ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI DEPOLAMA KOŞULLARININ SOĞANIN HASAT SONRASI FİZYOLOJİSİNE ETKİSİ

Samiullah RAWOFI

BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2025

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI DEPOLAMA KOŞULLARININ SOĞANIN HASAT SONRASI FİZYOLOJİSİNE ETKİSİ

Samiullah RAWOFI

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özge HORZUM

Çalışmada, farklı depolama koşullarının kuru soğan çeşitlerinde hasat sonrası fizyolojik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Bitkisel materyal olarak, Afganistan'ın Kunduz bölgesine özgü iki yerel soğan çeşidi olan ''Kunduz Beyazı'' ve ''Kunduz Kırmızısı'' ile Türkiye menşeli ''Soçi'' ticari çeşidi kullanılmıştır. Bu çeşitler, hasat sonrası kürleme işlemine tabi tutulduktan sonra iki farklı depolama koşulunda (soğutmalı depolama: 0 ± 2 °C sıcaklık, %55-65 oransal nem; soğutmasız depolama: ortam koşulları) altı ay süreyle muhafaza edilmiştir. Depolama süresi boyunca soğan başlarında solunum hızı, ağırlık kaybı, suda çözünür kuru madde, filizlenme oranı, köklenme oranı, çürüme oranı, görsel dinlenme indeksi ve pazarlanabilir ürün oranı gibi temel fizyolojik ve kalite parametreleri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, soğutmalı depo koşullarında depolanan soğanlarda filizlenme ve ağırlık kaybı gibi temel kalite kayıplarının anlamlı düzeyde azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle ''Kunduz Kırmızısı'' ve ''Soçi'' çeşitleri, düşük sıcaklık ve yüksek oransal nem koşullarında daha stabil fizyolojik özellikler göstermiş, yüksek pazarlanabilir ürün oranı ile dikkat çekmiştir. Buna karşılık, ''Kunduz Beyazı'' çeşidi, soğutmasız depo koşullarına karşı daha duyarlı olup, bu koşullarda solunum hızı ve filizlenme oranlarında belirgin artışlar gözlenmiştir. Suda çözünür kuru madde değerlerinde depolama süresi boyunca genotipe ve depolama şekline bağlı olarak anlamlı değişimler meydana gelmiştir. Elde edilen bulgular, soğuk depolama sistemlerinin kuru soğanda kalite kaybını önlemede ve raf ömrünü uzatmada etkili olduğunu doğrularken, özellikle yerel çeşitlerin bu koşullara verdiği fizyolojik yanıtların bölgeye özgü depolama stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemli olduğunu göstermektedir. Bu tez, Afganistan gibi modern depolama altyapısının sınırlı olduğu bölgelerde uygulanabilir muhafaza yöntemleri ve çeşit-seçim stratejileri açısından yol gösterici niteliktedir.

Temmuz 2025, 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: *Allium cepa* L., filizlenme, soğuk muhafaza, soğutmasız depo, solunum

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECT OF DIFFERENT STORAGE CONDITIONS ON POSTHARVEST PHYSIOLOGY OF ONION

Samiullah RAWOFI

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Horticulture

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Özge HORZUM

In this study, the effects of different storage conditions on the postharvest physiological characteristics of dry onion cultivars were investigated. As plant material, two local onion cultivars native to the Kunduz region of Afghanistan (‘‘Kunduz Beyazı’’ and ‘‘Kunduz Kırmızısı’’) and the commercial Turkish cultivar ‘‘Soçi’’ were used. After harvest, the onions underwent a curing process and were then stored under two different conditions: cold storage (0 ± 2 °C temperature, 55-65% relative humidity) and ambient storage for six months. During storage, key physiological and quality parameters were evaluated, including respiration rate, weight loss, soluble solids content, sprouting rate, rooting rate, decay rate, visual dormancy index, and marketable yield ratio. According to the results, cold storage conditions significantly reduced postharvest quality losses, including sprouting and weight loss. Notably, ‘‘Kunduz Kırmızısı’’ and ‘‘Soçi’’ cultivars exhibited more stable physiological responses under low temperature and high relative humidity conditions, showing higher marketable yield ratios. In contrast, ‘‘Kunduz Beyazı’’ was more sensitive to ambient storage, with notably higher respiration and sprouting rates under these conditions. The soluble solids content values showed statistically significant variations depending on genotype and storage condition throughout the storage period. The findings confirm that cold storage systems are effective in reducing quality deterioration and extending shelf life in dry onions. Moreover, the physiological responses of local cultivars to these storage environments highlight the importance of developing region-specific storage strategies. This thesis offers guidance on implementing practical and feasible postharvest storage methods and cultivar selection strategies in regions such as Afghanistan, where modern storage infrastructure is limited.

July 2025, 66 page

Keywords: *Allium cepa* L., sprouting, cold storage, ambient storage, respiration

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması ve yazım sürecinde, yalnızca verdikleri kıymetli destek ve yardımlarla değil, aynı zamanda bilgi birikimi ve tecrübeleriyle akademik yaşamım boyunca bana daima rehberlik eden, bilimsel gelişimime yön veren ve kendisinden büyük ölçüde istifade ettiğim değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Özge HORZUM'a (Ankara Üniversitesi Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Öğretim Üyesi); bu çalışmanın planlanmasında ve uygulamaya geçirilmesinde her daim desteklerini esirgemeyen, önceki danışman hocam Sayın Doç. Dr. Selen AKAN KARACA'a (Ankara Üniversitesi Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Emekli Öğretim Üyesi); araştırmalarımın her aşamasında maddi ve manevi katkılarıyla yanımda olan, çalışmanın nitelik kazanması adına değerli katkılar sağlayan ve akademik yolculuğumda önemli bir rehber olan kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Nurdan TUNA GÜNEŞ'e (Ankara Üniversitesi Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Öğretim Üyesi) en derin şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'nde görev yapan, bilgi ve tecrübeleriyle akademik gelişimime katkı sunan tüm değerli öğretim üyelerine; her zaman iş birliği içinde çalıştığımız, araştırma süreçlerinde fikir alışverişinde bulunarak bana destek olan kıymetli araştırma görevlisi arkadaşlarıma; ve eğitim sürecim boyunca her türlü idari işlemin sorunsuz ilerlemesine katkı sağlayan, güler yüzlü yaklaşımlarıyla biz öğrencilere her daim yardımcı olan idari personeline gönülden teşekkür ederim.

Ayrıca bugünlere ulaşmamda ve hayatımın her aşamasında karşılaştığım zorlukları aşmamda bana hem maddi hem manevi anlamda büyük bir özveriyle destek olan, varlıklarıyla güç bulduğum, sabırları ve sevgileriyle her daim yanımda olduklarını hissettiren kıymetli aileme en içten şükranlarımı sunmak isterim. Özellikle sevgili babam Zainullabudin Rawofı'ye ve fedakâr annem Breşna Rawofi'ye; bana sağladıkları sınırsız destek, duaları, anlayışları ve sonsuz sevgileri için minnettarlığımı kelimelerle ifade etmekte yetersiz kalırım. Bu akademik yolculukta attığım her adımda onların katkısı büyüktür; varlıkları en büyük ilham kaynağım olmuştur.

Samiullah RAWOFI
Ankara, Temmuz 2025

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI
ETİK i
ÖZET ii
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR... iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ ix
1.GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI 3
2.1 Soğan Taksonomisi ve Anavatanı 3
2.2 Dünya Soğan Üretimi ve Ticareti 3
2.3 Soğanın Besin İçeriği ve Sağlık Üzerine Etkileri 6
2.4 Soğanın Botanik Özellikleri 8
2.5 Soğanın Ekolojik İstekleri 9
2.6 Kuru Soğan Hasadı ve Hasat Sonrası Fizyolojisi 10
2.6.1 Kuru soğan hasadı ve kurutulması (kürleme) 10
2.6.2 Kuru soğanda hasat sonrası teknolojiler 13
2.6.3 Kuru soğanda depolama sürecindeki önemli fizyolojik kayıplar 20
2.6.3.1 Ağırlık kaybı 22
2.6.3.2 Filizlenme 22
2.6.3.3 Köklenme 23
2.6.3.4 Çürüme 24
3. MATERYAL VE YÖNTEM 25
3.1 Bitkisel Materyal 25
3.2 Yöntem 25
3.2.1 Arazi hazırlığı, tohum ekimi ve bitkilerin yetiştirilmesi 25
3.2.2 Kuru soğanların hasadı, kurutulması ve muhafazası 27
3.2.3 Muhafaza periyodu süresince kuru soğanlarda belirlenen kalite parametreleri 28
3.2.3.1 Solunum hızı 28
3.2.3.2 Ağırlık kaybı 29

3.2.3.3 Suda çözünür kuru madde (SÇKM) 29
3.2.3.4 Filizlenme oranı 30
3.2.3.5 Köklenme oranı 30
3.2.3.6 Çürüme oranı 30
3.2.3.7 Görsel dinlenme indeksi 30
3.2.3.8 Pazarlanabilir baş oranı 31
3.2.3.9 İstatistiksel değerlendirme 31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 32
4.1 Solunum Hızı 32
4.2 Filizlenme Oranı 35
4.3 Köklenme Oranı 38
4.4 Çürüme Oranı 39
4.5 Ağırlık Kaybı 40
4.6 Suda Çözünür Kuru Madde (SÇKM) 45
4.7 Görsel Dinlenme İndeksi 49
4.8 Pazarlanabilir Baş Oranı 51
5. SONUÇ 54
KAYNAKLAR 56
ÖZGEÇMİŞ 66

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

°C : Santigrat derece
CO_2 : Karbondioksit
cm : Santimetre
g : Gram
kg : Kilogram
L : Litre
ml : Mililitre
O_2 : Oksijen
t : Ton
% : Yüzde
γ : Gama

Kısaltmalar

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
DAP : Diamonyum Fosfat
FAO : Food and Agriculture Organization (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü)
1-MCP : 1- Metilsiklopropen
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Dünya soğan üretim miktarı 4

Şekil 2.2 Türkiye 2016-2023 yılları soğan üretim miktarı 5

Şekil 2.3 2023 yılı dünya soğan ihracat değeri 6

Şekil 3.1 Soğan çeşitleri (a) 'Soçi' (b) 'Kunduz Kırmızısı' (c) 'Kunduz Beyazı' 25

Şekil 3.2 Soğan yetiştirilen arazi 26

Şekil 3.3 Sulama yöntemi 26

Şekil 3.4 Arazide kürleme işlemi 27

Şekil 3.5 Soğutmalı (A) ve soğutmasız (B) depo görünümü 28

Şekil 3.6 Soğutmasız deponun aylık ortalama sıcaklık ve oransal nem değerleri 28

Şekil 4.1 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince solunum hızında ($mL.CO_2.kg^{-1}.h^{-1}$) meydana gelen değişimler 35

Şekil 4.2 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince filizlenme oranında (%) meydana gelen değişimler 37

Şekil 4.3 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda ortalama ağırlık kaybında (%) meydana gelen değişimler 41

Şekil 4.4 Soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 günlük depolama süresince ortalama ağırlık kaybında (%) meydana gelen değişimler 43

Şekil 4.5 Soğan çeşitlerinde 180 günlük depolama süresince ortalama ağırlık kaybında (%) meydana gelen değişimler 44

Şekil 4.6 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince SÇKM miktarında (%) meydana gelen değişimler 48

Şekil 4.7 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince görsel dinlenme indeksinde meydana gelen değişimler 51

Şekil 4.8 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda ortalama pazarlanabilir baş oranında meydana gelen değişimler 53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 'Kunduz Kırmızısı', 'Kunduz Beyazı' ve 'Soçi' soğan çeşitlerinde depolama şekli, çeşit, depolama süresi ve bunların interaksiyonlarına ilişkin bağımlı değişkenler için varyans analizi (ANOVA) 32

Çizelge 4.2 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince solunum hızında ($mL.CO_2.kg^{-1}.h^{-1}$) meydana gelen değişimler 34

Çizelge 4.3 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince filizlenme oranında (%) meydana gelen değişimler 37

Çizelge 4.4 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız ağırlık kaybında (%) meydana gelen değişimler 41

Çizelge 4.5 Soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 günlük depolama süresince ağırlık kaybında (%) meydana gelen değişimler 42

Çizelge 4.6 Soğan çeşitlerinde 180 günlük depolama süresince ağırlık kaybında (%) meydana gelen değişimler 44

Çizelge 4.7 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince SÇKM oranında (%) meydana gelen değişimler 48

Çizelge 4.8 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince görsel dinlenme indeksinde meydana gelen değişimler 50

Çizelge 4.9 Soğan çeşitlerinde 180 günlük depolama süresince pazarlanabilir baş oranında (%) meydana gelen değişimler 53

1. GİRİŞ

Soğan (*Allium cepa* L.), dünya genelinde en yaygın olarak yetiştirilen ve tüketilen sebzelerden biridir. Alliaceae familyasına ait olan bu tür, hem taze hem de kuru olarak tüketilmekte ve insan beslenmesinde karbonhidrat, vitamin (A, B1, B2, C), mineral ve çeşitli fitokimyasallar açısından önemli bir yer tutmaktadır (Taşcı ve Koca 2019). Dünya çapında yıllık yaklaşık 55 milyon ton üretim kapasitesi ile ekonomik değeri yüksek olan bu bitki, hem gıda sanayinde hem de tıbbi amaçlı kullanımda önemli bir yere sahiptir. Düzenli soğan tüketiminin bağışıklık sistemini güçlendirdiği, kardiyovasküler hastalıklar ile bazı kanser türlerine karşı koruyucu etki sağladığı çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur.

Soğan üretimi, küresel ölçekte Çin, Hindistan, ABD, Türkiye, İran ve Meksika gibi ülkelerde yoğunlaşmaktadır (Shabir vd. 2022). Bu ülkelerde yaygın üretim yapılmasına rağmen, soğanın hasat sonrası muhafazasında yaşanan kayıplar ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, hasat sonrası dönemdeki uygun olmayan depolama koşulları, ürünün fiziksel, kimyasal ve besinsel kalitesinin hızla bozulmasına neden olmakta ve pazar değerini düşürmektedir. Hasat sonrası dönemde karşılaşılan başlıca kayıplar arasında çürüme, filizlenme, köklenme, ve ağırlık kaybı yer almaktadır (Kiran vd. 2024).

Soğan gibi kısa dinlenme periyoduna sahip ürünlerin depo ömrünün uzatılabilmesi için uygun sıcaklık, oransal nem ve havalandırma gibi faktörlerin kontrol altına alınması gerekmektedir. Yüksek sıcaklık ve nem oranı, soğanda solunumu artırarak metabolik faaliyetleri hızlandırmakta, bu durum da filizlenme, çürüme ve kalite kayıplarına neden olmaktadır (Sharma ve Lee 2016). Çalışmalar, 0-2 °C sıcaklık ve %65-70 oransal nem koşullarında soğuk depolamanın, soğan başlarının kalite parametrelerini korumada etkili olduğunu göstermektedir (Ko vd. 2015, Nabi vd. 2013).

Depolama sürecinde sıcaklık kadar oransal nem de kritik öneme sahiptir. Uygun nem seviyeleri üründe ağırlık kayıplarını önlerken, aşırı nem ise küf gelişimini teşvik edebilir (Praeger vd. 2003). Bu nedenle ideal nem aralığının %60–80 arasında tutulması tavsiye edilmektedir (Sharma vd. 2014). Ek olarak, havalandırma sistemlerinin tipi (doğal, mekanik vs.) de depolama performansı üzerinde etkili olup, iyi havalandırılmış ortamlarda kalite kayıpların azaldığı tespit edilmiştir (Hussain Chattha vd. 2020).

Afganistan'da soğan üretimi oldukça yaygındır ve ülke, yılda yaklaşık 540.000 ton üretimle önemli bir üretici konumundadır (Anonymous 2023). Ancak, ülkede soğuk hava deposu altyapısının yeterli olmaması, üreticilerin hasat sonrası ürünlerini uygun şekilde depolamasını engellemekte ve ciddi ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Geleneksel depolama sistemleri çoğunlukla kısa süreli kullanım için uygundur ve genellikle yüksek sıcaklık ve nem nedeniyle ürün kayıplarına yol açmaktadır. Üstelik Afganistan'ın ihracat pazarları olan Hindistan ve Pakistan gibi ülkelere gönderilen ürünlerde de kalite standartlarının korunması büyük önem taşımaktadır (Salari vd. 2021).

Bu çerçevede, Afganistan'da yetiştirilen yerel soğan çeşitlerinin farklı depolama koşullarında gösterdiği fizyolojik tepkilerin incelenmesi, hem ürün kalitesinin korunması hem de hasat sonrası kayıpların azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, soğuk hava deposu ve geleneksel depolama yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak ele alınması, üreticiler ve tüccarlar için pratik ve ekonomik açıdan uygulanabilir çözümler sunulmasına katkı sağlayacaktır.

Bu tez çalışması, Afganistan soğan çeşitlerinden ''Kunduz Beyazı'' ve ''Kunduz Kırmızısı'' ile karşılaştırma amacıyla Türkiye'den ''Soçi'' çeşidi soğanların, farklı depolama koşulları altında hasat sonrası fizyolojik değişimlerini karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Bu araştırmanın sonuçlarının, Afganistan'daki soğan üreticilerine uygun depolama yöntemleri konusunda yol gösterici olması ve ülke genelinde modern depolama altyapısına geçişi teşvik etmesi beklenmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Soğan Taksonomisi ve Anavatanı

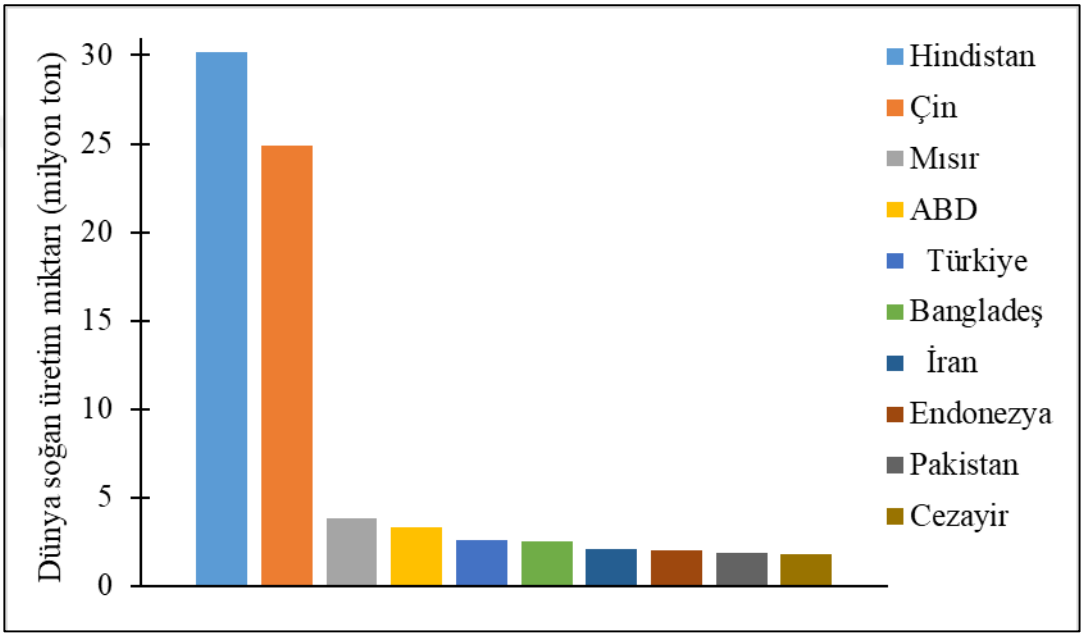
Soğan (*Allium cepa* L.), Allium cinsinin ekonomik öneme sahip en yaygın türlerinden biridir. Önceleri Liliaceae (zambakgiller) ailesi içinde sınıflandırılmış olsa da, modern moleküler filogenetik çalışmalar doğrultusunda günümüzde Amaryllidaceae (nergisgiller) ailesinin Allioideae alt ailesi içerisinde yer almaktadır (Meerow vd. 2006, Teotia vd. 2024). Bu taksonomik değişim, özellikle DNA dizi analizlerinin sağladığı genetik veriler sayesinde gerçekleştirilmiştir. Allium cinsi yaklaşık 850-1000 tür içermekte olup, bunların çoğu Asya ve Akdeniz bölgesine özgüdür. Soğanın anavatanı konusunda farklı görüşler bulunmakla birlikte, genetik çeşitlilik ve yabani akrabalarının dağılımı dikkate alındığında Orta Asya, özellikle de Türkmenistan, Özbekistan, Afganistan ve İran'ın kuzey bölgeleri, soğanın kültüre alındığı merkezler arasında kabul edilmektedir. Bu bölgeler, Allium türlerinin doğal olarak yayılım gösterdiği, uygun iklim ve ekolojik koşullara sahip olması nedeniyle türün evrimi açısından kritik öneme sahiptir. Günümüzde kültüre alınmış formları tüm dünyada yaygın olarak yetiştirilen soğan, bu geniş adaptasyon kabiliyeti sayesinde çok çeşitli agroekolojik bölgelere uyum sağlayabilmektedir (Rabinowitch 1990, Huo vd. 2019). Soğan, kuzey yarımkürenin ılıman bölgelerinde yetiştirilmektedir. En çok çeşitliliği Türkiye, İran, Irak, Afganistan, Kazakistan ve Batı Pakistan'da bulunmaktadır. Bu bölgeler soğanın önemli merkezleri olarak bilinmektedir (Gökçe vd. 2010).

2.2 Dünya Soğan Üretimi ve Ticareti

Küresel ölçekte soğan üretimi ve uluslararası ticareti artış göstermiştir. Anonymous (2023) verilerine göre, yıllık küresel soğan ticaret hacmi yaklaşık 3 milyon tona ulaşmıştır. 2023 yılı itibarıyla dünya çapında en fazla soğan üreten ilk 10 ülke Şekil 2.1'te sunulmuştur. En yüksek üretim miktarına sahip ülke yaklaşık 29 milyon ton ile Hindistan olurken, onu yaklaşık 25 milyon ton üretim ile Çin takip etmektedir. Mısır, ABD, Türkiye, Bangladeş, İran, Endonezya, Pakistan ve Cezayir gibi ülkeler de önemli

üreticiler arasında yer almaktadır. Bu ülkelerin toplam üretim kapasitesi, küresel soğan arzının büyük kısmını oluşturmaktadır.

Özellikle Hindistan ve Pakistan'da yetiştirilen soğanlar, keskin aromatik özellikleri ile dikkat çekmekte ve yıl boyunca pazarda bulunabilirlikleri sayesinde uluslararası talebi karşılayabilmektedir (Baloch vd. 2014). Bu durum, söz konusu ülkelerin sadece üretim değil, aynı zamanda ihracat açısından da önemli aktörler olmasını sağlamaktadır.

