(995/1022) oranının görece yüksek bulunması, amorf ağırlıklı bir matris içerisinde sınırlı da olsa heliks düzeninin varlığını desteklemektedir. Bu durum, patlatma işlemi sırasında nişasta zincirlerinin tamamen düzensizleşmediğini ve belirli helikal motiflerin yapısal olarak korunabildiğini düşündürmektedir (Lu vd., 2021).

Pirinç patlaklarına ait FTIR analizlerinden elde edilen kısa menzilli düzen oranları (1047/1022), heliks/düzen göstergesi (995/1022), O–H bandı absorbansı (A3290) ve ester karbonil bandı absorbansı (A1743) birlikte değerlendirildiğinde, örnekler arasında belirgin yapısal farklılıkların bulunduğu görülmektedir. Örneklerin önemli bir kısmında 1047/1022 oranının yüksek olması (örneğin Ç1, Ç4, Ç5, Ç6, Ç8, Ç9, Ç10, Ç11, Ç13, Ç16, Ç17 ve Ç21), patlatma işlemi sonrasında nişastanın tamamen homojen bir amorf yapıya dönüşmediğini, bazı örneklerde kısa menzilli düzenin görece olarak korunabildiğini işaret etmektedir. Bu grubun uç örneklerinden Ç4, en yüksek düzen oranına (0.790) ve en düşük A3290 değerine (0.0102) sahip olmasıyla, daha düşük bağlanmış su içeriği ve daha organize bir nişasta matrisiyle uyumlu bir profil sergilemektedir (Şekil 54).

Buna karşılık, 1047/1022 oranının düşük olduğu ve “amorf yüksek” olarak sınıflandırılan örnekler (Ç14, Ç15, Ç18, Ç19 ve özellikle Ç22), patlatma ve işleme koşullarının nişasta granül yapısında daha ileri düzeyde jelatinizasyon ve amorflaşmaya yol açtığını düşündürmektedir. Bu grupta yer alan Ç22 örneği, en düşük düzen oranını (0.666) en yüksek A3290 değeri (0.0352) ile birlikte vermesi nedeniyle, bağlanmış su/hidrojen bağı etkileşimlerinin artışı ile kısa menzilli düzenin zayıflaması arasında olası bir ilişkiye işaret etmektedir. Heliks/düzen göstergesi olarak kullanılan 995/1022 oranının bazı amorf ağırlıklı örneklerde (Ç14, Ç15, Ç18 ve Ç19) yüksek bulunması, patlak matrisin tamamen tek tip amorf bir yapıdan oluşmadığını, amorf bölgeler içinde kısmi heliks düzeninin veya heterojen mikro-yapıların varlığını işaret etmektedir (Şekil 54).

Nem/H-bağı göstergesi olan A3290 değerlerinin yüksek olduğu örneklerde (Ç2, Ç3, Ç7, Ç14, Ç15 ve Ç22) düzen oranlarının genel olarak daha düşük seyretmesi, su–nişasta etkileşimlerinin hidrojen bağı ağını yeniden düzenleyerek amorf karakterin güçlenmesiyle

ilişkili olabileceğine işaret etmektedir. Lipid izini temsil eden A<sub>1743</sub> bandı ise örnekler arasında değişkenlik göstermiş; bazı örneklerde (özellikle Ç8, Ç2, Ç3, Ç14 ve Ç20) daha yüksek lipid sinyali saptanmıştır (Şekil 19). Bu bulgu, pirinç patlaklarında lipid miktarı veya lipid dağılımının örnekler arasında farklılaşabileceğini ve bu farklılaşmanın, su etkileşimleriyle birlikte, nişasta matrisinin mikro-yapısal özelliklerini dolaylı olarak etkileyebileceğini düşündürmektedir.

3290 cm<sup>-1</sup> civarında gözlenen O–H bandının absorptans değeri (A<sub>3290</sub>), nişastadaki bağlanmış su miktarı ve hidrojen bağı etkileşimleri hakkında dolaylı bilgi vermektedir (Dankar vd., 2024). Bu çalışmada A<sub>3290</sub> değerlerinin örnekler arasında anlamlı farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle Ç22 örneği, A<sub>3290</sub>=0.0352 ile en yüksek değeri verirken, Ç4 örneği A<sub>3290</sub>=0.0102 ile en düşük değeri göstermiştir (Şekil 54).

Bu iki örnek birlikte değerlendirildiğinde, Ç22'nin yüksek A<sub>3290</sub> ve düşük R(1047/1022) değerleri ile daha nemli ve daha amorf bir yapıya sahip olduğu; buna karşılık Ç4'ün düşük A<sub>3290</sub> ve yüksek R(1047/1022) değerleri ile daha düşük bağlanmış su içeriği ve daha düzenli bir nişasta yapısı sergilediği görülmektedir (Şekil 19). Literatürde suyun nişasta zincirleri arasındaki hidrojen bağlarını yeniden düzenleyerek kısa menzilli yapıyı etkileyebildiği ve FTIR oranlarının bu etkiye duyarlı olduğu bildirilmiştir (Lu vd., 2021; Dankar vd., 2024). Bu sonuçlar, pirinç patlaklarında su-nişasta etkileşimlerinin yapısal düzen üzerinde kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

FTIR spektrumlarında ~1743 cm<sup>-1</sup> civarında gözlenen bant, esterleşmiş yağ asitlerine ait C=O (karbonil) gerilme titreşimlerini temsil etmekte olup nişasta bazlı ürünlerde matriste bulunan lipidlerin karakteristik bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Guillén ve Cabo, 1997; van Soest vd., 1995). Bu çalışmada A<sub>1743</sub> değerlerinin bazı örneklerde (örneğin Ç8 ve Ç14) daha yüksek bulunması (Şekil 19), lipid içeriğinin veya lipidlerin nişasta matrisi içindeki dağılımının örnekler arasında farklılık gösterdiğini düşündürmektedir. Literatürde, düşük miktarlarda dahi olsa esterleşmiş lipidlerin FTIR spektrumlarında 1740–1745 cm<sup>-1</sup> bölgesinde ayırt edilebilir sinyaller oluşturabildiği ve bu bant şiddetinin lipid miktarı ve organizasyonu ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Guillén ve Cabo, 1997; Warren vd., 2016).

Ancak literatürde bu bandın yalnızca serbest lipid varlığı ile değil, aynı zamanda amiloz–lipid komplekslerinin oluşumu ile de ilişkili olabileceği belirtilmektedir (Cervantes-Ramírez vd., 2020). Ekstrüzyon ve patlatma gibi yüksek enerjili işlemler sırasında nişasta zincirlerinin lipidlerle etkileşerek heliks yapılar içinde kompleks oluşturabildiği ve bu

komplekslerin nişastanın kısa menzilli düzeni ile su bağlama özelliklerini etkileyebildiği rapor edilmiştir. Bu nedenle, A1743 bandındaki artışlar yalnızca “lipid miktarı” olarak değil, nişasta–lipid etkileşimlerinin olası bir göstergesi olarak da değerlendirilmelidir.

Pirinç patlağına ilişkin literatür incelendiğinde patlatma işlemi, pirinçteki nişasta yapısını “düzen–amorflar dengesi” üzerinden yeniden şekillendiren bir süreçtir. Kumar ve Prasad (2018), pirinç patlağında FTIR transmittansının artmasının, amorf nişasta matrisinin kısmen yeniden düzenlenmesi ve buna paralel sınırlı kristal bölgelerin oluşumu ile ilişkili olabileceğini bildirmiştir (Kumar ve Prasad, 2018). Benzer biçimde, çimlendirilmiş kahverengi pirinç patlağı örneklerinde karbonhidrat bölgesine ait SR-FTIR spektrumlarından hesaplanan kristalin/amorflar oranlarının 0.144–0.159 aralığında yer alması, kısa menzilli düzenin sınırlı kaldığını ve amorf fazın baskın olduğunu göstermektedir (Sonsomboonsuk vd., 2024). Junyusen vd. (2025) tarafından rapor edilen ikinci türev SR-FTIR bulguları ise, özellikle 1200–900  $\text{cm}^{-1}$  karbonhidrat bandında gözlenen bant kaymaları ve şiddet değişimlerinin, puflama sonrasında nişasta zincirlerinin daha düzensiz bir matrise doğru yeniden organize olduğunu ortaya koymaktadır (Junyusen vd., 2025). Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, puflama işleminin nişastada kristalin düzeni zayıflatırken amorf karakteri güçlendirdiği; bununla birlikte sınırlı da olsa yeniden düzenlenmiş kristalin motiflerin varlığını koruyabildiği anlaşılmaktadır. Mevcut çalışmada pirinç patlaklarına ait FTIR oranlarının benzer aralıklarda seyretmesi de, patlatma sonrasında kısa menzilli düzenin kısmen korunurken amorf fazın baskınlaştığı yönündeki bu literatür bulgularıyla uyum göstermektedir.

Genel olarak bulgularımız, pirinç patlaklarında patlatma işlemine bağlı olarak nişastanın önemli ölçüde jelatinize/amorflaşmış bir yapı sergilediğini; ancak örnekler arası farklılıkların (i) kısa menzilli düzen (1047/1022), (ii) heliks düzeni (995/1022), (iii) nem/hidrojen bağı profili (3290  $\text{cm}^{-1}$ ) ve (iv) lipid izi (1743  $\text{cm}^{-1}$ ) üzerinden ayırt edilebildiğini göstermektedir. Pirinç patlaklarında kısa menzilli nişasta düzeninin, heliks yapısının, bağlanmış su miktarının ve lipid izlerinin patlatma/işleme koşullarına duyarlı olduğunu ve özellikle Ç4 (daha düzenli–daha kuru) ile Ç22 (daha amorf–daha nemli) örnekleri arasındaki zıtlığın, bu yapısal parametrelerin birlikte değerlendirilmesinin önemini açık biçimde ortaya koyduğunu göstermektedir. Dolayısıyla FTIR bulguları, patlatma koşullarının optimize edilmesiyle nişasta yapısının istenen düzeyde düzen–amorflar dengesi gösterecek şekilde yönlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

#### 4.18. Duyusal Analiz Sonuçları

Tablo 22’de sunulan ortalama değerleri ve Tukey harflendirmesi, pirinç patlağı örneklerinin duyusal profillerinin ürün bazında belirgin biçimde ayrıştığını göstermektedir. Genel beğeni açısından en yüksek grupta yer alan örnekler Ç1, Ç14, Ç10, Ç5 ve Ç7’dir (Tablo 22). Özellikle Ç1’in genel beğenisi  $6.80 \pm 0.79$  olup; bu ürün aynı zamanda renk ( $8.20 \pm 0.63$ ), dış doku ( $7.20 \pm 0.92$ ), gevreklik ( $7.20 \pm 1.03$ ) ve tat ( $7.40 \pm 0.84$ ) gibi pirinç patlağında tüketici kabulünü güçlü biçimde etkileyen parametrelerde yüksek skorlarla öne çıkmaktadır (Tablo 22). Benzer şekilde Ç14’ün genel beğenisi  $6.70 \pm 0.67$ ; tatı  $7.20 \pm 1.03$ , koku  $7.00 \pm 0.67$ , gevreklik  $7.10 \pm 0.74$  ve granülerlik  $7.20 \pm 0.42$  düzeyindedir (Tablo 18). Ç10 ( $6.60 \pm 0.52$ ) ve Ç5 ( $6.60 \pm 0.70$ ) örneklerinde de genel beğeniyi destekleyen ortak desen, tadın  $7.30 \pm 0.67$  (Ç10) ve  $7.00 \pm 0.82$  (Ç5); gevrekliğin  $7.00 \pm 0.47$  (Ç10) ve  $7.20 \pm 0.79$  (Ç5) gibi yüksek değerlerde seyretmesidir (Tablo 22). Ç7 ise genel beğenide  $6.40 \pm 0.52$  ile üst grupta yer alırken, parlaklık ( $7.50 \pm 0.85$ ) ve granülerlik ( $7.30 \pm 0.82$ ) değerleriyle görsel/tekstürel algıyı güçlendiren bir profil göstermektedir (Tablo 22). Patlatılmış tahıl ürünlerinde gevrek-kırılkan yapı ve ağızda hızlı parçalanmanın tüketici algısını güçlendirdiği; bu etkinin düşük nemli, kırılkan matrise ve hücreli yapı bütünlüğüne bağlı olduğu bildirilmektedir (Van Hecke vd., 1998; Roudaut vd., 1998). Ayrıca literatürde, pirinç patlağında renk, gevreklik ve tane boyutunun tüketici tercihlerinde ayırt edici rol oynayabildiği; benzer amyloz düzeyine sahip çeşitlerde dahi duyusal kabulün bu özelliklere bağlı olarak farklılaşabildiği rapor edilmiştir. Bu durum, genel beğenin yalnızca kimyasal bileşimle değil, aynı zamanda genişleme davranışı ve tekstürel algının birlikte şekillendirdiği çok faktörlü bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Saha ve Roy, 2022).

Genel beğenisi daha düşük grupta bulunan örnekler Ç13, Ç21 ve Ç17’dir (Tablo 22). En düşük genel beğeni Ç13’te  $5.00 \pm 0.82$  olarak görülmekte; bu ürünün tat ( $5.50 \pm 1.18$ ) ve koku ( $5.40 \pm 0.84$ ) puanlarının da diğer ürünlere kıyasla daha düşük kalması, beğenideki gerilemeyi açıklamaktadır (Tablo 22). Ç21’nin genel beğenisi  $5.20 \pm 0.92$  olup özellikle parlaklık ( $5.10 \pm 1.66$ ) ve granülerlik ( $5.50 \pm 0.71$ ) gibi görsel/tekstürel ipuçlarında daha değişken ve düşük bir profil sergilediği dikkat çekmektedir (Tablo 22). Ç17’de genel beğeni  $5.40 \pm 0.84$  ve tat  $5.70 \pm 1.34$  düzeyindedir; bu durum tat/aroma yönlü bir zayıflığa işaret etmektedir (Tablo 22). Genel beğenin, tek bir özelliğe indirgenemeyip tat, aroma ve özellikle doku gibi çoklu algısal ipuçlarının birleşimine dayandığı duyusal literatürde vurgulanmaktadır (Stone ve Sidel, 2004; Lawless ve Heymann, 2010).

