



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**ANTEP FISTIĞI (*PISTACIA VERA L.*)
TOZUNUN AMBALAJLANMASINDA GERİ
DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR VE SÜRDÜRÜLEBİLİR
ÖZELLİKTE AMBALAJ MALZEMELERİNİN
KULLANIMI VE HIZLANDIRILMIŞ RAF ÖMRÜ
ANALİZLERİYLE RAF ÖMRÜNÜN
TAHMİNLENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Betül ER

Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı

İzmir
2024

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**ANTEP FISTIĞI (*PISTACIA VERA L.*)
TOZUNUN AMBALAJLANMASINDA GERİ
DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR VE SÜRDÜRÜLEBİLİR
ÖZELLİKTE AMBALAJ MALZEMELERİNİN
KULLANIMI VE HIZLANDIRILMIŞ RAF
ÖMRÜ ANALİZLERİYLE RAF ÖMRÜNÜN
TAHMİNLENMESİ**

Betül ER

Danışman : Doç. Dr. Özlem ESMER

Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Gıda Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

İzmir
2024

Betül ER tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “**Antep Fıstığı (*Pistacia vera L.*) Tozunun Ambalajlanmasında Geri Dönüştürülebilir ve Sürdürülebilir Özellikte Ambalaj Malzemelerinin Kullanımı ve Hızlandırılmış Raf Ömrü Analizleriyle Raf Ömrünün Tahminlenmesi**” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 23/01/2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı :

Raportör Üye :

Üye :

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Antep Fıstığı (*Pistacia vera L.*) Tozunun Ambalajlanmasında Geri Dönüştürülebilir ve Sürdürülebilir Özellikte Ambalaj Malzemelerinin Kullanımı ve Hızlandırılmış Raf Ömrü Analizleriyle Raf Ömrünün Tahminlenmesi**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

23/01/2024

Betül ER

ÖZET

**ANTEP FISTIĞI (*PISTACIA VERA L.*) TOZUNUN
AMBALAJLANMASINDA GERİ DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR VE
SÜRDÜRÜLEBİLİR ÖZELLİKTE AMBALAJ MALZEMELERİNİN
KULLANIMI VE HIZLANDIRILMIŞ RAF ÖMRÜ ANALİZLERİYLE
RAF ÖMRÜNÜN TAHMİNLENMESİ**

ER, Betül

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özlem ESMER

Ocak 2024, 155 sayfa

Bu çalışmada, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir ambalaj malzemeleri kullanarak Antep fıstığı tozunun raf ömrünü arttırmak ve ürünün kalite özelliklerini korumak amaçlanmıştır. Çalışmada, farklı depolama sıcaklıkları ve geri dönüştürülebilir ambalaj malzemelerinin Antep fıstığı tozunun kalite özelliklerindeki değişimine olan etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma kapsamında, farklı OTR (Oksijen geçirgenlik hızı) değerlerine sahip; üç katlı LDPE/EVOH/LDPE (Alçak yoğunluklu polietilen/Etilen vinil alkol/Alçak yoğunluklu polietilen-OTR $\leq$ 1 cc/m²-gün-atm ve WVTR $\leq$ 4 g/m²-gün), tek katmanlı MetBOPP (Metalize BiOriented Polipropilen-OTR $\leq$ 120 cc/m²-gün-atm ve WVTR $\leq$ 0,5 g/m²-gün) ve tek katmanlı BOPP (BiOriented Polipropilen-OTR $\leq$ 1200 cc/m²-gün-atm ve WVTR $\leq$ 4 g/m²-gün) ambalaj malzemeleri kullanılmış; kontrol örneği olarak ise açıkta yani ambalajsız depolama yapılmıştır. Ambalajlanan Antep fıstığı tozu örnekleri ve kontrol örneği (açıkta) %50 bağıl nemde 15°C, 25 °C, 35 °C ve 45°C’de 120 gün (4 ay) boyunca depolanarak 0. gün dahil olmak üzere 15’er günlük periyotlarda %nem miktarı, su aktivitesi değeri,

renk analizi, antioksidan aktivite değeri (DPPH reaktifi ile), toplam fenolik madde miktarı, peroksit değeri, serbest yağ asitliği değeri ve p-anisidin değerleri belirlenmiştir. Tüm depolama koşulları için, peroksit değeri, serbest yağ asitliği değeri ve p-anisidin değerindeki değişim kinetik modeller ile matematiksel olarak hesaplanmıştır.

Sonuçlar; depolama sıcaklığı, açıkta depolama ve ambalaj malzemelerinin farklı OTR değerlerine sahip olmasının analiz sonuçlarında etkili olduğunu göstermiştir. Antep fıstığı tozunun farklı ambalaj malzemeleriyle ambalajlanması durumunda, tüm ambalaj malzemelerinin Antep fıstığı tozu örneklerinde nem değişimi ve su aktivitesi değişimi açısından koruyucu özellik gösterdiği ve örneklerin açıkta ve 45°C gibi yüksek sıcaklıklarda depolanması durumunda bile nem ve su aktivitesi değişiminin düşük miktarlarda kaldığı belirlenmiştir. Depolama sıcaklığının artmasıyla birlikte nem kazanımı azalmış; hatta örneklerin nem kaybettiği gözlenmiştir. Her üç ambalaj malzemesinin de kontrol örneğine göre su aktivitesi değişiminde koruyucu özellik gösterdiği, 45 °C depolamada ise değişiminin minimum miktarlarda kaldığı belirlenmiştir. Antep fıstığı tozunda renk kriterleri açısından depolama sıcaklığının oldukça önemli bir parametre olduğu ve depolama sıcaklığının artmasıyla tüm örneklerin L* ve b* değerlerinin azalırken, a* ve BI (kahverengileşme indeksi) değerlerinin arttığı belirlenmiştir. 15 ve 25 °C’de depolanan örneklerin renk kriterlerindeki bu değişimlerin daha düşük olduğu belirlenmiştir. 35 ve 45 °C’de depolamada, kontrol örneğinin renk kriterlerindeki değişimin ambalajlanmış örneklere kıyasla daha fazla olduğu ve en az değişimin, OTR değeri en düşük olan PE/EVOH/PE ambalaj malzemesinde olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, daha yüksek sıcaklıklarda depolamada Antep fıstığı tozunun renk kriterlerinin korunmasında ambalajın etkisi daha fazla olmuştur. Özellikle 35 °C’ye kadar olan depolamalarda OTR değeri düşük olan ambalaj malzemesi daha etkili olurken, 45 °C’de depolamada örneklerin tamamının renklerinin kabul edilemez olduğu belirlenmiştir. Peroksit değeri, serbest yağ asitliği değeri, p-anisidin değeri, TOTOX miktarı, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değeri açısından ise yine OTR değeri düşük olan ambalaj malzemesi ile ambalajlamanın daha etkili olduğu belirlenmiştir. Depolama sıcaklığının artmasıyla birlikte ürünün peroksit değeri, serbest yağ asitliği değeri, p-anisidin değeri ve TOTOX miktarı artmış; ancak toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değeri ise azalmıştır. 0. ve 1. dereceden reaksiyon kinetiği temelinde peroksit ve %serbest yağ asitliği sınır değeri dikkate alınarak raf ömrü süresi tahmini hesaplanmış olup; tüm örnekler için peroksit ve %serbest yağ asitliği

değeri değişiminin 0. dereceden kinetik modeli izlediği belirlenmiştir. Antep fıstığı tozunun depolama süresince reaksiyon kinetiği ve raf ömrü tahminlemesi değerlendirildiğinde ise, tüm örneklerde sıcaklık arttıkça raf ömrünün azaldığı ve k değerinin arttığı belirlenmiştir. Her depolama sıcaklığında, en düşük raf ömrü kontrol örneğinde, en yüksek raf ömrü ise PE/EVOH/PE ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerde hesaplanmıştır.

Çalışma sonucunda, Antep fıstığı tozunun kalite özelliklerinin korunması ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunmak adına, ürünün PE/EVOH/PE ambalaj malzemesi gibi geri dönüştürülebilir, düşük OTR değerine sahip ambalaj malzemeleri ile düşük sıcaklıklarda depolanması gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Antep fıstığı tozu, sürdürülebilir ambalaj, OTR, kalite özellikleri, kinetik modelleme, raf ömrü.

ABSTRACT**USE OF RECYCLABLE AND SUSTAINABLE PACKAGING
MATERIALS IN THE PACKAGING OF PISTACHIO (*PISTACIA VERA*
L.) POWDER AND ESTIMATION OF SHELF LIFE BY ACCELERATED
SHELF LIFE ANALYSIS**

ER, Betül

MSc in Food Eng.