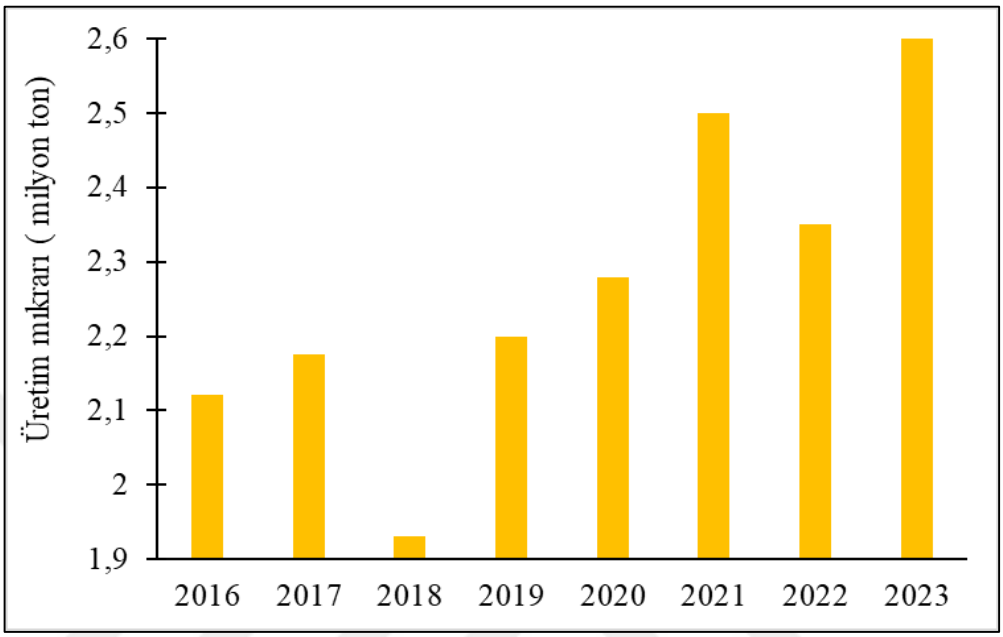


Şekil 2.1 Dünya soğan üretim miktarı (Anonymous 2023)

Türkiye, 2023 yılı itibarıyla yaklaşık 2,6 milyon tonluk üretimi ile küresel sıralamada ilk 10 ülke arasında yer almaktadır (Anonim 2023). Türkiye'deki üretim yıllar içinde dalgalanma göstermekle birlikte genel olarak artış eğilimindedir (Şekil 2.2). 2018 yılında üretimde kısa süreli bir düşüş yaşanmış olsa da 2021'den itibaren belirgin bir artış gözlenmiş ve 2023 yılında en yüksek seviyeye ulaşılmıştır.

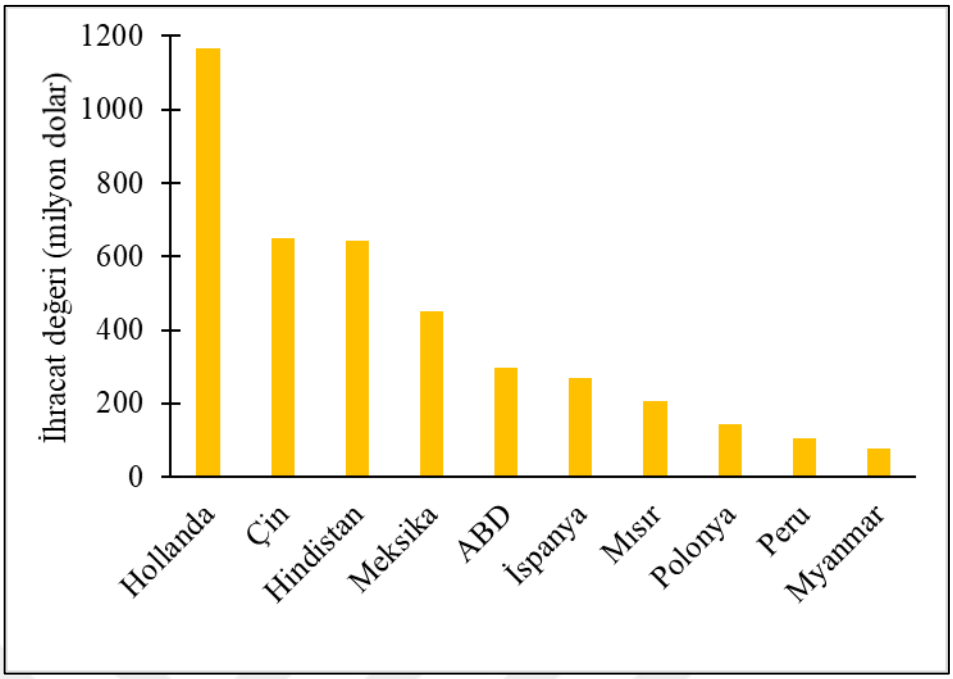
Bazı kaynaklar, soğanın anavatanı olarak Afganistan'ı göstermekte olup, ülkede birçok yabani soğan çeşidi bulunduğu belirtilmektedir (Gökçe vd. 2012). Afganistan'ın başlıca soğan ihracat pazarları Hindistan ve Pakistan'dır. 2019 yılında Afganistan, Hindistan'a

49.320 ton, Pakistan'a ise 79.170 ton soğan ihraç etmiştir (Salari vd. 2021). FAO' nun 2022 yılı verilerine göre, Afganistan'ın yıllık soğan üretimi 541.000 ton olup, aynı yıl 271.803 ton soğan ihracatı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.2 Türkiye 2016-2023 yılları soğan üretim miktarı (Anonymous 2023)

Soğan ihracat değerleri incelendiğinde, 2023 yılında en yüksek ihracat değerine sahip ülke yaklaşık 1100 milyon dolar ile Hollanda olmuştur. Çin ve Hindistan'ın ihracat değerleri ise 600-700 milyon US dolar aralığında gerçekleşmiştir. Bu ülkeleri 400-500 milyon dolar aralığındaki ihracat hacimleriyle Meksika ve ABD izlemiştir. İspanya, Mısır ve Polonya gibi ülkeler ise 200-300 milyon dolar ihracat değerleriyle orta düzey ihracatçı konumundadır (Şekil 2.2) (Anonymous 2023).



Şekil 2.3 2023 yılı dünya soğan ihracat değeri (Anonymous 2023)

2.3 Soğanın Besin İçeriği ve Sağlık Üzerine Etkileri

Soğan tarih boyunca önemli bir gıda maddesi olmuştur. Orta Asya'da, özellikle İran ve Pakistan bölgelerinde 5.000 yıldan fazla süre önce kültüre alınan *Allium cepa,* hem kuru soğan hem de yeşil soğan olarak kullanılmıştır. Günümüzde, düşük üretim maliyeti, zengin besin içeriği ve mutfaklardaki geniş kullanım alanı sayesinde dünya çapında milyonlarca hektarda yetiştirilen soğan, hem gıda endüstrisinde hem de bölgesel gıda üretiminde vazgeçilmez bir rol oynamaktadır (Arena vd. 2024).

Soğan, insan sağlığı açısından önemli birçok biyoaktif bileşik içermektedir. Bu bileşikler arasında oligosakaritler, polifenoller, flavonoidler, diyet lifi ve çeşitli sülfür bileşenleri yer almaktadır. Bu bileşenler sayesinde soğan antioksidan, anti-inflamatuar, anti-kanserojen, anti-diyabetik, anti-obezite, ve antibakteriyel etkiler gibi çok sayıda potansiyel sağlık yararı sunmaktadır (Yoo vd. 2025, Borah ve Banik 2019).

Soğanın özellikle fenolik bileşikler açısından zengin bir kaynak olması, onu işlevsel bir gıda haline getirmektedir. Bu fenolik bileşikler, antioksidan kapasiteye katkı sağlayarak

oksidatif stresin azaltılmasına ve metabolik hastalıkların önlenmesine yardımcı olmaktadır. Ancak bu bileşiklerin tipi, konsantrasyonu ve biyolojik etkinliği kullanılan soğan genotipi, yetiştirme koşulları (iklim, toprak, sulama gibi tarımsal parametreler) ve gıda işleme yöntemleri gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle, fonksiyonel özelliklerin maksimize edilmesi açısından hem tarımsal üretim tekniklerinin hem de işleme süreçlerinin optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır (Ren ve Zhou 2021).

Soğanda bulunan oligosakaritler, özellikle prebiyotik özellikleri ile dikkat çekmektedir. Bu bileşikler, bağırsak mikrobiyotasını düzenleyerek Crohn hastalığı, atopik dermatit, alerjik reaksiyonlar ve diğer bağırsak hastalıklarının semptomlarını hafifletici etki gösterebilmektedir (Yoo vd. 2025). Aynı zamanda bağışıklık sistemini destekleyici ve bağırsak sağlığını geliştirici etkileri sayesinde fonksiyonel beslenme yaklaşımlarında önemli bir yer tutmaktadır.

Soğanın sağlık üzerine etkilerinin bir diğer kaynağı ise sülfür içeren bileşiklerdir. Soğan sülfür, alken, alkan ve amino asit grupları içeren çeşitli organik bileşenler taşımaktadır. Bu bileşikler, oksidasyon reaksiyonları yoluyla prostaglandin sentezini etkileyerek iltihaplanmayı azaltıcı ve damar sağlığını düzenleyici etkiler gösterebilir (Borah ve Banik 2019). Ayrıca, lektinler, pektin, ve B1, B2, B6, C ve E vitaminleri gibi diğer fitokimyasalların da soğanın biyolojik aktivitelerine katkı sağladığı bilinmektedir.

Tüm bu veriler ışığında, soğanın hem besleyici hem de tedavi edici yönleriyle önemli bir tarımsal ürün olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, hasat öncesi ve sonrası uygulamaların, özellikle biyoaktif bileşiklerin korunması ve artırılmasına yönelik araştırmalarla desteklenmesi gereklidir. Bu durum, sadece insan beslenme kalitesini artırmakla kalmayıp aynı zamanda diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar gibi kronik rahatsızlıkların önlenmesine katkı sağlayacak fonksiyonel gıdaların geliştirilmesine de olanak sunmaktadır (Ren ve Zhou 2021).

2.4 Soğanın Botanik Özellikleri

Soğan morfolojik olarak karakteristik özellikler sergileyen iki yıllık otsu bir bitkidir. Üretim amacıyla genellikle birinci yılında hasat edilen bu tür, generatif gelişimini ikinci yılında tamamlar. Bitki, toprak altında gelişen genişlemiş etli yaprak tabanlarının oluşturduğu bir soğan başı ve toprak üstünde gelişen uzun, silindirik, distik dizilimli yapraklardan oluşur. Yaprak sayısı genellikle 3 ile 8 arasında değişmekte olup, yapraklar mavimsi-yeşil renktedir (Ghodke vd. 2020).

Soğan başı, konsantrik halkalar şeklinde düzenlenmiş etli yaprak tabanlarının üst üste dizilmesiyle meydana gelir. Gelişim sürecinde dıştaki yaprak tabanları kuruyarak, soğanın türüne bağlı olarak kahverengi, mor ya da beyaz tonlarda olabilen koruyucu kabuğu oluşturur. İçte kalan yaprak tabanları ise etlenerek bitkinin esas tüketilen kısmını teşkil eder. Bu yapı, genotipe bağlı olarak yuvarlak, oval ya da eliptik formda olabilir (Marrelli vd. 2019).

Çiçeklenme evresi ikinci yılın gelişim döneminde gerçekleşir. Soğan, uzun bir çiçek sapı üzerinde, küresel bir çiçek topu oluşturur. Çiçek sapı genellikle 1-2 m uzunluğunda olup, her bir çiçek topunda 200 ile 600 arasında küçük çiçek yer alır. Çiçekler beyaz veya açık mor renktedir. Çiçek yapısı zarlı bir periant içinde simetrik ve hermafroditiktir. Çiçek formülü, 5 sepal, 5 petal, 6 erkek organ ve 1 dişi organ şeklindedir (Brewster 2008).

Tohum ekiminden sonraki 13-21 gün içinde çimlenme gerçekleşmekte ve kotiledon yaprak oluşumu başlamaktadır. Takip eden gelişim evrelerinde, bitki 20 günlükken ilk gerçek yaprak oluşur ve 65. güne kadar her 5 günde bir yeni yaprak meydana gelir. Bu süreçte yaşlanan yapraklar dökülürken, 65. gün itibarıyla baş oluşumu başlar. Yaklaşık 100. günde yaprakların maksimum gelişimi gözlenirken, 115. gün civarında yapraklar kurumaya başlar ve başta dış kabuk oluşumu hızlanır. Bu evreyi takiben soğan başı olgunluk aşamasına ulaşır ve hasat edilebilir hale gelir (Ghodke vd. 2020).

2.5 Soğanın Ekolojik İstekleri

Soğan, farklı iklim koşullarına uyum sağlayabilen bir sebze türü olmakla birlikte, optimum gelişme ve yüksek verim için belirli çevresel koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu koşullar başta sıcaklık, gün uzunluğu, toprak özellikleri ve su yönetimi olmak üzere bir dizi çevresel parametreyi içermektedir.

Sıcaklık, soğanın gelişiminde kritik bir rol oynamaktadır. Vejetatif büyüme evresi için ideal sıcaklık aralığı 15-20 °C iken, soğan başı (yumru) gelişimi için optimum sıcaklık 20-27 °C arasında değişmektedir. Ayrıca, yumru oluşumunun başlayabilmesi için çimlenmeden itibaren yaklaşık 600 büyüme günü derece (Growing Degree Days, GDD) birikimi gereklidir. Araştırmalar, yumru gelişiminin fotoperiyottan ziyade sıcaklıkla daha yakından ilişkili olduğunu ve GDD birikimiyle doğrudan bağlantılı olduğunu göstermektedir. Gün uzunluğu da yumru oluşumu üzerinde belirleyici bir etkendir. Soğan bitkisinin yumru geliştirebilmesi için en az 13-14 saatlik bir gün uzunluğu gereklidir. Bu bağlamda, uzun gün koşulları yumru oluşumunu teşvik ederken, bitkinin gün uzunluğuna verdiği yanıt, ekim zamanının belirlenmesinde önemli bir faktör haline gelmektedir. Soğan çeşitleri, kısa gün ve uzun gün olmak üzere iki gruba ayrılmakta ve bu özellik, çeşit seçiminde dikkate alınmalıdır (Salari vd. 2023).

Toprak özellikleri açısından, soğanlar iyi drene olabilen, organik madde yönünden zengin, kumlu-tınlı yapıdaki topraklarda en iyi gelişmeyi göstermektedir. Toprak pH'sının 6,0-7,0 aralığında olması, besin maddelerinin bitki tarafından etkin bir şekilde alınmasını sağlamaktadır (Yeshiwas vd. 2024). Ayrıca, kök yapısının yüzlek olması nedeniyle, toprağın nem tutma kapasitesi de önem taşımaktadır.

Su ihtiyacı bakımından, soğanlar büyüme dönemi boyunca yaklaşık 350-550 mm suya gereksinim duymaktadır. Bitkiler, özellikle yumru oluşumu ve hızlı vejetatif büyüme dönemlerinde kuraklığa karşı oldukça hassastır. Bu nedenle düzenli ve yeterli sulama uygulamaları, yüksek verim elde edilmesinde temel öneme sahiptir. Kuraklık stresi, bitki boyu, yaprak sayısı ve yaprak alanı gibi morfolojik özellikleri olumsuz etkileyerek %65'e kadar verim kaybına neden olabilmektedir (Sansan vd. 2024).

Yükseklik ve iklim kuşağı açısından bakıldığında, soğan 500 ile 2400 m rakımlar arasında yetiştirilebilmekte ve hem ekvatoral sıcak bölgelerde hem de soğuk yüksek enlem bölgelerinde üretilebilmektedir. Ancak her koşulda optimum sıcaklık ve nem düzeylerinin sağlanması, üretimin başarısını belirleyen temel faktörlerdendir (Macknight vd. 2018).

2.6 Kuru Soğan Hasadı ve Hasat Sonrası Fizyolojisi

Kuru soğanların en düşük kalite kaybı ile muhafazası, yalnızca yetiştirme süreciyle sınırlı kalmayıp, uygun hasat zamanı ve sonrasında uygulanan işlemlerin doğru şekilde gerçekleştirilmesine de bağlıdır. Hasat ve hasat sonrası uygulamalar, ürünün pazar kalitesi, raf ömrü ve fizyolojik bozulma oranları üzerinde doğrudan belirleyici etkiye sahiptir (Brewster 2008, Martínez vd. 2005).

2.6.1 Kuru soğan hasadı ve kurutulması (kürleme)

Kuru soğanda hasat zamanı, hem verimi hem de hasat sonrası kalite korunumunu doğrudan etkileyen kritik bir evredir. Genellikle yaprakların yaklaşık %50-80'inin yatması, boyun bölgesinin yumuşaması ve dış kabuk renginin belirginleşmesi, hasat olgunluğunun göstergeleri olarak kabul edilmektedir (Kiura vd. 2021, Muhie 2022). Ayrıca, yeşil aksamın yaklaşık üçte ikisinin kuruması da önemli bir olgunluk kriteridir. Kuru soğanlar taze soğanlardan farklı olarak tam olgunluk döneminde hasat edilmelidir.

Zamanından önce yapılan hasat, soğan başlarının yeterince kuruyamamasına, dolayısıyla hem verim hem de kalite kayıplarına yol açmaktadır. Öte yandan, geç hasat edilen ürünlerde güneş yanıklığı, dış kabuk dökülmesi ve fizyolojik bozulmalar gibi olumsuzluklar artış göstermektedir. Hasat, yağışsız ve kuru hava koşullarında gerçekleştirilmelidir (Kaynaş 2017).

Kuru soğan hasadı, tarla koşullarına ve üretim ölçeğine bağlı olarak elle veya makineli sistemlerle yapılmaktadır. Mekanizasyon, büyük ölçekli üretim alanlarında iş gücü

verimliliği sağlasa da ürünlerde fiziksel hasar riskini artırabilmektedir. Bu nedenle özellikle taze tüketim için üretilen ürünlerde, elle hasat tercih edilmektedir (Tadic vd. 2021). Hasat esnasında meydana gelen kesik ve bereler, mikroorganizma girişini kolaylaştırarak çürüme oranlarını yükseltebileceğinden ürün bütünlüğünün korunması büyük önem taşımaktadır.

Muhie (2022), hasat döneminin soğanın depolama ve kalitesini etkileyen önemli bir faktör olduğunu belirtmiştir. Soğanların olgunluğunun genellikle %25 yaprakların yattığında en iyi şekilde gösterildiğini ifade etmiştir. %75 yaprakların yattığında hasat edilen ve bir ile iki hafta süreyle kürlenen soğanların daha iyi görsel kalite ve depolama özelliğine sahip olduğunu, buna karşılık %60 yaprakların yattığında hasat edilen ve kurutulmayan soğanlarda daha yüksek filizlenme oranı görülürken, %80 yaprakların yattığında hasat edilen ve kurutulan soğanlarda ise en düşük filizlenmenin gözlemlendiğini vurgulamıştır.

Kiura vd. (2021), soğanların %75 yatma döneminde hasat edilip, tepe kısımları kesilmeden önce bir ile iki hafta boyunca kurutulmasının görsel çekiciliği ve depolama kalitesini önemli ölçüde artırdığını vurgulamışlardır. Optimal hasat sonrası performans için araştırma, soğanların %75 yatma döneminde hasat edilmesini ve tepe kesiminden önce en az bir hafta boyunca kurutulmasını güçlü bir şekilde önerilmektedir.

Hasat sonrası ilk kritik işlem, ön kurutma ya da kürleme olarak adlandırılan süreçtir. Bu işlem, soğan başlarının dış kabuklarının tamamen kurumasını, boyun bölgelerinin kapanmasını ve ürünün mikrobiyal bulaşmalara karşı dayanıklılığının artırılmasını amaçlamaktadır (Rekha vd. 2015). Kurutma işlemi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir:

Kürleme, açık alanda doğrudan güneş ışığında 3-7 gün, gölgelik ve havalandırılmış ortamlarda 10-14 gün, kontrollü koşullarda, 30-35 °C sıcaklıkta 3-5 gün uygulanabilir. Yetersiz kürleme uygulamaları, hasat sonrası depolama ve pazarlama süreçlerinde filizlenme, çürüme ve ağırlık kayıplarının artmasına neden olmaktadır (Sohany vd. 2016, Ndereyimana vd. 2020).

Kürleme işlemi tamamlanan ürünler, dış kabuklarından temizlenerek fiziksel olarak boy, şekil ve genel görünüm gibi kalite kriterlerine göre sınıflandırılır. Bu aşamada çürük, ezik veya hastalıklı başlar ayrılmalıdır. Standartlara uygun boylama ve ayıklama yapılmadığında, sağlam ürünlerin de depolama süresince bozulma riski artmaktadır (Arya vd. 2022).

Kurutma, soğanların hasat sonrası muhafazasında önemli bir uygulama olup, başta nem içeriğinin azaltılması yoluyla mikrobiyal bozulmaların ve fizyolojik kayıpların önlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Muhie (2022), kurutmanın, soğan boyun bölgesinin sıkılaşmasına katkıda bulunarak depolama sürecinde filizlenme, çürüme ve buruşma gibi kalite kayıplarını engellediğini belirtmiştir. Özellikle hasattan hemen sonra uygulanan etkili bir kurutma işlemi, başların daha uzun süre sağlıklı biçimde depolanmasına olanak tanımaktadır.

Ndereyimana vd. (2020) tarafından yürütülen çalışmada, kurutmanın soğan başlarının raf ömrünü uzatmada önemli bir etki gösterdiği, ağırlık kaybını azalttığı, çürümeyi sınırladığı ve genel kaliteyi koruduğu ortaya konmuştur. Araştırmada, kurutulmuş soğanların, kurutulmamış olanlara kıyasla daha iyi pazarlanabilirliğe ve daha uzun muhafaza süresine sahip olduğu saptanmıştır.

Elde edilen bulgular, kurutma işleminin yalnızca fiziksel kaliteyi değil, aynı zamanda ekonomik değeri de koruyarak küçük ölçekli üreticilerin hasat sonrası kayıplarını azaltmalarına yardımcı olabilecek düşük maliyetli ve uygulanabilir bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

Benzer şekilde, Kiura vd. (2021) tarafından yürütülen çalışmada, soğanların %75 yatma döneminde hasat edilip tepe kısımları kesilmeden önce bir ile iki hafta boyunca kurutulmasının, hem görsel kaliteyi hem de raf ömrünü önemli ölçüde artırdığı vurgulanmıştır. Mevsimsel değişkenliklerin bazı kalite parametrelerini etkileyebilmesine rağmen, her sezonda benzer eğilimlerin gözlenmiş olması, bu uygulamanın tutarlılığını ve etkinliğini ortaya koymaktadır. Araştırma, optimal hasat sonrası performans için %75

yatma döneminde hasat edilen soğanların, tepe kesimi yapılmadan önce en az bir hafta boyunca kurutulmasını önermektedir.