Tablo 22. Farklı çeltik çeşitlerinden elde edilen pirinç patlaklarına ilişkin duyusal analiz sonuçları

| Çeşit Kodu | Renk                    | Boyut                   | Dış doku                | İç doku                 | Gevreklik                 | Granülerlik             | Sertlik                | Parlaklık              | Koku                    | Tat                      | Genel beğeni            |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Ç1         | 8.20±0.63 <sup>a*</sup> | 7.20±0.63 <sup>a</sup>  | 7.20±0.92 <sup>a</sup>  | 6.00±0.82 <sup>ab</sup> | 7.20±1.03 <sup>a</sup>    | 7.00±0.67 <sup>a</sup>  | 6.20±0.92 <sup>a</sup> | 8.10±0.74 <sup>a</sup> | 7.20±0.63 <sup>a</sup>  | 7.40±0.84 <sup>a</sup>   | 6.80±0.79 <sup>a</sup>  |
| Ç2         | 7.20±0.63 <sup>a</sup>  | 6.50±0.71 <sup>ab</sup> | 6.50±0.53 <sup>ab</sup> | 6.10±0.57 <sup>ab</sup> | 6.10±0.57 <sup>ab</sup>   | 6.80±0.63 <sup>ab</sup> | 5.40±0.84 <sup>a</sup> | 7.10±0.74 <sup>a</sup> | 6.30±0.48 <sup>ab</sup> | 6.40±0.84 <sup>ab</sup>  | 5.8 ±0.63 <sup>ab</sup> |
| Ç3         | 6.80±0.79 <sup>bc</sup> | 6.00±0.67 <sup>b</sup>  | 6.00±0.67 <sup>ab</sup> | 5.80±0.92 <sup>b</sup>  | 6.30±0.67 <sup>ab</sup>   | 6.40±0.70 <sup>ab</sup> | 5.10±0.74 <sup>a</sup> | 7.10±0.88 <sup>a</sup> | 5.70±0.48 <sup>b</sup>  | 6.60±0.70 <sup>ab</sup>  | 5.80±0.63 <sup>ab</sup> |
| Ç4         | 6.50±0.97 <sup>bc</sup> | 5.90±0.74 <sup>b</sup>  | 6.50±0.53 <sup>ab</sup> | 5.60±0.52 <sup>b</sup>  | 6.30±0.82 <sup>ab</sup>   | 6.60±0.52 <sup>ab</sup> | 5.20±0.63 <sup>a</sup> | 7.10±0.74 <sup>a</sup> | 5.90±0.88 <sup>b</sup>  | 6.30±0.67 <sup>ab</sup>  | 6.00±0.67 <sup>ab</sup> |
| Ç5         | 7.90±0.74 <sup>a</sup>  | 7.30±0.67 <sup>a</sup>  | 7.20±0.63 <sup>a</sup>  | 6.70±0.48 <sup>ab</sup> | 7.20±0.79 <sup>a</sup>    | 7.30±0.82 <sup>a</sup>  | 6.00±0.47 <sup>a</sup> | 7.20±0.63 <sup>a</sup> | 6.80±0.63 <sup>a</sup>  | 7.00±0.82 <sup>a</sup>   | 6.60±0.70 <sup>a</sup>  |
| Ç6         | 6.90±0.57 <sup>b</sup>  | 6.30±0.48 <sup>ab</sup> | 6.10±0.57 <sup>ab</sup> | 6.00±0.82 <sup>ab</sup> | 6.20±0.63 <sup>ab</sup>   | 6.80±0.42 <sup>ab</sup> | 5.90±0.57 <sup>a</sup> | 6.10±0.88 <sup>b</sup> | 5.90±0.74 <sup>b</sup>  | 6.20±0.42 <sup>ab</sup>  | 5.70±0.48 <sup>b</sup>  |
| Ç7         | 7.20±0.63 <sup>a</sup>  | 7.20±0.63 <sup>a</sup>  | 7.10±0.88 <sup>a</sup>  | 7.00±0.67 <sup>a</sup>  | 7.20±0.79 <sup>a</sup>    | 7.30±0.82 <sup>a</sup>  | 6.00±0.47 <sup>a</sup> | 7.50±0.85 <sup>a</sup> | 7.00±0.47 <sup>a</sup>  | 7.00±0.67 <sup>a</sup>   | 6.40±0.52 <sup>a</sup>  |
| Ç8         | 5.90±0.74 <sup>bc</sup> | 6.80±0.42 <sup>ab</sup> | 6.10±0.74 <sup>ab</sup> | 5.80±0.42 <sup>b</sup>  | 6.30±0.48 <sup>ab</sup>   | 6.80±0.42 <sup>ab</sup> | 5.80±0.63 <sup>a</sup> | 5.90±0.74 <sup>b</sup> | 6.10±0.57 <sup>ab</sup> | 6.20±0.42 <sup>ab</sup>  | 5.60±0.70 <sup>b</sup>  |
| Ç9         | 7.00±0.67 <sup>a</sup>  | 6.90±0.74 <sup>a</sup>  | 7.00±0.82 <sup>ab</sup> | 6.60±0.70 <sup>ab</sup> | 7.10±0.99 <sup>ab</sup>   | 6.90±0.88 <sup>a</sup>  | 6.20±0.42 <sup>a</sup> | 7.00±0.67 <sup>a</sup> | 6.90±0.88 <sup>a</sup>  | 7.00±1.05 <sup>a</sup>   | 6.30±0.67 <sup>a</sup>  |
| Ç10        | 6.80±0.63 <sup>bc</sup> | 7.20±0.42 <sup>a</sup>  | 7.20±0.63 <sup>a</sup>  | 6.70±0.48 <sup>ab</sup> | 7.00±0.47 <sup>ab</sup>   | 7.30±0.67 <sup>a</sup>  | 6.10±0.74 <sup>a</sup> | 7.30±0.67 <sup>a</sup> | 7.00±0.67 <sup>a</sup>  | 7.30±0.67 <sup>a</sup>   | 6.60±0.52 <sup>a</sup>  |
| Ç11        | 6.10±0.74 <sup>bc</sup> | 6.80±0.42 <sup>ab</sup> | 6.00±0.47 <sup>ab</sup> | 6.10±0.74 <sup>ab</sup> | 6.10 ± 0.74 <sup>ab</sup> | 7.00±0.47 <sup>a</sup>  | 5.60±0.70 <sup>a</sup> | 6.40±0.52 <sup>b</sup> | 6.20±0.92 <sup>ab</sup> | 6.20±0.63 <sup>ab</sup>  | 5.70±0.48 <sup>b</sup>  |
| Ç12        | 6.10±0.57 <sup>bc</sup> | 6.80±0.63 <sup>ab</sup> | 6.20±1.14 <sup>ab</sup> | 5.90±0.57 <sup>ab</sup> | 6.00 ± 0.94 <sup>ab</sup> | 6.80±0.79 <sup>ab</sup> | 5.80±0.79 <sup>a</sup> | 6.30±0.48 <sup>b</sup> | 6.10±0.57 <sup>ab</sup> | 6.10±0.99 <sup>ab</sup>  | 5.80±0.63 <sup>ab</sup> |
| Ç13        | 5.60±0.97 <sup>c</sup>  | 6.70±0.48 <sup>ab</sup> | 5.80±1.03 <sup>b</sup>  | 5.50±0.97 <sup>b</sup>  | 5.80 ± 0.79 <sup>ab</sup> | 6.70±0.82 <sup>ab</sup> | 6.20±0.63 <sup>a</sup> | 5.60±0.52 <sup>b</sup> | 5.40±0.84 <sup>b</sup>  | 5.50±1.18 <sup>b</sup>   | 5.00±0.82 <sup>b</sup>  |
| Ç14        | 7.40±0.70 <sup>a</sup>  | 7.30±0.48 <sup>a</sup>  | 7.20±0.79 <sup>a</sup>  | 7.10±0.88 <sup>a</sup>  | 7.10 ± 0.74 <sup>ab</sup> | 7.20±0.42 <sup>a</sup>  | 6.20±0.42 <sup>a</sup> | 6.90±0.74 <sup>a</sup> | 7.00±0.67 <sup>a</sup>  | 7.20±1.03 <sup>a</sup>   | 6.70±0.67 <sup>a</sup>  |
| Ç15        | 6.20±0.63 <sup>bc</sup> | 6.80±0.42 <sup>ab</sup> | 6.30±0.95 <sup>ab</sup> | 6.00±0.47 <sup>ab</sup> | 6.40 ± 0.97 <sup>ab</sup> | 6.80±0.42 <sup>ab</sup> | 5.70±0.48 <sup>a</sup> | 6.30±0.67 <sup>b</sup> | 6.20±0.92 <sup>ab</sup> | 6.20±0.92 <sup>ab</sup>  | 6.00±0.67 <sup>ab</sup> |
| Ç16        | 5.80±0.92 <sup>bc</sup> | 5.70±0.82 <sup>b</sup>  | 5.70±0.95 <sup>b</sup>  | 6.20±0.63 <sup>ab</sup> | 6.40 ± 0.84 <sup>ab</sup> | 6.50±0.85 <sup>ab</sup> | 5.90±0.88 <sup>a</sup> | 6.10±1.10 <sup>b</sup> | 6.30±0.67 <sup>ab</sup> | 6.00±0.67 <sup>ab</sup>  | 5.8 ±0.42 <sup>ab</sup> |
| Ç17        | 6.10±0.99 <sup>bc</sup> | 6.00±1.05 <sup>b</sup>  | 6.20±1.14 <sup>ab</sup> | 5.90±1.10 <sup>ab</sup> | 6.40 ± 1.07 <sup>ab</sup> | 5.80±1.62 <sup>b</sup>  | 5.80±1.40 <sup>a</sup> | 6.10±0.99 <sup>b</sup> | 6.10±1.10 <sup>ab</sup> | 5.70±1.34 <sup>b</sup>   | 5.40±0.84 <sup>b</sup>  |
| Ç18        | 6.20±0.92 <sup>bc</sup> | 5.60±1.26 <sup>b</sup>  | 5.90±0.88 <sup>ab</sup> | 5.50±1.27 <sup>b</sup>  | 6.40 ± 1.71 <sup>ab</sup> | 6.00±1.15 <sup>ab</sup> | 5.90±1.29 <sup>a</sup> | 5.80±0.42 <sup>b</sup> | 5.60±1.07 <sup>b</sup>  | 5.90 ± 1.29 <sup>b</sup> | 5.60±0.52 <sup>b</sup>  |
| Ç19        | 6.50±0.71 <sup>bc</sup> | 6.20±1.23 <sup>ab</sup> | 5.80±1.14 <sup>b</sup>  | 6.00±0.47 <sup>ab</sup> | 6.10 ± 1.20 <sup>ab</sup> | 5.90±1.37 <sup>b</sup>  | 6.00±1.25 <sup>a</sup> | 6.20±1.32 <sup>b</sup> | 5.70±0.95 <sup>b</sup>  | 5.90±0.88 <sup>b</sup>   | 5.60±0.52 <sup>b</sup>  |
| Ç20        | 6.30±0.95 <sup>bc</sup> | 6.60±1.17 <sup>ab</sup> | 6.70±1.16 <sup>ab</sup> | 6.80±0.92 <sup>a</sup>  | 6.80 ± 0.63 <sup>ab</sup> | 6.60±0.97 <sup>ab</sup> | 5.90±1.20 <sup>a</sup> | 5.90±1.20 <sup>b</sup> | 6.30±0.95 <sup>ab</sup> | 6.00±0.82 <sup>ab</sup>  | 5.80±0.42 <sup>ab</sup> |
| Ç21        | 5.70±0.95 <sup>bc</sup> | 5.90±0.99 <sup>b</sup>  | 5.90±0.88 <sup>ab</sup> | 6.20±1.14 <sup>ab</sup> | 5.70 ± 0.82 <sup>b</sup>  | 5.50±0.71 <sup>b</sup>  | 5.80±0.92 <sup>a</sup> | 5.10±1.66 <sup>b</sup> | 5.50±0.97 <sup>b</sup>  | 5.80±1.40 <sup>b</sup>   | 5.20±0.92 <sup>b</sup>  |
| Ç22        | 7.30±0.67 <sup>a</sup>  | 7.10±0.99 <sup>a</sup>  | 7.10±0.3 <sup>a</sup>   | 5.90±0.32 <sup>ab</sup> | 7.00 ± 0.47 <sup>ab</sup> | 7.10±0.32 <sup>a</sup>  | 5.90±0.32 <sup>a</sup> | 7.20±0.42 <sup>a</sup> | 6.10±0.74 <sup>ab</sup> | 7.10±0.32 <sup>a</sup>   | 6.40±0.52 <sup>a</sup>  |

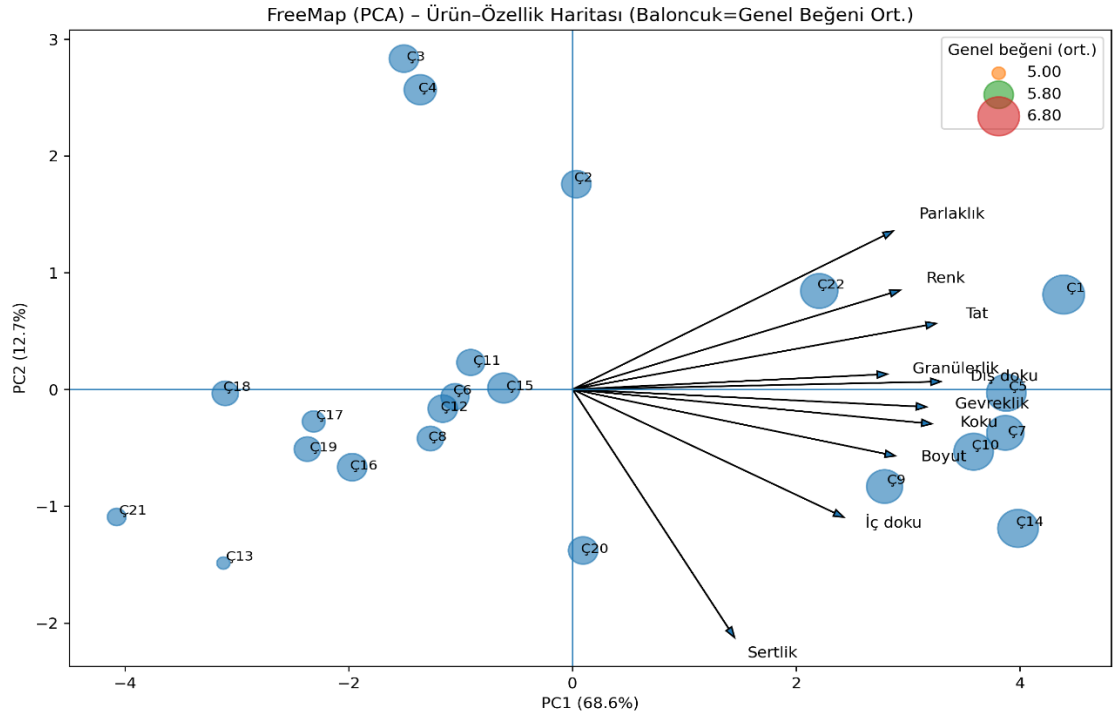
\* Duncan testine göre aynı sütunda, aynı harf grubuna giren ortalama değerler,  $p<0.05$  önem düzeyinde farklı değildir.