Supervisor: Doç. Dr. Özlem ESMER

January 2024, 155 pages

In this study, it was aimed to increase the shelf life of pistachio powder and maintain the quality characteristics of the product by using sustainable and recyclable packaging materials. The effects of different storage temperatures and recyclable packaging materials on the changes in the quality characteristics of pistachio powder were examined in detail. Within the scope of the study, three-layer LDPE/EVOH/LDPE (Low density polyethylene/Ethylene vinyl alcohol/Low density polyethylene-OTR ≤ 1 cc/m²-day-atm and WVTR ≤ 4 g/m²-day), mono-layer MetBOPP (Metalized BiOriented Polypropylene-OTR ≤ 120 cc/m²-day-atm and WVTR ≤ 0.5 g/m²-day) and mono-layer BOPP (BiOriented Polypropylene-OTR ≤ 1200 cc/m²-day-atm and WVTR ≤ 4 g/m²-day) packaging materials with different OTR (Oxygen permeability rate) values were used, open, i.e. unpackaged, storage was used as a control sample. Packaged pistachio powder samples and control samples (in the open) were stored at 15°C, 25°C, 35°C and 45°C at 50% relative humidity for 120 days (4 months) and moisture content, water activity value, color analysis, antioxidant activity value (with DPPH reagent), total phenolic content, peroxide value, free fatty acidity value and p-anisidine values were determined at 15-day intervals including day 0. for all storage conditions, the change in peroxide value, free fatty acid content and p-anisidine value were mathematically calculated by kinetic models.

The results showed that storage temperature, open storage and different OTR values of packaging materials were effective on the analysis results. When pistachio powder was packaged with different packaging materials, all packaging materials showed protective properties in terms of moisture change and water activity change in pistachio powder samples, and moisture and water activity changes remained low even when the samples were stored in the open and at high temperatures such as 45°C. With the increase in storage temperature, moisture gain decreased and even moisture loss was observed. It was determined that all three packaging materials showed protective properties in the water activity change compared to the control sample, and the change remained at minimum amounts at 45 °C storage. It was determined that storage temperature was a very important parameter in terms of color criteria in pistachio powder and L* and b* values of all samples decreased with increasing storage temperature, while a* and BI (browning index) values increased. Samples stored at 15 and 25 °C showed lower changes in color criteria. At 35 and 45 °C, the changes in the color criteria of the control sample were higher than those of the packaged samples and the least change was observed in the PE/EVOH/PE packaging material with the lowest OTR value. As a result, the effect of packaging on the preservation of the color criteria of pistachio powder in storage at higher temperatures was higher. It was determined that storage temperature was a very important parameter in terms of color criteria in pistachio powder and L* and b* values of all samples decreased with increasing storage temperature, while a* and BI (browning index) values increased. Samples stored at 15 and 25 °C showed lower changes in color criteria. At 35 and 45 °C, the changes in the color criteria of the control sample were higher than those of the packaged samples and the least change was observed in the PE/EVOH/PE packaging material with the lowest OTR value. As a result, the effect of packaging on the preservation of the color criteria of pistachio powder in storage at higher temperatures was greater. Especially in storage up to 35 °C, the packaging material with low OTR value was more effective, while at 45 °C, the colors of all samples were unacceptable. In terms of peroxide value, free fatty acidity value, p-anisidine value, TOTOX amount, total phenolic matter amount and antioxidant activity value, it was determined that packaging with packaging material with low OTR value was more effective. With the increase in storage temperature, peroxide value, free fatty acidity value, p-anisidine value and TOTOX amount of the product increased; however, total phenolic matter amount and antioxidant activity value decreased. On the basis of 0th and 1st order reaction kinetics, shelf life estimation was calculated by considering the peroxide and % free fatty acidity limit values and it was determined that the change in peroxide and % free fatty acidity values for all samples followed

the 0th order kinetic model. When the reaction kinetics and shelf life estimation of pistachio powder during storage were evaluated, it was observed that the shelf life decreased and k value increased as the temperature increased in all samples. At each storage temperature, the lowest shelf life was calculated in the control sample and the highest shelf life was calculated in the samples stored with PE/EVOH/PE packaging material.

As a result of the study, it was determined that the product should be stored at low temperatures with recyclable, low OTR packaging materials such as PE/EVOH/PE packaging material in order to maintain the quality characteristics of pistachio powder and contribute to sustainable development.

Keywords: pistachio powder, sustainable packaging, OTR, quality characteristics, kinetic modeling, shelf life.



ÖNSÖZ

Ülkemiz, Antep fıstığı üretiminde Dünyada ilk 3 sırada yer almaktadır. Antep fıstığı, ülkemiz için önemli bir ihracat kaynağı olabilme potansiyeline sahip bir üründür. Antep fıstığı tozu ihracatında, en önemli sorunlardan biri Antep fıstığının yağlı ($\geq\%50$) bir ürün olması nedeniyle, oksidasyona oldukça duyarlı olması ve bu sebeple istenilen renk kriterlerinin korunamaması, kalite özelliklerinin uzun süre muhafaza edilememesidir.

Bu nedenle bu tez çalışmasında; Antep fıstığı tozunun, sürdürülebilir kalkınma kapsamında geri dönüştürülebilir ambalaj malzemeleri ile ambalajlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Antep fıstığı tozu üç farklı OTR (oksijen geçirgenlik hızı) değerine sahip geri dönüştürülebilir ambalaj malzemesi ile ambalajlanmış ve ambalaj malzemesinin koruyuculuğunun anlaşılması adına kontrol örneği ise açıkta (ambalajsız) depolanmıştır. Tez çalışması kapsamında, farklı depolama sıcaklığının (15-25-35 ve 45 °C) ve ambalaj malzemelerinin Antep fıstığı tozunun kalite özelliklerindeki değişimine etkisi incelenmiştir.

İzmir

Ocak, 2024

Betül ER



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	xi
ÖNSÖZ	xv
İÇİNDEKİLER.....	xvii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xxi
TABLolar DİZİNİ.....	xxviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxxi
1 GİRİŞ.....	1
2 GENEL BİLGİLER	3
2.1 Antep Fıstığı (<i>Pistacia vera</i> L.)	3
2.2 Dünyada ve Ülkemizde Antep Fıstığı Üretimi, Antep Fıstığı İhracatı	5
2.3 Antep Fıstığı Tozunda Oksidasyon ve Hidroliz Reaksiyonları	7
2.4 Ambalajlamanın Antep Fıstığı Tozu için Önemi ve Literatürdeki Çalışmalar	9
2.5 Sürdürülebilir ve Geri Dönüştürülebilir Esnek Ambalajlar ve Geri Dönüşüm Süreci.....	15
2.6 Reaksiyon Kinetiği ve Raf Ömrü Tahminlemesi.....	19
3 MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1. Materyal.....	24
3.1.1 Kimyasal maddeler, Antep fıstığı tozu ve ambalaj malzemeleri	24
3.1.2 Kullanılan cihazlar	25
3.2 Yöntem	27
3.2.1 Hammadde gerçekleştirilen analizler	27
3.2.1.1 Nem miktarı (%) analizi	27
3.2.1.2 Kül analizi.....	28

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2.1.3 Protein tayini	28
3.2.1.4 Yağ analizi	28
3.2.1.5 Toplam karbonhidrat miktarı	28
3.2.1.6 Ransimat analizi	29
3.2.1.7 Yağ asitleri kompozisyonu	29
3.2.2 Deneme planı	30
3.2.3 Antep fıstığı tozu örneklerinin hazırlanması, ambalajlanması ve depolanması.....	30
3.2.4 Depolama koşullarında gerçekleştirilen analizler.....	32
3.2.4.1 Nem miktarı (%) analizi	32
3.2.4.2 Su aktivitesi (a_w) analizi	32
3.2.4.3 Renk analizi.....	32
3.2.4.4 Toplam fenolik madde miktarı analizi	33
3.2.4.5 Antioksidan aktivite tayini.....	35
3.2.4.6 Peroksit analizi	37
3.2.4.7 Serbest yağ asitliği analizi	40
3.2.4.8 p-anisidin analizi.....	41
3.2.4.9 Toplam oksidasyon değerinin hesaplanması	42
3.2.4.10 Depolama süresince peroksit değeri, serbest yağ asitliği değeri ve p-anisidin değeri değişiminin kinetik analizi.....	42
3.2.4.11 İstatistiksel analiz.....	43
4 BULGULAR VE TARTIŞMA.....	44
4.1 Antep Fıstığı Tozunda Gerçekleştirilen Bileşim Analizleri.....	44
4.1.1 Antep fıstığı tozunun besin içeriğinin belirlenmesi	44
4.1.2 Ransimat analizi.....	45
4.1.3 Yağ asidi kompozisyonu.....	46
4.2 Raf Ömrü Analizleri.....	47
4.2.1 Nem miktarı (%) analizi	47
4.2.2 Su aktivitesi (a_w) analizi	52