Her iki çalışma da, hasat zamanlamasının ve kurutma sürecinin entegre biçimde planlanmasının, filizlenme, çürüme ve ağırlık kaybı gibi kuru soğanlarda görülen başlıca hasat sonrası sorunların önlenmesinde etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle küçük ölçekli üreticiler için bu uygulamalar, maliyetsiz ya da düşük maliyetli ancak yüksek etkili stratejiler olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, kuru soğan üretiminde sürdürülebilir bir depolama zinciri oluşturmak için, hasat ve kurutma süreçlerinin bölgeye ve iklime göre optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır.

2.6.2 Kuru soğanda hasat sonrası teknolojiler

Hasat sonrası işlemlerin doğru ve zamanında gerçekleştirilmesi, depolama süresince ortaya çıkabilecek kalite kayıplarını önemli ölçüde azaltır. Kuru soğanların uzun süre muhafazası için önerilen koşullar, düşük sıcaklık (0-5 °C), oransal nemin %65-70 düzeyinde tutulması ve yeterli hava sirkülasyonunun sağlanmasıdır. Bu koşullar altında, ürünlerde kalite kayıpları minimum düzeyde kalmaktadır (Hussain Chattha vd. 2020).

Kuru soğanlarda solunum, şekerlerin parçalanarak enerjiye dönüştüğü temel fizyolojik olaylardan biri olup doğrudan raf ömrünü etkilemektedir. Depolama sıcaklığı solunum hızını etkilemekte ve yüksek sıcaklık solunum hızını artırarak kalite kayıplarının artmasına yol açmaktadır (Sharma ve Lee 2016).

Kuru soğanlarda solunum hızı, depolama koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. Fumen vd. (2016), soğanın solunum hızının sıcaklık ve oransal neme duyarlı olduğunu bildirmiştir. Araştırmalarında, 34 °C sıcaklık ve %63.7 oransal nemde gerçekleştirilen depolama koşullarında oksijen tüketiminin ve karbondioksit salınımının en yüksek düzeyde gerçekleştiği saptanmıştır. Buna karşılık, 14 °C sıcaklık ve %80.3 oransal nemde gerçekleştirilen depolamada ise gaz değişim düzeylerinin belirgin şekilde düşük olduğu ve dolayısıyla solunum hızının da azaldığı

rapor edilmiştir. Yüksek sıcaklıkların oksijen alımını ve karbondioksit salınımını hızlandırdığı, ancak yüksek karbondioksit konsantrasyonlarının enzimatik faaliyetler üzerinde baskılayıcı etkide bulunarak solunumu sınırlayabileceği belirtilmiştir.

Benzer şekilde, Rahmah vd. (2023) depolama sıcaklığının kırmızı soğanın solunum hızına etkisini incelemiş ve düşük sıcaklıkta depolanan soğanların, oda sıcaklığında depolananlara kıyasla daha yavaş bir solunum hızına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Solunum hızındaki bu azalma, iç doku hasarının daha düşük düzeyde gerçekleşmesine katkı sağlamaktadır. X-Ray bilgisayarlı tomografi ile yapılan görüntüleme analizlerinde, oda sıcaklığında depolanan soğanlarda daha fazla iç bozulma tespit edilmiştir. Çalışma bulguları, yüksek solunum hızının doku bozulmasını hızlandırdığını ve bu nedenle soğuk ortamda yapılan depolamanın, solunumu yavaşlatarak ürün kalitesini koruma açısından etkili bir strateji olduğunu ortaya koymuştur. Tüm bu veriler, kuru soğanın hasat sonrası muhafazasında düşük sıcaklıkta depolamanın tercih edilmesinin önemini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Kuru soğanlarda hasat sonrası fizyolojik değişimler üzerinde uygun çeşit seçimi önemli bir faktörüdür. Çünkü çeşitler arasında depolanabilirlik açısından önemli farklılıklar bulunmakta olup çeşitlerin tamamı depolamaya uygun değildir (Petropoulos vd. 2017).

Soğanların genotipik özelliklerinin depolama performansı üzerinde belirleyici bir rol oynayabileceği çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur. Lee vd. (2016), soğuk depolama koşullarında meydana gelen ağırlık kayıplarının, karbon ve pirüvik asit düzeyleriyle ilişkili olduğunu, buna karşın ortam sıcaklığında yapılan depolamalarda ağırlık kayıplarının esas olarak suda çözünür kuru madde (SÇKM) içeriği ile bağlantılı olduğunu bildirmiştir. Soğanların yetiştirildiği bölgeler farklılık gösterse de soğuk depolamadaki ağırlık kayıplarının benzer seviyelerde kalması, ürünün yapısal özelliklerinin muhafaza sürecinde belirleyici etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Modolo vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, altı farklı soğan çeşidi (‘BR29’, ‘Itajubá’, ‘Mulata’, ‘Omega’, ‘Rainha’ ve ‘Salto Grande’) arasında depolama süresince SÇKM içerikleri açısından anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. ‘Salto Grande’ çeşidi,

depolama süresi boyunca daha yüksek SÇKM düzeylerini koruyarak daha iyi hasat sonrası kalite ve daha uzun raf ömrü sağlamıştır. Buna karşılık 'BR29' çeşidinde, SÇKM miktarında en fazla azalma meydana gelmiş, bu durum söz konusu çeşidin daha düşük depolama kapasitesine ve daha hızlı bozulmaya eğilimli olduğunu göstermiştir.

Petropoulos vd. (2017), genel olarak düşük kuru madde içeriğine sahip kısa gün soğan çeşitlerinin, yüksek kuru madde içeriğine sahip uzun gün çeşitlerine kıyasla uzun süreli depolamaya daha dayanıksız olduklarını belirtmiştir. Benzer şekilde, Martínez vd. (2005), İspanya'da yetiştirilen 18 yerel ve 4 ticari soğan çeşidini değerlendirerek, yerel çeşitlerin genel olarak ticari çeşitlere kıyasla daha iyi depolama potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, çevresel faktörlerin, özellikle sıcaklığın, soğanların depolama sürecinde belirleyici etkiler oluşturduğunu vurgulamış ve optimal depolama koşullarının hem çeşide hem de çevresel değişkenlerin yönetimine bağlı olduğunu ifade etmiştir. Bu bulgular, Gorrepati vd. (2018)' in yürüttüğü çalışmada da desteklenmiş, soğan çeşitleri arasında hasat sonrası kayıplarda belirgin farklılıklar saptanmıştır.

Arya vd. (2022), on farklı uzun gün soğan genotipinin kontrollü koşullarda (2 ± 1 °C, %75 ± 1 ON) 50, 100 ve 150 gün boyunca depolama potansiyelini incelemiştir. Çalışmada tüm genotiplerde kuru madde, SÇKM, toplam şeker, çürüme oranı, filizlenme oranı, filiz uzunluğu ve küf görülme sıklığı zamanla artarken, sertlik, askorbik asit düzeyi, ağırlık kaybı ve pazarlanabilir soğan oranı azalmıştır. Ancak genotipler arasında anlamlı farklılıklar saptanmıştır. 'Red Cereole', 'Katarina Red 3' ve 'Katarina Red 7' genotipleri, daha yüksek pazarlanabilir ürün oranı ve üstün hasat sonrası özellikler sergileyerek, özellikle yüksek rakımlı ve ılıman iklimlerde kış döneminde depolamaya uygunluk göstermiştir.

Madalageri vd. (2022) ise farklı mevsimlerde yetiştirilen soğan genotiplerinin depolama performansını incelemiş ve genotipler arasında %32.28 ile %80.84 arasında değişen ağırlık kayıpları tespit etmiştir. En düşük kayıp 2016 yılında, en yüksek kayıp ise 2020 yılında kaydedilmiştir. Bu farklılıkların hava koşulları, genetik yapı ve bu iki faktörün etkileşimi ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, kış mevsiminde yetiştirilen genotipler, yaz mevsiminde yetiştirilen genotiplere kıyasla daha iyi depolama performansı

sergilemiştir. Bu bulgular, genotipler arasında belirgin farklılıkların bulunduğunu ve soğanların uzun süreli muhafazası için mevsime özgü genotip seçiminin önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Soğanların fizyolojik ve yapısal özellikleri depolama sürecini doğrudan etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, soğan boyutları da muhafaza süresi ve kalite kayıpları üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Abubakar vd. (2019), farklı boyuttaki soğanların depolama süresince gösterdiği ağırlık kayıplarını karşılaştırarak, en yüksek kaybın %5.1 ile jumbo boy soğanlarda meydana geldiğini, orta boy ve küçük boy soğanlarda ise sırasıyla %4.8 ve %4.2 oranlarında kayıplar gözlemlendiğini bildirmiştir. Bu bulgular, iri boyutlu başlarda yüzey-hacim oranının düşük olması nedeniyle su kaybının daha uzun süre devam edebileceğini, küçük boyutlu soğanlarda ise hücre yoğunluğu ve yapısal sıkılık gibi faktörlerin kaybı sınırlandırabileceğini düşündürmektedir. Araştırma sonucunda, jumbo ve küçük boy soğanların beş aya kadar, orta boyların ise dört aydan uzun süreyle depolanmasının önerilmediği belirtilmiştir. Bu durum, depolama sürecinde yalnızca çeşit ve çevresel faktörlerin değil, aynı zamanda baş boyutunun da dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Kuru soğanın uzun süreli muhafazası, uygun teknik uygulamaların entegre edildiği depolama sistemlerini gerektirmektedir. Bu bağlamda, etkili bir depolama ortamı oluşturmak için yapısal izolasyonun sağlanması, soğutma sistemlerinin kurulması, yığın veya kasa tipi depolamalarda yeterli hava sirkülasyonunun temin edilmesi, yüksek debili fanlarla desteklenen havalandırma sistemlerinin kullanılması, otomatik kontrol edilebilen hava giriş-çıkış kapaklarının entegre edilmesi ve sıcaklık, nem, karbondioksit gibi parametrelerin düzenli olarak izlenip kontrol edilmesi temel gereklilikler arasında yer almaktadır. Bu sistemlerin bütüncül olarak uygulanması, ürün kayıplarını azaltmakta ve soğanın pazarlanabilirliğini doğrudan etkileyen raf ömrünü anlamlı düzeyde uzatmaktadır (Petropoulos vd. 2017, Kiran vd. 2024).

Depolama yöntemleri, bölgesel iklim koşulları, ekonomik düzey ve teknolojik altyapıya bağlı olarak ülkeden ülkeye ve hatta aynı ülke içinde bölgeden bölgeye farklılık gösterebilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde geleneksel ve düşük maliyetli depolama

yöntemleri yaygınken, gelişmiş ülkelerde modern, kontrollü atmosfer ve soğuk zincir sistemleri tercih edilmektedir. Dolayısıyla, üreticiler ekonomik imkânlarına bağlı olarak farklı depolama sistemlerini benimsemekte ve bu tercihler hasat sonrası kayıplar üzerinde belirleyici olmaktadır (Yahia vd. 2018, Amjad vd. 2023).

Depolama sürecinde havalandırma sistemleri ve çevresel koşulların kontrolü kalite kayıplarını azaltmada kritik rol oynamaktadır. Siva Shankar vd. (2023) tarafından yapılan 90 günlük çalışmada, doğal havalandırmalı depolama koşullarında %34.47-35.10 arasında değişen ağırlık kaybına karşın, güçlendirilmiş havalandırma sistemlerinde bu oranın %25.23'e düştüğü rapor edilmiştir. Bu sonuçlar, güçlendirilmiş hava akışına sahip modern yapıların, soğanın fizyolojik bozulmalarını önlemede daha başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Benzer şekilde, Rekha vd. (2015), kurutma ile birlikte tel kafeste yapılan depolamanın, geleneksel yığın depolama yöntemlerine kıyasla ağırlık kaybı (%4.66), filizlenme (%0.33) ve çürüme (%0.94) oranlarını önemli ölçüde azalttığını bildirmiştir. Kurutma yapılmayan ve geleneksel yığın şeklinde depolanan soğanlarda bu oranların sırasıyla %8.25, %5.97 ve %6.02 olduğu belirlenmiştir.

Dabhi vd. (2008), ‘Talaja Red’ soğan çeşidinde yürüttükleri çalışmada, güçlendirilmiş havalandırmalı sistemlerin, SÇKM korunmasında daha etkili olduğunu ortaya koymuştur. Doğal havalandırma koşullarında SÇKM %13.6’ dan %9.9’ a gerilerken, güçlendirilmiş havalandırma koşullarında bu oran %10.7’de kalmıştır.

Hussain Chattha vd. (2020), mekanik havalandırmalı, doğal havalandırmalı ve geleneksel yöntemlerle yapılan depolamaları karşılaştırarak, mekanik havalandırmalı sistemlerin kalite muhafazasında en etkili yöntem olduğunu tespit etmiştir. Bu yöntemde en düşük ağırlık kaybı (%14.8), çürüme (%7.4) ve filizlenme (%7.8) oranlarıyla birlikte en yüksek sertlik değeri (5.6 lbs) ölçülmüştür.

Alternatif depolama sistemleri üzerine yapılan çalışmalar da benzer sonuçları desteklemektedir. Shehu (2023), yükseltilmiş platform üzerinde yapılan depolamanın filizlenmeyi %11'e düşürdüğünü belirtmiş, bu oranın yığma sisteminde %15, jüt torba kullanımında ise %22 olarak ölçüldüğünü bildirmiştir. Bununla birlikte, havalandırmalı depolarda filizlenme oranı %7.8'e kadar gerilemiştir.

Soğuk depolama koşullarının etkinliği ise birçok çalışmada vurgulanmıştır. Tripathi ve Lawende (2007), oda sıcaklığında yapılan depolamaya kıyasla 4 °C soğuk depolamanın ağırlık kaybı, çürüme ve küf enfeksiyonlarını önemli ölçüde azalttığını ve raf ömrünü anlamlı derecede uzattığını belirtmiştir. Sharma ve Lee (2016)' de 4 °C sıcaklıktaki depolamanın temel kalite kriterleri açısından en etkili yöntem olduğunu ifade etmişlerdir.

Nabi vd. (2013), 0 °C'de depolanan kuru soğanlarda kuru madde oranının %21.2 ve SÇKM düzeyinin %14.9 olarak korunduğunu, bu koşullarda en düşük ağırlık kaybı (%1.95), filizlenme (%2.4) ve çürüme (%0.4) oranlarının elde edildiğini ortaya koymuştur. Benzer şekilde Ko vd. (2015), 0-2 °C sıcaklık ve %65 oransal nemde yapılan depolamanın hasat sonrası kayıpları minimize ettiğini vurgulamıştır.

Depolama süresince nemin kontrol altında tutulması da kuru soğanın fizyolojik bütünlüğünü korumada oldukça önemlidir. Praeger vd. (2003), %60-80 arasında değişen oransal nem seviyelerinin tazeliği korumada ideal aralık olduğunu bildirmiştir. Aşırı nem, yüzeyde su birikimine ve fungal patojen gelişimine neden olurken, düşük nem, su kaybı, buruşma ve sertlik kaybına yol açabilmektedir (Sharma vd. 2014). Bu nedenle, optimal nem dengesinin sağlanması başarılı bir depolama süreci için kritik öneme sahiptir.

Agri vd. (2016), farklı depolama koşullarının kalite üzerindeki etkilerini değerlendirdikleri çalışmada, açıkta yapılan depolamanın %10.4 ile en yüksek ağırlık kaybına yol açtığını, naylon file torbada bu kaybın %8.54'e düştüğünü, en düşük ağırlık kaybının ise (%4.19) havalandırmalı ahşap yapılarda gerçekleştiğini belirtmiştir. Priya vd. (2014), sıcak ve açık ortamlarda depolanan kuru soğanların kuruma ve çürüme riskinin daha yüksek olduğunu, buna karşın 0 °C'deki soğuk depolamanın uzun süreli tazelik sağladığını ifade etmiştir. Ayrıca, oksijen konsantrasyonlarının %1 veya %0.5

düzeyine düşürülmesi, solunum oranlarını düşürerek filizlenme ve ağırlık kaybını azaltabilmekte, bu koşullarda depolanan soğanlar daha sert kalmakta ve daha az bozulma göstermektedir (Praeger vd. 2003).

Kontrollü atmosferli (KA) depolama, kuru soğanların kalite kaybını azaltmak ve raf ömrünü uzatmak amacıyla tercih edilen etkili bir yöntemdir. Ríos-González vd. (2018), KA depolamanın 'Sierra Blanca' çeşidi soğanda renk ve acılık gibi duyusal özellikleri koruduğunu, mikrobiyal gelişimi sınırladığını ve kalite kaybını önemli ölçüde geciktirdiğini ortaya koymuştur. Özellikle 1% O_2 ve 1% CO_2 içeren atmosfer koşullarının, kontrollere göre daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Benzer şekilde, Chávez-Mendoza vd. (2016), 2.5 °C sıcaklık ve %60-75 nem koşullarında %1 O_2 + %1 CO_2 ve %3 O_2 + %5 CO_2 atmosferlerinde depolanan kuru soğanlarda, normal atmosfer koşullarına kıyasla pirüvik asit, SÇKM ve sertlik gibi kalite parametrelerinde daha az değişim gözlendiğini belirtmiştir. Bu koşullar, pirüvik asit seviyelerini düşürerek filizlenmeyi engellemiş ve soğanın kimyasal bileşimini büyük ölçüde korumuştur.

Maleik hidrazit (MH) uygulaması da kuru soğanların uzun süreli depolanmasında yaygın olarak kullanılan kimyasal bir inhibitör olarak öne çıkmaktadır. Crucitti vd. (2024), MH'nin hasat öncesi uygulanmasıyla filizlenmenin etkili bir şekilde baskılandığını ve kalite kayıplarının azaltıldığını bildirmiştir. Raut vd. (2017), farklı MH konsantrasyonlarının kuru soğanların kimyasal içeriğinde önemli değişiklikler yarattığını, askorbik asit, SÇKM, toplam şeker ve kuru madde miktarlarının arttığını, raporlamıştır. Hathi vd. (2020) ise MH uygulamasının kuru soğanlarda filizlenme ve köklenmeyi baskılayarak ağırlık kaybını önlediğini ve ürün kalitesini muhafaza ettiğini belirtmiştir.

Etilen ve etilen inhibitörleri de hasat sonrası süreçte kuru soğan muhafazası üzerinde önemli rol oynamaktadır. Downes vd. (2010), 1-metilsiklopropen (1-MCP) ve etilen uygulamalarının 'Sherpa' çeşidi soğanda filizlenmeyi azaltırken, 'Wellington' çeşidinde etkili olmadığını, bunun da kabuk kalınlığı gibi çeşitlere özgü morfolojik özelliklerden kaynaklandığını bildirmiştir.

Gamma ışınlama da kuru soğanlarda hasat sonrası kalite kaybının azaltılmasında etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Sharma vd. (2020), 120 Gy dozundaki ışınlamanın filizlenmeyi ve çürümeyi azaltarak kaliteyi üç aya kadar koruduğunu, Akhther vd. (2022) ise 100 Gy dozunda ışınlanan kuru soğanların 280 günlük depolama sonunda %47.72 oranında ağırlık kaybı yaşadığını, buna karşın kontrol grubunda bu oranın %84.84'e ulaştığını ifade etmiştir. Aynı çalışmada, ışınlamanın filizlenme ve çürümeyi önemli ölçüde engellediği ve kaliteyi koruduğu gösterilmiştir.

Modern teknolojilerin hasat sonrası entegrasyonu kuru soğan muhafazasında etkili olmaktadır. Tüm bu bulgular, kuru soğanın hasat sonrası fizyolojisini anlamanın ve uygun teknolojileri kullanarak depolama koşullarını iyileştirmenin, kalite kayıplarını en aza indirerek ürünün pazarlanabilirliğini korumada kritik rol oynadığını göstermektedir.

2.6.3 Kuru soğanda depolama sürecindeki önemli fizyolojik kayıplar

Kuru soğanda hasat sonrası dönemde meydana gelen kayıplar, üreticilerin ekonomik gelirlerini önemli ölçüde azaltmakta ve aynı zamanda küresel gıda güvenliğini tehdit eden başlıca unsurlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu kayıplar çoğunlukla çürüme, filizlenme ve ağırlık kaybı gibi etmenlere bağlıdır ve bu durum, ürünün kalitesini ve pazarlanabilirliğini doğrudan etkilemektedir (Kiran vd. 2024). Diğer taze ve su oranı yüksek bahçe bitkileri gibi kuru soğan da hasattan sonra metabolik aktivitesini sürdürmektedir. Bu biyokimyasal süreçlerin anlaşılması, ürünün raf ömrünün uzatılması, kalite kaybının önlenmesi ve depolama ile taşımacılık sırasında oluşabilecek bozulmaların minimize edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak bazı hasat sonrası kayıplar doğrudan kontrol altına alınamaz ve bu da kaliteli ürünlere erişimi zorlaştırmaktadır. Yahia (2018), dünya genelinde hasat sonrası süreçte meyve ve sebzelerin %25-50'sinin çeşitli nedenlerle bozulduğunu belirtmektedir.

Depolanan kuru soğanların %40-50'sinin çeşitli nedenlerle tüketiciye ulaşamadığı ve bu kayıpların %16-35'lik kısmının doğrudan hasat sonrası bozulmalardan kaynaklandığı bildirilmektedir. Özellikle ağırlık kaybı, çürüme ve filizlenme gibi fizyolojik bozulmalar, hasat sonrası dönemde ürün kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Kurak ve sıcak

dönemlerde, düşük hava nemi ile birleşen yüksek sıcaklık koşulları ağırlık kaybını daha da artırmakta, bu da sıcak bölgelerde depolama sırasında kayıpların daha da yüksek oranlarda gerçekleşmesine neden olmaktadır (Verma vd. 2022). Ancak, uygun yapısal ve çevresel önlemlerle bu kayıpların önüne geçmek mümkündür. Örneğin, bambudan yapılmış ve iyi havalandırma sağlayan geleneksel depolama yapıları (tek veya çift katlı), nem ve sıcaklığı dengeleyerek çürüme oranını %8-15'e kadar düşürebilmektedir. Ürünlerin yerden yüksekte depolanması, ürün kayıplarını %70 oranında azaltabilmektedir (Soomro vd. 2016).