Şekil 55'te verilen FreeMap (PCA) sonuçları, Tablo 22'da gözlenen bu ürün bazlı desenleri çok değişkenli düzeyde doğrulamaktadır. Ürün-özellik haritasında PC1'in varyansın %68.62'sini, PC2'nin %12.70'ini açıklaması (toplam %81.33), duyuusal profilin iki ekseninde güçlü biçimde temsil edilebildiğini göstermektedir (Şekil 55). Yüklerin yönü dikkate alındığında PC1 ekseninin özellikle tat, koku, dış doku ve gevreklik ile birlikte hareket eden bir “pozitif ürün kalitesi/hoşlanma” boyutu gibi davrandığı; PC2'nin ise daha çok parlaklık-renk ile ilişkili olup sertlik/iç doku yönünde zıtlasma gösterdiği anlaşılmaktadır (Şekil 55). Bu çerçevede genel beğenisi yüksek örneklerin PC1'de pozitif tarafta kümelenmesi beklenen bir sonuçtur: Ç1 (PC1=4.39; PC2=0.81), Ç14 (PC1=3.98; PC2=-1.19), Ç10 (PC1=3.59; PC2=-0.53), Ç5 (PC1=3.88; PC2=-0.03) ve Ç7 (PC1=3.87; PC2=-0.37) gibi ürünler, tat/koku/gevreklik vektörlerine yakın konumlanarak “yüksek beğeni” alanında toplanmaktadır (Şekil 55). Buna karşılık düşük genel beğenili ürünler PC1'in negatif tarafında yer almaktadır: Ç13 (PC1=-3.12; PC2=-1.49), Ç21 (PC1=-4.08; PC2=-1.09), Ç17 (PC1=-2.31; PC2=-0.27) ve görece düşük-orta gruptaki Ç8 (PC1=-1.27; PC2=-0.42) ile Ç19 (PC1=-2.37; PC2=-0.51) bu ayrışmayı desteklemektedir (Şekil 55). Genel beğeniye göre baloncukla ölçeklenen haritada, büyük baloncukların tat/koku ve gevreklik yöneliminde yoğunlaşması, pirinç patlağı beğenisinin esasen lezzet-aroma ve gevrek yapı bileşenleriyle birlikte şekillendiğini göstermektedir (Şekil 55). PCA/haritalama yaklaşımlarının, duyuusal veri setlerinde ürünlerin konumunu ve beğeni sürücülerini aynı anda göstermede güçlü bir araç olduğu; özellikle FreeMap / tercih haritalama uygulamalarının ürün geliştirmede yaygın biçimde kullanıldığı bildirilmektedir (Arditti, 1997; MacFie, 2007). Bu bağlamda şişirme/patlatma sonrasında genel beğenin özelliikle tat ve gevreklikle ilişkili duyuusal özelliklerle birlikte yükseldiği görülmektedir. FreeMap (PCA) haritasında yüksek beğeni alan örneklerin tat/koku ve gevreklik vektörlerine yakın konumlanması, tüketici kabulünün bu özelliklerin ortak etkisiyle şekillendiğini göstermektedir. Literatürde, şişirme/patlatma işlemi sırasında aldehit, keton ve pirazin gibi uçucu bileşiklerin oluşumunun arttığı ve bunun kavrulmuş-fındıksı aroma karakterini güçlendirdiği bildirilmektedir (Liu vd., 2025). Dolayısıyla çalışmamızda tat/koku ve gevreklik skorlarının birlikte yüksek olduğu örneklerin genel beğenide avantajlı konumlanması, patlatma sırasında oluşan aroma bileşenlerinin duyuusal kabulü dolaylı biçimde destekleyebileceğini düşündürmektedir.

FreeMap görseli, pirinç patlağı örneklerinin duyuusal profilleri ile panelist tercihlerini aynı bağlamda değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. Şekil 55'te yer alan Ürün-Özellik FreeMap, örneklerin duyuusal özelliklerle ilişkisini ortaya koyarken; Şekil

56'da İç Tercih FreeMap, panelistlerin genel beğeni temelli yönelimlerini göstermektedir. Her iki haritada da baloncuk büyüklüğünün genel beğeni ortalamasına göre ölçeklendirilmiş olması, yüksek tüketici kabulüne sahip ürünlerin görsel olarak hızlı biçimde ayırt edilmesini sağlamaktadır.

Ürün-özellik haritasında (sol panel), genel beğenisi yüksek olan pirinç patlağı örneklerinin (büyük baloncuklar) PC1'in pozitif bölgesinde kümелendiği açıkça görülmektedir (Şekil 55). Bu bölgede konumlanan Ç1, Ç5, Ç7, Ç10 ve Ç14 gibi örnekler, özellikle tat, koku, gevreklik ve dış doku vektörlerine yakın yer almaktadır. Bu durum, pirinç patlağında tüketici kabulünün esas olarak lezzet-aroma bileşenleri ile kırılğan/gevrek yapı tarafından yönlendirildiğini göstermektedir. Patlatılmış tahıl ürünlerinde hücresel yapının homojenliği ve kırılğanlığı, ağızda hızlı kırılma ve kısa çiğneme süresi sağlayarak olumlu bir duyuusal deneyim yaratmakta; bu da genel beğeni skorlarını yükseltmektedir.



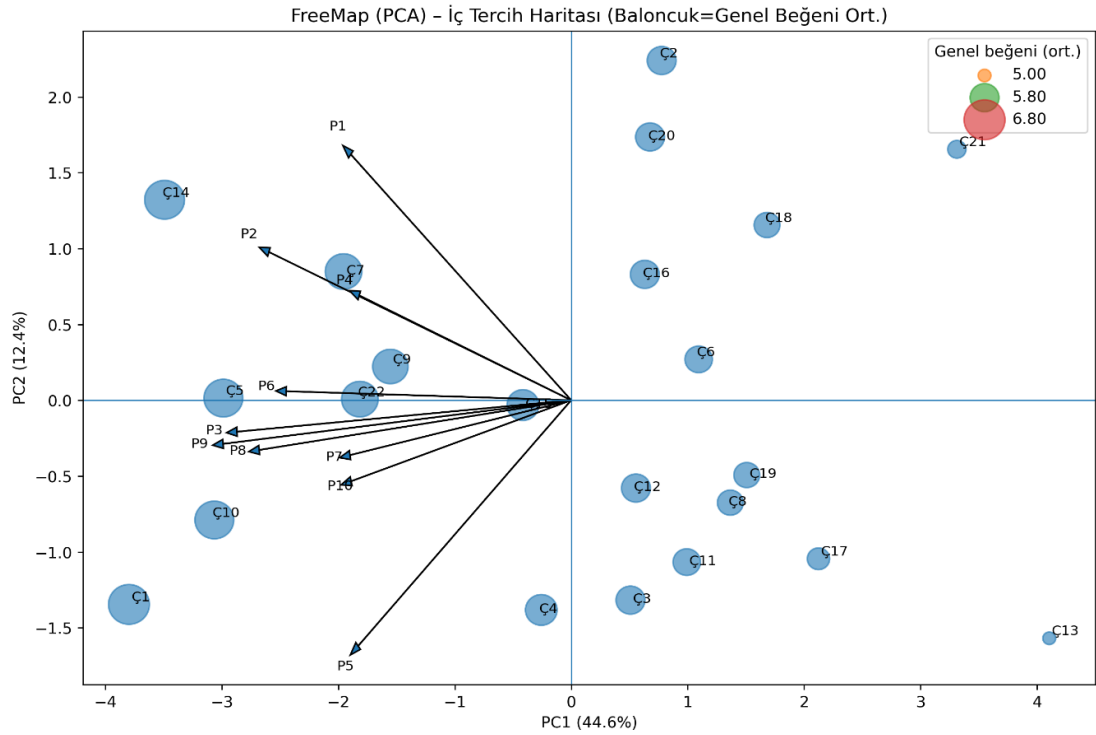
Şekil 55. Farklı çeltik çeşitlerinin pirinç patlaklarında, duyuusal analiz verilerine ilişkin ürün özellik haritası

Buna karşılık, daha küçük baloncuklarla temsil edilen ve genel beğenisi düşük olan örneklerin (örneğin Ç13, Ç17 ve Ç21) PC1'in negatif tarafında yer aldığı ve tat/koku vektörlerinden uzaklaştığı görülmektedir (Şekil 55). Bu ürünler genellikle daha zayıf aroma profili ve daha az belirgin gevreklik ile ilişkilidir. Bu bulgu, pirinç patlağı



gibi düşük nemli ve basit formülasyonlu ürünlerde dahi, duyuşsal algının küçük farklara karşı oldukça hassas olduğunu göstermektedir.

İç tercih FreeMap'inde (Şekil 56) panelist vektörlerinin büyük ölçüde aynı yönlerde yoğunlaşması, panelistlerin genel beğeni açısından benzer bir tercih eğilimi sergilediğini ortaya koymaktadır. Panelist vektörlerinin yöneldiği bölgede yine büyük baloncuklu ürünlerin yer alması, panelistlerin çoğunluğunun aynı ürünleri tercih ettiğini ve panel içi tutarlılığın yüksek olduğunu düşündürmektedir. Bu durum, duyuşsal verilerin güvenilirliğini arttıran önemli bir bulgudur. Bununla birlikte, bazı panelist vektörlerinin belirli ürünlere daha yakın konumlanması, özellikle doku ve gevreklik algısında bireysel hassasiyetlerin devreye girebildiğini göstermektedir.



Şekil 56. Farklı çeltik çeşitlerinin pirinç patlaklarında, duyuşsal analiz verilerine ilişkin iç tercih haritası

Her iki haritanın birlikte değerlendirilmesi, ürün konumları ile panelist tercih yönelimleri arasında güçlü bir örtüşme olduğunu ortaya koymaktadır. Genel beğeniye göre büyük baloncuklu ürünlerin hem ürün-özellik haritasında pozitif duyuşsal özelliklerle ilişkili olması hem de iç tercih haritasında panelist vektörleri tarafından desteklenmesi, bu ürünlerin duyuşsal açıdan dengeli ve geniş kabul gören profillere sahip olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, küçük baloncuklu ürünlerin her iki haritada da marjinal bölgelerde kalması, bu örneklerin duyuşsal optimizasyon açısından geliştirmeye

açık olduğunu işaret etmektedir. Literatürde Khan (2017) çalışmasında pirinç patlağı örnekleri 9-puanlı hedonik ölçekle değerlendirilmiş ve genel kabulün özellikle doku/gevreklik (texture–mouthfeel) ile yakından ilişkili olduğu gösterilmiştir. Çalışmada yüksek kabul gören örneklerde genel beğeni 8.20–7.00, tekstür puanları ise 8.50–6.90 aralığında bulunmuş; ayrıca depolama sürecinde gevreklik kaybına paralel olarak genel beğenin azaldığı rapor edilmiştir (Khan, 2017). Mevcut çalışmada da benzer bir desen gözlenmiştir: gevreklik 5.80–7.20, tat 5.50–7.40 ve genel beğeni 5.00–6.80 aralığında değişmiş; özellikle tat ve gevreklik skorlarının birlikte yüksek olduğu örnekler FreeMap (PCA) haritasında “yüksek beğeni” bölgesinde kümelenmiştir (Şekil 20). Bu sonuçlar, pirinç patlağında duysal kabulün büyük ölçüde tekstür odaklı sürücüler tarafından belirlendiğini desteklemektedir.

Kumar vd. (2019) çalışmasında, kaplamasız pirinç patlağı örnekleri 9-puanlı hedonik ölçekle değerlendirilmiş ve genel kabul skorunun  $7.53 \pm 0.68$  olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada pirinç patlağında tekstür ( $8.28 \pm 0.43$ ), tat ( $7.71 \pm 0.57$ ) ve renk ( $7.78 \pm 0.31$ ) değerlerinin görece yüksek olması, tüketici beğenisinin özellikle gevreklik/tekstür ve lezzet bileşenleriyle birlikte görsel algı tarafından desteklendiğini göstermektedir. Bu bulgular, mevcut çalışmamızda tat ve gevrekliğin birlikte yükseldiği örneklerde genel beğeni skorlarının artmasıyla uyumludur (Kumar vd., 2019).