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2.3 Renk analizi.....	57
4.2.4 Toplam fenolik madde miktarı analizi	75
4.2.5 Antioksidan aktivite tayini	81
4.2.6 Peroksit analizi	91
4.2.7 Serbest yağ asitliği analizi	100
4.2.8 p-anisidin analizi	107
4.2.9 Toplam oksidasyon değeri (TOTOX)	113
4.2.10 Antep fıstığı tozunun depolama süresince reaksiyon kinetiği ve raf ömrü tahminlemesi.....	119
5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	138
KAYNAKLAR DİZİNİ	141
TEŞEKKÜR	154
ÖZGEÇMİŞ	155



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Antep fıstığı (<i>Pistacia vera</i> L.) (Anonim,2023)	3
Şekil 2.2. Yıllara göre ülkemizde Antep fıstığı üretim miktarları (FAOSTAT, 2023)	5
Şekil 2.3. 2021 yılına ait dünya Antep fıstığı üretim miktarı (FAOSTAT, 2023) ..	6
Şekil 3.1. PE/EVOH/PE, MetBOPP ve BOPP ambalaj malzemesi ile ambalajlanan Antep fıstığı örnekleri.....	25
Şekil 3.2. Antep fıstığı tozu örneklerinin nem analizi	27
Şekil 3.3. Ransimat analizi cihazı	29
Şekil 3.4. Tez çalışması deneme planı.....	30
Şekil 3.5. İç Antep fıstığı ve Antep fıstığı tozu	31
Şekil 3.6. Kontrol örneği ve ambalajlı örneklerin desikatöre yerleştirildikten sonra etüvde depolanması	31
Şekil 3.7. Renk analizi cihazı	33
Şekil 3.8. Santrifüj işlemi sonrası Antep fıstığı tozu örnekleri.....	34
Şekil 3.9. Sırasıyla 600 ppm, 500 ppm, 400 ppm, 300 ppm, 200 ppm, 100 ppm ve 50 ppm gallik asit standartları.....	34
Şekil 3.10. Gallik asit çözeltisi kalibrasyon grafiği.....	35
Şekil 3.11. Sırasıyla 1000 ppm, 900 ppm, 800 ppm, 700 ppm, 600 ppm, 500 ppm, 400 ppm, 300 ppm, 200 ppm, 100 ppm ve 50 ppm’lik trolox standartları.....	36
Şekil 3.12. Trolox konsantrasyonuna eş inhibisyon değeri	37

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

Şekil 3.13. Antep fıstığı tozu ve hekzanın filtre kağıdı ile süzülmesi	38
Şekil 3.14. Vakumlu evaporatör cihazı.....	38
Şekil 3.15. Antep fıstığı yağı	39
Şekil 3.16. Peroksit analizi.....	40
Şekil 3.17. Serbest yağ asitliği analizi	41
Şekil 4.1. Ransimat analizi grafiği	45
Şekil 4.2. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %nem miktarı dağılım grafiği.....	48
Şekil 4.3. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %nem miktarı dağılım grafiği.....	49
Şekil 4.4. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %nem miktarı dağılım grafiği.....	49
Şekil 4.5. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %nem miktarı dağılım grafiği.....	50
Şekil 4.6. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait su aktivitesi (a_w) dağılım grafiği.....	53
Şekil 4.7. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait su aktivitesi (a_w) dağılım grafiği.....	54
Şekil 4.8. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait su aktivitesi (a_w) dağılım grafiği.....	54
Şekil 4.9. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait su aktivitesi (a_w) dağılım grafiği.....	55

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

Şekil 4.10. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait L^* değeri dağılım grafiği.....	58
Şekil 4.11. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait L^* değeri dağılım grafiği.....	58
Şekil 4.12. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait L^* değeri dağılım grafiği.....	59
Şekil 4.13. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait L^* değeri dağılım grafiği.....	59
Şekil 4.14. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait a^* değeri dağılım grafiği.....	62
Şekil 4.15. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait a^* değeri dağılım grafiği.....	63
Şekil 4.16. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait a^* değeri dağılım grafiği.....	63
Şekil 4.17. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait a^* değeri dağılım grafiği.....	64
Şekil 4.18. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait b^* değeri dağılım grafiği.....	66
Şekil 4.19. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait b^* değeri dağılım grafiği.....	67
Şekil 4.20. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait b^* değeri dağılım grafiği.....	67
Şekil 4.21. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait b^* değeri dağılım grafiği.....	68

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

Şekil 4.22. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait BI değeri dağılım grafiği	71
Şekil 4.23. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait BI değeri dağılım grafiği	71
Şekil 4.24. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait BI değeri dağılım grafiği	72
Şekil 4.25. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait BI değeri dağılım grafiği	72
Şekil 4.26. Farklı depolama sıcaklıklarında depolanan örneklerin, depolamanın ilk günü ve 120. gününe ait görselleri	74
Şekil 4.27. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g) dağılım grafiği	76
Şekil 4.28. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g) dağılım grafiği	77
Şekil 4.29. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g) dağılım grafiği	77
Şekil 4.30. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g) dağılım grafiği	78
Şekil 4.31. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite miktarı (mg Trolox /100 g) dağılım grafiği	82
Şekil 4.32. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite miktarı (mg Trolox /100 g) dağılım grafiği	83
Şekil 4.33. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite miktarı (mg Trolox /100 g) dağılım grafiği	83

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

Şekil 4.34. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite miktarı (mg Trolox /100 g) dağılım grafiği	84
Şekil 4.35. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite kapasitesi (% inhibisyon) dağılım grafiği.....	87
Şekil 4.36. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite kapasitesi (% inhibisyon) dağılım grafiği.....	88
Şekil 4.37. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite kapasitesi (% inhibisyon) dağılım grafiği.....	88
Şekil 4.38. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite kapasitesi (% inhibisyon) dağılım grafiği.....	89
Şekil 4.39. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait peroksit değeri (meq g O ₂ / kg yağ) dağılım grafiği.....	95
Şekil 4.40. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait peroksit değeri (meq g O ₂ / kg yağ) dağılım grafiği.....	95
Şekil 4.41. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait peroksit değeri (meq g O ₂ / kg yağ) dağılım grafiği.....	96
Şekil 4.42. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait peroksit değeri (meq g O ₂ / kg yağ) dağılım grafiği.....	96
Şekil 4.43. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %serbest yağ asitliği değerleri (oleik asit cinsinden) dağılım grafiği.....	103
Şekil 4.44. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %serbest yağ asitliği değerleri (oleik asit cinsinden) dağılım grafiği.....	103
Şekil 4.45. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %serbest yağ asitliği değerleri (oleik asit cinsinden) dağılım grafiği.....	104

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

Şekil 4.46. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %serbest yağ asitliği değeri (oleik asit cinsinden) dağılım grafiği	104
Şekil 4.47. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait p-anisidin değeri dağılım grafiği.....	109
Şekil 4.48. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait p-anisidin değeri dağılım grafiği.....	110
Şekil 4.49. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait p-anisidin değeri dağılım grafiği.....	110
Şekil 4.50. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait p-anisidin değeri dağılım grafiği.....	111
Şekil 4.51. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait TOTOX değeri dağılım grafiği.....	115
Şekil 4.52. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait TOTOX değeri dağılım grafiği.....	116
Şekil 4.53. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait TOTOX değeri dağılım grafiği.....	116
Şekil 4.54. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait TOTOX değeri dağılım grafiği.....	117
Şekil 4.55. Kontrol / Peroksit değeri değişimi için, sıfıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiği.....	126
Şekil 4.56. Kontrol / %Serbest yağ asidi değeri değişimi için, sıfıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiği.....	127
Şekil 4.57. PE/EVOH/PE / Peroksit değeri değişimi için, sıfıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiği.....	129