Soğanın fizyolojik olarak bozulmaya eğilimli bir ürün olması, hasat sonrası dönemde etkin bir süreç yönetimini zorunlu kılmaktadır. Bu süreçte karşılaşılan başlıca kalite kayıpları arasında çürüme, filizlenme, köklenme, ve ağırlık kaybı yer almaktadır. Bu olumsuzluklar, özellikle ürünün uzun süreli depolanması veya pazarlama zincirinde gecikmeler yaşanması durumunda daha belirgin hale gelmektedir (Kiran vd. 2024). Söz konusu kalite kayıpları, yalnızca besin değerinde düşüşe yol açmakla kalmamakta, aynı zamanda ekonomik kayıplara da neden olarak üretici ve tedarikçi açısından ciddi riskler doğurmaktadır. Adamicki (2004), filizlenme ve köklenmeyi kontrol etmek ve dolayısıyla soğanların raf ömrünü uzatmak için depolama koşullarını iyileştirmenin kaliteyi korumak için oldukça önemli olduğunu bildirmiştir.

Kuru soğana yönelik pazar kalite standartları, esas olarak filizlenme ve köklenme oranının olmayışı ve sağlam fiziksel görünümü (kabuk rengi, tekstürü, kabuğun sağlamlığı, enfeksiyon olmaması vb.) ile tanımlanır. Uzun süreli depolama, kuru soğanların hem fiziksel görünümünü hem de kimyasal bileşimini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, ağırlık kayıplarını, filizlenme ve köklenme olaylarını, kimyasal bileşim ve besin değerindeki arzu edilmeyen değişiklikleri en aza indirmek için yeterli önlemler alınarak depolama sırasında yüksek kalitenin korunmasına yönelik tüm önlemler alınmalıdır (Petropoulos vd. 2017).

2.6.3.1 Ağırlık kaybı

Kuru soğanların depolanması sürecinde karşılaşılan en yaygın fizyolojik kayıp ağırlık kaybıdır. Bu durum, büyük ölçüde solunum ve ortam ile ürün arasındaki su miktarı farkından kaynaklanan su kaybına bağlı olarak meydana gelmektedir. Depolama süresi boyunca sıcaklık, oransal nem ve havalandırma gibi çevresel faktörler ile soğan başlarının ağırlık kaybının düzeyini belirleyen temel etmenlerdir (Nabi vd. 2013).

Ağırlık kaybı, ürünün fiziki görünümünde solgunluk, büzüşme, ve pazar değerinde azalmaya yol açarak kaliteyi düşürmektedir. Ayrıca ağırlık kaybı dolayısıyla ürün miktarında kayıplar meydana gelmektedir. Soğutmasız depolarda yapılan çalışmalarda %59.31 ile %100 arasında değişen yüksek ağırlık kayıpları rapor edilirken, düşük sıcaklıkta depolanan örneklerde bu oranın %1.95' e kadar düştüğü bildirilmiştir (Nabi vd. 2013). Benzer şekilde Jolayemi vd. (2018), soğutmalı ve nemli ortamlarda (5-7 °C) depolanan soğanların ilk üç hafta boyunca minimum düzeyde ağırlık kaybı gösterdiğini ve bu sürecin ardından kayıpların stabilize olduğunu belirtmiştir.

Bu bağlamda, ağırlık kaybını minimize etmek amacıyla düşük sıcaklıkta, uygun nem seviyelerinde ve yeterli havalandırmaya sahip depolama sistemlerinin tercih edilmesi önerilmektedir.

2.6.3.2 Filizlenme

Filizlenme, soğanın dormansi süresinin sona ermesiyle birlikte yeniden büyüme evresine geçerek sürgün oluşumuna başlamasıdır. Bu fizyolojik süreç, özellikle yüksek sıcaklık ve nem düzeylerinin bir arada bulunduğu koşullarda hız kazanmakta ve ürünün ticari değerini olumsuz yönde etkilemektedir (Petropoulos vd. 2017). Filizlenme, dış görünümde bozulmaya ve pazarlanabilirliğin azalmasına neden olmaktadır.

Filizlenme oranı, soğan çeşidi, depolama süresi, sıcaklık, nem ve kürleme uygulamaları gibi çok sayıda faktörden etkilenmektedir (Sohany vd. 2016). Nabi vd. (2013) tarafından

yapılan bir çalışmada, soğutmasız depolarda % 59.50’ ye varan yüksek filizlenme oranları tespit edilirken, soğuk depolarda bu oranın %2.40’ a kadar düştüğü rapor edilmiştir.

Filizlenmenin kontrolü açısından hasat zamanı ve kürleme uygulamaları da belirleyici role sahiptir. Desta vd. (2021), % 60 yatma evresinde hasat edilen ve kürleme uygulanmamış kuru soğanlarda en yüksek filizlenme oranlarının gözlendiğini, buna karşılık, %80 tepe düşmesi evresinde hasat edilen ve uygun şekilde kürlenen örneklerde bu oranın en düşük seviyede kaldığını belirtmiştir. Ayrıca, iyi havalandırılan ve sıcaklık-nem dengesi sağlanan depolama sistemlerinin filizlenme oranlarını düşürdüğü tespit bildirilmektedir (Shehu vd. 2023).

2.6.3.3 Köklenme

Köklenme, soğan başının yeniden gelişim sürecine girerek kök oluşturmasıdır. Bu durum, ürünün dış görünümünde bozulmalara ve ticari değerinde azalmaya neden olarak önemli düzeyde kalite kayıplarına yol açmaktadır (Modolo vd. 2023). Köklenmiş soğanların raf ömrü kısalmakta ve tüketici tercihi azalmaktadır.

Köklenme süreci, başta sıcaklık ve nem olmak üzere çevresel koşulların etkisiyle hız kazanmaktadır. Nabi vd. (2013), doğal depo koşullarında en yüksek köklenme oranının gözlendiğini, buna karşılık soğuk depo koşullarında bu oranın anlamlı şekilde azaldığını belirtmiştir. Ayrıca depolama süresi uzadıkça köklenme eğiliminin arttığı gözlenmiştir. Bu bağlamda, düşük sıcaklık ve kontrollü nem düzeylerine sahip depolama sistemlerinin kullanılması, köklenmeyi önlemede etkili bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Depolama süresince sıcaklık, nem ve havalandırmanın dikkatle izlenmesi ve yönetilmesi, köklenmenin engellenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda geliştirilecek entegre depolama teknolojileri, ürün kalitesinin korunmasını ve ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanmasını mümkün kılacaktır.

2.6.3.4 Çürüme

Depolama sırasında karşılaşılan bir diğer önemli fizyolojik bozulma biçimi çürümelerdir. Çürüme, genellikle mikrobiyal enfeksiyonlar ve fiziksel hasarların birleşimiyle ortaya çıkmakta olup, hem ürün kalitesini hem de raf ömrünü olumsuz etkilemektedir. Bu süreçte, kurutma işleminin etkinliği belirleyici rol oynamaktadır.

Vahling-Armstrong vd. (2016), düşük sıcaklıkta (<35°C) ve kontrollü sürelerde yapılan kurutmanın depo çürüklüklerini önemli ölçüde azalttığını bildirmiştir. Aynı çalışmada, daha yüksek sıcaklıkta ancak kısa süreli kurutma uygulamalarının da çürümeyi baskıladığı gözlemlenmiştir.

Çeşit farklılıkları da çürüme oranı üzerinde etkili olmaktadır. Gorrepati vd. (2018), Bhima Kiran ve Bhima Shakti çeşitlerinin, dört aylık depolama sonunda %26.66 ve %3587 çürüme oranlarıyla dayanıklılık gösterdiğini, diğer çeşitlerde ise bu oranın %82 ile %95 arasında değiştiğini belirtmiştir. Khan vd. (2022) ise, çeşitler arasında çürüme oranlarının %10.47 ile %39.47 arasında değiştiğini ve kuru madde içeriği ile depolama dayanıklılığı arasında kısmi bir ilişki bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu veriler, çürümeye karşı etkili bir önlem olarak, uygun kurutma parametrelerinin uygulanmasını ve dayanıklı çeşitlerin tercih edilmesini gerekli kılmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Bitkisel Materyal

Çalışmada bitkisel materyal olarak Afganistan'ın kuzeyindeki Kunduz Bölgesi' nden getirilen Afganistan'ın yerel soğan çeşitlerinden ''Kunduz Kırmızısı'' ve ''Kunduz Beyazı'' ile Türk ticari çeşidi ''Soçi'' soğanlarına ait tohumlar kullanılmıştır (Şekil 3.1).

Şekil 3.1 Soğan çeşitleri (a) 'Soçi' (b) 'Kunduz Kırmızısı' (c) 'Kunduz Beyazı'

3.2 Yöntem

3.2.1 Arazi hazırlığı, tohum ekimi ve bitkilerin yetiştirilmesi

Denemede kullanılan bitkiler, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait Ayaş Bahçe Bitkileri Araştırma ve Uygulama İstasyonu'nda yetiştirilmiştir. Bu amaçla arazi 3 ton/da olacak şekilde çiftlik gübresi ile gübrelendikten sonra pulluk yardımıyla derin sürüm yapılmış arazi, ekim tarihinden 15 gün önce rötovatör ile yeniden işlenerek tesviye edilerekve dikime hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.2).

Soğan tohumları, 3 dönüm büyüklüğündeki deneme alanına 30 x 15 cm aralıklar ile her sırada en az 500 bitki olacak şekilde 3 Mart 2024 tarihinde ekilmiştir.

Şekil 3.2 Soğan yetiştirilen arazi

Gübreleme programı, taban güresi olarak diamonyum fosfat ve vejetasyon periyodunda farklı azot kaynakları ile yaprak gübresinin atımı şeklinde gerçekleştirilmiştir. Vejetasyon periyodu içerisinde haftalık takiplerle yabancı ot mücadelesi yapılmıştır. Sulama sıklığı ve miktarı, bitkilerin fenotipik gözlemi yoluyla ihtiyaca göre belirlenmiş ve sulama damlama sulama yöntemi ile yapılmıştır (Şekil 3.3).

Şekil 3.3 Sulama yöntemi

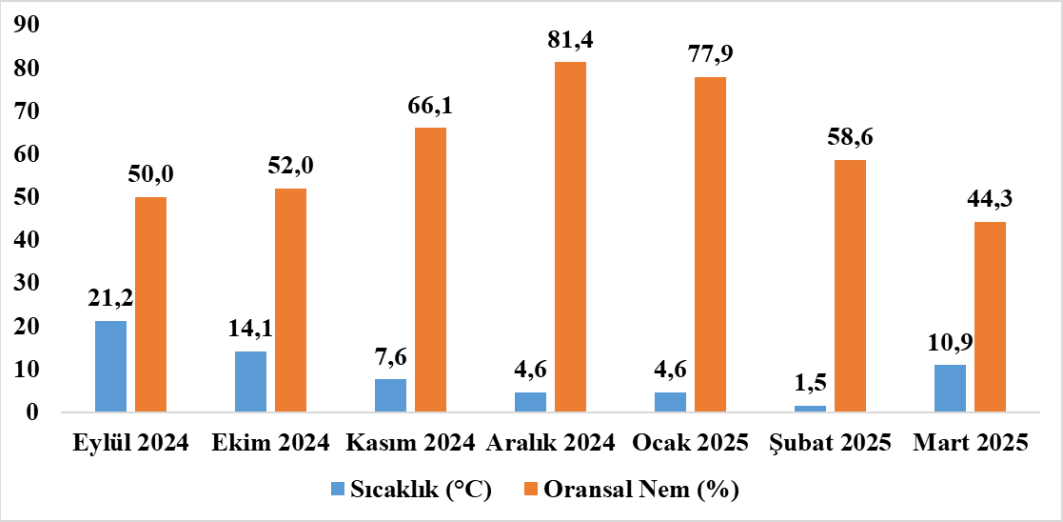
3.2.2 Kuru soğanların hasadı, kurutulması ve muhafazası

Hasat zamanı, soğan yapraklarının tamamen veya yarısının kuruması ile bitkilerin yatması esas alınarak belirlenmiştir. Hasat 11 Eylül 2024 tarihinde yapılmıştır. Hasat edilen kuru soğanlar 19 Eylül 2024 tarihine kadar arazide kurutma (kürleme) işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 3.4)

Şekil 3.4 Arazide kürleme işlemi

Kürleme işlemi sonrası Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'ne getirilen kuru soğanlar Derim Sonrası Fizyolojisi Laboratuvarı'nda boylama, sınıflandırma, ayırma işleminden sonra yarısı soğuk hava deposunda (0 ± 2 ºC ve %80-90 oransal nem), diğer yarısı ise soğutmasız depo koşullarında 6 ay süre ile muhafaza edilmiştir (Şekil 3.5). Çalışmada kullanılan soğutmasız depoların baca ve fanları sürekli dışarıya açıktır. Bu nedenle depo içi sıcaklık ile oransal nem değerleri dış koşullar ile eşit olmuştur. Bu nedenle çalışma süresince bölümümüze en yakın Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Ankara Meteoroloji Bölge Müdürlüğü Keçiören Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan aylık ortalama sıcaklık ve oransal nem değerleri Şekil 3.6'da verilmiştir.

Şekil 3.5 Soğutmalı (A) ve soğutmasız (B) depo görünümü



Şekil 3.6 Soğutmasız deponun aylık ortalama sıcaklık ve oransal nem değerleri

3.2.3 Muhafaza periyodu süresince kuru soğanlarda belirlenen kalite parametreleri

3.2.3.1 Solunum hızı

Kuru soğanların solunum hızı kapalı atmosfer yöntemine göre belirlenmiştir. Bu amaçla bir saat süresince kapalı kavanozlar içerisinde bekletilen soğan başlarının dışarıya verdikleri CO_2 miktarı CO_2 analizatörü (Servomex) ile dijital olarak okunmuştur. Solunum hızı, CO_2 miktarı ile başların ağırlık ve hacim değerlerinden yararlanılarak mL.CO_2 $kg^{-1}.h^{-1}$ cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Eşitlik 1).

$$\text{Solunum hızı } (mL.CO_2.kg^{-1}.h^{-1}) = \frac{(Vk\text{-}Vü) \times \%CO_2 \times 10}{G \times t} \quad \text{.....Eşitlik 1}$$

Vk: Kavanoz hacmi (L)

Vü: Ürün hacmi (L)

$\%CO_2$: Ürünün çıkarmış olduğu karbondioksit miktarı

G: Ürün ağırlığı (kg)

t: Zaman (saat)

3.2.3.2 Ağırlık kaybı

Ağırlık kaybı belirlemeleri için kuru soğanlar 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 5'er adet soğan başı olacak şekilde 0.01 g duyarlılıktaki dijital bir terazi ile tartılmış ve her bir depolama ayında aynı başlar tartılarak ağırlık kaybı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Eşitlik 2).

$$\text{Ağırlık kaybı } (\%) = \frac{mi\text{-}ms}{mi} \times 100 \quad \text{.....Eşitlik 2}$$

mi: kuru soğan örneklerinin depolama başlangıç ağırlığı, g

ms: kuru soğan örneklerinin her bir analiz tarihindeki ağırlığı, g

3.2.3.3 Suda çözünür kuru madde (SÇKM)

SÇKM tayini için soğan başları soyulduktan sonra katı meyve sıkacağı ile sıkılarak elde edilen soğan suyu filtre kâğıdından süzülmüş ve süzüntüden alınan örnekte dijital masa tipi refraktometre (Leica 10480, Germany) ile SÇKM kapsamı % olarak belirlenmiştir (AOAC 1990).

3.2.3.4 Filizlenme oranı

Kuru soğanların filizlenme oranı (%) Kukanoor (2005)'in metodundaki aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3).

$$\text{Filizlenme (\%)} = \frac{\text{Filizlenen soğan sayısı}}{\text{Toplam soğan sayısı}} \times 100 \quad \text{Eşitlik 3}$$

3.2.3.5 Köklenme oranı

Kuru soğanların köklenme oranını (%) Baloch vd. (2012)'nin metodundaki aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 4)

$$\text{Köklenme oranı (\%)} = \frac{\text{Köklenen soğan sayısı}}{\text{Toplam soğan sayısı}} \times 100 \quad \text{Eşitlik 4}$$

3.2.3.6 Çürüme oranı

Kuru soğanların çürüme oranını (%) Jamali vd. (2012)'nin metodundaki aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 5).

$$\text{Çürüme oranı (\%)} = \frac{\text{Çürüyen soğan sayısı}}{\text{Toplam soğan sayısı}} \times 100 \quad \text{Eşitlik 5}$$

3.2.3.7 Görsel dinlenme indeksi

Kuru soğanların görsel dinlenme indeksi (GİD) Burba vd. (1989)'nin metodundaki aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 6).

$$GDİ = \frac{\text{Sürgün yaprağın uzunluğu}}{\text{Depo yaprağının uzunluğu}} \times 100 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{Eşitlik 6}$$

3.2.3.8 Pazarlanabilir baş oranı

Pazarlanabilir baş oranı, depolama süresi sonunda (6 ay) çürümüş, bozuk ve ağırlık kaybına uğramış kuru soğanların belirlenip ayrılması sonrasında sağlıklı soğanların ağırlıkları kaydedilerek Hatem vd. (2014)'ün metodundaki aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 7).

$$\text{Pazarlanabilir baş oranı (\%)} = \frac{\text{Sağlıklı soğanların ağırlığı}}{\text{Depolanan soğanların başlangıç ağırlığı}} \times 100 \ldots\ldots \text{Eşitlik 7}$$

3.2.3.9 İstatistiksel değerlendirme

Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 6 baş soğan kullanılarak yürütülmüştür. Elde olunan sonuçlara MINITAB 17 paket programında $P \leq 0.05$ hata düzeyinde ANOVA uygulanmıştır. Varyans analizleri sonunda ortaya çıkan önemli farklılıklar MSTAT-C paket programında Tukey's Testi ile kontrol edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmamızda bağımlı değişkenler için depolama şekli, çeşit, depolama süresi faktörleri etkisi ve bunların interaksiyonlarına ilişkin varyans analizi (ANOVA) Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 'Kunduz Kırmızısı', 'Kunduz Beyazı' ve 'Soçi' soğan çeşitlerinde depolama şekli, çeşit, depolama süresi ve bunların interaksiyonlarına ilişkin bağımlı değişkenler için varyans analizi (ANOVA)

	Depolama Şekli (DŞ)	**Çeşit (Ç)**	**Depolama Süresi (DS)**	**DŞ × Ç**	**DŞ × DS**	**Ç × DS**	**DŞ × Ç × DS**
Solunum Hızı ($mL.CO_2.kg^{-1}.h^{-1}$)	0.000*	0.541ÖD	0.000*	0.000*	0.000*	0.001*	0.000*
Ağırlık Kaybı (%)	0.000*	0.000*	0.000*	0.025*	0.003*	0.002*	0.983ÖD
SÇKM (%)	0.030*	0.000*	0.000*	0.483ÖD	0.000*	0.000*	0.000*
Filizlenme Oranı (%)	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
Görsel Dinlenme İndeksi (%)	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

*İstatistiksel anlamda önemli, ÖD İstatistiksel anlamda önemli değil ($P \leq 0.05$ düzeyinde)

4.1 Solunum Hızı

Çalışmamızda 'Kunduz Kırmızısı', 'Kunduz Beyazı' ve 'Soçi' soğan çeşitlerinde depolama süresince, farklı depolama koşullarında ölçülen solunum hızı değerlerinin depolama şekli × çeşit × depolama süresi interaksiyonlarından anlamlı şekilde etkilendiği belirlenmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1). Bu bulgu, depolama süresince oluşan solunum hızının yalnızca bir faktöre bağlı olarak değil, bu üç değişkenin etkileşimi sonucu belirlendiğini ortaya koymaktadır.

Çeşit faktörünün tek başına etkisi, yapılan varyans analizine göre istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($P = 0.541$) (Çizelge 4.2). Bu durum, depolama şekli veya süresi dikkate alınmaksızın sadece çeşit özelliğinin solunum hızını belirlemede güçlü bir etken olmadığını göstermektedir. Bu bulgu, Romo-Pérez vd. (2020) tarafından da desteklenmekte olup, araştırmacılar, soğan çeşitlerinin metabolik aktivitelerinin çevresel

koşullar altındaki farklılıklarının belirginleştiğini, ancak tek başına genotipin sınırlı bir etkisi olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmada depolama şeklinin solunum hızı üzerinde önemli bir etki oluşturduğu tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$). Özellikle soğutmalı depolarda, tüm çeşitlerde solunum hızının anlamlı düzeyde azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.2). Bu bulgu, düşük sıcaklığın metabolik faaliyetleri yavaşlattığını ve fizyolojik yaşlanma sürecini geciktirdiğini ifade eden çalışmalarla uyumludur. Fumen vd. (2016), düşük sıcaklık uygulamalarının solunum hızını baskıladığını ve bu yolla ürün dayanıklılığını artırdığını bildirmiştir. Aynı şekilde, Rahmah vd. (2023) de soğuk depolamanın soğanlarda filizlenmeyi ve solunumu geciktirerek raf ömrünü uzattığını vurgulamaktadır.

Özellikle 'Kunduz Kırmızısı' çeşidinde, her bir depolama süresinde soğutmasız koşullarda ölçülen solunum hızlarının, soğutmalı koşullara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı biçimde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, bu çeşidin yüksek metabolik aktiviteye sahip olduğunu ve sıcaklık stresine karşı daha hassas bir fizyolojik yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, 'Kunduz Beyazı' ve 'Soçi' çeşitlerinde depolama şekline bağlı anlamlı farklılıklar ancak 120. günden itibaren ortaya çıkmıştır. İlk dönemlerde, soğutmalı ve soğutmasız koşullarda ölçülen solunum hızları arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Bu durum, söz konusu çeşitlerin daha geç aktive olan metabolik eşiklere sahip olabileceğini ve sıcaklık farklarına karşı fizyolojik yanıtlarının zamana bağlı olarak değişebileceğini düşündürmektedir. Petropoulos vd. (2017), bazı soğan çeşitlerinin solunum hızının düşük sıcaklıklarda ancak uzun süreli depolama sonrası anlamlı şekilde azaldığını belirtmiş, bu farklılığın çeşitlerin su içeriği, doku yapısı ve olgunluk derecesi gibi fizyolojik özellikleriyle ilişkili olabileceğini ifade etmiştir.