Benzer şekilde, kahverengi pirinç patlaklarında yapılan çalışmalarda da benzer eğilimler bildirilmiştir. Swarnakar vd. (2023)’te duysal değerlendirme fuzzy-mantık yaklaşımıyla yapılmış ve tat ile tekstürün en kritik duysal nitelikler olduğu gösterilmiştir. Tat ve tekstür, renk gibi diğer özelliklere kıyasla daha yüksek önem skorları almış; %4–6 tuz içeren örnekler panelistlerce “*iyi kabul düzeyi*” kategorisinde sınıflandırılmıştır. Yazarlar, bu artışın hem tuzun lezzet katkısı hem de genişleme/gevreklik iyileşmesiyle ilişkili olduğunu vurgulamıştır (Swarnakar vd., 2023). Bu bulgular, çalışmamızda tat ve gevrekliğin birlikte yükseldiği örneklerde genel beğenin artmasıyla paralellik göstermektedir. Joshi vd. (2013), konvektif–mikrodalga fırında ürettikleri puf pirinçlerde duysal skorların 5–8 arasında değiştiğini ve optimum koşullarda genel kabulün 7.6’ya ulaştığını bildirmiştir. Araştırmada, duysal kabulün büyük ölçüde genişleme/gevreklik ve görünüm ile ilişkili olduğu; yüksek nem düzeylerinde ise yapısal çökme nedeniyle beğenin azaldığı vurgulanmaktadır (Joshi vd., 2013). Bu eğilim, mevcut çalışmamızda FreeMap (PCA) analizinde yüksek beğenili örneklerin gevreklik ve dış doku vektörlerine yakın konumlanmasıyla uyumludur.

Sonuç olarak birleştirilmiş FreeMap görseli, pirinç patlağı örneklerinde genel beğenin başlıca sürücülerinin gevreklik, dış doku ve tat olduğunu; renk ve parlaklık

gibi görsel özelliklerin ise ikincil ancak destekleyici bir rol oynadığını açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu tür entegre FreeMap yaklaşımları, patlatılmış tahıl ürünlerinde hem ürün farklılaştırma hem de proses optimizasyonu (patlatma basıncı, sıcaklık ve nem kontrolü) açısından güçlü ve sezgisel bir karar destek aracı sunmaktadır.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı çeltik çeşitlerinden pirinç patlağı üretilmiş ve ham çeltik → kargo pirinç → pirinç patlağı işleme basamaklarının ürün kalitesi üzerindeki etkileri sistematik olarak değerlendirilmiştir. Ham çeltikte fiziksel özellikler; kargo pirinçte bunlara ek olarak reolojik özellikler; pirinç patlağında ise fiziksel, reolojik, kimyasal ve biyoaktif parametreler birlikte incelenmiştir. Böylece işleme basamaklarının tane yapısı, akış davranışı ve patlatma sonrası besinsel değişimlerle olan ilişkisi bütüncül ve karşılaştırmalı bir yaklaşımla ortaya konmuştur.

Bin tane ağırlığı (BTA), işleme basamakları ilerledikçe genel olarak azalma eğilimi göstermiş; ham çeltikte 28.72–39.22 g aralığında olan değerler, kargo pirinçte 24.90–33.80 g aralığına gerilemiş ve patlatma sonrasında bazı çeşitlerde %25'i aşan kayıplarla birlikte BTA'nın genel olarak daha düşük bir banda yerleştiği belirlenmiştir. Tane boyu, ham çeltikte 8.07–9.67 mm aralığında iken kargo pirinçte yaklaşık 5.8–7.1 mm bandına düşmüş; patlatma aşamasında ise hacimsel genişlemeye bağlı olarak yaklaşık 6.9–8.5 mm aralığına yükselmiştir. Tane eninde gözlenen artışın, boy yönündeki değişime kıyasla daha belirgin olması, patlatma sırasında genişlemenin özellikle en doğrultusunda yoğunlaştığını ve tane morfolojisinin daha şişkin ve yuvarlak bir forma dönüştüğünü göstermektedir. Tane şekline ilişkin göstergeler bu bulguları desteklemiştir. Boy/en oranı ham çeltikte 2.56–3.12, kargo pirinçte 1.98–2.54, pirinç patlağında ise 2.05–2.48 aralığında değişmiştir. Patlatma sonrasında tanelerin daha geniş ve görece daha düşük “uzunluk-görelî” bir forma dönüştüğü anlaşılmaktadır. Küresellik değerlerinin ham çeltikten kargo pirince, kargo pirinçten patlak ürüne geçişte yükselmesi; genişlemenin özellikle en doğrultusunda gerçekleşmesiyle ilişkilidir. Bu artış yalnızca görsel bir değişim değil, hacim stabilitesi ve iç yapı organizasyonunda gerçekleşen dönüşümün bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Geometrik ortalama çap, ham çeltikte 3.73–4.13 mm aralığında iken, kargo pirinçte 3.22–3.58 mm aralığına düşmüş; patlatma sonrasında ise 3.78–4.64 mm aralığına yükselmiştir. Benzer şekilde yüzey alanı, ham çeltikte 43.71–53.65 mm<sup>2</sup>, kargo pirinçte 32.60–40.21 mm<sup>2</sup>, pirinç patlağında ise 44.90–67.84 mm<sup>2</sup> aralığında bulunmuştur. Bu eğilimler, patlatma sırasında gelişen poroz iç yapı ve hacimsel genişlemenin, tane boyutları ve yüzey genişlemesini belirgin biçimde artırdığını göstermektedir.

Yoğunluk parametreleri işleme basamaklarına oldukça duyarlıdır. Nitekim yığın yoğunluğu ham çeltikte  $0.60 \text{ g/cm}^3$  iken, kargo pirinçte  $0.73 \text{ g/cm}^3$ 'e yükselmiş, patlatma sonrasında ise  $0.37 \text{ g/cm}^3$  düzeyine gerilemiştir. Benzer şekilde gerçek yoğunluk ham çeltikte  $1.15 \text{ g/cm}^3$ , kargo pirinçte  $1.24 \text{ g/cm}^3$ , pirinç patlağında ise  $0.76 \text{ g/cm}^3$  olarak belirlenmiştir. Gözeneklilik değerleri bu eğilimi desteklemekte; ham çeltikte %41.07–52.26, kargo pirinçte %34.25–45.16, pirinç patlağında ise %47.23–58.72 aralığında seyretmektedir. Kargo pirince geçişte gözlenen azalma, kabuk uzaklaştırılmasıyla; patlatma sonrası artış ise ani buharlaşma sonucu oluşan hücresel yapıyla ilişkilidir. Yoğunluk–gözeneklilik arasındaki ters ilişki, patlatmanın gevrek ve hafif yapı oluşturmaya temel oluşturmaktadır. Bu bağlamda, çeşitler arasında belirgin farklar ortaya çıkmıştır. Patlak formunda Ç4, Ç5, Ç6, Ç11 ve Ç12; yüksek gözeneklilik, düşük yoğunluk ve geniş yüzey alanı ile patlatma açısından avantajlı profil sergilemiştir. Buna karşılık Ç7, Ç8 ve Ç13 daha kompakt yapı ve sınırlı genleşme göstermiştir. Pirinç patlaklarına ait stereomikroskop görüntüleri de bu yapısal farklılıkları porozite ölçümleriyle uyumlu biçimde doğrulamıştır. Bu durum, patlatma veriminin yalnızca proses koşullarına değil; çeşide özgü endosperm organizasyonu, nişasta-protein matrisi ve başlangıç nemi gibi faktörlere de duyarlı olduğunu göstermektedir. Genel olarak, ham çeltikten kargo pirince geçişte boyut küçülmesi ve yoğunluk artışı, kargo pirinçten pirinç patlağına geçişte ise hacimsel genişleme, yoğunluk kaybı ve porozite artışı baskın hâle gelmiştir. Bu yapısal dönüşüm; ürünün gevreklik, kırılabilirlik, hafiflik ve aroma tutma kapasitesi üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Böylece, işleme basamakları arasında doğrusal olmayan ancak birbirini tamamlayan bir yapı–fonksiyon ilişkisi ortaya çıkmaktadır.

Şişme özellikleri incelendiğinde, pirinç patlaklarının şişme davranışının çeşide bağlı olarak belirgin biçimde değiştiği görülmektedir. Uzama oranı 1.04–1.29, genişleme oranı 1.02–1.31, hacim genleşme oranı 1.22–1.71 ve genleşme hacmi 0.81–1.06 mL/g aralığında değişmiştir. Hacim genleşme oranı ile genleşme hacminin, patlatma performansını en iyi yansıtan göstergeler olduğu ve kepek tabakasının varlığı nedeniyle kahverengi pirinçte genleşmenin belirli ölçüde sınırlandırıldığı anlaşılmaktadır. Ç5, Ç11, Ç17, Ç18 ve Ç22 çeşitleri daha yüksek genleşme kapasitesi ile öne çıkarken; Ç2, Ç8 ve Ç21 çeşitleri görece düşük şişme performansı sergilemiştir. Genleşme parametreleri ile gözeneklilik ve yoğunluk arasındaki paralel değişim, patlatma sırasında gelişen hücresel yapının ürün hacmi ve tekstürel özellikler üzerinde belirleyici

rol oynadığını göstermektedir. Bu nedenle şişme davranışı yalnızca fiziksel bir sonuç değil; ürün tekstürüyle doğrudan ilişkili temel bir göstergedir.

Pirinç patlaklarında renk değerlendirmesi, örneklerin genel olarak yüksek L\* (açıklık) ve pozitif b\* (sarı ton), buna karşılık düşük–orta düzeyde a\* (kırmızılık) sergilediğini göstermiştir. L\* değerleri 76.40–83.85 aralığında değişmiş; özellikle Ç21 daha açık, Ç18 ve Ç4 ise nispeten daha koyu tonda bulunmuştur. a\* ve b\* değerleri sırasıyla 0.85–3.15 ve 17.15–22.67 aralığında seyretmiş; sarılık bileşeninin Ç1, Ç2 ve Ç18’de daha belirgin olduğu saptanmıştır.  $\Delta E$  değerleri (0.12–5.56), bazı çeşitlerde renk değişiminin sınırlı, bazılarında ise görsel olarak fark edilebilir olduğunu göstermiştir. Özellikle  $\Delta E$ ’si yüksek olan örneklerde parlaklık kaybı ve sarılık/kırmızılık bileşenlerindeki değişimlerin daha belirgin olduğu, düşük  $\Delta E$  değerine sahip örneklerde ise renk profilinin daha stabil kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, pirinç patlağında renk oluşumunun patlatma koşulları ile çeşide özgü bileşim arasındaki etkileşimle şekillendiğini göstermektedir. Özellikle daha yüksek genleşme ve gözeneklilik gösteren çeşitlerde (örneğin Ç4, Ç18) poroz yapı, yüzey sıcaklığını artırarak L\* değerini düşürmüştür; kompakt örneklerde (örneğin Ç21) ise bu etki sınırlı kalmıştır.

Kimyasal bileşimde nem %0.79–8.04 ve kuru madde %91.96–99.22 aralığında değişmiş, bu dağılım daha çok şişirme sonrası su kaybı ve çevresel nemle etkileşimi yansıtmıştır. Bu nedenle nem–kuru madde dengesini, çeşitten ziyade işleme ve depolama koşullarına duyarlı bir kalite göstergesi olduğu düşünülmelidir. Protein (%5.55–8.85) ve yağ (%2.07–4.40) içerikleri daha sınırlı değişmiş ve büyük ölçüde çeşit kaynaklı kompozisyonel farklılıkları yansıtmıştır.

Kül içeriği (%5.52–13.38) ise diğer bileşenlerden ve literatürde bildirilen değerlerden ayrışacak biçimde daha geniş ve nispeten yüksek bir dağılım sergilemiştir. Bu durumun yalnızca mineral fraksiyondaki genotip farklılıklarından değil; aynı zamanda patlatma öncesi tuzlu suda muamele ile patlatmanın tuz ortamında gerçekleştirilmesi sonucunda oluşan yüzey tuzu birikiminden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Dolayısıyla kül parametresi, pirinç patlağı ürünlerinde işlem koşullarına duyarlı olması nedeniyle özellikle izlenmesi gereken bir kalite göstergesi olarak öne çıkmaktadır. Nitekim Ç21’de hem nem hem de külün yüksek olması, tuzda patlatma sırasında yüzeyde daha fazla tuz tutulumu olasılığını düşündürmektedir. Bu ilişkinin netleştirilmesi için mineral kompozisyona yönelik ek analizler yararlı olabilir.

Pirinç patlağı örneklerinde toplam karbonhidratın %76.93–84.38 aralığında kalarak ürün matrisinde baskın bileşen olmaya devam ettiği; buna karşılık nişasta fraksiyonunun (%60.86–89.22) miktarından çok patlatma sırasında geçirdiği yapısal

dönüşümlerin kaliteyi belirlediği anlaşılmaktadır. Nitekim, nişastası oldukça yüksek olan Ç7, beklenenin aksine orta düzey genleşme göstermiştir. Bu durum, lif/selüloz fraksiyonunun gaz hücresi oluşumunu sınırlayan mekanik etkileriyle ilişkili olabilir.

Bu bulgular, genleşmenin yalnızca nişasta miktarıyla açıklanamayacağını göstermektedir. Ham selülozun %0.73–1.92 ve amilozun %17.25–26.32 aralığında değişmesi, lif ve nişasta kompozisyonundaki farklılıkların porozite, gevreklik ve hacimsel yanıt üzerinde etkili olduğunu göstermiş; ancak bu etkilerin çoğu durumda tek başına açıklayıcı olmadığı görülmüştür. Özellikle amilozun en yüksek olduğu Ç1 ile en düşük olduğu Ç7'nin aynı zamanda nişasta ve selüloz dağılımında uçlarda yer alması, patlatma yanıtının “tek bir bileşene” indirgenemeyeceğini; nişasta–protein–lif–lipoid matriksinin bütüncül yapısı ve işlem koşullarının birlikte belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık, Ç5 ve Ç22 gibi çeşitlerde hem dengeli nişasta yapısı hem de orta düzey amiloz varlığı ile birlikte daha yüksek hacim genleşmesi elde edilmiştir. Bu bulgular, genleşme performansının tek bir bileşenle açıklanamayacağını; nişasta kompozisyonu ile lif fraksiyonu ve işlem koşullarının birlikte etkili olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada toplam fenolik içerik (TPC), 32.49–73.03 mg QE/100 g aralığında değişmiş ve Ç7, TPC açısından belirgin şekilde öne çıkmıştır. Ç7'nin aynı zamanda DPPH'de en yüksek değeri (84.23 mg AA/100 g) vermesi, bu çeşitte fenolik bileşiklerin patlatma sonrasında da aktif kaldığını ve radikal süpürme kapasitesini büyük ölçüde belirlediğini göstermektedir. Buna karşın Ç15 ve Ç19 gibi TPC'si düşük çeşitlerde, DPPH yanıtının da görece sınırlı kalması, fenolik fraksiyonun termal stabilite ve erişilebilirliğinin çeşide göre değişebileceğine işaret etmektedir.