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

Şekil 4.58. PE/EVOH/PE / %Serbest yağ asitliği değeri değışimi için, sıfırncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiğı..... 130

Şekil 4.59. MetBOPP / Peroksit değeri değışimi için, sıfırncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiğı 132

Şekil 4.60. MetBOPP / %Serbest yağ asidi değeri değışimi için, sıfırncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiğı 133

Şekil 4.61. BOPP / Peroksit değeri değışimi için, sıfırncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiğı 135

Şekil 4.62. BOPP / %Serbest yağ asitliği değeri değışimi için, sıfırncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiğı 136

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Taze, içi kavlatılmamış Antep fıstığı ortalama besin içeriği (TÜRKOMP, 2023)	4
Tablo 2.2. Yıllara göre Türkiye'nin Antep fıstığı üretim miktarına göre dünya sıralaması (FAOSTAT, 2023).....	6
Tablo 2.3. Yıllara göre Türkiye'nin Antep fıstığı ihracat miktarına göre dünya sıralaması (FAOSTAT, 2023).....	7
Tablo 2.4. Geri dönüştürülebilen ve geri dönüştürülemeyen esnek ambalaj yapıları (CEFLEX, 2020).....	19
Tablo 2.5. Sıfırıncı ve birinci derece kinetik modeller için hız denklemleri, kalite değişimleri, raf ömrü denklemleri (Labuza, 1984)	22
Tablo 3.1. Antep fıstığı tozunun ambalajlanmasında kullanılan ambalaj malzemeleri ve özellikleri.....	24
Tablo 4.1. Antep fıstığı tozunun 100 g'daki besin içeriği	44
Tablo 4.2. Antep fıstığı yağının yağ asidi kompozisyonu	46
Tablo 4.3. 15, 25, 35 ve 45 °C'de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %nem miktarı	51
Tablo 4.4. 15, 25, 35 ve 45 °C'de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait su aktivitesi(a_w).....	56
Tablo 4.5. 15, 25, 35 ve 45 °C'de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait L^* değerleri	60
Tablo 4.6. 15, 25, 35 ve 45 °C'de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait a^* değerleri	65

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

Tablo

Sayfa

Tablo 4.7. 15, 25, 35 ve 45°C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait b* değerleri	69
Tablo 4.8. 15, 25, 35 ve 45°C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait esmerleşme indeksi (BI) değerleri	73
Tablo 4.9. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g).....	79
Tablo 4.10. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite miktarı (mg Trolox /100 g).....	85
Tablo 4.11. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite kapasitesi (% inhibisyon)	90
Tablo 4.12. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait peroksit değerleri (meq g O ₂ / kg yağ).....	97
Tablo 4.13. 15, 25, 35 ve 45°C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %serbest yağ asitliği değerleri (oleik asit cinsinden)	105
Tablo 4.14. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait p-anisidin değerleri	112
Tablo 4.15. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam oksidasyon (TOTOX) değerleri.....	118
Tablo 4.16. Antep fıstığı tozunun peroksit değerine ilişkin kinetik parametreler	120
Tablo 4.17. Antep fıstığı tozunun serbest yağ asitliği değerine ilişkin kinetik parametreler	120
Tablo 4.18. Antep fıstığı tozunun p-anisidin değerine ilişkin kinetik parametreler	121

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

Tablo

Sayfa

Tablo 4.19. Antep fıstığı tozunun, peroksit değeri sonucuna ilişkin parametreler	122
Tablo 4.20. Antep fıstığı tozunun, serbest yağ asitliği değeri sonucuna ilişkin parametreler	123
Tablo 4.21. Antep fıstığı tozunun, p-anisidin değeri sonucuna ilişkin parametreler	124
Tablo 4.22. Kontrol örneğine ait peroksit değeri, %serbest yağ asitliği değeri açısından sıfıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü değerleri.....	125
Tablo 4.23. PE/EVOH/PE örneğine ait peroksit değeri, %serbest yağ asitliği değeri açısından sıfıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü değerleri.....	128
Tablo 4.24. MetBOPP örneğine ait peroksit değeri, %serbest yağ asitliği değeri açısından sıfıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü değerleri.....	131
Tablo 4.25. BOPP örneğine ait peroksit değeri, %serbest yağ asitliği değeri açısından sıfıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü değerleri.....	134

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler****Açıklamalar**

OTR	oksijen geçirgenlik hızı
WVTR	su buharı geçirgenlik hızı
LDPE/EVOH/LDPE yoğunluklu polietilen	alçak yoğunluklu polietilen/etilen vinil alkol/alçak
MetBOPP	metalize bioriented polipropilen
BOPP	bioriented polipropilen
MAP	modifiye atmosferde ambalajlama
PET/PA	polietilen tereftalat/poliamid
PP	polipropilen
TBA	tiyobarbitürik asit
PET-SiO _x /PE	polietilen tereftalat-silikonoksit/polietilen
PA/PP	poliamid/polipropilen
PET	polietilen tereftalat
PVC	polivinilklorür
LDPE/PA	alçak yoğunluklu polietilen/poliamid
PA/PE	poliamid/polietilen
PE/PP	polietilen/polipropilen
PA	poliamid

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
PVC/PE	polivinilklorür/polietilen
PE/PA	polietilen/poliamid
CEFLEX	circular economy for flexible packaging
FT/NIR	kızılötesi
PS	polistiren
PO	poliolefin
g	gram
°C	celcius
GAE	galik asit
a/h	ağırlık/hacim
h/h	hacim/hacim
a/a	ağırlık/ağırlık
mg/L	miligram/litre
ml	mililitre
L	litre
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
rpm	revolutions per minute

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
N	normalite
mEqO ₂ /kg	bir kilogram yağ başına aktif oksijenin milieşdeğeri
p-anV	para-anisidin değeri
DSI	indüksiyon süresi
OSI	oksidatif indüksiyon süresi
μM	mikro molarite
TOTOX	toplam oksidasyon değeri
k	hız sabiti
E _a	aktivasyon enerjisi
kJ/mol	kilo joule/molarite
BI	esmerleşme indeksi



1 GİRİŞ

Antep fıstığı içerdiği yağ ve yağ asitleri, protein, mineral ve vitaminler ile oldukça besleyici ve aynı zamanda lezzetli bir kuruyemiştir. Ülkemiz, Antep fıstığı üretiminde Dünya’da sayılı ülkeler arasında yer almaktadır. Antep fıstığının tüketim formları arasında; Antep fıstığı yağı, Antep fıstığı ezmesi ve Antep fıstığı tozu yer almaktadır. Ülkemizde tüketilen Antep fıstığı, genel olarak toz veya kırık şeklinde olup; sütlü ve şerbetli tatlılara, çikolatalara ve işlenmiş gıdalara katılmaktadır (Çağlar vd., 2017). Antep fıstığı tozuna, hem tatlıcılık sektöründe faaliyet gösteren firmalar hem de tüketiciler tarafından özellikle son yıllarda artan bir talep bulunmaktadır.

Antep fıstığı içerdiği yüksek oranda (≥ 50) yağ içeriği ile lipid oksidasyonuna oldukça duyarlı bir üründür ve toz haline getirilen Antep fıstığının yüzey alanı arttığı için kalite özelliklerindeki olumsuz değişiklikler bütün haline göre daha hızlı meydana gelebilmektedir. Ülkemizde daha çok baklavacılık sektöründe kullanılan Antep fıstığı tozu, işletmelerde çuvallarda depolanmaktadır. Bu durum, gıda kalitesi ve insan sağlığı açısından riskler barındırmaktadır. Kuruyemiş sektöründe de yığın halinde bulunan Antep fıstığı tozu, satın alma esnasında farklı ambalaj malzemelerine konularak satışa sunulmaktadır. Yığın halindeki Antep fıstığı tozunun ambalaj malzemesininin geçirgenlik özellikleri dikkate alınmadan, satış sırasında ambalajlanması gıda güvenliği ve gıda kalitesi açısından olumsuz sonuçlara neden olmaktadır.

Bu nedenle bu tez çalışmasında; Antep fıstığı tozunun sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir ambalaj malzemeleri ile ambalajlanarak ürünün raf ömrünü arttırmak, tüketiciye daha güvenilir bir ürün sunmak ve aynı zamanda üretiminde Dünya’da ilk üçte yer aldığımız Antep fıstığının toz halindeki formunun hem ithalat hem de ihracat değerlerini arttırmak amaçlanmaktadır.