Ayrıca, depolama süresi faktörünün de solunum hızı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu belirlenmiştir ($P \leq 0.05$). Her bir çeşit ve depolama şekli özelinde değerlendirildiğinde, solunum hızının depolama süresiyle birlikte önce arttığı, daha sonra ise azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle soğutmasız koşullarda bu artışlar daha belirgin olup, genellikle 150. güne kadar solunum hızlarında bir yükselme

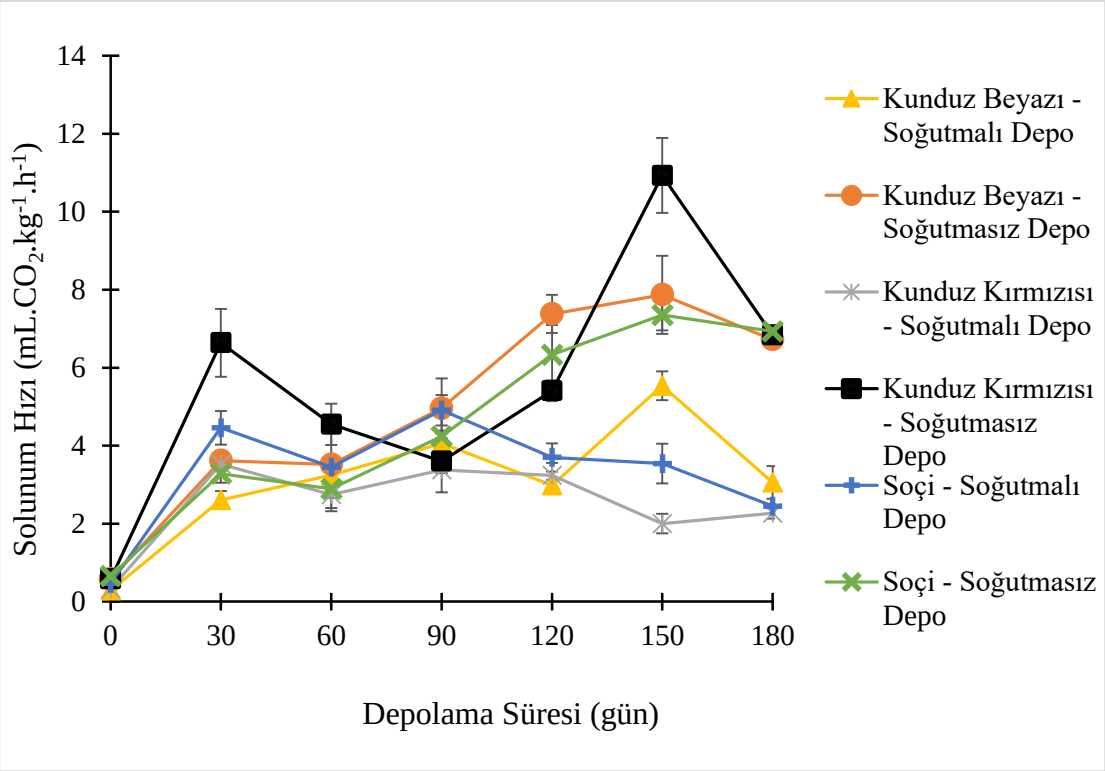
gözlenmiş, bunu takiben fizyolojik dengenin bozulmasıyla birlikte düşüşler meydana gelmiştir. Bu bulgu, Sharma vd. (2016) tarafından bildirilen, depolama süresinin uzamasıyla birlikte hücresel bozulmaların ve su kaybının artması sonucu metabolik faaliyetlerin önce hızlanıp ardından baskılandığına ilişkin sonuçlarla da örtüşmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, soğan çeşidinin tek başına solunum hızı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını ancak depolama koşulları ve süresi ile birlikte değerlendirildiğinde, önemli etkileşimlerin ortaya çıktığını güçlü bir biçimde göstermektedir. Elde edilen bulgular, her bir soğan çeşidinin depolama koşullarına verdiği fizyolojik yanıtın farklılık gösterebileceğini ve bu farklılıkların ürünün hasat sonrası dayanıklılığı ve raf ömrü üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, çeşide özgü fizyolojik özellikler dikkate alınarak geliştirilecek uygun depolama stratejileri, kalite kayıplarını minimize etme ve pazarlama sürecini optimize etme açısından büyük önem taşımaktadır.

Çizelge 4.2 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince solunum hızında ($mL.CO_2.kg^{-1}.h^{-1}$) meydana gelen değişimler

Depolama Süresi (gün)	**'Kunduz Kırmızısı'**		**'Kunduz Beyazı'**		**'Soçi'**	
	Soğutmasız Depo	**Soğutmalı Depo**	**Soğutmasız Depo**	**Soğutmalı Depo**	**Soğutmasız Depo**	**Soğutmalı Depo**
0.	0.58 ± 0.00 a, a, d*	0.33 ± 0.00 a, a, b	0.58 ± 0.00 a, a, d	0.29 ± 0.00 a, a, c	0.66 ± 0.00 a, a, c	0.47 ± 0.00 a, a, c
30.	6.64 ± 0.87 a, a, b	3.53 ± 0.13 ab, b, a	3.62 ± 0.19 b, a, c	2.61 ± 0.23 b, a, b	3.28 ± 0.23 b, a, b	4.46 ± 0.43 a, a, ab
60.	4.55 ± 0.53 a, a, c	2.75 ± 0.09 a, b, a	3.52 ± 1.20 ab, a, c	3.25 ± 0.15 a, a, b	2.89 ± 0.49 b, a, b	3.45 ± 0.26 a, a, ab
90.	3.60 ± 0.17 a, a, c	3.38 ± 0.58 a, a, a	4.96 ± 0.77 a, a, bc	4.06 ± 0.33 a, a, ab	4.24 ± 0.94 a, a, b	4.91 ± 0.39 a, a, a
120.	5.41 ± 0.27 b, a, bc	3.24 ± 0.32 a, b, a	7.38 ± 0.49 a, a, a	2.98 ± 0.14 a, b, b	6.33 ± 0.77 ab, a, a	3.70 ± 0.36 a, b, ab
150.	10.93 ± 0.96 a, a, a	2.00 ± 0.25 b, b, ab	7.87 ± 1.00 b, a, a	5.54 ± 0.37 a, b, a	7.35 ± 0.39 b, a, a	3.54 ± 0.51 b, b, ab
180.	6.84 ± 0.10 a, a, b	2.27 ± 0.14 a, b, ab	6.72 ± 0.10 a, a, ab	3.06 ± 0.42 a, b, b	6.93 ± 0.09 a, a, a	2.45 ± 0.06 a, b, bc

*Birinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve depolama şekli için çeşitler, ikinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve çeşit için depolama şekilleri ve üçüncü sıra harflendirmeler ise her bir depolama şekli ve çeşit için depolama süreleri arasındaki farklılıkları $P \leq 0.05$ hata düzeyinde ifade etmektedir.



Şekil 4.1 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince solunum hızında ($mL.CO_2.kg^{-1}.h^{-1}$) meydana gelen değişimler

4.2 Filizlenme Oranı

Çalışmamızda soğan çeşitlerinde, farklı depolama şekillerinde depolama süresince belirlenen filizlenme oranları, depolama şekli × çeşit × depolama süresi etkileşimlerinden istatistiksel olarak anlamlı biçimde etkilenmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.2). Bu durum, filizlenme sürecinin yalnızca tekil faktörlerden değil, bu faktörlerin etkileşiminden doğan kompleks fizyolojik tepkilerle şekillendiğini göstermektedir.

Çalışmada dikkat çekici bulgulardan biri, her üç soğan çeşidinde de soğutmalı depolama koşullarında filizlenme meydana gelmemesidir. Bu sonuç, düşük sıcaklık uygulamasının, soğanlardaki dormansi durumunu koruyarak, filizlenmeye neden olan fizyolojik ve hormonal değişimleri geciktirdiğini göstermektedir. Bu bulgu, soğuk koşullarda metabolizmanın baskılanarak meristematik aktivitenin yavaşlatıldığını belirten Jolayemi vd. (2018), Nabi vd. (2013) ve Shehu vd. (2023) tarafından yapılan çalışmalarla da uyum içerisindedir.

Depolama süresince çeşitler arasında gözlenen filizlenme oranları incelendiğinde, en düşük filizlenme oranının 'Soçi' çeşidinde, en yüksek oranın ise 'Kunduz Beyazı' çeşidinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, soğan çeşitlerinin dormansi süresi ve hormon regülasyon düzeylerinde önemli genetik farklılıklar taşıdığını göstermektedir. 'Soçi' çeşidinin bu süreçte en dirençli çeşit olması, onun genetik olarak daha uzun süreli fizyolojik dormansiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgu, Mahsan vd. (2013), Gorrepati vd. (2018) ve Yaqoobi ve Nemati (2022) tarafından bildirilen, soğan çeşitlerinde hasat sonrası filizlenme düzeylerinin genotipik özelliklere bağlı olarak değişkenlik gösterdiğine ilişkin sonuçlarla paralellik göstermektedir.

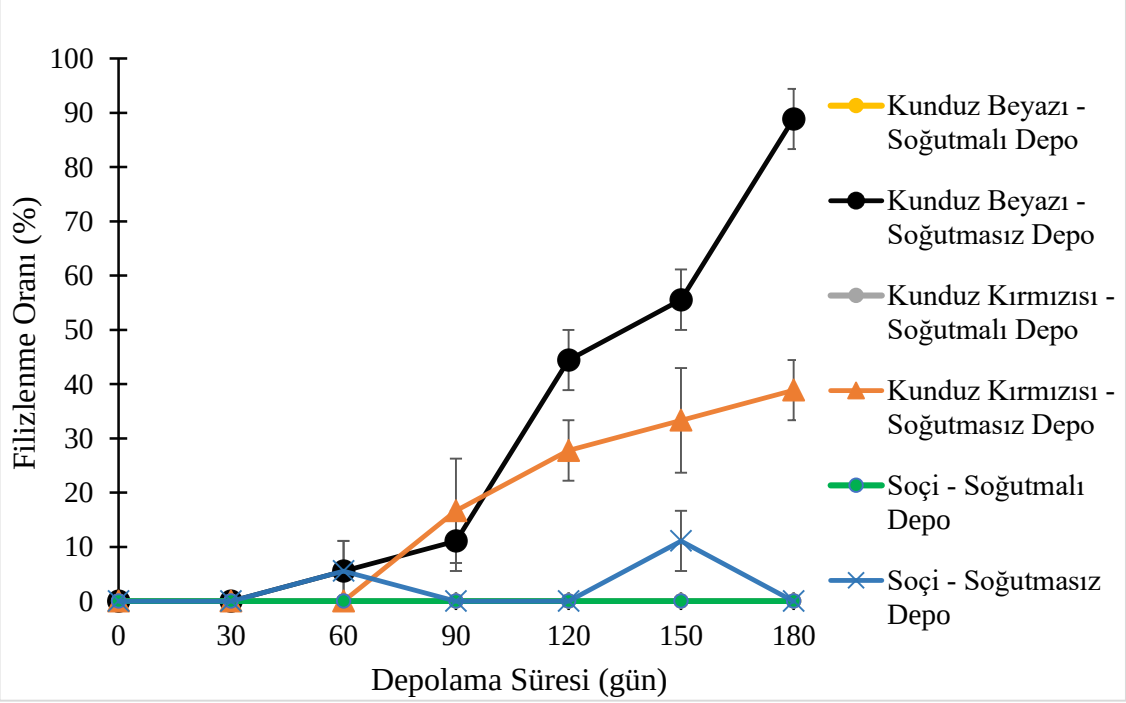
'Kunduz Kırmızısı' çeşidinin soğutmasız depolama koşullarında zamanla artan bir filizlenme eğilimi gösterdiği ve depolama sonunda (180. gün) % 38.89 oranında maksimum filizlenmeye ulaştığı tespit edilmiştir. Diğer yandan, 'Kunduz Beyazı' çeşidi aynı koşullarda 180. gün sonunda %88.89 filizlenme oranıyla en yüksek değeri göstermiş ve bu durum, bu çeşidin daha zayıf dormansiye ve çevresel koşullara karşı daha yüksek duyarlılığa sahip olduğunu ortaya koymuştur. 'Soçi' çeşidinde ise en yüksek filizlenme oranı yalnızca % 11.11 ile 150. günde kaydedilmiş olup, bu çeşit depolama süresi boyunca oldukça düşük filizlenme eğilimi göstermiştir. Bu durum, 'Soçi'' nin genetik olarak daha uzun ve güçlü bir dormansi özelliğine sahip olduğunu ve olumsuz çevre koşullarında dahi filizlenmeye karşı yüksek fizyolojik direnç gösterdiğini düşündürmektedir. Martínez vd. (2005), Zavadska vd. (2021) ve Arya vd. (2022) de soğan çeşitlerinin filizlenmeye karşı gösterdiği toleransın genetik temelli farklılıklar taşıdığını ve bazı çeşitlerin doğal olarak uzun süreli dormansi yeteneğine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Sonuç olarak, çalışmamız, soğanlarda filizlenme davranışının sadece depolama koşullarına değil, aynı zamanda çeşide özgü fizyolojik ve genetik özelliklere de bağlı olduğunu göstermektedir. Soğutmalı depolamanın filizlenmeyi baskılayıcı etkisi, çeşide özgü dormansi süreleriyle birleştiğinde, raf ömrünün uzatılması açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu bağlamda, hasat sonrası uygun depolama stratejilerinin geliştirilmesinde, çeşit seçim kriteri olarak dormansi kapasitesi dikkate alınmalı ve filizlenmeye dirençli çeşitlerin seçimiyle kalite kayıpları en aza indirgenmelidir.

Çizelge 4.3 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince filizlenme oranında (%) meydana gelen değişimler

Depolama Süresi (gün)	'Kunduz Kırmızısı'		'Kunduz Beyazı'		'Soçi'	
	Soğutmasız Depo	Soğutmalı Depo	Soğutmasız Depo	Soğutmalı Depo	Soğutmasız Depo	Soğutmalı Depo
0.	0.00 ± 0.00 a, a, c	0.00 ± 0.00 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, c	0.00 ± 0.00 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a
30.	0.00 ± 0.00 a, a, c	0.00 ± 0.00 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, c	0.00 ± 0.00 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a
60.	0.00 ± 0.00 b, a, c	0.00 ± 0.00 a, a, a	5.56 ± 5.56 a, a, c	0.00 ± 0.00 a, b, a	5.56 ± 5.56 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, b, a
90.	16.67 ± 9.62 a, a, b	0.00 ± 0.00 a, b, a	11.11 ± 5.56 ab, a, c	0.00 ± 0.00 a, b, a	0.00 ± 0.00 b, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a
120.	27.78 ± 5.56 b, a, ab	0.00 ± 0.00 a, b, a	44.44 ± 5.56 a, a, b	0.00 ± 0.00 a, b, a	0.00 ± 0.00 c, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a
150.	33.33 ± 9.62 b, a, a	0.00 ± 0.00 a, b, a	55.56 ± 5.56 a, a, b	0.00 ± 0.00 a, b, a	11.11 ± 5.56 c, a, a	0.00 ± 0.00 a, b, a
180.	38.89 ± 5.56 b, a, a	0.00 ± 0.00 a, b, a	88.89 ± 5.56 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, b, a	0.00 ± 0.00 c, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a

*Birinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve depolama şekli için çeşitler, ikinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve çeşit için depolama şekilleri ve üçüncü sıra harflendirmeler ise her bir depolama şekli ve çeşit için depolama süreleri arasındaki farklılıkları P≤0.05 hata düzeyinde ifade etmektedir.



Şekil 4.2 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince filizlenme oranında (%) meydana gelen değişimler

4.3 Köklenme Oranı

Çalışmada elde edilen bulgulara göre, depolama süresi boyunca hem soğutmalı hem de soğutmasız koşullarda incelenen ‘Kunduz Kırmızısı’, ‘Kunduz Beyazı’ ve ‘Soçi’ kuru soğan çeşitlerinde herhangi bir köklenme belirtisine rastlanmamıştır. Bu durum, söz konusu çeşitlerin köklenmeye karşı fizyolojik olarak yüksek düzeyde direnç gösterdiğini ve uygun depolama koşullarında bu yönde bir bozulma riskinin minimal olduğunu ortaya koymaktadır. Köklenme, hasat sonrası dönemde ürünün fizyolojik aktivitesinin artmasıyla birlikte su alımının yeniden başlaması sonucu meydana gelen bir süreçtir ve genellikle yetersiz sıcaklık kontrolü, yüksek nem ve ışığa maruz kalma gibi çevresel faktörlerle tetiklenmektedir (Baloch vd. 2012, Petropoulos vd. 2017).

Bu çalışmada köklenmenin gözlemlenmemiş olması, hem uygulanan depolama koşullarının uygunluğunu hem de çeşitlerin genetik olarak köklenmeye karşı toleranslı olduğunu göstermektedir. Nitekim Miedema (1994), köklenme eğiliminin soğan çeşitleri arasında farklılık gösterebileceğini ve bu özelliğin genotipik olarak kontrol edilen bir parametre olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca, Sharma vd. (2016) ve Petropoulos vd. (2017), düşük sıcaklık ve karanlık koşulların köklenmeyi baskıladığını, ancak bu durumun çeşitlerin fizyolojik yatkınlığına bağlı olarak değişebileceğini bildirmiştir.

Sonuç olarak, çalışmamızda bütün çeşitler, depolama boyunca köklenmeye karşı dirençli davranış sergileyerek, bu yönden depolama dayanıklılığı yüksek çeşitler olarak öne çıkmaktadır. Bu özellik, ticari depolama ve pazarlama süreçlerinde önemli bir avantaj sağlayarak raf ömrünün uzatılması ve fizyolojik bozulmaların en aza indirilmesi açısından değerli bir kriter olarak değerlendirilmektedir.

4.4 Çürüme Oranı

Çalışmamızda elde edilen bulgular doğrultusunda, depolama süresi boyunca hem soğutmalı hem de soğutmasız koşullarda incelenen kuru soğan çeşitlerinde herhangi bir çürüme belirtisine rastlanmamıştır. Bu durum, söz konusu çeşitlerin fungal ve bakteriyel enfeksiyonlara karşı direnç sergilediğini ve uygulanan depolama koşullarının çürümeyi teşvik eden çevresel etmenleri baskılayacak nitelikte olduğunu göstermektedir.

Çürüme, genellikle yüksek sıcaklık ve oransal nem, zayıf havalandırma ve patojen varlığı gibi koşullarda ortaya çıkan önemli bir hasat sonrası kalite kaybı nedenidir. Bu nedenle, soğuk ve kuru ortam koşulları, kuru soğanlarda çürümeye neden olan mikroorganizmaların gelişimini yavaşlatarak ürünün raf ömrünü uzatmaktadır (Shree ve Kumari, 2019). Mevcut çalışmada çürümeye dair herhangi bir gözlem yapılmaması, hem depolama koşullarının uygunluğunu hem de çeşitlerin kabuk yapısı ve dış koruyucu dokularının mikrobiyal kontaminasyona karşı etkili bir bariyer oluşturduğunu düşündürmektedir.

Benzer şekilde, Petropoulos vd. (2017), soğanların depolama dayanıklılığı üzerinde genetik faktörlerin önemli rol oynadığını, bazı çeşitlerin yapısal özellikleri sayesinde çürümeye karşı daha toleranslı olduğunu bildirmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada yer alan çeşitlerin, depolama süresi boyunca çürümeye karşı gösterdiği direnç, hem genetik dayanıklılıklarını hem de doğru depolama stratejilerinin etkinliğini ortaya koymaktadır. Bu durum, ticari depolama ve pazarlama sürecinde kalite kayıplarının önlenmesi açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

4.5 Ağırlık Kaybı

Kuru soğanların depolanabilirliği büyük oranda hasat sonrası fizyolojik değişimlere bağlıdır ve bu değişimlerin başında da ağırlık kaybı gelmektedir. Ağırlık kaybı, suyun transpirasyon yoluyla kaybı, solunumla karbon kaybı, bazı metabolic faaliyetler ve çevresel stres faktörlerine verilen tepkiler sonucunda oluşmaktadır (Brewster 2008). Çalışmamızda farklı soğan çeşitlerinin iki ayrı depolama koşulunda 180 gün süreyle incelenmesi sonucunda, ağırlık kaybı üzerine hem çeşit, hem depolama şekli, hem de depolama süresi faktörlerinin etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu faktörler arasında ortaya çıkan ikili etkileşimler istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.1) ($P \leq 0.05$).

Soğutmasız koşullarda depolanan soğan çeşitleri arasında en yüksek ortalama ağırlık kaybı 'Kunduz Beyazı' çeşidinde (%5.90 ± 1.17) meydana gelmiş, bunu 'Kunduz Kırmızısı' (%3.14 ± 0.49) ve 'Soçi' (%2.91 ± 0.45) takip etmiştir. Bu sonuçlar, 'Kunduz Beyazı' çeşidi başlarının daha gevşek epiderm yapısına, ince dış katmanlara ve daha yüksek su içeriğine sahip olmasından dolayı daha hızlı su kaybettiğini düşündürmektedir. Aynı şekilde, soğutmalı koşullarda da en yüksek kaybın yine 'Kunduz Beyazı' başlarında (%2.80 ± 0.53) görülmesi, bu çeşidin genetik olarak su kaybına daha yatkın olduğunu ortaya koymaktadır. Diğer iki çeşit olan 'Kunduz Kırmızısı' (%1.67 ± 0.26) ve 'Soçi' (%1.37 ± 0.27), daha kalın dış kabuk yapısı ve muhtemelen düşük stomatal iletkenlik sayesinde su kaybını sınırlandırarak daha düşük ağırlık kayıplarıyla soğuk depolamaya direnç göstermiştir (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.3). .

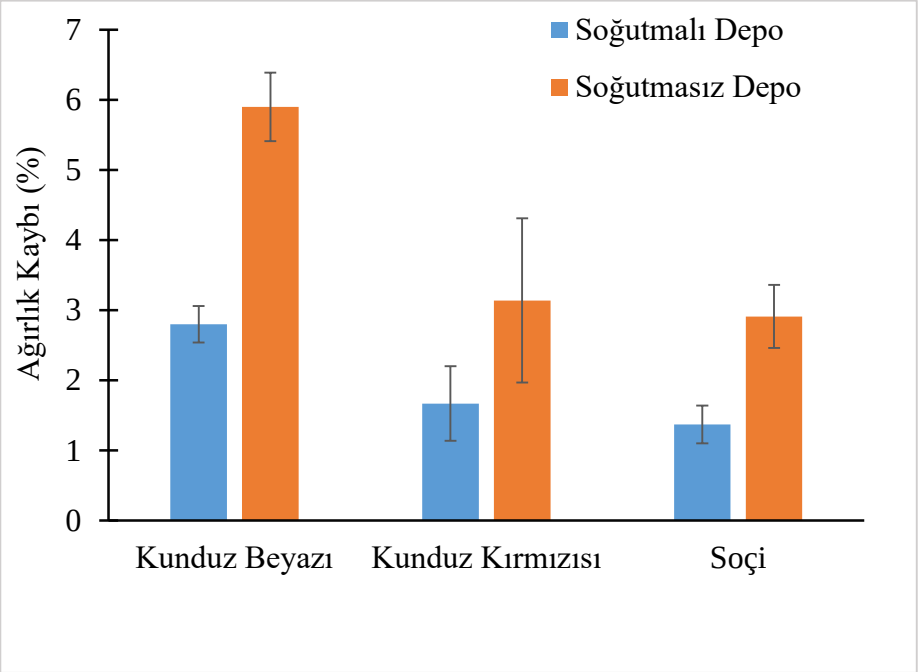
Bu bulgular, Ramin (1999) ve Petropoulos vd. (2017) tarafından yapılan çalışmalarda belirtilen soğan çeşitleri arasındaki yapısal farkların, su kaybı oranlarını doğrudan etkilediği yönündeki bulgularla paralellik göstermektedir. Bununla birlikte, 'Kunduz Beyazı' çeşidi başlarının soğutmalı depoda bile yüksek ağırlık kaybı göstermesi, bu çeşitte soğutmalı depolarda dahi nem kaybının önlenmesi için ilave koruyucu önlemler (örneğin nem kontrollü ortamlar, hava sirkülasyonu azaltımı, paketleme) gerektiğini göstermektedir (Chávez-Mendoza vd. 2024; Kiran vd. 2024). Öte yandan 'Kunduz Kırmızısı' ve 'Soçi' çeşitleri, hem soğutmalı hem de soğutmasız koşullarda daha düşük

ağırlık kaybı oranlarıyla daha dayanıklı bir yapı sergilemiştir. Bu bulgular, Rodrigues vd. (2010) tarafından yapılan çalışmalarda bildirilen, soğan çeşitlerinin hasat sonrası depolama koşullarına verdikleri fizyolojik yanıtların çeşit bazında değişkenlik gösterdiği bulgularıyla örtüşmektedir. Dolayısıyla, kuru soğanlarda ağırlık kaybının azaltılması için sadece uygun depolama koşullarının sağlanması değil, aynı zamanda bu koşullara uygun çeşit seçimi de büyük önem taşımaktadır.