Toplam flavonoid içeriği (TFC), 29.53–138.75 mg QE/100 g aralığında değişmiş; Ç20 ve Ç15 en yüksek grupta yer alırken, Ç3 en düşük değeri vermiştir. TFC'si yüksek olan Ç20'nin aynı zamanda toplam antioksidan kapasitede üst grupta bulunması, flavonoidlerin antioksidan yanıt üzerindeki katkısını desteklemektedir. Bununla birlikte Ç3'te düşük TFC'ye rağmen, ABTS'nin en yüksek olması (88.38 mg AA/100 g), ABTS testinin yalnızca flavonoidlere değil; lipofilik antioksidanlar ve reaksiyon ürünleri gibi farklı fraksiyonlara da duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Lipofilik fraksiyonu temsil eden  $\gamma$ -orizanol, çeşitler arasında 74.06–156.58 mg/100 g aralığında değişmiş; Ç14 ve Ç20 en yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu çeşitler, fonksiyonel ürün geliştirme açısından avantajlı görünmekte; ayrıca patlatma sürecinde  $\gamma$ -orizanolün tamamen parçalanmadığını, kepeğin korunması ve yarı haşlama sürecinin difüzyonu kolaylaştırmasıyla bazı çeşitlerde biyoyararlılığın artabileceği

düşünülmektedir. Dolayısıyla “yüksek  $\gamma$ -orizanol” profili, DPPH/FRAP sonuçlarını her zaman birebir yansıtmasa da, özellikle lipofilik oksidasyonun baskılanması yönünden kritik bir katkı sunmaktadır. Bu bağlamda  $\gamma$ -orizanol, lipofilik yapısı sayesinde yalnızca radikal süpürme testleriyle değil; membran stabilizasyonu ve zincir kırıcı mekanizmalar üzerinden de etki gösterebilen tamamlayıcı bir fraksiyon olarak öne çıkmaktadır.

Toplam antioksidan kapasite (TAC), 128.83–184.12 mg AA/100 g aralığında değişmiş; Ç5 ilk sırada, Ç4 ikinci sırada yer almıştır. İlginç biçimde Ç5’in TPC’si yalnızca orta bantta olmasına rağmen TAC’te lider olması, antioksidan kapasitenin yalnızca fenolik miktarıyla değil; fenolik kompozisyon, lipofilik bileşenler ve Maillard ürünlerinin birlikte katkısıyla şekillendiğini göstermektedir.

Mekanizma ayrımı açısından oksidatif indirgen gücü yansıtan FRAP, 56.42–109.28 mg FeSO<sub>4</sub>/100 g arasında değişmiş ve Ç8 belirgin üstünlük sergilemiştir. Ç8’in FRAP’ta lider, ancak DPPH’de orta düzeyde kalması; bu çeşitte elektron transferine yatkın bileşenlerin baskın olduğunu düşündürmektedir. Buna karşılık Ç19, FRAP’ta en düşük değeri vermiştir; bu çeşit, depolama stabilitesi açısından göreceli bir dezavantaj olasılığına işaret etmektedir.

Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, çeşitlerin farklı antioksidan profil tipleri sergilediği görülmektedir. Bunlardan fenolik/DPPH-odaklı Ç7, indirgen güç/FRAP-odaklı Ç8, lipofilik antioksidan-odaklı Ç14 ve Ç20, kombine/dengeli profil TAC’ta yüksek Ç4 ve Ç5 çeşitlerinde belirginleşmiştir. Bu nedenle pirinç patlağında fonksiyonel kaliteyi yalnızca TPC veya DPPH ile değerlendirmek yeterli değildir. Farklı testlerin birlikte yorumlanması, hangi mekanizmanın hangi çeşitte baskın olduğunu daha doğru yansıtmaktadır. Bulgular, ürün tasarımında (fenolik-zengin, lipofilik-zengin veya dengeli profil) çeşit seçiminin belirleyici; proses koşullarının ise bu profili yönlendiren tamamlayıcı bir araç olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, patlatma işlemi antioksidan kapasiteyi tek yönlü arttıran ya da azaltan bir işlem değildir. Aynı koşullar altında dahi çeşitler arasında ortaya çıkan belirgin ayrışma, sonucun esas olarak matriks yapısı + bileşen profili + işlem etkileşimi ile belirlendiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, pirinç patlağı ürünlerinde “yüksek antioksidan” hedefinin, tek bir parametreyi yükseltmekten ziyade hedeflenen mekanizmaya uygun çeşit seçimi ve optimize edilmiş proses tasarımı ile sağlanabileceğini göstermektedir. Gelecek çalışmaların, aynı çeşit üzerinde farklı patlatma stratejilerini karşılaştırarak mekanizma düzeyinde doğrulama yapması yararlı olacaktır.

Biyoaktif yanıtın ardından, ürünün tüketim deneyimini belirleyen reolojik yapı incelenmiştir. Kargo pirinç ve pirinç patlağı birlikte değerlendirildiğinde, patlatma



işleminin akış tipini değiştirmediği; ancak viskozite düzeylerini belirgin biçimde yeniden düzenlediği görölmüştür. Her iki üründe de kayma hızı arttıkça viskozitenin azalması, ürünlerin psödoplastik karakterini doğrulamaktadır. Bununla birlikte pirinç patlağında, özellikle düşük kayma hızlarında, bazı çeşitlerin belirgin biçimde koyulaştığı (Ç5, Ç6, Ç8, Ç14, Ç15), bazılarının ise daha akışkan bir profil sergilediği (Ç2, Ç3, Ç19, Ç20) belirlenmiştir. Bu durum, patlatmanın nişasta–protein ağını tek yönlü zayıflatan bir işlem olmadığını; gözeneklilik, jelatinizasyon derecesi ve su tutma kapasitesi ile ilişkili olarak yapıyı çeşide bağlı olarak spesifik biçimde yeniden organize ettiğini göstermektedir. Dolayısıyla reolojik yapı, genleşme davranışı ile birlikte düşünölmeli; hedeflenen ürün tipine göre hammadde seçimi ve patlatma koşulları birlikte optimize edilmelidir.

Bu çalışmada FTIR analizleri, pirinç patlaklarında patlatma işleminin nişasta yapısını kimyasal olarak bozmak yerine; kısa menzilli düzen–amorf dengesi üzerinden yeniden yapılandırđını ortaya koymuştur. Spektrumlarda karakteristik bantların korunması, patlatmanın ileri düzeyde degradasyon oluşturmadığını; buna karşın 1047/1022 ve 995/1022 oranlarındaki değişimlerin, kristalin bölgelerin zayıflayıp amorf yapının güçlendiğini gösterdiğini düşöndürmektedir. Ayrıca 1743 cm<sup>-1</sup> bandındaki varyasyonlar, lipid izi ve olası amiloz–lipid etkileşimlerinin çeşitlere göre farklılık gösterebildiğini ortaya koymuştur. Ç4’te daha düzenli ve nispeten “kuru”, Ç22’de ise daha amorf ve suya duyarlı bir mikro-yapının gözlenmesi; patlatma sonrası yapının, ham madde özellikleri ve proses koşullarına oldukça duyarlı olduğunu açık biçimde göstermektedir. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, pirinç patlaklarında elde edilen yapısal farklılıkların —nişastanın kristalinite düzeyi, heliks organizasyonu, bağlanmış su miktarı ve lipid etkileşimleri— bir arada ele alındığında anlam kazandığı; dolayısıyla patlatma sürecinin optimize edilmesiyle bu parametrelerin hedefe yönelik olarak yönlendirilebileceği anlaşılmaktadır.

Pirinç patlakları örneklerinin duyuşal profilleri birlikte değerlendirildiğinde, genel beğenin esas olarak gevreklik, dış doku ve tat bileşenleri tarafından yönlendirildiği görölmüştür. FreeMap (PCA) analizinde yüksek beğenili örneklerin bu özellik vektörlerine yakın konumlanması, panelist tercihlerinin de aynı ekseninde yoğunlaştığını doğrulamıştır. Duyusal skorlar çeşitler arasında belirgin biçimde farklılaşmış; genel beğeni 5.00–6.80, gevreklik 5.80–7.20 ve tat 5.50–7.40 aralığında değişmiştir. Renk ve parlaklık gibi görsel nitelikler kabulü destekleyici bir rol oynamakla birlikte, asıl belirleyici unsurun kırılğan/gevrek yapı ile hoş tat–aroma bileşiminin birlikte sağlanması olduğu anlaşılmaktadır. Bu bulgular, patlatma koşullarının (nem, sıcaklık ve

genleşme davranışı) optimize edilmesiyle duyuşal kabulün iyileştirilebileceğini ve ürün geliştirme çalışmalarında FreeMap temelli yaklaşımların güçlü bir karar desteğı sunduğunu göstermektedir.

Genel olarak bu çalışma, ham çeltikten pirinç patlağına uzanan işleme zincirinin ürün kalitesini yalnızca bileşen miktarları üzerinden değıl; mikroyapı, akış davranışı ve biyoaktif özellikler ekseninde birlikte şekillendirdiğini ortaya koymuştur. Patlatma işleminin akış tipini değıştirmemiş, ancak viskozite düzeylerini çeşide özgü biçimde yeniden düzenlemiştir. FTIR bulguları, nişastanın kristalin–amorf dengesi üzerinden yeniden organize olduğunu ve bu yeniden yapılanmanın genleşme kapasitesi, gözeneklilik, yoğunluk ve renk oluşumu ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Çalışma genelinde, yüksek gözeneklilik ve düşük yoğunluk profiline sahip çeşitlerin patlatma açısından avantajlı olduğu; ancak antioksidan kapasitenin yalnızca bu yapısal üstünlükle açıklanamadığı belirlenmiştir. Nitekim bazı çeşitlerde fenolik fraksiyonlar (DPPH), bazılarında indirgen güç (FRAP) ya da  $\gamma$ -orizanol gibi lipofilik bileşenler baskın hâle gelmiştir.

Bu çerçevede elde edilen tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, pirinç patlağı ürün kalitesinin tek bir parametre ile açıklanamayacağı; patlatma performansı, duyuşal kalite, reolojik özellikler ve biyoaktif bileşen profilinin çeşit özellikleri ile proses koşullarının birlikte etkisiyle şekillendiğı belirlenmiştir. Endüstriyel ölçekte ürün geliştirme süreçlerinde yalnızca proses parametrelerinin değıl, hammaddenin de hedeflenen ürün profiline göre (yüksek genleşme, belirli bir reolojik kıvam, fenolik veya  $\gamma$ -orizanolce zengin yapı vb.) bilinçli biçimde seçilmesi önem taşımaktadır. Bütüncül performans açısından değerlendirildiğinde, Ç5 çeşidinin patlatma performansı, duyuşal kalite ve toplam antioksidan kapasite bakımından dengeli ve yüksek performans sergilediğı görülmüştür. Yapısal özellikler, antioksidan içerik ve duyuşal kalite birlikte değerlendirildiğinde Ç4 ve Ç14 çeşitlerinin dengeli bir profil sunduğı belirlenmiştir. Bunun yanında duyuşal kalite ve fonksiyonel bileşen potansiyeli birlikte ele alındığında Ç1 ve Ç7 çeşitlerinin öne çıktığı tespit edilmiştir. Endüstriyel üretim açısından değerlendirildiğinde ise proses verimliliğı, ürün kalitesi ve fonksiyonel özelliklerin birlikte ele alınmasıyla Ç5, Ç4 ve Ç14 çeşitlerinin öncelikli olarak değerlendirilebileceğı sonucuna ulaşılmıştır. Bu kapsamda elde edilen bulgular doğrudan kahverengi pirinç patlağı; fonksiyonel atıştırmalık üretiminde, kahvaltılık gevrek ve granola karışımlarında, tatlı ve tuzlu bar formülasyonlarında, salata ve çorbalarda tekstür arttırıcı bileşen olarak ve yenilikçi atıştırmalık ürün geliştirme çalışmalarında potansiyel bir hammadde olarak değerlendirilebilir. Özellikle lif, fenolik

bileşenler ve  $\gamma$ -orizanol içeriği sayesinde fonksiyonel gıda pazarında yüksek kullanım potansiyeli sunmaktadır.

İleride yapılacak çalışmalarda, bu tezde öne çıkan çeşitlerin farklı patlatma teknolojileri (sıcak hava, mikrodalga, IR vb.), depolama koşulları ve duyu analizlerle birlikte değerlendirilmesi; ayrıca seçilmiş çeşitlerin fonksiyonel atıştırma formülasyonlarında (bar, gevrek karışım, kaplamalı ürünler) test edilmesi hem bilimsel bilgi birikiminin derinleştirilmesi hem de fonksiyonel pirinç patlağı ürünlerinin ticarileştirilmesi açısından yararlı olacaktır.