Antep fıstığı tozunun raf ömrünün uzatılması, ihracat potansiyeli yüksek olan bu ürünün ülke ekonomisine olan katkısının artırılması amacıyla, tez kapsamında ilk aşama olarak Antep fıstığı tozunun sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir ambalajlar ile ambalajlanması sağlanmıştır. Bu doğrultuda, geri dönüşümü kolay ve farklı OTR (Oksijen geçirgenlik hızı) değerlerine sahip; üç katlı LDPE/EVOH/LDPE (Alçak yoğunluklu polietilen/Etilen vinil alkol/Alçak yoğunluklu polietilen- $OTR \leq 1$ cc/m²-gün-atm ve WVTR ≤ 4 g/m²-gün), tek katmanlı MetBOPP (Metalize BiOriented Polipropilen- $OTR \leq 120$ cc/m²-gün-atm

ve WVTR $\leq 0,5$ g/m²-gün) ve tek katmanlı BOPP (BiOriented Polipropilen-OTR ≤ 1200 cc/m²-gün-atm ve WVTR ≤ 4 g/m²-gün) ambalaj malzemeleri kullanılmıştır. Her üç ambalaj malzemesi de ışık geçirgenliğini önlemek amacıyla opak olarak seçilmiştir. Üç katmanlı PE/EVOH/PE, tek katmanlı MetBOPP ve BOPP ambalaj malzemelerinin üçü de geri dönüştürülebilir ve sürdürülebilir özelliktedir. Ambalaj malzemelerinin koruyuculuğunun anlaşılması adına kontrol örneği olarak ise açıkta yani ambalajsız depolama yapılmıştır. Ambalajlama işleminden önce hammadde analizleri olarak; Antep fıstığı tozuna ait; nem miktarı, kül miktarı, protein miktarı, toplam karbonhidrat miktarı, ransimat değeri ve yağ asitleri kompozisyonu belirlenmiştir. Ambalajlanan Antep fıstığı tozu örnekleri ve kontrol örneği (açıkta) %50 bağıl nemde 15°C, 25 °C, 35 °C ve 45°C’de 120 gün (4 ay) boyunca depolanarak 0. gün dahil olmak üzere 15’er günlük periyotlarda %nem miktarı, su aktivitesi değeri, renk analizi, antioksidan aktivite değeri (DPPH reaktifi ile), toplam fenolik madde miktarı, peroksit değeri, serbest yağ asitliği değeri ve p-anisidin değerlerine bakılmıştır. Tüm depolama koşullarında, depolama sırasında bazı kalite özelliklerinin (peroksit değeri, serbest yağ asitliği değeri ve p-anisidin değeri) değişim kinetiği matematiksel olarak belirlenmiş, reaksiyon derecesi ve ilgili katsayılar hesaplanmış ve Antep fıstığı tozunun raf ömrü tahminlemesi yapılmıştır.

2 GENEL BİLGİLER

2.1 Antep Fıstığı (*Pistacia vera* L.)

Antep fıstığı *Pistacia* cinsinden olup, 11 tür arasında meyveleri yenen tek tür *Pistacia vera* L. (Antep fıstığı) olmakla beraber, ekonomik açıdan da oldukça önemli bir kuruyemiştir. *Pistacia* cinsinin diğer türleri ise; kaju, mango, mombins (*Spondias* spp.), zehirli sarmaşık, zehirli meşe, biber ağacı, sumak (*P. nigricans* Crantz), *P. offi cinarium* Ait, *P. reticulate* Willd ve *P. terebinthus* Mill'dir (Kashaninejad, 2011).



Şekil 2.1. Antep fıstığı (*Pistacia vera* L.) (Anonim,2023)

Antep fıstığı ağacı genellikle orta boyda olmakta ve 12 m uzunluğuna kadar büyüebilmektedir. Antep fıstığı ağacı yaprak döken bir ağaçtır ve Antep fıstığı kuru ve sıcak iklime sahip bölgelerde yetişmektedir. Antep fıstığı ağacının kuru ve sıcak bölgelerde yetişmeye adapte olabilmesi kurak bölgelerde yaygın olarak yetişmesine olanak sağlamaktadır. Orta Doğu, Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D) ve Akdeniz ülkelerinde yetiştirilmekte olan Antep fıstığı ülkemizde ise en çok Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yetiştirilmektedir (Altundaş vd., 2007; Kashaninejad, 2011; Rabadán et al. 2018; Mandalari et al. 2022).

Antep fıstığı üretiminde ülkemizde en fazla paya sahip iller ise Şanlıurfa, Gaziantep, Siirt, Adıyaman, Kilis, Kahramanmaraş ve Mersin'dir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022). Özellikle boyut, şekil, tat, renk ve çıtlatma açısından yetiştirildiği ülkelerde önemli farklılıklar gösteren birçok farklı çeşit Antep fıstığı bulunmaktadır ve dünyadaki başlıca Antep fıstığı çeşitleri İran, Türkiye ve Suriye'den yayılmıştır (Öksüzler, 2015).

Antep fıstığı; taze, kurutulmuş, tuzlu veya tuzsuz kavrulmuş olarak tüketilmektedir. Antep fıstığı, tatlılarda, şekerlemelerde, unlu mamullerde, sosislerde ve dondurmalarda renk ve aromayı iyileştirmek için gıda bileşeni olarak da kullanılmaktadır. Yüksek oranda doymamış yağ asitleri ve düşük oranda doymuş yağ asitleri içermesinin yanı sıra; iyi bir protein, yağ, vitamin, mineral ve antioksidan kaynağıdır. Antep fıstığının, besin içeriği ise çeşidine ve hasat zamanındaki olgunluğuna göre değişebilmektedir. Kendine özgü bir aromaya sahip Antep fıstığına ait ortalama besin içeriği Tablo 2.1.'de verilmiştir (Kashaninejad et al., 2011; Gentile et al., 2007; Yahyavi et al., 2020).

Tablo 2.1. Taze, içi kavlatılmamış Antep fıstığı ortalama besin içeriği (TÜRKOMP, 2023)

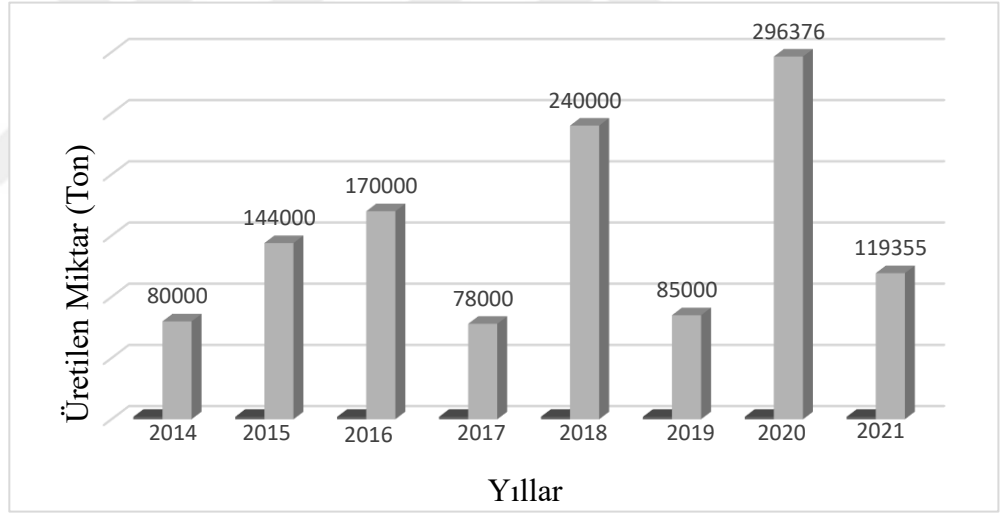
Bileşen	Birim	100 g'daki değeri
Enerji	kcal	600
Su	g	4,51
Kül	g	2,61
Protein	g	17,64
Yağ, toplam	g	51,15
Karbonhidrat	g	10,56
Lif, toplam diyet	g	13,54
Tiamin	mg	0,662
Riboflavin	mg	0,227
B-6 vitamini, toplam	mg	1,613
E vitamini	A-TE	1,48
Demir, Fe	mg	2,78
Fosfor, P	mg	470
Kalsiyum, Ca	mg	117
Magnezyum, Mg	mg	127
Çinko, Zn	mg	2,70

Antep fıstığı, protein, yağ ve yağ asitleri, lif, vitamin, mineral ve antioksidan bileşikler içerdiği için sağlıklı beslenme ile ilişkili hastalık riskinin azalmasına katkıda bulunduğ ve kanser, diyabet, hipertansiyon ve kardiyovasküler hastalıklar