Çizelge 4.4 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız koşullarda ağırlık kaybında (%) meydana gelen değişimler

Depolama Şekli	**Çeşitler**		
	'Kunduz Kırmızısı'	**'Kunduz Beyazı'**	**'Soçi'**
Soğutmasız Depo	3.14 ± 0.49 b,a*	5.90 ± 1.17 a,a	2.91 ± 0.45 b,a
Soğutmalı Depo	1.67 ± 0.26 b,b	2.80 ± 0.53 a,b	1.37 ± 0.27 b,b

*Birinci sıra harflendirmeler her bir depolama şekli için çeşitler, ikinci sıra harflendirmeler her bir çeşit için depolama şekilleri arasındaki farklılıkları P≤0.05 hata düzeyinde ifade etmektedir.



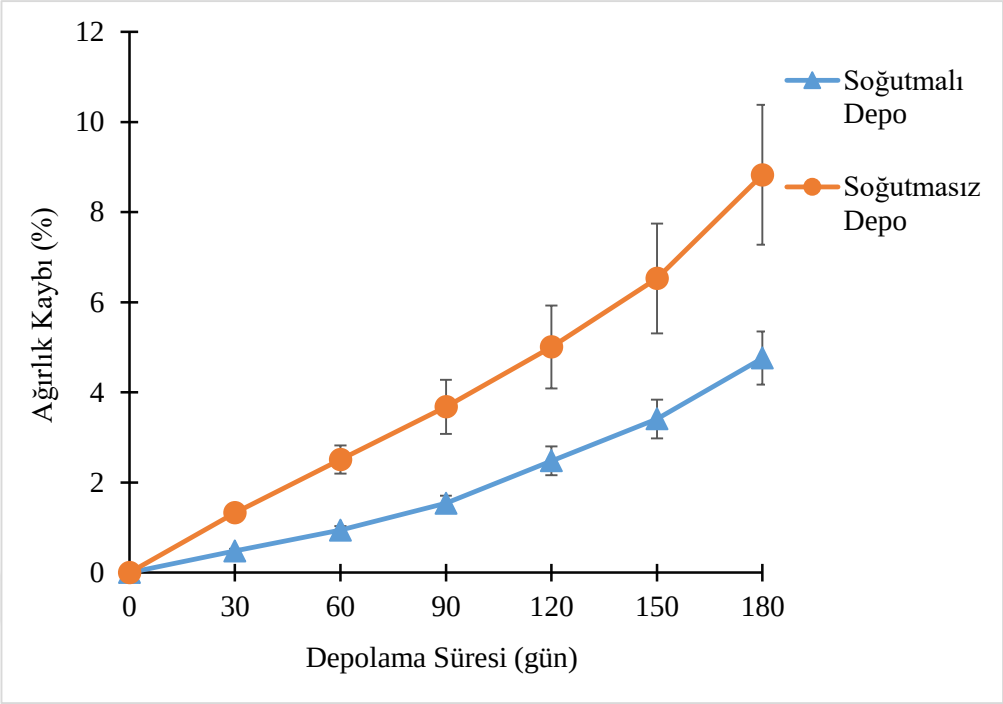
Şekil 4.3 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda ortalama ağırlık kaybında (%) meydana gelen değişimler

Depolama şekli ve süresi arasındaki interaksiyonlar incelendiğinde, tüm çeşitlerde sürenin ilerlemesiyle ağırlık kayıplarının arttığı görülmüştür. Fakat her bir depolama süresi için soğutmasız depolarda belirlenen kayıplar, soğutmalı koşullara kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek gerçekleşmiştir (Çizelge 4.5, Şekil 4.4). Bu sonuç, düşük sıcaklık ve nispi nemin su kaybını yavaşlatıcı etkisine işaret etmektedir (Islam vd. 2019). Brewster (2008), kuru soğanların ideal olarak %65-70 bağıl nemde ve 0-4 °C sıcaklık aralığında muhafaza edilmesini önermekte ve bu koşulların su kaybını ve çürüme riskini azaltarak raf ömrünü uzattığını bildirmektedir.

Çizelge 4.5 Soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 günlük depolama süresince ortalama ağırlık kaybında (%) meydana gelen değişimler

Depolama Süresi (gün)	**Depolama Şekli**	
	Soğutmasız Depo	**Soğutmalı Depo**
0.	0.00 ± 0.00 a,f*	0.00 ± 0.00 a,d
30.	1.33 ± 0.11 a,ef	0.48 ± 0.05 b,cd
60.	2.51 ± 0.31 a,de	0.94 ± 0.09 b,cd
90.	3.68 ± 0.60 a,cd	1.54 ± 0.17 b,bcd
120.	5.01 ± 0.92 a,bc	2.48 ± 0.32 b,bc
150.	6.53 ± 1.22 a,b	3.41 ± 0.43 b,ab
180.	8.83 ± 1.55 a,a	4.76 ± 0.59 b,a

*Birinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi için depolama şekilleri, ikinci sıra harflendirmeler her bir depolama şekli için depolama süreleri arasındaki farklılıkları $P \leq 0.05$ hata düzeyinde ifade etmektedir.



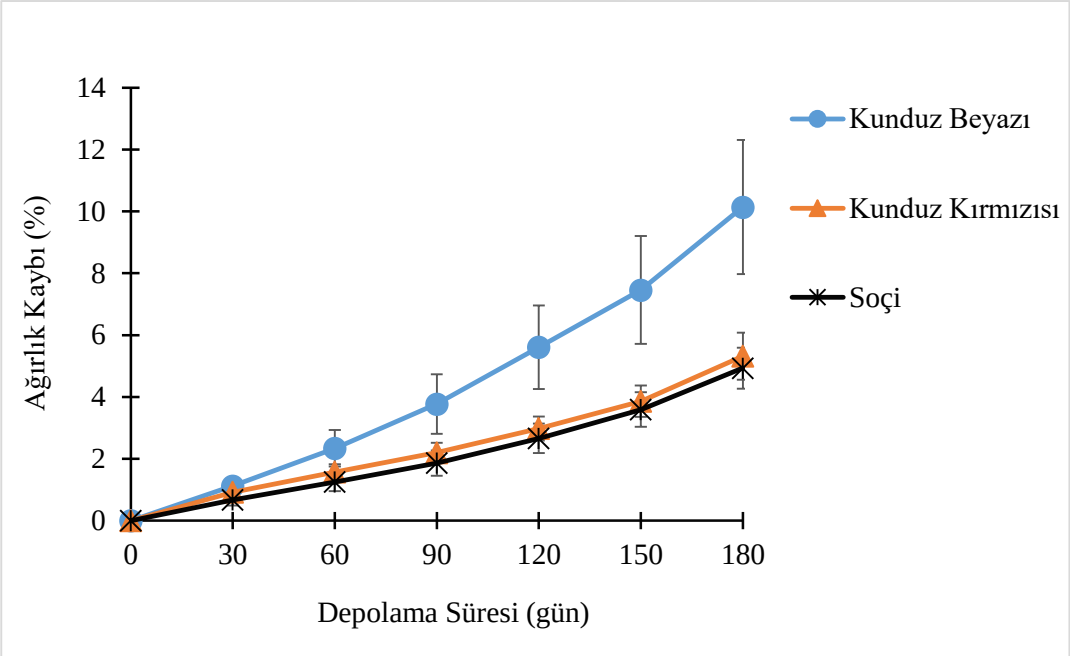
Şekil 4.4 Soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 günlük depolama süresince ortalama ağırlık kaybında (%) meydana gelen değişimler

Ayrıca, depolama süresi ilerledikçe tüm çeşitlerde ağırlık kaybının düzenli olarak arttığı belirlenmiştir. Özellikle depolama süresinin sonu olan 180. günde, 'Kunduz Beyazı' çeşidi en yüksek kaybı (%10.14 ± 2.17) göstermiştir. Aynı süre sonunda 'Kunduz Kırmızısı' ve 'Soçi' çeşitlerinde sırasıyla %5.32 ± 0.76 ve %4.93 ± 0.66 oranlarında kayıplar kaydedilmiştir (Çizelge 4.6, Şekil 4.5). Bu durum, depo süresi uzadıkça su kaybının daha da arttığını ve çeşitlerin bu süreçteki dirençlerinin farklılaştığını ortaya koymaktadır. Z Soğan çeşitleri arasında uzun süreli depolama sırasında önemli farklar oluştuğu, bu farkların genetik yapı, kabuk kalınlığı, epidermal özellikler ve hücre içi su tutma kapasitesiyle ilgili olduğu bildirilmiştir (Ilić vd. 2008; Jolayemi vd. 2018).

Çizelge 4.6 Soğan çeşitlerinde 180 günlük depolama süresince ortalama ağırlık kaybında (%) meydana gelen değişimler

Depolama Süresi (gün)	Çeşitler		
	'Kunduz Kırmızısı'	**'Kunduz Beyazı'**	**'Soçi'**
0.	0.00 ± 0.00 a,d*	0.00 ± 0.00 a,e	0.00 ± 0.00 a,c
30.	0.92 ± 0.14 a,cd	1.12 ± 0.26 a,de	0.67 ± 0.18 a,c
60.	1.57 ± 0.25 a,bcd	2.34 ± 0.59 a,de	1.25 ± 0.30 a,bc
90.	2.20 ± 0.32 a,bcd	3.77 ± 0.96 a,cd	1.86 ± 0.41 a,bc
120.	2.98 ± 0.39 b,abc	5.61 ± 1.35 a,bc	2.66 ± 0.48 b,abc
150.	3.86 ± 0.51 b,ab	7.46 ± 1.74 a,b	3.59 ± 0.56 b,ab
180.	5.32 ± 0.76 b,a	10.14 ± 2.17 a,a	4.93 ± 0.66 b,a

*Birinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi için çeşitler, ikinci sıra harflendirmeler her bir çeşit için depolama süreleri arasındaki farklılıkları ifade etmektedir.



Şekil 4.5 Soğan çeşitlerinde 180 günlük depolama süresince ortalama ağırlık kaybında (%) meydana gelen değişimler

Sonuç olarak, çalışmada elde edilen bulgular, 'Kunduz Beyazı' çeşidinin ağırlık kaybına karşı daha duyarlı olduğunu, buna karşılık 'Kunduz Kırmızısı' ve 'Soçi' çeşitlerinin hem soğutmalı hem de soğutmasız depolama koşullarında daha stabil bir performans sergilediğini ortaya koymuştur. Depolama süresinin uzamasıyla birlikte tüm çeşitlerde ağırlık kaybının arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın hem sıcaklık ve nem gibi depo

koşullarından, hem de çeşide özgü morfolojik ve fizyolojik özelliklerden kaynaklandığı belirlenmiştir. Özellikle ‘Kunduz Beyazı’’nın, soğutmalı depolama koşullarında dahi yüksek oranda ağırlık kaybı göstermesi, bu çeşidin su kaybına karşı genetik olarak daha yatkın olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, ‘Kunduz Beyazı’ gibi su kaybına hassas çeşitlerin depolanmasında, sıcaklık ve bağıl nemin hassas şekilde kontrol edildiği sistemlerin yanı sıra, uygun paketleme materyalleri ve hava sirkülasyonu azaltımı gibi ek koruyucu önlemlerin uygulanması gerekmektedir. Sonuçlar, hasat sonrası dönemde uygulanacak depolama stratejilerinin, sadece depolama koşulların a değil, aynı zamanda çeşitlerin fizyolojik tepkilerine göre belirlenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda, uzun süreli depolamalarda çeşit bazlı yaklaşım geliştirilmesi, kalite kayıplarının en aza indirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

4.6 Suda Çözünür Kuru Madde (SÇKM)

Çalışmada ‘Kunduz Kırmızısı’, ‘Kunduz Beyazı’ ve ‘Soçi’ soğan çeşitlerine ait suda çözünebilir kuru madde (SÇKM) oranları, depolama süresi boyunca uygulanan farklı depolama yöntemleri ile birlikte değerlendirildiğinde, çeşit × depolama şekli × depolama süresi etkileşimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 4.7, Şekil 4.6).

SÇKM içeriği, altı aylık depolama süresi boyunca tüm çeşitlerde ve depolama koşullarında dikkate değer dalgalanmalar göstermiştir. Bu durum, soğanların fizyolojik süreçlerindeki değişimlerin ve kullanılan depolama tekniklerinin, SÇKM düzeyini doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, Arya vd. (2022) ile Modolo vd. (2023) tarafından bildirilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

SÇKM, başta sakaroz, glikoz ve fruktoz gibi çözünür karbonhidratlardan oluşmakta olup, bu bileşenler soğanın enerji metabolizması, solunumu ve filizlenme süreciyle doğrudan ilişkilidir (Thakur vd. 2020).

‘Kunduz Kırmızısı’ çeşidinde, soğutucusuz depolama koşullarında depolama başlangıcında SÇKM seviyesi %10.93 olarak ölçülmüş, 30. günde hafif bir azalma göstererek %10.06’ya düşmüş, 60. günde %10.83 ile tekrar artış eğilimine girmiştir. Bu artış muhtemelen depolamanın ilk dönemlerinde gerçekleşen su kaybı ve bunun sonucunda oluşan çözünür madde konsantrasyonu artışıyla ilişkilidir (Fatideh vd. 2012, Petrapoulos vd. 2017). Ancak, bu tarihten itibaren, 180. güne kadar kademeli bir azalma eğilimi gözlemlenmiş ve SÇKM seviyesi %8.10’a kadar gerilemiştir. Bu düşüş, filizlenme ve solunum faaliyetlerinin artmasıyla karbonhidrat rezervlerinin tüketilmesine bağlanabilir (Chope, 2006, Crucitti vd. 2024, Kleman, 2025). Öte yandan, soğuk depolama koşullarında aynı çeşitte başlangıç değeri %8.26 iken, SÇKM depolamanın 150. gününe kadar artış göstererek %11.23’e ulaşmış, ardından dönem sonunda keskin bir düşüşle %7.36’ya kadar gerilemiştir. Bu durum, düşük sıcaklığın başlangıçta solunum hızını ve metabolik aktiviteyi sınırlayarak çözünür karbonhidratların korunmasına katkı sağladığını, ancak uzun süreli depolamada bu etkinin azaldığını göstermektedir (Chavez-Mendoza vd. 2016, Sharma vd. 2016).

‘Kunduz Beyazı’ çeşidinde, soğutucusuz depolama koşullarında SÇKM içeriği başlangıçta %8.50 iken, 60. günde %10.20 ile zirve yapmış ve ardından kademeli olarak düşerek 180. günde %7.56’ya kadar gerilemiştir. Soğuk depolamada ise başlangıçta %8.73 olan SÇKM, 90. günde %10.86’ya ulaşmış, ancak sonraki dönemde azalma göstererek 180. gün sonunda %7.03 seviyesine düşmüştür. Bu durum, özellikle depolamanın ilk üç ayında soğuk ortamın şeker metabolizmasını stabilize ettiğini, ancak ilerleyen dönemde rezervlerin tüketilmesiyle çözünür madde düzeyinin azaldığını ortaya koymaktadır (Petropouolos vd. 2017, Sharma vd. 2016).

‘Soçi’ çeşidinde, soğutucusuz depolama koşullarında başlangıç değeri %6.63 olan SÇKM, 60. günde %9.10’a kadar yükselmiş, ardından kademeli bir düşüşle 180. gün sonunda %7.46’ya gerilemiştir. Soğuk depolama koşullarında ise başlangıç değeri daha yüksek olup (%8.06), 30. günde %9.66 ile erken bir zirve gözlemlenmiş, takip eden dönemde ise dalgalı ancak genel olarak azalan bir eğilimle 180. günde %7.73’e düşmüştür. ‘Soçi’ çeşidi, diğer çeşitlere göre daha stabil bir SÇKM seyri sergilemiş ve karbonhidrat metabolizmasına karşı daha dirençli bir profil çizmiştir.

Tüm çeşitlerde ortak olarak gözlemlenen eğilim, depolamanın ilk evrelerinde SÇKM düzeylerinde artış meydana gelmesi, bunu izleyen süreçte ise azalma eğiliminin başlamasıdır. Bu olgu, muhtemelen başta su kaybı ve hücre içi çözünür maddelerin konsantrasyonunun artışıyla ilişkili olup, sonraki dönemde karbonhidratların solunum ve filizlenme gibi fizyolojik süreçlerde tüketilmesiyle açıklanabilir (Currah vd. 2012, Akan vd. 2019, Akan ve Tuna Güneş, 2021, Bazaria ve Neeraj 2023).

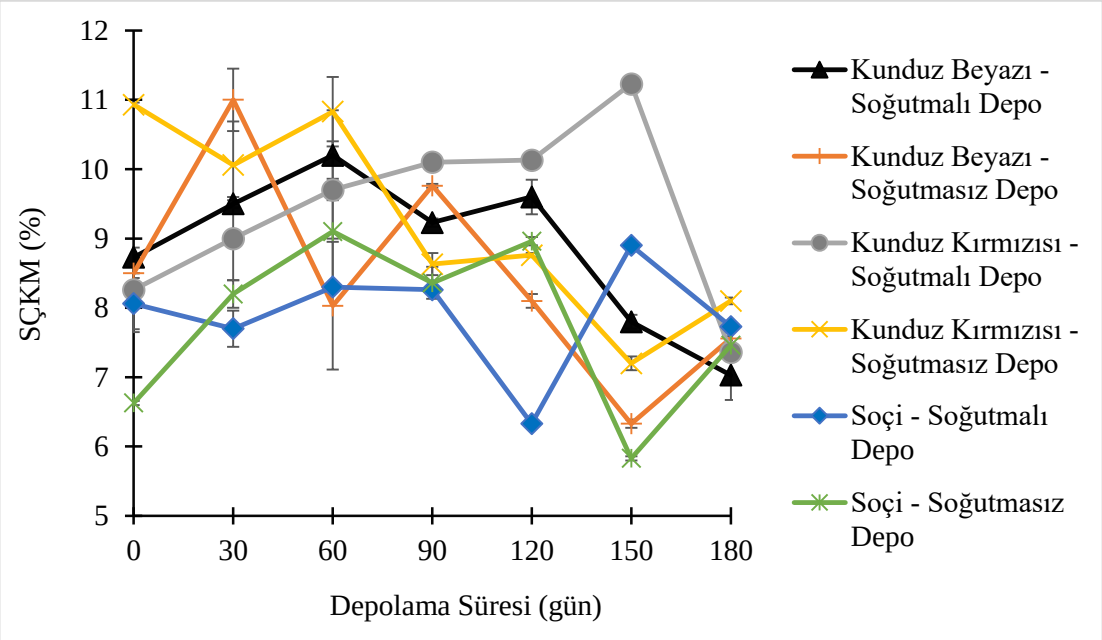
Soğuk depolama koşulları genel olarak SÇKM'nin korunmasında daha başarılı olmuş, özellikle 'Soçi' çeşidinde en stabil performans gözlenmiştir. Onu, soğukta depolanan 'Kunduz Kırmızısı' takip etmiştir. Buna karşılık, soğutucusuz depolama koşullarında depolanan 'Kunduz Kırmızısı' ve 'Kunduz Beyazı' çeşitlerinde özellikle 120. günden sonra belirgin SÇKM kayıpları kaydedilmiştir. Bu farklılıklar, her bir çeşidin karbonhidrat metabolizmasına karşı gösterdiği fizyolojik duyarlılık düzeyine ve depolama koşullarına verdiği tepkilere bağlanabilir.

Sonuç olarak, çalışmada elde edilen veriler, soğuk depolamanın, kuru soğanda suda çözünebilir karbonhidrat içeriğinin korunmasında kritik rol oynadığını ve özellikle filizlenmeye duyarlı çeşitlerde kalite kaybını geciktirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. 'Soçi' çeşidi ise karbonhidrat kaybı açısından daha dirençli yapısıyla, daha az kontrollü depolama koşullarında dahi nispeten daha uzun süreli muhafaza edilebilecek bir profil ortaya koymuştur. Bu bulgular, çeşide özgü fizyolojik yanıtların ve uygun depolama stratejilerinin, hasat sonrası kalite yönetimi açısından dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Çizelge 4.7 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince SÇKM miktarında (%) meydana gelen değişimler

Depolama Süresi (gün)	'Kunduz Kırmızısı'		'Kunduz Beyazı'		'Soçi'	
	Soğutmasız Depo	Soğutmalı Depo	Soğutmasız Depo	Soğutmalı Depo	Soğutmasız Depo	Soğutmalı Depo
0.	10.93 ± 0.03 a,a,a	8.26 ± 0.61 a,b,cd	8.50 ± 0.00 b,a,bc	8.73 ± 0.03 a,a,bc	6.63 ± 0.03 c,b,cd	8.06 ± 0.37 a,a,a
30.	10.06 ± 0.63 a,a,ab	9.00 ± 0.60 a,a,bc	11.00 ± 0.45 a,a,a	9.50 ± 0.05 a,b,ab	8.20 ± 0.20 b,a,ab	7.70 ± 0.26 b,a,ab
60.	10.83 ± 0.50 a,a,a	9.70 ± 0.70 a,a,b	8.03 ± 0.92 b,b,c	10.20 ± 0.65 a,a,a	9.10 ± 0.76 b,a,a	8.30 ± 0.05 b,a,a
90.	8.63 ± 0.16 ab,b,bcd	10.10 ± 0.11 a,a,ab	9.76 ± 0.03 a,a,ab	9.23 ± 0.06 ab,a,abc	8.36 ± 0.23 b,a,ab	8.26 ± 0.03 b,a,a
120.	8.76 ± 0.03 a,b,bc	10.13 ± 0.03 a,a,ab	8.10 ± 0.10 a,b,c	9.60 ± 0.25 a,a,ab	8.96 ± 0.06 a,a,a	6.33 ± 0.06 b,b,b
150.	7.20 ± 0.10 a,b,d	11.23 ± 0.06 a,a,a	6.33 ± 0.06 ab,b,d	7.80 ± 0.10 b,a,cd	5.83 ± 0.03 b,b,d	8.90 ± 0.00 b,a,a
180.	8.10 ± 0.05 a,a,cd	7.36 ± 0.03 a,a,d	7.56 ± 0.03 a,a,cd	7.03 ± 0.36 a,a,d	7.46 ± 0.03 a,a,bc	7.73 ± 0.03 a,a,ab

*Birinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve depolama şekli için çeşitler, ikinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve çeşit için depolama şekilleri ve üçüncü sıra harflendirmeler ise her bir depolama şekli ve çeşit için depolama süreleri arasındaki farklılıkları P≤0.05 hata düzeyinde ifade etmektedir.