## KAYNAKÇA

- Abd El Salam, K. M. H., Tabl, D. M., Abou El-Soud, G. M., ve Marei, A. M. (2023). Grain popping of some Egyptian rice cultivars as affected by temperature and sample weight. *Journal of Plant Production*, 14(12), 587–594. <https://doi.org/10.21608/jpp.2023.248407.1287>
- Ahmed, D., Khan, M. M. ve Saeed, R. (2015). Comparative analysis of phenolics, flavonoids, and antioxidant and antibacterial potential of methanolic, hexanic and aqueous extracts from adiantum caudatum leaves. *Antioxidants*, 4(2), 394–409. <https://doi.org/10.3390/antiox4020394>
- Ahmed, J., Al-Jassar, S., ve Thomas, L. (2015). A comparison in rheological, thermal, and structural properties between Indian Basmati and Egyptian Giza rice flour dispersions as influenced by particle size. *Food Hydrocolloids*, 48, 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.012>
- Ahmed, Z., Forsido, S.F., Kuyu, C.G. ve Keyata, E.O. (2023). Optimization of soaking conditions (temperature and time) on physicochemical properties of selected parboiled rice varieties grown in Eastern Ethiopia. *Food Science & Nutrition*, 11, 3171-3183. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3298>
- Akay, H. (2020). Bazı çeltik çeşitlerinin fiziksel, kimyasal ve pişme özelliklerinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35, 438-445.
- Akay, H., Sezer, İ., ve Ozturk, E. (2022). Physico-chemical and cooking quality traits of paddy cultivars of japonica sub-species. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 6(2), 294–301. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2022.2.13>
- Akay, H., Sezer, İ., Mut, Z., ve Köse, Ö. D. E. (2018). Türkiye’de yetiştirilen bazı çeltik çeşitlerinin tane kalitesinin belirlenmesi. *Uluslararası Tarım, Çevre ve Sağlık Kongresi Bildiriler Kitabı* (s. 136). Aydın, Türkiye.
- Akram, M. U. (2018). The Production of a functional yogurt fortified with brown rice [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=vbVkJX1KChYWNELr1MuLZIN7TMAcXY-3TIYWXtUUjzoD6jJSKT0QvQDpuRWbizKN>
- Altuntaş, E. ve Naneli, İ. (2018). Bazı çeltik çeşitlerinin geometrik, hacimsel, renk ve sürtünme karakteristiklerinin incelenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7(1), 77–86.

- Alyürük, G. (2023). Osmancık-97 ve Cameo Çeltik Çeşitlerinin Tarımında Kullanılan Bazı Herbisitlerin Morfolojik, Fizyolojik ve Genetik Etkilerinin İncelenmesi [Yayımlanmış doktora tezi, Trakya Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. [https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=nLNfCsWgUluh5T2iyudShniqtd4PL8iH2gdU23qOyURCEnRoqT5ja24dW\\_FSdsgO](https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=nLNfCsWgUluh5T2iyudShniqtd4PL8iH2gdU23qOyURCEnRoqT5ja24dW_FSdsgO)
- Amagliani, L., O'regan, J., Kelly, A.L. ve O'Mahony, J. A. (2017). Composition and protein profile analysis of rice protein ingredients. *Journal of Food Composition and Analysis*, 59, 18–29.
- AOAC International. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (18. Baskı, Method 962.09, Crude fiber in animal feed and pet food). AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- AOAC International. (2016). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (20. Baskı, Method 920.87, Protein (total) in flour). AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- AOAC International. (2016). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (20. Baskı, Method 979.09, Protein in grains). AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Apirattananusorn, S. (2025). Puffed brown rice from Hom Chaiya rice by heated plate: Composition and glycemic index. *Recent Science and Technology*, 17(3), 261749.
- Arditti, S. (1997). Preference mapping: A case study. *Food Quality and Preference*, 8(5–6), 323–327.
- Ayaşan, T., Ülger, İ. ve Özsoy, B. (2019). Bazı çeltik çeşitlerinin beslenme değerinin tespiti. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(3), 405–409. <https://doi.org/10.30910/turkjans.595190>
- Bagchi, T. B., Chattopadhyay, K., Sivashankari, M., Roy, S., Kumar, A., Biswas, T. ve Pal, S. (2021). Effect of different processing technologies on phenolic acids, flavonoids and other antioxidants content in pigmented rice. *Journal of Cereal Science*, 100, 103263.
- Bagchi, T. B., Sanghamitra, P., Berliner, J., Chattopadhyay, K., Sarkar, A., Kumar, A., Ray, S., ve Sharma, S. G. (2016). Assessment of physicochemical, functional and nutritional properties of raw and traditional popped rice. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 15(4), 659–668.
- Bandumula, N. (2018). Rice production in Asia: Key to global food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 88, 1323–1328.

- Basavaraj, Raviteja, G., ve Deshpande, S. (2015). Physical properties of rice for puffing. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 5(3), 376–379.
- Bello, M., Baeza, R. ve Tolaba, M. P. (2006). Quality characteristics of milled and cooked rice affected by hydrothermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 72, 124–133.
- Benzie, I. F. F., ve Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76.
- Berthomieu, C., ve Hienerwadel, R. (2009). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Photosynthesis Research*, 101(2–3), 157–170.
- Bhattacharjee, S., ve Das, P. (2020). Changes in proximate composition during processing of a few rice products of Assam having ethno-economic importance. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(4), 713–725.
- Bhattacharya, K. R. (2011). Rice quality: A guide to rice properties and analysis. *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*.
- Bhattacharya, K. R., Sowbhagya, C. M., ve Indudhara Swamy, Y. M. (1972). Some physical properties of paddy and rice and their interrelations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 23(2), 171–186.  
<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740230206>
- Bhattacharya, S. (2012). Rheological characterization and modeling of rice flour dough: Effect of parboiling time, moisture content and gum Arabic. *Journal of Texture Studies*, 43, 1–13.
- Bianchi, F., Lomuscio, E., Rizzi, C., ve Simonato, B. (2021). Predicted shelf-life, thermodynamic study and antioxidant capacity of breadsticks fortified with grape pomace powders. *Foods*, 10(11), 2815.
- Boonsit, P., Pongpiachan, P., Julsrigival, S. ve Karladee, D. (2010). Gamma oryzanol content in glutinous purple rice landrace varieties. *CMU Journal of Natural Sciences*, 9(1), 151–158.
- Bourekoua, H., Djeghim, F., Ayad, R., Benabdelkader, A., Bouakkaz, A., Dziki, D. ve Różyło, R. (2023). Development of energy-rich and fiber-rich bars based on puffed and non-puffed cereals. *Processes*, 11(3), 813.

- Capron, I., Robert, P., Colonna, P., Brogly, M. ve Planchot, V. (2007). Starch in rubbery and glassy states by FTIR spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*, 68(2), 249–259.
- Cattaneo, S., Hidalgo, A., Masotti, F., Stuknytė, M., Brandolini, A., ve De Noni, I. (2015). Heat damage and *in vitro* starch digestibility of puffed wheat kernels. *Food Chemistry*, 188, 286–293.
- Cervantes-Ramírez, J. E., Cabrera-Ramirez, A. H., Morales-Sánchez, E., Rodriguez-García, M. E., Reyes-Vega, M. de la L., Ramírez-Jiménez, A. K., Contreras-Jiménez, B. L., ve Gaytán-Martínez, M. (2020). Amylose-lipid complex formation from extruded maize starch mixed with fatty acids. *Carbohydrate Polymers*, 246, 116555.
- Champagne, E. T., Wood, D., Juliano, B. O. ve Bechtel, D. B. (2004). The rice grain and its gross composition. İçinde E. T. Champagne (Ed.), *Rice: Chemistry and technology* (3. Baskı, ss. 77–107). AACC International.
- Chandra, S., Khan, S., Avula, B., Lata, H., Yang, M. H., ElSohly, M. A., ve Khan, I. A. (2014). Assessment of total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and yield of aeroponically and conventionally grown leafy vegetables and fruit crops: A comparative study. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, Article 253875.
- Chandrasekhar, P. R., ve Chattopadhyay, P. K. (1991). Rice puffing in relation to its varietal characteristics and processing conditions. *Journal of Food Process Engineering*, 14(4), 261–277.
- Chandrasekhar, P. R., ve Chattopadhyay, P. K. (1990). Studies on microstructural changes of parboiled and puffed rice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 14(1), 27–37. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1990.tb01126.x>
- Cheon, H. S., Cho, W. I., Jhin, C., Back, K. H., Ryu, K. H., Lim, S. Y., Chung, M. S., Choi, J. B., Lim, T., ve Hwang, K. T. (2015). Optimization of processing conditions for the production of puffed rice. *The Korean Journal of Culinary Research*, 21(1), 77–89.
- Chinnaswamy, R. ve Bhattacharya, K. R. (1983). Studies on expanded rice: Optimum processing conditions. *Journal of Food Science*, 48(6), 1604–1608. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb05043.x>
- Chinnaswamy, R., Unnikrishnan, K. R., ve Bhattacharya, K. R. (1985). Rheological properties of certain processed rice products. *Starch/Stärke*, 37(3), 99–103.

- Choi, Y., Ban, I., Lee, H., Baik, M.-Y., ve Kim, W. (2019). Puffing as a novel process to enhance the antioxidant and anti-inflammatory properties of *Curcuma longa* L. (turmeric). *Antioxidants*, 8(11), 506.
- Chun, S. Y., ve Yoo, B. (2004). Rheological behavior of cooked rice flour dispersions in steady and dynamic shear. *Journal of Food Engineering*, 65(3), 363–370. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.01.035>
- Çakmak, K. (2025). Renkli pirinç çeşitlerinden farklı yöntemler ile üretilen cipslerin kalite özellikleri [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=weFMBHaUra8rsS5wi2bmHFhlwbr2X093A0JUc09vGEVEnJn20bMPwmCwAEKPSx5Y>
- Çığ, F., Erden, Z. ve Toprak, Ç.C. (2024). Registered paddy (*Oryza sativa* L.) varieties in Türkiye, paddy agriculture potential and recent developments in paddy agriculture. *Uluslararası Gıda, Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi (IJFAA)*, 2(1), 55-62.
- Dankar, I., Haddarah, A., Pujolà, M., ve Sepulcre, F. (2024). Hydrogen bond integration in potato microstructure: effects of water removal, thermal treatment, and cooking techniques. *Polysaccharides*, 5(4), 609–629.
- Dash, K. K., ve Das, S. K. (2019). Optimization of fluidized bed preconditioning for microwave puffed rice using integrated artificial neural network and genetic algorithm approach. *Journal of Food Process Engineering*, 42(1), e13158. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13158>
- Dash, K. K., ve Das, S. K. (2021). Modeling and optimization of microwave puffing of rice using artificial neural network and genetic algorithm. *Journal of Food Process Engineering*, 44(1), e13577. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13577>
- De Lacerda de Oliveira, L., Ortega Sanchez, B. A., Costa Celestino, I., Costa Celestino, S. M., de Alencar, E. R. ve Costa, A. M. (2022). Shelf life and retention of bioactive compounds in storage of pasteurized *Passiflora setacea* pulp, an exotic fruit from Brazilian savannah. *LWT*, 159, 113202.
- Donduran, D. Ö. (2014). Ülkemizde işlenen bazı çeltik çeşitlerinin kalite ve biyoaktif özelliklerinin incelenmesi [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Onsekiz Mart Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=48XPj7KKQhKUgntkUiKO3GjKBB79sWy7iE-2tsnyKRXP39iUzsyFFS1QKScm-Owh>



- El Hosry, L., Elias, V., Chamoun, V., Halawi, M., Cayot, P., Nehme, A., ve Bou-Maroun, E. (2025). Maillard reaction: Mechanism, influencing parameters, advantages, disadvantages, and food industrial applications: A review. *Foods*, 14(11), 1881.
- FAO (2003). Food energy: Methods of analysis and conversion factors (FAO Food and Nutrition Paper 77).
- FAO/WHO. (2007). Codex Alimentarius: Cereals, pulses, legumes and vegetable proteins. Joint FAO/WHO Food Standards Programme.
- Finocchiaro, F., Ferrari, B., Gianinetti, A., Dall'Asta, C., Galaverna, G., Scazzina, F. ve Pellegrini, N. (2007). Characterization of antioxidant compounds of red and white rice and changes in total antioxidant capacity during processing. *Molecular Nutrition and Food Research*, 51, 1006–1019.
- Fitzgerald, M. A., Martin, M., Ward, R. M., Park, W. D. ve Shead, H. J. (2003). Viscosity of rice flour: A rheological and biological study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(8), 2295–2299. <https://doi.org/10.1021/jf020574i>
- Food Safety and Standards Authority of India (FSSAI). (2016). Manual of methods of analysis of foods: Cereal and cereal products.
- Forfang, K., Zimmermann, B., Kosa, G., Kohler, A. ve Shapaval, V. (2017). FTIR spectroscopy for evaluation and monitoring of lipid extraction efficiency for oleaginous fungi. *PLOS ONE*, 12(1), e0170611.
- Forsido, S. F., Duguma, H. T., Lema, T. B., Sturm, B. ve Hensel, O. (2019). Nutritional and sensory quality of composite extruded complementary food. *Food Science & Nutrition*, 7(3), 882–889.
- Foschia, M., Peressini, D., Sensidoni, A. ve Brennan, C. S. (2013). The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products. *Journal of Cereal Science*, 58(2), 216–227.
- Galal, W.K., Gomaa, R.A. ve Tawfik, M.M. (2019). Physico-Chemical and Cooking Properties of Some Rice Varieties to Produce Salty and Sweet Puffed Rice. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 16(1), 21–30.
- Ghadge, P. N. ve Prasad, K. (2012). Some physical properties of rice kernels: Variety PR-106. *Journal of Food Processing & Technology*, 3(8), 175.
- Goufo, P. ve Trindade, H. (2014). Rice antioxidants: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols,  $\gamma$ -oryzanol, and phytic acid. *Food Science and Nutrition*, 2(2), 75–104.