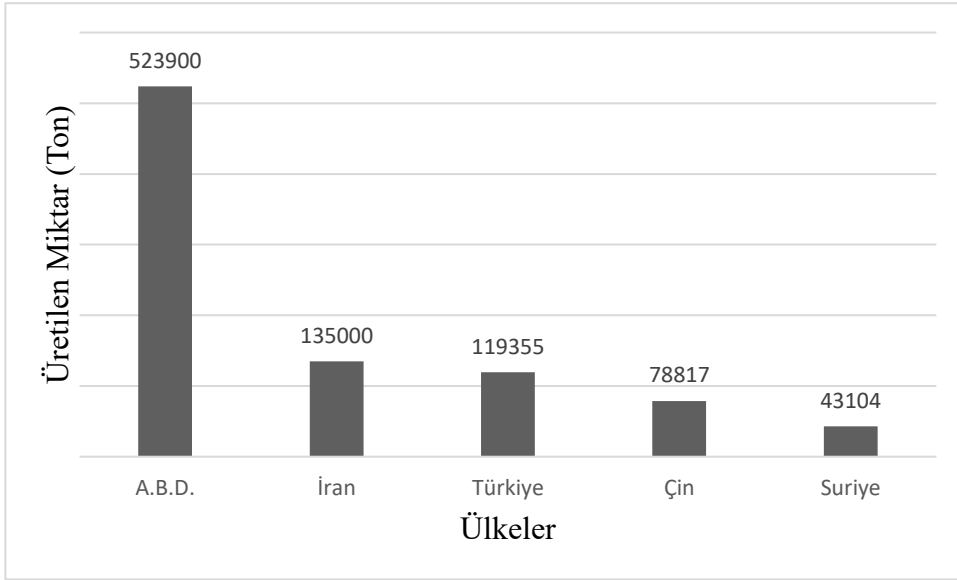
üzerinde olumlu etkilerinin olduğu çeşitli çalışmalar ile ortaya konulmuştur. Antep fıstığı; fenolik bileşikler ve antioksidan potansiyeli açısından da oldukça zengin bir kaynaktır (Bulló et al., 2014; Koyuncu, 2018; Çağlar vd., 2017). Antep fıstığı antioksidan içeriği en yüksek olan 50 gıda arasında yer almaktadır (Halvorsen et al., 2006). Antep fıstığının düzenli tüketimi ise, günlük önerilen besin gereksiniminin sağlanmasına yardımcı olmaktadır (Çağlar vd., 2017).

2.2 Dünyada ve Ülkemizde Antep Fıstığı Üretimi, Antep Fıstığı İhracatı

2021 yılında dünyadaki Antep fıstığı üretiminin %98,30'unu 5 ülke gerçekleştirmiş olup bu ülkeler arasında Amerika Birleşik Devletleri 523.900 ton üretim ile dünya üretiminin %57,21'ini gerçekleştirerek lider konumda yer almaktadır. İran'dan sonra, dünya üretiminin %13,03'ünü gerçekleştiren ülkemiz ise 3. sırada yer almaktadır. Şekil 2.3'te 2021 yılına ait dünya Antep fıstığı üretim miktarları verilmiştir (FAOSTAT, 2023).



Şekil 2.2. Yıllara göre ülkemizde Antep fıstığı üretim miktarları (FAOSTAT, 2023)



Şekil 2.3. 2021 yılına ait dünya Antep fıstığı üretim miktarı (FAOSTAT, 2023)

A.B.D., Antep fıstığı yetiştirme tekniklerini geliştirerek üretim hacmini her yıl arttırarak İran'a rakip konuma gelmiştir. Ülkemizde ise Antep fıstığı üretimi Şekil 2.2'de de görüldüğü gibi dalgalı seyretmekte ve rekoltenin yüksek olduğu sezonlarda Türkiye, Antep fıstığı üretiminde dünyada ikinci sırada yer almaktadır (T.C. Ekonomi Bakanlığı, 2017).

Tablo 2.2. Yıllara göre Türkiye'nin Antep fıstığı üretim miktarına göre dünya sıralaması (FAOSTAT, 2023)

Türkiye'nin Antep fıstığı üretim sıralaması	Yıllar							
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	3.	2.	3.	3.	2.	3.	2.	3.

Tablo 2.2'de de görüldüğü üzere, ülkemiz dünya üzerinde Antep fıstığının ekonomik anlamda yetiştirildiği sınırlı sayıdaki ülkeler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Antep fıstığı üretiminde dünyada ilk üçte yer alan ülkemizde ise 2021/2022'de Antep fıstığı ihracatının en çok yapıldığı ülkeler ise İtalya, Almanya, Ürdün, İsrail ve Irak'dır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022). Ancak dünya üzerinde Antep fıstığı üretiminde ilk 3'te olan ülkemiz ihracat miktarına göre dünya sıralamasında ancak 2021 yılında ilk üçte yer almıştır.

Tablo 2.3. Yıllara göre Türkiye'nin Antep fıstığı ihracat miktarına göre dünya sıralaması (FAOSTAT, 2023)

Türkiye'nin Antep fıstığı ihracat sıralaması	Yıllar							
	2013	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	7.	8.	8.	9.	8.	4.	4.	3.

2.3 Antep Fıstığı Tozunda Oksidasyon ve Hidroliz Reaksiyonları

Gıdaların depolanması sırasında gerçekleşen oksidasyon ve hidroliz bozulma reaksiyonları, gıdaların karakteristik özelliklerine (gıdanın yağ oranı, antioksidan ve pro-oksidan varlığı, yüzey alanı, yağ asitlerinin doymamışlık derecesi), ambalaj ile ilgili faktörlere (ambalaj materyalinin oksijen, su buharı, ışık geçirgenliği) ve çevresel faktörlere (oksijen kısmi basıncı, sıcaklık, bağıl nem, ışık) bağlıdır (Calligaris et al., 2016). Antep fıstığı tozu, içerdiği en az %50 yağ oranı ve toz haline gelmesiyle artan yüzey alanı nedeni ile oksidasyon ve hidroliz reaksiyonuna karşı oldukça duyarlı hale gelmektedir. Nitekim, bu reaksiyonlar sonucu gıdada istenmeyen tat, koku ve/veya renk oluşumu ise Antep fıstığı tozunun raf ömrünü ve kalite özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Gıdalarda oksidasyon, çok sayıda radikal ve yüksek reaktif ürünlerin oluşumuna yol açan karmaşık bir reaksiyon türüdür. Lipit oksidasyonu ise; ısı, ışık, serbest radikaller, ışığa duyarlı pigmentler ve metal iyonları gibi başlatıcılar varlığında oksijen tarafından indüklenen karmaşık bir olgudur. Yüksek sıcaklık ve oksijen varlığı lipit oksidasyonuna neden olmakta ve yüksek sıcaklıkta lipitler; oksidasyon, ayrışma, polimerizasyon ve kondensasyona uğramaktadır. Bunun sonucunda ise yağ asitleri, hidroperoksit ve aldehitlerin yanı sıra dimer, trimer gibi bileşenler oluşturarak gıdanın kalite özelliklerinin olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır. Kısacası lipit oksidasyonu, gıdanın kalite ve duyu özelliklerini değiştiren, kötü tat ve/veya koku oluşumuna neden olan ve gıdanın rengini olumsuz etkileyen bileşikler üreterek raf ömrünü etkilemektedir. Aynı zamanda, oksidasyona uğrayan gıdada toksik maddelerde gelişebilmekte ve bu da güvenli gıda sorununa yol açabilmektedir (Laguerre et al., 2007; Calligaris et al., 2016; Barden et al., 2016; Wang et al., 2023).

Lipit oksidasyonu, gıda ve gıda ürünlerinin kalite özelliklerindeki bozulmanın önemli nedenlerinden biridir. Oksidasyon, gıdanın içeriğinde bulunan bileşenler arasında bazı etkileşimlere neden olarak istenmeyen ürünlerin oluşmasına yol açabilmektedir. Bu istenmeyen ürünler, gıdada kötü koku, renk kaybı, besin değerinin değişmesi, acılaşmaya neden olmakta ve tüketicilerin sağlığı olumsuz etkilenebilmektedir (Ahmed et al., 2016).