Şekil 4.6 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince SÇKM miktarında (%) meydana gelen değişimler

4.7 Görsel Dinlenme İndeksi

Çalışmada ‘Kunduz Kırmızısı’, ‘Kunduz Beyazı’ ve ‘Soçi’ soğan çeşitlerine ait görsel dinlenme indeksi (GDİ) değerleri üzerinde çeşit × depolama şekli × depolama süresi arasındaki etkileşimlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 4.8 ve Şekil 4.7). Bu sonuç, depolama koşullarının ve süresinin, farklı soğan çeşitlerinin fizyolojik süreçleri üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

‘Kunduz Kırmızısı’ çeşidinde, soğutmasız depolama koşullarında GDİ 60. günden itibaren artış göstermiş ve 180. gün itibariyle en yüksek değere (74.68) ulaşmıştır. Buna karşın, soğutmalı depoda muhafaza edilen örneklerde görsel dinlenme süreci boyunca indeks değeri sıfır olarak kaydedilmiştir. Bu durum, düşük sıcaklık koşullarının ‘Kunduz Kırmızısı’ çeşidinde fizyolojik dinlenmeyi tamamen baskıladığını göstermektedir. Soğutmalı ortamda metabolik süreçlerin yavaşlaması, dinlenme belirtilerinin ortaya çıkmasını engellemiştir. Benzer şekilde, González vd. (2013), düşük sıcaklıkların görsel dinlenme indeksini belirgin şekilde düşürdüğünü ve bu etkinin fizyolojik aktivitelerdeki azalma ile ilişkili olduğunu rapor etmiştir.

‘Kunduz Beyazı’ çeşidinde de benzer bir eğilim gözlenmiş; soğutmasız koşullarda 60. günden itibaren GDİ artmış ve 180. günde (75.00) maksimum seviyeye ulaşmıştır. Öte yandan, soğutmalı depolama koşullarında bu çeşit için de görsel dinlenme meydana gelmemiştir. Bu bulgular, ‘Kunduz Beyazı’ çeşidinde de düşük sıcaklıkta dinlenme sürecinin baskılandığını göstermektedir. Bu etki düşük sıcaklık koşulları, endojen hormon düzeylerinin ve enzim aktivitelerinin azaltarak soğanlarda dormansi belirtilerini inhibe etmesi ile ilişkilendirilebilir (Sharma vd. 2016).

‘Soçi’ çeşidi ise diğer iki yerel çeşide göre daha geç bir fizyolojik yanıt vermiştir. Görsel dinlenme süreci bu çeşitte 90. gün itibariyle belirginleşmiş ve soğutmasız depolama koşullarında 180. günde GDİ değeri 54.08 olarak belirlenmiştir. Soğutmalı depoda ise bu çeşitte de tüm depolama süreci boyunca görsel dinlenme gerçekleşmemiştir. Bu durum, soğutmalı koşulların ‘Soçi’ çeşidinde de dinlenmeyi baskıladığını göstermektedir. Ancak görsel dinlenme değerinin daha geç başlaması ve daha düşük seviyede kalması, bu çeşidin

fizyolojik olarak daha geç tepki verdiğini ve potansiyel olarak düşük sıcaklığa daha dayanıklı olabileceğini düşündürmektedir.

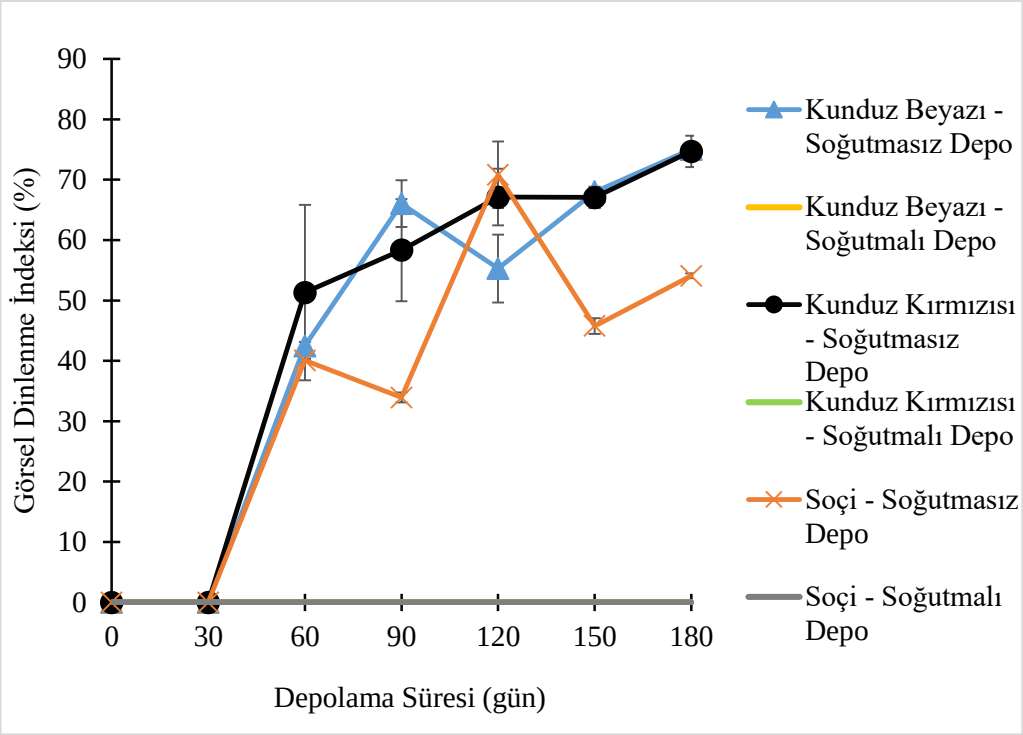
Her üç çeşit için de genel olarak değerlendirildiğinde, soğutmalı depolamanın görsel dinlenmeyi baskıladığı veya tamamen engellediği açıkça görülmektedir (Şekil 4.7). Bu bulgu, özellikle uzun süreli depolamalarda düşük sıcaklık uygulamasının soğanların fizyolojik süreçlerini yavaşlatıcı etkisini ortaya koymaktadır. Soğanlarda metabolik aktivitenin baskılanması, fizyolojik bozulmaların (filizlenme, köklenme) ve kalite kayıplarının önüne geçilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Kiran vd. 2024).

Ayrıca, tüm çeşitlerde soğutmasız depolamada depolama süresi uzadıkça görsel dinlenme indeksinde anlamlı artışlar kaydedilmiştir. Bu sonuç, fizyolojik olarak belirli bir süreden sonra dinlenme süreçlerinin kaçınılmaz olduğunu, ancak bu sürecin başlangıcı ve ilerleyişinin hem genetik yapı hem de çevresel faktörlere (sıcaklık, nem, ışık vb.) bağlı olarak değiştiğini göstermektedir (Sharma vd. 2016).

Çizelge 4.8 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince görsel dinlenme indeksinde meydana gelen değişimler

Depolama Süresi (gün)	**'Kunduz Kırmızısı'**		**'Kunduz Beyazı'**		**'Soçi'**	
	Soğutmasız Depo	**Soğutmalı Depo**	**Soğutmasız Depo**	**Soğutmalı Depo**	**Soğutmasız Depo**	**Soğutmalı Depo**
0.	0.00 ± 0.00 a,a,d	0.00 ± 0.00 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,a,d	0.00 ± 0.00 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,a,d	0.00 ± 0.00 a,a,a
30.	0.00 ± 0.00 a,a,d	0.00 ± 0.00 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,a,d	0.00 ± 0.00 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,a,d	0.00 ± 0.00 a,a,a
60.	51.30 ± 4.50 a,a,c	0.00 ± 0.00 a,b,a	42.45 ± 0.67 ab,a,c	0.00 ± 0.00 a,b,a	40.08 ± 0.23 a,a,c	0.00 ± 0.00 a,b,a
90.	58.33 ± 8.45 a,a,bc	0.00 ± 0.00 a,b,a	66.03 ± 3.86 a,a,ab	0.00 ± 0.00 a,b,a	33.93 ± 0.82 b,a,c	0.00 ± 0.00 a,b,a
120.	67.10 ± 4.69 a,a,ab	0.00 ± 0.00 a,b,a	55.29 ± 5.62 b,a,bc	0.00 ± 0.00 a,b,a	70.80 ± 5.50 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,b,a
150.	67.05 ± 1.77 a,a,ab	0.00 ± 0.00 a,b,a	67.97 ± 0.72 a,a,ab	0.00 ± 0.00 a,b,a	45.76 ± 1.28 b,a,bc	0.00 ± 0.00 a,b,a
180.	74.68 ± 2.61 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,b,a	75.00 ± 0.26 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,b,a	54.08 ± 0.39 b,a,b	0.00 ± 0.00 a,b,a

*Birinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve depolama şekli için çeşitler, ikinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve çeşit için depolama şekilleri ve üçüncü sıra harflendirmeler ise her bir depolama şekli ve çeşit için depolama süreleri arasındaki farklılıkları $P \leq 0.05$ hata düzeyinde ifade etmektedir.



Şekil 4.7 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda 180 gün süresince görsel dinlenme indeksinde meydana gelen değişimler

4.8 Pazarlanabilir Baş Oranı

Çalışmada altı aylık depolama süresi sonunda pazarlanabilir baş oranları belirlenmiş ve bu parametre üzerinde depolama şekli × çeşit etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır ($P \leq 0.05$) (Çizelge 4.9 ve Şekil 4.8). Elde edilen veriler, soğutmanın soğan başlarının pazarlanabilirliği üzerinde önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

'Kunduz Kırmızısı' çeşidinde pazarlanabilir baş oranı soğutmasız depolama koşullarında %67.39 düzeyinde kalırken, soğuk hava deposunda bu oran %96.28 olarak belirlenmiştir. 'Kunduz Beyazı' çeşidinde pazarlanabilir baş oranı soğutmasız ortamda yalnızca %21.70 iken, soğuk depolamada %93.00 olmuştur. 'Soçi' çeşidinde de benzer bir eğilim gözlenmiş, ortam sıcaklığında %82.08 olan pazarlanabilir oran, soğuk koşullarda %96.42 olmuştur. Bu bulgular, soğuk depolamanın soğan başlarının bozulmasını önlemede etkili olduğunu ve böylece pazarlanabilirlik oranını anlamlı şekilde artırdığını göstermektedir.

Literatürdeki çalışmalar da bu durumu desteklemektedir. Kiran vd. (2024), soğuk depolamanın, yüksek sıcaklığa maruz kalan depolama yöntemlerine kıyasla, bozulma oranını düşürerek pazarlanabilirliği artırdığını bildirmiştir. Benzer şekilde, Bulama vd. (2024) ve Ramprabhu (2010) tarafından yapılan araştırmalarda, soğuk depo koşullarında muhafaza edilen soğanlarda baş çürüklüğü, filizlenme ve su kaybı gibi kalite düşürücü faktörlerin önemli ölçüde azaldığı ve bunun doğrudan pazarlanabilirlik üzerinde olumlu etkiler yarattığı vurgulanmıştır.

Soğuk depolama koşullarının pazarlanabilirlik üzerindeki olumlu etkisi, büyük ölçüde fizyolojik ve mikrobiyolojik süreçlerin yavaşlatılmasıyla ilişkilidir. Düşük sıcaklıkta solunum hızı ve enzimatik faaliyetlerin azalması, hücre yapılarının korunmasına ve patojen gelişiminin baskılanmasına olanak tanır. Bu da bozulma oranlarını azaltarak ürünün pazar değerini korur (Downes vd. 2010, Ramprabhu 2010).

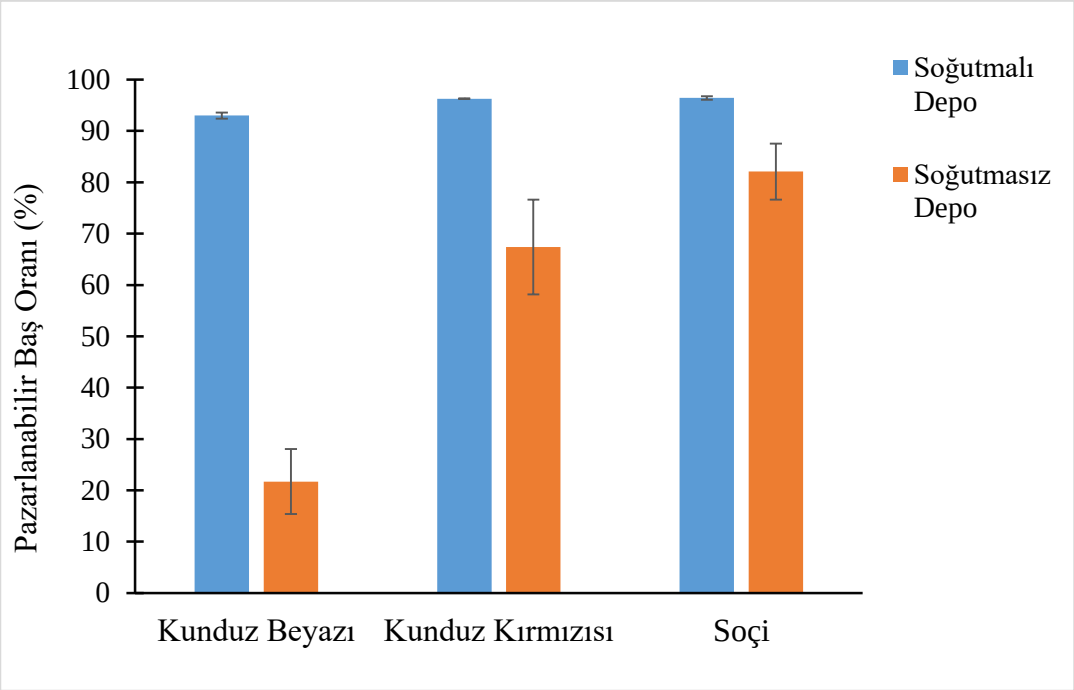
Özellikle ‘Kunduz Beyazı’ çeşidinde soğutmasız ortamda pazarlanabilirliğin ciddi oranda düşmesi (%21.70), bu çeşidin soğutmasız depolama koşullarına karşı oldukça hassas olduğunu göstermektedir. Nitekim, beyaz kabuklu çeşitlerin daha ince epidermal tabakalara sahip olması nedeniyle su kaybına ve çürüklüğe daha yatkın oldukları literatürde de belirtilmektedir (Currah vd. 2012, Maude 2018). Buna karşın tüm çeşitlerde, soğuk depolama koşullarının pazarlanabilirliği olumlu yönde etkilediği açıkça ortaya konmuştur.

Bu bulgular, çeşitlerin depolama sürecinde çevresel faktörlere verdiği yanıtların çeşitler arasında farklılık gösterebileceğini, ancak soğuk depolamanın genel anlamda tüm çeşitlerde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir. Dolayısıyla, soğuk depolama sistemleri, yalnızca raf ömrünü uzatmakla kalmayıp, aynı zamanda ürünün ekonomik değerini artırmak açısından da stratejik öneme sahiptir. Bununla birlikte, çeşitlerin fizyolojik tepkileri dikkate alınarak depolama protokollerinin özelleştirilmesi, ürün kayıplarını minimize etmek açısından önem arz etmektedir.

Çizelge 4.9 Soğan çeşitlerinde 180 günlük depolama süresince ortalama pazarlanabilir baş oranında (%) meydana gelen değişimler

Depolama Şekli	Çeşitler		
	'Kunduz Kırmızısı'	**'Kunduz Beyazı'**	**'Soçi'**
Soğutmasız Depo	67.39 ± 9.25 a, b	21.70 ± 6.33 b, b	82.08 ± 5.47 a, a
Soğutmalı Depo	96.28 ± 0.03 a, a	93.00 ± 0.58 a, a	96.42 ± 0.35 a, a

*Birinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi için çeşitler, ikinci sıra harflendirmeler her bir çeşit için depolama süreleri arasındaki farklılıkları ifade etmektedir.



Şekil 4.8 Soğan çeşitlerinde soğutmalı ve soğutmasız depoda ortalama pazarlanabilir baş oranında meydana gelen değişimler

5. SONUÇ

Bu çalışmada, ‘Kunduz Kırmızısı’, ‘Kunduz Beyazı’ ve ‘Soçi’ olmak üzere üç farklı soğan çeşidinin, soğuk ve soğutmasız olmak üzere iki farklı depolama koşulunda altı ay süreyle depolanması sonucu ortaya çıkan fizyolojik ve kaliteye ilişkin değişimleri değerlendirilmiştir. Bulgular, depolama koşullarının soğanların hasat sonrası fizyolojik davranışları ve kalite özellikleri üzerinde belirleyici rol oynadığını ortaya koymuştur. Özellikle soğuk depolama, metabolik faaliyetleri baskılayarak filizlenme, solunum hızı ve görsel dinlenme gibi fizyolojik tepkileri minimize etmiş ve ürünlerin raf ömrünü anlamlı düzeyde uzatmıştır. Tüm çeşitlerde soğuk koşullarda köklenme ve çürüme belirtilerine rastlanmamıştır. Bu durum, düşük sıcaklık uygulamasının dormansi sürecini etkin şekilde sürdürdüğünü ve patojen kaynaklı bozulmalara karşı koruyucu bir etki yarattığını göstermektedir.

Solunum hızı, özellikle soğutmasız depolarda zamanla artış göstererek fizyolojik yaşlanmanın hızlandığına işaret etmiştir. Görsel dinlenme ise yalnızca soğutmasız ortamda ortaya çıkmış, soğuk koşullarda tamamen baskılanmıştır. Bu fizyolojik değişimlerin soğutmasız ortamlarda daha erken ve daha yoğun şekilde ortaya çıkması, depolama sıcaklığının soğan fizyolojisi üzerinde ne denli kritik bir etkiye sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Pazarlanabilir baş oranı açısından da soğuk depolama açıkça üstünlük sağlamıştır. Özellikle ‘Kunduz Beyazı’ çeşidi, soğuk koşullarda %93 gibi yüksek pazarlanabilir oranıyla öne çıkarken, aynı çeşidin soğutmasız ortamda pazarlanabilirliği yalnızca %21’de kalmıştır. SÇKM içeriği ise soğutmalı depolama koşullarında daha stabil kalmış, bu da kalite korunumu açısından olumlu bir gelişme olarak değerlendirilmiştir. Bu parametre açısından ‘Soçi’ çeşidi en dirençli performansı göstermiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, soğuk depolama koşulları, hem kalite koruma hem de raf ömrünün uzatılması bakımından en uygun yöntem olarak öne çıkmaktadır. ‘Soçi’ çeşidi, özellikle kalite parametreleri ve pazarlanabilirlik açısından soğuk ortamda yüksek performans sergilemiştir. Diğer yandan, ‘Kunduz Kırmızısı’ çeşidi de yerel üretim açısından değerlendirildiğinde soğuk depolamayla birlikte en verimli ve sürdürülebilir

sonuçları vermiştir. Bu bağlamda, Afganistan'da 'Kunduz Kırmızısı' gibi yerel çeşitlerde kalitenin korunması, hasat sonrası kayıpların azaltılması iç ve dış pazara kaliteli ürün arzının sürekliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, soğuk depo yatırımlarının arttırılması ve çeşit-seçim stratejilerinin bölgesel özelliklere göre planlanması, soğan sektöründe sürdürülebilir bir üretim ve pazarlama yapısının oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abubakar, M.S., Maduako, J.N. and Ahmed, M. 2019. Effects of storage duration and bulb sizes on physiological losses of Agrifound light red onion bulbs (Allium cepa L.). Agricultural Science and Technology, 11(1), 90-97.

Adamicki, F. 2004. Effects of pre-harvest treatments and storage conditions on quality and shelf-life of onions. In IV International Symposium on Edible Alliaceae 688 (pp. 229-238).

Ag Eng, M. J. and AbdEl-Gwad, F. 2014. Process engineering effect of storage conditions on the quality of onion bulbs. HortScience, 31, 919-936.

Agri, P.J., Soomro, S.A., Ibupoto, K.A., Soomro, N.M. and Jamali, L.A. 2016. Effect of storage methods on the quality of onion bulbs. Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences, 32(2), 221-228.

Akan, S., Gunes, N.T. and Yanmaz, R. 2019. Methyl jasmonate and low temperature can help for keeping some physicochemical quality parameters in garlic (*Allium sativum* L.) cloves. Food Chemistry, 270, 546-553.

Akan, S. and Güneş, N.T. 2021. Potential effects of storage period, warehouse locations, and methyl jasmonate in long-term stored garlic bulbs. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 45(1), 79-90.

Akhther, N., Islam, M.R. and Hassan, M.K. 2022. Effect of gamma radiation on shelf life and quality of onion (*Allium cepa* L.). International Journal of Agricultural Technology, 18(5), 1881-1896.

Amjad, W., Munir, A., Akram, F., Parmar, A., Precoppe, M., Asghar, F. and Mahmood, F. 2023. Decentralized solar-powered cooling systems for fresh fruit and vegetables to reduce post-harvest losses in developing regions: a review. Clean Energy, 7(3), 635-653.

Anonim. 2023. Web sitesi: https://www.tuik.gov.tr/, Erişim Tarihi: 6.3.2025.

Anonymous.2023.Web sitesi: https://www.fao.org/faostat/en/, Erişim Tarihi: 07.03.2025.

Arena, D., Ben Ammar, H., Major, N., Kovačević, T.K., Goreta Ban, S., Al Achkar, N., Rizzo, G.F. and Branca, F. 2024. Diversity of the morphometric and biochemical traits of *Allium cepa* L. varieties. Plants, 13(13), 1727.