- Guillén, M. D. ve Cabo, N. (1997). Infrared spectroscopy in the study of edible oils and fats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 75(1), 1–11.
- Güngör, G. (2019). Glutensiz granola üretimi ve zerdeçal (*Curcuma Longa* L.) ve mahlep (*Prunus Mahaleb* L.) ilavesinin antioksidan özelliklere etkisi [Yayınlanmış yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi] YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=T1mWGp9MngYYkCSgiJvtVsLlU0UXgvV2TTiNw-FtWRaC96tcVVCNYVVuQrDyiGeO>
- Hoke, K., Houšová, J. ve Houška, M. (2005). Optimum conditions of rice puffing: A review. *Czech Journal of Food Sciences*, 23(1), 1–11.
- Huang, R., Pan, X., Lv, J., Zhong, W., Yan, F., Duan, F. ve Jia, L. (2018). Effects of explosion puffing on the nutritional composition and digestibility of grains. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 2193–2204. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1514634>
- Ilo, S., Schoenlechner, R. ve Berghofer, E. (2000). Role of lipids in the extrusion cooking processes. *Grasas y Aceites*, 51(1–2), 97–110.
- Ilyasov, I. R., Beloborodov, V. L., Selivanova, I. A. ve Terekhov, R. P. (2020). ABTS/PP decolorization assay of antioxidant capacity reaction pathways. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3), 1131.
- ISO. (2019). *Colorimetry—Part 4: CIE 1976 L\*a\*b\* colour space (ISO/CIE 11664-4:2019)*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Itagi, H. B. N., ve Singh, V. (2015). Status in physical properties of coloured rice varieties before and after inducing retro-gradation. *Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 7747–7758. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1929-6>
- Itagi, H., Sartagoda, K.J.D., Pratap, V., Roy, P., Tiozon, R.N., Regina, A. ve Sreenivasulu, N. (2023). Popped rice with distinct nutraceutical properties. *LWT-Food Science and Technology*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114346>.
- Jahangir, R., Alam, C.M.I.K., Haque, T., Talukder, M.M.U., Saha, M.R., Hasan, S.M.R., ve Biva, I.J. (2009). Development of pop rice (Khoi) powder as substitute of glucose in ORS formulation. *International Journal of PharmTech Research*, 1(3), 953–961.
- Jeon, H., Lee, J., Nam, T. G., Choi, H., ve Kim, H.-S. (2025). Physicochemical and rheological properties of floury rice powder with different particle sizes: Effects on gluten-free sponge cake qualities. *Gels*, 11(10), 789. <https://doi.org/10.3390/gels11100789>

- Jeong, E., Abdellaoui, N., Lim, J. Y. ve Seo, J. A. (2024). The presence of a significant endophytic fungus in mycobiome of rice seed compartments. *Scientific Reports*, 14(1), 23367. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73550-1>
- Joshi, N. D., Mohapatra, D. ve Joshi, D. C. (2014). Varietal selection of some indica rice for production of puffed rice. *Food and Bioprocess Technology*, 7(1), 299–305.
- Joshi, N. D., Mohapatra, D., Joshi, D. C. ve Sutar, R. F. (2013). Puffing characteristics of parboiled milled rice in a domestic convective–microwave oven and process optimization. *Food and Bioprocess Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1220-7>
- Juliano, B. O. (1985). Rice properties and processing. *Food Reviews International*, 1(3), 423–445. <https://doi.org/10.1080/87559128509540778>
- Juliano, B. O. (1993). Rice in human nutrition (FAO Food and Nutrition Series No. 26). Food and Agriculture Organization of the United Nations. 08/12/2025 tarihinde <https://www.fao.org/4/t0567e/t0567e00.htm> adresinden erişilmiştir.
- Junyusen, T., Sonsomboonsuk, S., Junyusen, P., Chatchavanthatri, N., Nawong, S., Kamonsutthipaijit, N. Ve Pakawanit, P. (2025). Ultra-low hydrostatic pressure: A novel approach to producing high-quality germinated Brown rice puffs. *LWT-Food Science and Technology*, 226. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117981>
- Juricic, H., Cuccioloni, M., Bonfili, L., Angeletti, M., Uberti, D., Eleuteri, A. M., Abate, G., ve Cekarini, V. (2025). Biochemical, biological, and clinical properties of  $\gamma$ -oryzanol. *Antioxidants*, 14(9), 1099.
- Kalaycı, Z. ve Kaya, A. Ş. (2022). Çimlendirilmiş besinler ve sağlık üzerine etkileri. *Food and Health*, 8(4), 334-343. <https://doi.org/10.3153/FH22031>
- Kasangana, P., Haddad, P. S. ve Stevanovic, T. (2015). Study of Polyphenol Content and Antioxidant Capacity of *Myrianthus Arboreus* (Cecropiaceae) Root Bark Extracts. *Antioxidants*, 4(2), 410-426.
- Kathuria, D., Hamid, Gautam, S., ve Thakur, A. (2023). Maillard reaction in different food products: Effect on product quality, human health and mitigation strategies. *Food Control*, 150, 109911.
- Kaur, K., ve Singh, N. (2000). Amylose–lipid complex formation during cooking of rice flour. *Food Chemistry*, 71(4), 511–517.
- Kedare, S. B., ve Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of Food Science and Technology*, 48(4), 412–422.

- Khan, H. (2017). Screening of selected rice varieties for puffing [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Professor Jayashankar Telangana State Agricultural University]. Krishikosh. <https://krishikosh.egranth.ac.in/server/api/core/bitstreams/b50e15b4-9d9b-4b4c-ba43-f98d61a1f0d8/content>
- Khan, H., Suchiritha Devi, S., Aparna, K. ve Kameswari, S. L. (2017). Nutritional properties of three selected varieties of puffed rice: *WGL44*, *WGL283* and *RNR2458*. *The Pharma Innovation Journal*, 6(9), 458–460.
- Kim, C. ve Yoo, B. (2006). Rheological properties of rice starch–xanthan gum mixtures. *Journal of Food Engineering*, 75(1), 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.002>
- Konkubaeva, N., Radenkovs, V., Tomsone, L., Keke, A., Kulmyrzaev, A. ve Galoburda, R. (2025). Comparison of physicochemical properties, volatile profiles, and 5-hydroxymethylfurfural and acrylamide content in whole and explosion-puffed wheat grain. *Applied Sciences*, 15(2), 559.
- Kumar, L., Mishra, N. K., Patel, S., Khokhar, D. ve Lakra, A. (2017). Rice puffing characteristics of some selected varieties. *Trends in Biosciences*, 10(30), 6263–6267.
- Kumar, S. ve Prasad, K. (2013). Effect of paddy parboiling and rice puffing on physical, optical and aerodynamic characteristics. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4(8), 765–770.
- Kumar, S. ve Prasad, K. (2018). Effect of parboiling and puffing processes on the physicochemical, functional, optical, pasting, thermal, textural and structural properties of selected India rice. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 1707–1722.
- Kumar, S., Prasad, K., Kumar, K. ve Kumar, H. (2017). Physico-chemical and sensory evaluation of coated flaked and puffed rice products. İçinde N. Kumar, R. Kaushik, P. Chawla ve D. Kumar (Ed.), *Human health and nutrition: With special emphasis on dairy and cereal products* (ss. 106–112). Gyan Kosh.
- Kumara, KHCH., Pathinayake, M.H.U., Withanawasam, D. M., Hafeel, R. F. ve Manamperi, N. P. (2022). Development of low amylose rice (*Oryza sativa* L.) variety at 309 for rice based confectionery production in Sri Lanka. *Tropical Agricultural Research & Extension*, 25(2), 195–199.
- Kunzman, A.T., Comeman, H.G., Hunag, W.Y., Kitahara, C.M., Cantwell, M. M. ve Berndt, S. (2015). Dietary fiber intake and risk of colorectal cancer and incident and recurrent adenoma in the Prostate, Lung, Colorectal, and Ovarian Cancer

- Screening. Trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 102(4), 881–890.  
<https://doi.org/10.3945/ajcn.115.113282>
- Kuru, C. (2025). Protein çeşidi ve ısıtma şartlarının nanofibril proteinlerin özelliklerine etkisi [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.  
[https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=Xau5rw3KuCgEuy-FuJQtsCM7uBX5Xvtr2dcCCVSqn\\_KAdZ668pFA0Ljr8aRgHsG9](https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=Xau5rw3KuCgEuy-FuJQtsCM7uBX5Xvtr2dcCCVSqn_KAdZ668pFA0Ljr8aRgHsG9)
- Lamberts, L., De Bie, E., Derycke, V., Veraverbeke, W. S., De Man, W., Delcour, J. A., ve De Man, J. C. (2006). Effect of processing conditions on colour formation in extruded rice flour. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 98–105.
- Lawless, H. T. ve Heymann, H. (2010). Sensory evaluation of food: Principles and practices (2. Baskı). Springer.
- Lee, N. Y. ve Yang, J. H. (2020). Influence of partial gelatinization treatment on the quality changes of puffed rice. *Preventive Nutrition and Food Science*, 25(2), 225–231. <https://doi.org/10.3746/pnf.2020.25.2.225>
- Liu, Q., Kong, Q., Li, X., Lin, J., Chen, H., Bao, Q. ve Yuan, Y. (2020). Effect of mild-parboiling treatment on the structure, colour, pasting properties and rheology properties of germinated brown rice. *LWT – Food Science and Technology*, 130, 109623. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109623>
- Liu, X., Zhang, Y., Zhu, K., Xie, F., Si, H., Wu, S., Chen, B., ..., ve Qiao, Y. (2025). Comparative evaluation of puffing effects on physicochemical and volatile profiles of brown and refined rice. *Foods*. 14, 2812.  
<https://doi.org/10.3390/foods14162812>
- Lu, H., Ma, R., Chang, R., ve Tian, Y. (2021). Evaluation of starch retrogradation by infrared spectroscopy. *Food Hydrocolloids*, 120, 106975.
- Lu, Y., Hou, Y., Liu, S., Jia, S., Zhu, Y. ve Zhang, X. (2025). Comparative analysis of the characteristics and content of  $\gamma$ -oryzanol in 19 Chinese brown rice cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 107521.
- Lux, T., Kardell, M., Reimold, F., Erdoes, A. ve Flöter, E. (2022). Functional, rheological, and microstructural properties of hydrothermal puffed and raw amaranth flour suspensions. *Food Science & Nutrition*, 10(11), 3724–3735.  
<https://doi.org/10.1002/fsn3.2970>
- MacFie, H. (2007). Preference mapping and food product development. In: Consumer-led Food Product Development. Woodhead Publishing.

- Mahanta, C. L., ve Bhattacharya, K. R. (2010). Relationship of starch changes to puffing expansion of parboiled rice. *Journal of Food Science and Technology*, 47(2), 182–187.
- Maisont, S., ve Narkrugsa, W. (2009). Effects of some physicochemical properties of paddy rice varieties on puffing qualities by microwave. *Kasetsart Journal: Natural Science*, 43(3), 566–575.
- Mariotti, M., Alamprese, C., Pagani, M. A., ve Lucisano, M. (2006). Effect of puffing on ultrastructure and physical characteristics of cereal grains and flours. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.007>
- Mekonnen, K. D. (2023). Fourier transform infrared spectroscopy as a tool for identifying the unique characteristic bands of lipid in oilseed components: confirmed via Ethiopian indigenous desert date fruit. *Heliyon*, 9(3), e14699.
- Milli Eğitim Bakanlığı. (2010). Gıdalarda Gravimetrik analizler 2 (541GI0081). Ankara.
- Milli Eğitim Bakanlığı. (2011). Gıda teknolojisi Gıdalarda yağ tayini(541GI0069). Ankara.
- Min, B., McClung, A. ve Chen, M. H. (2014). Effects of hydrothermal processes on antioxidants in brown, purple and red bran whole grain rice (*Oryza sativa L.*). *Food Chemistry*, 159, 106–115.
- Mir, S. A., Don Bosco, S. J., Shah, M. A. ve Mir, M. M. (2016). Effect of puffing on physical and antioxidant properties of brown rice. *Food Chemistry*, 191, 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.025>
- Mir, S. A., Don Bosco, S. J., Shah, M. A., Mir, M. M., ve Sunooj, K. V. (2016). Process optimization and characterization of popped brown rice. *International Journal of Food Properties*, 19(9), 2102–2112. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1105254>
- Mishra, N. K., Patel, S., ve Sahu, C. (2023). Studies on physical properties of selected varieties of parboiled rice popular in Chhattisgarh for rice puffing. *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research*, 10(4), 8465–8469.
- Mishra, G., Joshi, D.C. ve Panda, B. K. (2014). Popping and puffing of cereal grains: A review. *Jornal of Grain Processing and Storage*, 1(2), 34–46.
- Mohsenin, N. N. (1970). Physical properties of plant and animal materials: Structure, physical characteristics and mechanical properties. *Gordon and Breach Science Publishers*.

- Mokrzycki, W. S., ve Tatol, M. (2012). Colour difference  $\Delta E$  – A survey. *Machine Graphics & Vision*, 20(4), 383–411.
- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26(2), 211–219.
- Mom, V., Chanlat, P. ve Songsermpong, S. (2020). Characteristics and process optimization of rice snack (khao-tan) puffing by home microwave oven. *Journal of Food Processing and Preservation*, 00:e14413. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14413>
- Morales-Martínez, L., Bello-Pérez, L., Sánchez-Rivera, M., Ventura-Zapata, E. ve Jiménez-Aparicio, A., (2014). Morphometric, Physicochemical, Thermal, and Rheological Properties of Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars *Indica*  $\times$  *Japonica*. *Food and Nutrition Sciences*, 5(3), 271-279.
- Murugesan, G. ve Bhattacharya, K. R. (1986). Studies on puffed rice. I. Effect of processing conditions. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 23, 197–202.
- Murugesan, G., ve Bhattacharya, K. R. (1991). Effect of some pretreatments on popping of rice. *Journal of Cereal Science*, 13(1), 85–92. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(09\)80009-3](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(09)80009-3)
- Pal, P., Singh, N., Kaur, P. ve Kaur, A. (2018). Effect of parboiling on phenolic, protein, and pasting properties of rice from different paddy varieties. *Journal of Food Science*, 83(11), 2761–2771.
- Pal, S., Bagchi, T. B., Dhali, K., Kar, A., Sanghamitra, P., Sarkar, S., Samaddar, M. ve Majumder, J. (2019). Evaluation of sensory, physicochemical properties and consumer preference of black rice and their products. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1484–1494. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03634-8>
- Paraman, I., Wagner, M. E. ve Rizvi, S. S. H. (2012). Micronutrient and protein-fortified whole grain puffed rice made by supercritical fluid extrusion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(43), 11188–11194. <https://doi.org/10.1021/jf3034804>
- Parganiha, D., Patel, S., Naik, R. K., Khokhar, D., Mishra, N. K., ve Pisalkar, P. S. (2022). Puffing characteristics of three test varieties of parboiled milled rice. *The Pharma Innovation Journal*, 11(3), 1027–1032.
- Park, B. R., No, J., Oh, H., Park, C. S., You, K.-M. ve Chewaka, L. S. (2025). Exploring puffed rice as a novel ink for 3D food printing: Rheological

- characterization and printability analysis. *Journal of Food Engineering*, 387, 112313
- Parkavi, P., Banumathy, S., Thangaraj, K., Suresh, R., Arunachalam, P. ve Jothilakshmi, K. (2020). Evaluation of rice varieties for physicochemical characters related to puffing quality. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 11(2), 494–498.
- Patel, H., Rajput, L. P. S., Ansari, F., Rana, G. K. ve Soni, R. (2021). Effects of physicochemical and processing characteristics on nutritional and sensorial profile of puffed rice. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(1), 635-642.
- Pathaw, P. M. S., Mahanta, C. L. ve Bhattacharya, S. (2021). Characteristics of gluten-free rice batter and baked cake made from the flour of heat-moisture treated paddy of pigmented rice. *Journal of Food Process and Preservation*, 45, e15206. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15206>
- Pérez, M., Domínguez-López, I. ve Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The chemistry behind the Folin–Ciocalteu method for the estimation of (poly)phenol content in food: Total phenolic intake in a Mediterranean dietary pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(7).
- Priya, R. T. S., Nelson, A. R. L. E., Ravichandran, K. ve Antony, U. (2019). Nutritional and functional properties of coloured rice varieties of South India: A review. *Journal of Ethnic Foods*, 6(11). <https://doi.org/10.1186/s42779-019-0017-3>
- Qin, X., Chen, L. ve Yu, L. (2016). Effects of dry-heat treatment on the physicochemical properties and rheological behavior of rice flour and starch. *Journal of Cereal Science*, 69, 372–378.
- Rajarajeswari, J., Rashmi, M. ve Singh, V. (2022). Nutraceuticals and antioxidant properties: Whole pigmented rice versus processed rice and its products. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry*, 35(2), 109–119.
- Rao, M. A. (2007). Rheology of fluid and semisolid foods: Principles and applications (2. Baskı). *Springer*.
- Reddy, B. S. ve Chakraverty, A. (2004). Physical properties of raw and parboiled paddy. *Biosystems Engineering*, 88(4), 461–466. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.05.002>
- Riceland Foods. (t.y.). *Anatomy of rice*. <https://www.riceland.com/anatomy-of-rice>
- Rodriguez-Saona, L. E. ve Allendorf, M. E. (2011). Use of FTIR for rapid authentication and detection of adulteration in foods. *Food Research International*, 44(10), 2850–2861.