Lipit oksidasyonu başlama, hızlanma ve sonlanma olmak üzere 3 ayrı aşamadan oluşmaktadır. Enzimler, metaller, ışık, yüksek sıcaklık, serbest radikaller ve/veya oksijen varlığı lipit oksidasyonunun başlamasına neden olmaktadır. Başlama aşaması bir yağ asidindeki çift bağdan H^+ iyonu çıkarılması ve alkil radikali ($R\cdot$) oluşması ile gerçekleşmektedir. Oluşan serbest radikal ise O_2 ile reaksiyona girerek bir peroksit radikali ($ROO\cdot$) oluşturmakta ve böylece lipit oksidasyonunda ikinci aşama olan hızlanma aşaması başlamaktadır. Peroksit radikali, başka bir doymamış yağ asidinden H^+ alarak, yeni serbest radikallerini ($R\cdot$) ve hidroperoksitleri ($ROOH$) oluşturmakta ve bu durum giderek artan miktarda serbest radikal oluşumuna neden olarak oksijen kullanımını arttırmaktadır. Hidroperoksitler birincil oksidasyon ürünleridir ve uçucu olmadıkları için önemli bir lezzet bozulmasına neden olmamaktadır. Bir noktadan sonra, ortamda hidroperoksitlerin H^+ sağlayabileceği yağ asitlerinde azalma başlaması sonucunda bu bileşikler parçalanarak veya birleşerek daha stabil bir hale geçerler. Bu aşamaya sonlanma aşaması denmektedir. Sonlanma aşamasında peroksitler ve peroksit radikalleri yağ asidi dimerleri, trimerleri ve oligomerler gibi radikal olmayan ürünleri oluşturmaktadır. Bu bileşikler arasında parçalanma ürünleri olan aldehit ve keton bileşikler kötü koku oluşumuna neden olurken, büyük molekül ağırlıklı polimerler ise yağın yapışkan ve kuru bir hal almasına neden olan sağlığa zararlı bileşenlerdir (Barden et al., 2016; Ahmed et al., 2016).

Başlama: $RH \rightarrow R\cdot + H\cdot$

Hızlanma: $R\cdot + O_2 \rightarrow ROO\cdot$

$ROO\cdot + RH \rightarrow ROOH + R\cdot$

Sonlanma (sonlandırma) : $ROO\cdot + ROO\cdot \rightarrow$ radikal olmayan ürünler

$ROO\cdot + R\cdot \rightarrow$ radikal olmayan ürünler

R. + R. → radikal olmayan ürünler (Ahmed et al., 2016).

Hidroliz reaksiyonu ise trigliseritlerden kısmi gliseritlerin, serbest yağ asitlerinin ve gliserolün oluştuğu bir parçalanma reaksiyonudur. Bu reaksiyonların gerçekleşmesi ile yağın serbest yağ asidi miktarı artmakta, yağ tüketici tarafından daha az kabul edilebilir veya tamamen kabul edilemez hale gelmekte, diğer bir ifadeyle yağ kalitesi düşmektedir.

Antep fıstığı tozu yüksek miktarda yağ içeren bir ürün olduğu için, depolama şekli ve sürecine bağlı olarak yağda gerçekleşen kimyasal bozulma reaksiyonları, ürünün kalitesi üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Ancak, Türk Gıda Kodeksinde, Antep fıstığı tozunun depolanma sürecinin belirlenmesinde, Antep fıstığı yağının kalite kriterleri üzerinden bir değerlendirme yapılmamaktadır. Buna karşılık, Türk Gıda Kodeksi Bitki Adı ile Anılan Yağlar Tebliği'nde soğuk preslenmiş ve natüre yağlara esas olan limitler dikkate alınarak, Antep fıstığı tozunun maksimum depolama süresi hakkında bir yorum yapılabileceği düşünülmektedir.

2.4 Ambalajlamanın Antep Fıstığı Tozu için Önemi ve Literatürdeki Çalışmalar

Gıda üretim süreçlerinde ambalajlama; gıda ürünlerinin kalite özelliklerini koruyan, biyokimyasal bozulmayı ve mikroorganizmaların neden olduğu değişiklikleri yavaşlatabilen oldukça önemli bir aşamadır. Gıda ambalajı; esas olarak gıda ürününün dış ortamla gaz ve buhar alışverişini kontrol ederek, mikrobiyal ve kimyasal kontaminasyonu önler ve gıdanın raf ömrünü uzatarak, gıda güvenliği gibi sorunların önüne geçer (Licciardello et al., 2021). Gıda ambalajının amacı; bir ürünü tanıtmak, tüketiciye bilgi vermek ve en önemlisi ambalajlanan ürünü mikroorganizmalara, neme, oksijene veya ışığa karşı korumak, raf ömrünü uzatmak ve gıda israfını önlemektir (Kaiser et al., 2018; Vadoudi et al., 2022).

Ambalaj, gıdanın özellikleri (kalite parametreleri), kalite kaybına neden olan değişimler (gaz değişimi, ışık geçirgenliği vb.), gıdanın dağıtım süreci ve depolama koşulları dikkate alınarak, her gıda ürünü için özel olarak tasarlanmalıdır. Aynı zamanda gıda ambalaj malzemesi, “Gıda ile temas eden madde ve malzemeler tebliğine” uygun olarak seçilmedir (Licciardello et al., 2021).

Tüm gıda ürünlerinde olduğu gibi Antep fıstığı tozunun da endüstriyel olarak toz haline getirildikten sonra ürüne uygun ambalaj malzemeleriyle ambalajlanması,

hem ürünün daha uzun raf ömrüne sahip olması hem de insan sağlığı açısından risklerin minimize edilmesi açısından oldukça önemlidir. Antep fıstığı tozu, içerdiği en az %50 yağ oranı ve toz haline gelmesiyle artan yüzey alanı ile oksidasyon ve hidroliz reaksiyonuna duyarlı bir ürün haline gelmektedir. Bu reaksiyonların gerçekleşmesi ile oluşan kötü tat ve/veya koku, renk kaybı (yeşilden sarıya), ise ürünün raf ömrünü ve kalite özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Antep fıstığı tozunun, kalite parametrelerinin uzun süre korunabilmesi ve raf ömrünün uzatılması için ambalajlanarak depolanması gerekmektedir. Aynı zamanda, oksidasyon ve hidroliz reaksiyonlarının yavaşlatılabilmesi için seçilen ambalaj malzemesinin; ışık geçirgenliğini önlemek amacıyla opak olması, düşük WVTR (su buharı geçirgenlik hızı) ve OTR (oksijen geçirgenlik hızı) değerlerine sahip olmasının önemli faktörler olduğu düşünülmektedir.

Literatürde iç Antep fıstığının (bütün) ambalajlanmasına dair bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde;

Maskan vd. (1999), Antep fıstığının çeşitli koşullardaki depolama stabilitesi üzerine çalışmışlardır. Antep fıstığı örnekleri, MAP (modifiye atmosferde ambalajlama) (%2 hava+%98 CO₂) ve atmosferik koşullarda tek katmanlı nem içeriğine sahip ambalaj malzemesi ile 10, 20 ve 30 °C’de ve kontrol örneği olarak ise ortam koşullarında (açıkta), 15 ay boyunca depolanmıştır. Çalışma sonucunda, sıcaklık arttıkça peroksit miktarının arttığı, yağ asidi ve peroksit oluşumunun ise ortam koşullarında depolanan örneklerde daha hızlı meydana geldiği gözlenmiştir. Çalışmada, MAP uygulamasının Antep fıstığının stabilitesini arttırdığı tespit edilmiştir.

Leufven et al. (2007), farklı ambalajlama tekniklerinin ve depolama sıcaklığının, çiğ kurutulmuş Antep fıstığının stabilitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Antep fıstıkları; atmosferik koşullarda, vakum işlemi ve oksijen tutucu ile PE/EVOH/PE (Polietilen/Etilenvinilalkol/Polietilen) ambalaj malzemesiyle farklı sıcaklıklarda (20, 35 ve 50 °C) 12 hafta boyunca depolanmıştır. Depolama süresince hekzanal miktarı oluşumu izlenen örneklerde, depolama süresi arttıkça hekzanal miktarı da artmış, en düşük hekzanal miktarı ise 20 °C’de depolanan örneklerde tespit edilmiştir. Oksijen tutucu ile depolanan Antep fıstığı örneklerinde, vakum işlemi ve atmosferik koşullara göre daha düşük hekzanal miktarı tespit edilmiştir.