Arya, J.S., Singh, N., Singh, H. and Kant, A. 2022. Onion genotypes Red Cereole, followed by Katarina Red 3 and Katarina Red 7 are superior with respect to post harvest quality parameters. Australian Journal of Crop Science, 16(2), 162-170.

Aydoğan, N. 2020. Determination of physiological responses of short-day onion lines in gaf-mtn gene pool against salt, drought, salt and drought stresses. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

Baloch, J.U.D., Baloch, S., Munir, M., Alizai, A.A. 2012. A study on root growth of onion (Allium cepa L.) under storage conditions. Pakistan Journal of Life & Social Sciences, 10(2).

Baloch, R.A., Ullah Baloch, S., Khan Baloch, S., Baloch, H.N., Badini, S.A., Bashir, W., Baloch, A.B. and Baloch, J. 2014. Economic analysis of onion (allium cepa l.) production and marketing in district awaran, balochistan. Journal of Economics and Sustainable Development , 5(24), 192-205.

Bazaria, B. and Neeraj. 2023. General overview of composition, use in human nutrition, process of sprouting, change in composition during sprouting, parameters affecting nutritional quality during sprouting, benefits of sprouts, nutritional values and food safety issues of allium sprouts. Advances in Plant Sprouts: Phytochemistry and Biofunctionalities, 403-415.

Borah, P. and Banik, B.K. 2019. Diverse therapeutic applications of onion. Archives of Pharmacology and Therapeutics. 1(1), 14-16.

Brewster, J.L. 2008. Onions and other vegetable alliums. CABI, 15, Wallingford.

Bulama, Y.M., Idi, A.S., Kyari, M.B. and Abuna, A.J.B.J.O.A.R. 2024. The effect of post-harvest handling practices on the quality and marketability of harvested onions in jere local government area. Badeggi Journal of Agricultural Research and Environment, 6(1), 30-38.

Burba, J., Casallı, V. ButeleR, M. 1989. Intensidad de la dormición como parámetro fisiológico para agrupar cultivares de ajo (Allium sativum L.). Horticultura Argentina, 8(18), 47-49.

Chand, J., Kumar, P. and Upadhyay, H. 2021. Geographical distribution of various crops like cereals, Legumes, oilseed, vegetables, fodder and forages, commercial crop, condiments and species, medical and aromatic plant: An overview. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research, 8(3), 1679-1725.

Chávez-Mendoza, C., Vega-García, M.O., Guevara-Aguilar, A., Sánchez, E., Alvarado-González, M. and Flores-Córdova, M.A. 2016. Effect of prolonged storage in controlled atmospheres on the conservation of the onion (*Allium cepa* L.) quality. Emirates Journal of Food and Agriculture, 28(12), 842-852.

Chope, G.A. 2006. Understanding the mechanisms behind onion bulb dormancy in relation to the potential for improved onion storage. Doktora Tezi, Cranfield Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, 195, Bedfordshire, UK.

Crucitti, A., Kohlen, W., Dechesne, A., van Seters, A., Bachem, C.W.B., Immink, R.G. H. and Scholten, O.E. 2024. Analysis of aba and fructan contents during onion (*Allium cepa* L.) storage in the search for internal sprouting indicators. Horticulturae, 10(9), 1-11.

Currah, L., Cools, K. and Terry, L.A. 2012. Onions, shallots and garlic. Crop post-harvest. Science and Technology: Perishables, 360-391.

Dabhi, M.N., Patel, N.C. and Dhamsaniya, N.K. 2008. Effect of storage conditions on the quality characteristics of onion. Journal of Food Science and Technology, 45(4), 376-377.

Desta, B., Woldetsadik, K. and M. Ali, W. 2021. Effect of harvesting time, curing and storage methods on storability of garlic bulbs. The Open Biotechnology Journal, 15(1), 36-45.

Downes, K., Chope, G.A. and Terry, L.A. 2010. Postharvest application of ethylene and 1-methylcyclopropene either before or after curing affects onion (*Allium cepa* L.) bulb quality during long term cold storage. Postharvest Biology and Technology, 55(1), 36-44.

Endalew, W., Getahun, A., Demissew, A. and Ambaye, T. 2014. Storage performance of naturally ventilated structure for onion bulbs. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 16(3), 97-101.

Fatideh, M.M. and Asil, M.H. 2012. Onion yield, quality and storability as affected with different soil moisture and nitrogen regimes. South-Western Journal of Horticulture, Biology and Environment, 3, 145-165.

Forney, C.F., Cue, K. and Fillmore, S. 2022. Ethylene inhibits sprouting of onion bulbs during long-term storage. HortScience, 57(6), 686–691.

Fumen, G.A., Osunde, Z.D., Idah, P.A. and Adejumo, B.A. 2016. Effect of temperature and relative humidity on respiration rate and nutritional properties of stored onion.

Ghodke, P., Khandagale, K., Thangasamy, A., Kulkarni, A., Narwade, N., Shirsat, D., Randive, P., Roylawar, P., Singh, I., Gawande, S. J., Mahajan, V., Solanke, A. and Singh, M. 2020. Comparative transcriptome analyses in contrasting onion (*Allium cepa* L.) genotypes for drought stress. PLoS ONE, 15(8), 1-21.

González, R.E., Burba, J.L. and Camargo, A.B. 2013. A Physiological indicator to estimate allicin content in garlic during storage. Journal of Food Biochemistry, 37(4), 449-455.

Gorrepati, K., Murkute, A.A., Bhagat, Y. and Gopal, J. 2018. Post-harvest losses in different varieties of onion. Indian Journal of Horticulture, 75(2), 314-318.

Gökçe, A.F., Basar, N., Candar, A., Kaderlioglu, E. and Akbudak, N. 2012. Onion breeding program in Turkey. Acta Horticulturae, 969(May 2012), 93-96.

Gökçe, A.F., Kaya, C., Serçe, S. and Özgen, M. 2010. Effect of scale color on the antioxidant capacity of onions. Scientia Horticulturae, 123(4), 431-435.

Hajiguliyeva, S. 2019. *Allium Cepa* L. Üzerinde Farmakognozik Araştirmalar. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Hatem, M.H., Shehata, S.A., AbdEl-hay, Y.B., AbdEl-Gwad, K.F., Abaker, B.A. 2014. Effect of storage conditions on the quality of onion bulbs. Misr Journal of Agricultural Engineering, 31(3), 919-936.

Hathi, H.S., Parmar, D.L. and Babariya, A. B. 2020. Inhibition of sprout growth in onion and garlic. Vigyan Varta, 1(8), 33-37.

Huo, Y., Gao, L., Liu, B., Yang, Y., Kong, S., Sun, Y. and Wu, X. 2019. Complete chloroplast genome sequences of four *Allium* species: comparative and phylogenetic analyses. Scientific Reports, 9(1), 12250.

Hussain Chattha, S., Nawaz Mirani, B., Ahmed Soomro, S., Ahmed Ibupoto, K. and Ahmed Khan, Z. 2020. Storage performance of forced ventilated, natural ventilated, and traditional methods on the quality of onion bulbs. Journal of Pure and Applied Agriculture, 5(2), 2617-8680.

Ilić, Z., Milenković, L., Djurovka, M. and Trajković, R. (2008, September). The effect of long-term storage on quality attributes and storage potential of different onion cultivars. In IV Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes 830 (pp. 635-642).

Islam, M.N., Wang, A., Pedersen, J. S., Sørensen, J. N., Körner, O. and Edelenbos, M. 2019. Online measurement of temperature and relative humidity as marker tools for quality changes in onion bulbs during storage. PloS one, 14(1), e0210577.

Jamali, L.A., Ibupoto, K.A., Chattha, S.H., Laghari, R.B. 2012. Study onphysiological weight loss in onion varieties during storage. Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering & Veterinary Sciences, 28(1), 1-7.

Jolayemi, O.S., Shamsudeen Nassarawa, S., Lawal, O.M., Sodipo, M. A. and Oluwalana, I.B. 2018. Monitoring the changes in chemical properties of red and white onions (*Allium cepa*) during storage. Journal of Stored Products and Postharvest Research, 9(7), 78-86.

Kaynaş, K. 2017. Minimal işlem görmüş ve diğer bahçe ürünlerini depolanması (soğanlı ve yumrulu sebzeler). Bahçe Ürünlerinin Muhafazası ve Pazara Hazırlanması, Somtad Yayınları Ders Kitabı, 335-346.

Khan, M., Rahman, M., Mozumder, S., Ara, R., Alam, M. and Brahma, S.2022. Storability study of different short-day onion (*Allium cepa* L.) genotypes/varieties. International Journal of Applied Research, 8(12), 108-114.

Kiran, P.R., Aradwad, P., T.V., A.K., Nayana N., P., C.S., R., Sahoo, M., Urhe, S.B., Yadav, R., Kar, A. and Mani, I. 2024. A comprehensive review on recent advances in postharvest treatment, storage, and quality evaluation of onion (*Allium cepa*): Current status, and challenges . Future Postharvest and Food, 1(1), 124-157.

Kiura, I.N., Gichimu, B.M. and Rotich, F. 2021.Proximate and nutritional composition of stored bulb onions as affected by harvest and postharvest treatments. International

Journal of Agronomy, 1, 5532349.

Kleman, I. 2025. Towards sustainable onion storage. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, 10.

Ko, E.Y., Nile, S.H., Sharma, K., Li, G.H. and Park, S.W. 2015. Effect of different exposed lights on quercetin and quercetin glucoside content in onion (*Allium cepa* L.). Saudi Journal of Biological Sciences, 22(4), 398-403.

Kukanoor, L. 2005. Post–harvest studies in onion Cv. N-53. Ph.D. Thesis. Department of Horticulture. College of Agriculture. The University of Agricultural Sciences, Dharwad, Karnataka, India.

Kumari, S., Adarsh, A. and Kumari, A. 2022. Comparative study of different improved low cost storage structure of onion. 40(March), 195-200.

Kumawat, L. and Raheman, H. 2022. Mechanization in onion harvesting and its performance: a review and a conceptual design of onion harvester from indian perspective. Journal of The Institution of Engineers (India): Series A, 103(1), 295-304.

Lee, J., Ha, I., Kim, H., Choi, S., Lee, S., Kang, J. and Boyhan, G. E. 2016. Regional differences in onion bulb quality and nutrient content, and the correlation between bulb characteristics and storage loss. Horticultural Science and Technology, 34(6), 807-817.

Macknight, R., Khosa, J., Lee, R., Joshi, S., Shaw, M. and McCallum, J. 2018. A guide for the cultivation of onion under controlled environment conditions. HortScience, 53(12), 1746-1749.

Madalageri, B.B., Noojibail, P. and Shivakumar, G. 2022. Storage losses in short day onions and factors affecting it division of vegetable breeding. 35(3), 396-398.

Mahsan, S., Shokrgozar, T., Khodadadi, M., Hassanpanah, D. and Abdosi, V. 2013. Effects of storage conditions on losses rate and some quality traits of six Iranian onion genotypes in Karaj region , Iran. 4(1), 151-156.

Marrelli, M., Amodeo, V., Statti, G. and Conforti, F. 2019. Biological properties and bioactive components of *Allium cepa* L.: Focus on potential benefits in the treatment of obesity and related comorbidities. Molecules, 24(1), 119

Martínez, A.R., Paz, J.F. and Ares, J. A. 2005. Evaluation of local onion lines from northwest Spain. Spanish Journal of Agricultural Research, 3(1), 90-97.

Maude, R. B. 2018. Storage diseases of onions, In: Onions and Allied Crops: Volume II: Agronomy and Biotic Interactions**.** Rabinowitch, H. D. ve Brewster, J. L. (eds), CRC Press, s. 273–296, New York.

Meerow, Alan W. and Snuman, Deirdre A. 2006 .The never-ending story: multigene approaches to the phylogeny of *Amaryllidaceae*. Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany, 22(1), 29.

Miedema, P. 1994. Bulb dormancy in onion. I. The effects of temperature and cultivar on sprouting and rooting. Journal of Horticultural Science, 69(1), 29-39.

Modolo, A., Dotto, L., Vargas, T., Sgarbossa, M. and Bilck, A. 2023. Post-harvest quality of onion bulbs in a controlled environment. Food Science and Technology, 43, 1-6.

Muhie, S.H. 2022. Preharvest production practices, and postharvest treatment and handling methods for best quality onion bulbs: review. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 97(5), 552-559.

Muradi, A. J. and Boz, I. 2018. The contribution of agriculture sector in the economy of Afghanistan. International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM), 6(10), 750-755.

Nabi, G., Rab, A., Sajid, M., Ullah, F., Abbas, S. J. and Ali, I. 2013. Influence of curing methods and storage conditions on the post-harvest quality of onion bulbs. Pakistan Journal of Botany, 45(2), 455-460.

Ndereyimana, A., Koyama, S. and Kagiraneza, B. 2020. Effect of curing and storage temperature on shelf life of onion (*Allium cepa* L.) bulbs. Fundamental and Applied Agriculture, 5(1), 1.

Petropoulos, S.A., Ntatsi, G. and Ferreira, I.C.F.R. 2017. Long-term storage of onion and the factors that affect its quality: A critical review. Food Reviews International, 33(1), 62-83.

Praeger, U., Ernst, M.K. and Weichmann, J. 2003. Effects of ultra low oxygen storage on postharvest quality of onion bulbs (*Allium cepa* L. var. cepa). European Journal of Horticultural Science, 68(1), 14-19.

Priya, E.P.B., Sinja, V.R., Alice, R.P.J.S., Shanmugasundaram, S. and Alagusundaram, K. 2014. Storage of onions – a review. Agricultural Reviews, 35(4), 239.

Prof. G.G. Khemnar, Sayyad Hamja Kayyum, Shinde Nikita Ramesh, Sonavane Aditya Sanjay, Shah Sahil Majid. and Sonavane Sakshi Somnath. 2024. IoT Based Onion Storage Monitoring and Automation Control System. International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology, 35(2), 132–139.

Rahmah, A.N.F., Priyanti, D., Ayuningsih, I. and Nugraha, B. 2023. The effect of different storage temperatures and internal analysis of onions with x-ray ct on the respiration rate of onions. E3S Web of Conferences, 425.

Ramin, A.A. 1999. Storage potential of bulb onions (*Allium cepa* L.) under high temperatures. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 74(2), 181- 186.

Rabinowitch, H.D. 1990. Onions and Allied Crops: Volume I: Botany, Physiology, and Genetics (1st ed.). CRC Press.

Ramprabhu, K.S. 2010. Design, development and performance evaluation of onion storage structure. Doktora Tezi, Indian Institute of Technology Bombay, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, s. 150, Mumbai.

Raut, V.U., Chopde, N., Bhute, P.N. and Raut, P.D. 2017. Biochemical changes in onion during ambient storage as affected by preharvest treatments. Plant Archives, 17(2), 1023-1027.

Rekha, E., Kukanoor, L. and Adarsh, K. 2015. Influence of different storage methods on storage quality of onion. Indian Journal of Ecology, 42(1), 276-278.

Ren, F. and Zhou, S. 2021. Phenolic components and health beneficial properties of onions. Agriculture, 11(9), 872.

Ríos-González, I.J., Guevara-Aguilar, A., Sida-Arreola, J.P., Sánchez, E., Ronquillo-Aboite, J.O., Alvarado-González, M. and Chávez-Mendoza, C. 2018. Effect of controlled atmospheres on the quality of white onion (*Allium cepa* L). Journal of Food Science and Technology, 55(9), 3564-3574.

Rodrigues, A.S., Pérez-Gregorio, M.R., García-Falcón, M.S., Simal-Gándara, J. and Almeida, D.P. 2010. Effect of post-harvest practices on flavonoid content of red and white onion cultivars. Food Control, 21(6), 878-884.

Romo-Pérez, M.L., Weinert, C.H., Häußler, M., Egert, B., Frechen, M.A., Trierweiler, B. and Zörb, C. 2020. Metabolite profiling of onion landraces and the cold storage effect. Plant Physiology and Biochemistry, 146, 428-437.

Sagar, N.A., Pareek, S., Benkeblia, N. and Xiao, J. 2022. Onion (*Allium cepa* L.) bioactives: Chemistry, pharmacotherapeutic functions, and industrial applications. Food Frontiers, 3(3), 380-412.

Salari, H., Hansra, B.S. and Saharawat, Y.S. 2021. The influence of land management and date of planting on physical properties of Safid e Pai-saye onion (*Allium cepa* L.). Journal of Ecoscience and Plant Revolution, 2(1), 1-7.

Salari, H., Shinwari, A.R. and Antil, R. 2023. Optimizing the planting date for onion production. journal of natural science review, 1(1), 1-15.

Sansan, O.C., Ezin, V., Ayenan, M.A.T., Chabi, I.B., Adoukonou-Sagbadja, H., Saïdou, A. and Ahanchede, A. 2024. Onion (*Allium cepa* L.) and drought: current situation and perspectives. Scientifica, 2024.

Satheesan, A. 2024. Environmental impacts of post-harvest loss of onions. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, 02, 89-95.

Shabir, I., Pandey, V.K., Dar, A.H., Pandiselvam, R., Manzoor, S., Mir, S.A., Shams, R., Dash, K.K., Fayaz, U., Khan, S.A., Jeevarathinam, G., Zhang, Y., Rusu, A.V. and Trif, M. 2022. Nutritional profile, phytochemical compounds, biological activities, and utilisation of onion peel for food applications: A Review. Sustainability, 14(19), 1-15.

Sharma, K., Assefa, A.D., Kim, S., Ko, E.Y. and Park, S.W. 2014. Change in chemical composition of onion (*Allium cepa* L. cv. Sunpower) during post-storage under ambient conditions. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 42(2), 87-98.

Sharma, K. and Lee, Y.R. 2016. Effect of different storage temperature on chemical composition of onion (*Allium cepa* L.) and its enzymes. Journal of Food Science and Technology, 53(3), 1620-1632.

Sharma, K., Mahato, N., Nile, S.H., Lee, E.T. and Lee, Y.R. 2016. Economical and environmentally-friendly approaches for usage of onion (*Allium cepa* L.) waste. Food and Function, 7(8), 3354–3369.

Sharma, P., Sharma, S.R., Dhall, R.K. and Mittal, T.C. 2020. Effect of γ-radiation on post-harvest storage life and quality of onion bulb under ambient condition. Journal of Food Science and Technology, 57(7), 2534-2544.

Shehata, S., Attia, M. and Mohamed, M. 2017. Effect of hot water dips and modified atmosphere packaging on quality and storability of fresh-cut green onion during cold storage. Zagazig Journal of Agricultural Research, 44(2), 465-482.

Shehu, K., Salau, I. A. and Kasimu, S.M. 2023. Enhancing onion preservation and storage through improved storage system. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 27(12), 2777-2781.

Shree, S. and Kumari, A. 2019. Postharvest handling, diseases and disorders in bulb vegetables. In The Vegetable Pathosystem (pp. 483-507). Apple Academic Press.

Siva Shankar, V., Velmurugan, G., Prathiba, R., Poornima, D.S., Suvetha, M. and Keerthiga, V. 2023. Effect of on-farm storage structure on physical and bio-chemical changes in aggregatum onion. Materials Today*:* Proceedings, 72(October), 2417–2422.

Sohany, M., Sarker, M.K.U. and Mahomud, M. S. 2016. Physiological changes in red onion bulbs at different storage temperature. World Journal of Engineering and Technology, 4(2), 261-266.

Soomro, S.A., Ibupoto, K.A., Soomro, N.M., Jamali, L.A. 2016. Effect of storage methods on the quality of onion bulbs. Advances in Agriculture and Animal Science, 32(2), 221-228.

Suojala, T. 2001. Effect of harvest time on storage loss and sprouting in onion. Agricultural and Food Science in Finland, 10(4), 323–333.

Tadic, J., ZŽutic, I., Urlic, B., Jukic Spika, M., and Dumicic, G. 2021. Effect of fertilization on onion growth, yield and storage. Acta Horticulturae, 1320, 247-253.

Taşcı, B. and Koca, İ. 2019. Mor soğanın (*Allium Cepa* L.) önemli bileşiği: kersetin ve sağlık üzerine etkileri. Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi, 4(2), 32-37.

Teotia, D., Agrawal, A., Goyal, H., Jain, P., Singh, V., Verma, Y. and Malik, V. 2024. Pharmacophylogeny of genus *Allium* L. Journal of King Saud University-Science, 36(8), 103330.

Thakur, M., Sharma, P., Anand, A., Pandita, V.K., Bhatia, A. and Pushkar, S. 2020. Raffinose and hexose sugar content during germination are related to infrared thermal fingerprints of primed onion (*Allium cepa* L.) seeds. Frontiers in Plant Science, 11, 579037.

Tripathi, P.C. and Lawande, K.E. 2007. Effect of sprout suppressant and storage environment on storage losses and post-cold storage behaviour of onion. Indian Journal of Horticulture, 64(3), 340-344.

Türk, R., Tuna Güneş, N., Erkan, M. and Koyuncu, M.A. 2017. Bahçe ürünlerinin muhafazası ve pazara hazırlanması. Somtad yayınları ders kitabı, 542, Ankara

Vahling-Armstrong, C., Dung, J. K.S., Humann, J.L. and Schroeder, B.K. 2016. Effects of postharvest onion curing parameters on bulb rot caused by Pantoea agglomerans, Pantoea ananatis and Pantoea allii in storage. Plant Pathology, 65(4), 536-544.

Verma, M., Ram Bunker, R. and Kumawat, S. 2022. Post-harvest management in onion: deserve concern. Biological Forum-An International Journal, 14(4a), 608.

Yahia, E.M. 2018. Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables. Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables, 61(4), 1-476.

Yaqoobi, S.A. and Nemati, H. 2022. Study on Storability of Afghan Local Onions (*Allium cepa* L .) at Two Thermal Conditions. 36(1), 1-14.

Yeshiwas, Y., Alemayehu, M. and Adgo, E. 2024. Influence of cultivar and plant density on the growth, bulb yield and quality traits of onion (*Allium cepa* L.). Scientific Reports, 14(1), 1-17.

Yoo, Y., Kim, S., Lee, W., Kim, J., Son, B., Lee, K. J. and Shin, H. 2025. The prebiotic potential of dietary onion extracts: shaping gut microbial structures and promoting beneficial metabolites. mSystems, 10(1), e01189-24.

Yuasa, M., Ueno, M., Kawabeta, K., Morikawa, M., Uemura, M., Matsuzawa, T. and Tominaga, M. 2022. Taste characteristics, volatile components, sensory properties, and antioxidant activity of fresh onion (*Allium cepa* L.) leaves. Bulletin of the National Research Centre, 46(1), 270.

Zavadska, O., Bobos, Fedosiy, I., Podpriatov, H., Komar, O., Mazur, B. and Olt, J. 2021. Suitability of various onion (*Allium cepa*) varieties for drying and long-term storage. Agronomy Research, 19(3), 1675–1690.