- Roudaut, G., Dacremont, C. ve Le Meste, M. (1998). Influence of water on the crispness of cereal-based foods: Acoustic, mechanical, and sensory studies. *Journal of Texture Studies*, 29, 199–213.
- OHAUS Corporation. (n.d.). *MB45 moisture analyzer*. <https://us.ohaus.com/en-us/products/balances-scales/moisture-analyzers/mb45/moisture-analyzer-mb45-am>
- Ondokuz Mayıs Üniversitesi. (n.d.). Nişasta analizi [Ders notu].
- Saeleaw, M. ve Schleining, G. (2011). Effect of frying parameters on crispiness and sound emission of cassava crackers. *Journal of Food Engineering*, 103(2), 229–236.
- Saha, S. ve Roy, A. (2020). Puffed rice: A materialistic understanding of rice puffing and its associated changes in physicochemical and nutritional characteristics. *Journal of Food Process Engineering*, 43(9), e13479.
- Saha, S., Saha, R., Sarkhel, S., Kumari, A., Chatterjee, K., Chatterjee, A., Sahoo, B.,...,Roy,A. (2025). Physicochemical properties, micronutrient uptake and bioavailability of iron-fortified intact grain puffed rice. *Journal of Cereal Science*, 123, 104158. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2025.104158>
- Saha, S., ve Roy, A. (2022). Selecting high amylose rice variety for puffing: A correlation between physicochemical parameters and sensory preferences. *Measurement: Food*, 5, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2021.100021>
- Scavariello, E. M. ve Arellano, D. B. (1998). Gamma-oryzanol: An important component in rice bran oil [Article in Spanish]. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 48(1), 7–12.
- Semerci, A. (2023). Çeltik üretiminde üreticilerin sosyo-ekonomik özelliklerinin verim üzerine etkisi: Çanakkale ili örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(2), 410–419.
- Sezer, İ., Akay, H., Öner, F. Ve Şahin, M. (2012). Çeltik üretim sistemleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 5(2), 06–11.
- Shavandi, M., Javanmard, M. ve Basiri, A. (2023). Novel infrared puffing: Effect on physicochemical attributes of puffed rice (*Oryza sativa* L.). *Food Science & Nutrition*, 11, 2141–2151. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3022>
- Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y. ve Bao, J. (2009). Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. *Journal of Cereal Science*, 49(1), 106–111.

- Shraim, A. M., Ahmed, T., Rahman, M. M. ve Hijji, Y. (2021). Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. *LWT*, 150, 111932.
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S. ve Gill, B. S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81(2), 219–231. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)
- Singleton, V. L. ve Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic–phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
- Sonsomboonsuk, S., Treeamnuak, T., Junyusen, T., Taengsopha, P., Moolkaew, P., Junyusen, P., Chatchavanthatri, N., Nawong, S. ve Pakawanit, P. (2024). Effects of cooking methods on the physicochemical, textural and microstructural properties of hot salt puffed germinated brown rice. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 101001. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101001>
- Sowbhagya, C. M. ve Bhattacharya, K. R. (1971). A simplified colorimetric method for determination of amylose content in rice. *Starch*, 23(2), 53–55.
- Sreenidhi, Y. Sugandhi, G. P., Kamalaja, T. ve Kiran, K. (2022). Sensory evaluation of puffed rice developed from Talengana rice varieties. *Biological Forum-An International Journal*, 14(4), 614-617.
- Srisaipet, A. ve Nuddagul, M. (2014). Influence of temperature on gamma-oryzanol stability of edible rice bran oil during heating. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 5(4), 303–306.
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food process engineering* (2. Baskı). Freeman Press.
- Stone, H. ve Sidel, J. L. (2004). *Sensory evaluation practices* (3. Baskı). Elsevier Academic Press.
- Swarnakar, A. K., Kumar, G., Kumar, A. Ve Das, S.K. (2023) Changes in sensorial and microstructural characteristic of puffed brown rice in hot sad bed puffing with change in precondtitioning. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 25(4), 222-235.
- Swarnakar, A. K., Devi, M. K. ve Das, S. K. (2014). Popping characteristics of paddy using microwave energy and optimization of process parameters. *International Journal of Food Studies*, 3, 45–59. <https://doi.org/10.7455/ijfs/3.1.2014.a4>
- Swarnakar, A. K., Srivastava, P. P. ve Das, S. K. (2020). Optimization of pressure parboiling conditions and pre-conditioned moisture content of brown rice

- (unpolished rice) for microwave puffing and its comparison with hot sand bed puffing. *International Journal of Food Studies*, 9(SI), SI1–SI16.
- Swarnakar, A.K., Kumar, G. ve Das, S.K. (2023). Changes in sensorial and microstructural characteristics of puffed brown rice in hot sand bed puffing with change in preconditioning. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 25(4), 222–235.
- Swarnakar, A. K., Srivastav, P. P. ve Das, S. K. (2019). Optimization of preconditioning process of pressure parboiled Brown rice(unpolished) for microwave puffing and its comparison with hot sand bed puffing. *Journal of Food Process Engineering*, 1-11. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13007>
- Takahashi, A. ve Fujii, K. (2025). Mechanical and thermal properties and moisture sorption of puffed cereals made from brown rice, barley, adlay and amaranth. *Foods*, 14(2), 189. <https://doi.org/10.3390/foods14020189>
- Tantamango, Y. M., Knutsen, S., Beeson, W. L., Fraser, G. ve Sabate, J. (2012). Foods and food groups associated with the incidence of colorectal polyps: the anventist health study. *Nutr Cancer*, 63(4), 565-572. <https://doi.org/10.1080/01635581.2011.551988>
- Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü [TAGEM]. (2013). Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü 2013 yılı araştırma projeleri faaliyet raporu. Edirne, Türkiye.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2011). *Türk gıda kodeksi pirinç tebliği (Tebliğ No: 2010/60)*. Resmî Gazete (Sayı: 27808).
- Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü (TAGEM). (2015). Çeltik çeşitlerimiz ve pedigrileri [Excel dosyası]. [https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Belgeler/Dosyalar/celtik\\_cesitlerimiz\\_pedigrileri.xls](https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Belgeler/Dosyalar/celtik_cesitlerimiz_pedigrileri.xls)
- Tuano, A. P. P., Castrillo, G. A. ve Viola, G. A. V. (2021). Analysis of apparent amylose content of market milled rice via digital image photometry using a smartphone camera. *Current Research in Food Science*, 4, 852–861.
- Tuncel, N. B. ve Yılmaz, N. (2011). Gamma-oryzanol content, phenolic acid profiles and antioxidant activity of rice milling fractions. *European Food Research and Technology*, 233, 577-585.
- Turan, A. (2013). Çimlendirilmiş esmer pirinç keki üretiminin biyoaktif bileşenlere etkisi [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.

<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=iTkOhwevEenJZ3onUvs52vr2GuhGyMcaMXVDTksAI8pYNe34rwn10ChcXkVQEQQVD>

- Unan, R., Yilmaz, S. ve Enginsu, M. (2020). Karadeniz bölgesi çeltik (*Oryza sativa* L.) ıslah çalışmaları. *Ziraat Fakültesi Dergisi Türkiye 13. Ulusal, I. Uluslararası Tarla Bitkileri Kongresi Özel Sayısı*, 30–37.
- Ünan, R. (2016). Çeltikte (*Oryza sativa* L.) Soğuk stresinin verim ve kalite unsurlarına etkileri ile soğuk stresine toleranslı genotiplerim morfolojik ve moleküler yöntemlerle belirlenmesi [Yayımlanmış doktora tezi, Namık Kemal Üniversitesi].  
YÖK Tez Merkezi.  
[https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=cbOXH84ZayrLjc0tI-QXKkMbJG2n\\_DyC2yadJcmK0MXBrExGcEJwmiMyzP9AGWh9](https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=cbOXH84ZayrLjc0tI-QXKkMbJG2n_DyC2yadJcmK0MXBrExGcEJwmiMyzP9AGWh9)
- van den Berg, R., Haenen, G. R. M. M., van den Berg, H. ve Bast, A. (1999). Applicability of an improved Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay for evaluation of antioxidant capacity measurements of mixtures. *Food Chemistry*, 66(4), 511–517.
- Van Hecke, E., Allaf, K. ve Bouvier, J. M. (1998). Texture and structure of crispy-puffed food products. Part II: Mechanical properties in puncture. *Journal of Texture Studies*, 29, 617–632.
- van Soest, J. J. G., Tournois, H., de Wit, D. ve Vliegthart, J. F. G. (1995). Short-range structure in (partially) crystalline potato starch determined with attenuated total reflectance Fourier-transform IR spectroscopy. *Carbohydrate Research*, 279, 201–214.
- Villareal, C. P. ve Juliano, B. O. (1987). Varietal differences in quality characteristics of puffed rices. *Cereal Chemistry*, 64(4), 337–342
- Walter, M. ve Marchesan, E. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of rice. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54(2), 371–377.
- Wang, X., Liu, Z., Li, X., Song, J., Chen, L., Li, Y., Liu, X. ve Li, P. (2024). Quality improvement of fresh extruded rice-shaped kernels (FER) by microwave-aided puffing technology. *Journal of Food Processing and Preservation*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14991>
- Warren, F. J., Gidley, M. J. ve Flanagan, B. M. (2016). Infrared spectroscopy as a tool to characterise starch ordered structure: A joint FTIR-ATR, NMR, XRD and DSC study. *Carbohydrate Polymers*, 139, 35–42.
- Wattanapreechanont, S. ve Songsermpong, S. (2014). Effect of microwave wattage, infrared temperature, and puffing time on the moisture content, expansion ratio

- and color of puffed rice cracker. The 16th Food Innovation Asia Conference (12–13 June 2014, Bangkok, Thailand), 18–25.
- Yamuangmorn, S., Sreethong, T., Saenchai, C., Rerkasem, B. ve Prom-u-thai, C. (2021). Effects of roasting conditions on anthocyanin, total phenolic content, and antioxidant capacity in pigmented and non-pigmented rice varieties. *International Food Research Journal*, 28(1), 73–82.
- Yaralı, E. (2018). *Gıdalarda duyuşsal analizler* [Ders notu]. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi.  
<https://akademik.adu.edu.tr/myo/cine/webfolders/File/ders%20notlari/gidalarda%20duyuşsal%20analizler.pdf>
- Yazman, M. M. (2014). Pirinçte tağışışın kalite özelliklerine göre belirlenmesi ve piyasadaki pirinçlerin Türk Gıda Kodeksine uygunluğunun saptanması [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.  
[https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=WY5CM7tPNE2z\\_YM6pBu0t\\_mel0Ns6GdDPQQjfgpCwl4330G3buLuULWHjqxCa0TH](https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=WY5CM7tPNE2z_YM6pBu0t_mel0Ns6GdDPQQjfgpCwl4330G3buLuULWHjqxCa0TH)
- Ye, L., Wang, C., Wang, S., Zhou, S. ve Liu, X. (2016). Thermal and rheological properties of brown flour from Indica rice. *Journal of Cereal Science*, 70, 270–274.
- Zhou, Y., Miao, J., Gu, H., Peng, X., Leburu, M., Yuan, F., Gu, H., Gao, Y., Tao, Y., Zhu, J., Gong, Z., Yi, C., Gu, M., Yang, Z. ve Liang, G. (2015). Natural variations in SLG7 regulate grain shape in rice. *Genetics*, 201(4), 1591–1599.  
<https://doi.org/10.1534/genetics.115.181115>
- Zuo, J. ve Li, J. (2014). Molecular genetic dissection of quantitative trait loci regulating rice grain size. *Annual Review of Genetics*, 48, 99–118.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-genet-120213-092138>

## ÖZGEÇMİŞ

Gıda Mühendisi Gonca Gül ÖNGEL, ilk, orta ve lise öğrenimini Samsun-Bafra’da tamamladı. Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini tamamlayarak 2015 yılında “Gıda Mühendisi” unvanını aldı. 2022 yılında Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda tezli yüksek lisans eğitimine başladı. 2020 yılında Tarım ve Orman Bakanlığı Sürmene İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü’nde Gıda Mühendisi olarak atandı ve halen aynı kurumda görevini sürdürmektedir. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.