Depolama sırasında, Antep fıstığındaki pigmentlerin ve yağın stabilitesini inceleyen Bellomo et al. (2009), Antep fıstığı örneklerini, oksijen tutucu ve oksijen tutucu olmadan, naylon ve etilen vinil alkol ambalaj malzemesi ile 10, 25 ve 37 °C’de 14 ay boyunca depolanmışlardır. Pigmentler 10 ve 25 °C’de stabilitesini korurken, 10 °C’de hem pigment hem de yağın stabilitesi daha iyi korunmuştur. Oksijen tutucu ve yüksek gaz bariyerli ambalajların ürünün stabilitesini etkilemediği gözlenmiştir. Ambalajların hermetik olarak kapatılmasının, küf oluşumu ve örneklerin böceklerden korunması açısından önemli olduğu vurgulanmıştır.

Tsantili et al. (2011), Antep fıstığı çeşitlerinde, depolama koşullarına bağlı olarak toplam fenolik ve flavonoidler ve toplam antioksidan kapasitesindeki değişimi değerlendirmişlerdir. Antep fıstığı örnekleri PET/PA (Polietilen tereftalat/Poliamid) ambalaj malzemesi ile N₂ gazı kullanılarak ambalajlanmış ve 1 °C ve 20 °C’de 12 ay boyunca depolanmıştır. 20 °C’de depolanan örneklerde 1 °C’de depolanan örneklere göre, toplam fenolik ve flavonoidler ve toplam antioksidan miktarında daha fazla azalma meydana geldiği belirtilmiştir. Antep fıstığının, kalite özelliklerini korumak için, düşük depolama sıcaklığına alternatif olarak, daha düşük O₂ geçirgenliğine sahip ambalaj malzemelerinin kullanılmasıyla ilgili araştırmalar yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Shayanfar et al. (2011), MAP ve farklı atmosfer koşullarının taze Antep fıstığının duyuşal özellikleri ve raf ömrü üzerine etkisiyle ilgili yaptıkları çalışmada, kabuklu Antep fıstıkları; MAP1 (%10 O₂+%20 CO₂+%70 N₂), MAP2 (%100 CO₂) ve atmosferik koşullarda ambalajsız (kontrol) olarak 5 °C’de 42 gün boyunca depolanmıştır. Çalışma sonunda, taze kabuklu Antep fıstığının depolanmasında, %100 CO₂ ile MAP uygulamasının, fiziksel ve duyuşal özellikleri daha iyi muhafaza ettiği, raf ömrünü 2 haftadan yaklaşık 35 güne kadar uzatabileceği sonucuna varılmıştır.

Raei et al. (2013), değiştirilmiş atmosferik koşulların ve farklı ambalaj malzemelerinin Antep fıstığı yağı kalitesine etkileri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Vakum, N₂, CO₂ ve atmosferik koşullar olmak üzere 4 farklı depolama koşulu ve 5 katmanlı plastik film (2 katman Polietilen+2 katman Poliamid+1 katman yapıştırıcı), PP (Polipropilen) ve metalize polipropilen olmak üzere de 3 farklı ambalaj malzemesi kullanılan çalışmada örnekler, 20 °C ve 40 °C’de 12 ay boyunca depolanmışlardır. Çalışma sonunda, kaliteli ve uzun raf ömrüne sahip Antep fıstığı yağı için ürünün uygun ambalaj malzemeleri ile

depolanması gerektiği ve yüksek sıcaklık ve depolama süresinin artmasının ürünün kalite özelliklerini olumsuz etkilediği belirtilmiştir. CO₂, N₂ ve vakum ile depolanan örneklerin TBA (tiyobarbitürik asit) değerlerinin, atmosferik koşullarda depolanan örneklerle göre daha düşük olduğu görülmüştür. Ambalaj malzemeleri değerlendirildiğinde, metalize polipropilenin oksijen geçirgenliğini önleme ve Antep fıstığının yağ kalitesini en iyi koruyan ambalaj malzemesi olduğu gözlenmiştir. Ambalaj malzemesinin oksijen geçirgenliğini önlemesi, Antep fıstığı yağının kalite özelliklerini korumasını sağlamaktadır.

Shakerardekani et al (2013), farklı ambalaj malzemelerinin depolama sırasında Antep fıstığının nem ve aflatoksin içeriği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Antep fıstıkları 22-28 °C’de %85-100 bağıl nemde 10 ay boyunca depolanmıştır. Ambalaj malzemesi olarak ise PA/PP (Poliamid/Polipropilen), PET (Polietilen tereftalat), PVC (Polivinilklorür), LDPE/PA (Alçak yoğunluklu polietilen/Poliamid) ve kontrol için LDPE (Alçak yoğunluklu polietilen) olmak üzere beş farklı ambalaj malzemesi kullanılmıştır. LDPE dışındaki tüm ambalaj malzemelerinin, ürünün nem içeriğini koruduğu ve aflatoksin oluşumunu azalttığı gözlenmiştir. Antep fıstığının kalite özelliklerini korumak için en uygun ambalaj malzemesinin PET olduğu ve bunu LDPE/PA, PA/PP ve PVC takip ettiği belirtilmiştir. Antep fıstığının raf ömrü ise, aflatoksin seviyesi dikkate alındığında, PA/PP, PVC, LDPE/PA ve PET için sırasıyla 4, 4, 4 ve 5-6 ay olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada, ambalaj malzemesi olarak PET kullanıldığında Antep fıstığının raf ömrünün 2 aydan (kontrol) 5 aya kadar uzatılabileceği düşünülmektedir.

Hasat sonrası depolama sıcaklığının, Antep fıstığının kalite parametreleri üzerine etkisini değerlendiren Arena et al. (2013), İtalya ve Türkiye’de hasat edilen Antep fıstığı örneklerini, 10, 20 ve 30 °C’de 1 ay boyunca depolanmıştır. (Ambalaj malzemesi hakkında bilgi verilmemiştir.) Depolama sıcaklığı arttıkça, örneklerin peroksit ve serbest yağ asitliği değeri artarken; nem miktarı ise azalmıştır. Çalışmada, lipid oksidasyonunu önlemek ve Antep fıstığının kalite parametrelerini en iyi şekilde korumak için, üreticilere ve ithalatçılara 20°C’den daha düşük depolama sıcaklıkları tavsiye edilmektedir.

Ozturk vd. (2016), farklı ambalajlama tekniklerinin, taze çiğ Antep fıstığının fizikokimyasal, mikrobiyolojik, aroma, renk ve duyuşal özelliklerine etkisini değerlendirilmiştir. Antep fıstıkları, modifiye atmosferde (%70 N₂+%30 CO₂), atmosferik koşullarda ve vakum işlemi yapılarak 4 °C’de 30 gün boyunca depolanmıştır. Vakum işlemi için PA/PE (poliamid/polietilen), modifiye atmosfer

için PVC/PE (polivinilklorür/polietilen) ve atmosferik koşul için PE (polietilen) ambalaj malzemesi kullanılmıştır. Antep fıstığının, kalite özelliklerini koruması ve mikrobiyal gelişimin önlenmesi için uygun ambalaj malzemeleri ile depolanmasının önemli olduğu belirtilmiştir. Atmosferik koşullarda depolanan Antep fıstıkları hariç, vakum işlemi ve modifiye atmosfer ile depolanan örneklerde mikrobiyal gelişme, peroksit ve serbest yağ asidi oluşumu gecikmiştir. Çalışma sonunda, en uygun ambalajlama tekniği ve malzemesinin modifiye atmosferde ambalaj olduğu, bunu vakum işlemi ve atmosferik koşullarda ambalajlamanın izlediği belirtilmiştir. İhracat yapmak isteyen üreticilerin, Antep fıstığını modifiye atmosferde ambalajlayarak 1 ay boyunca kalite özelliklerinde bir kayıp olmadan depolayabileceği belirtilmiştir.

Sheikhi et al. (2019), taze Antep fıstığının pasif modifiye atmosferde depolama potansiyelinin artırılması üzerine yaptığı çalışmada, Antep fıstığı örneklerini, $0\pm0,5$ °C’de ve $\%90\pm1$ bağıl nemde 105 gün boyunca (1,8 L solunum kavanozlarında), pasif modifiye atmosferde ve atmosferik koşullarda (kontrol) depolamışlardır. Bu çalışmada, $0\pm0,5$ °C ve $\%90\pm1$ bağıl nemde, 105 günlük depolama süresince, pasif modifiye atmosferde $\%0,95-3,35$ O₂ ve $\%23,17-29,82$ CO₂ denge gaz bileşimi olduğu belirtilmiştir. Çalışmaya göre, pasif modifiye atmosferde depolanan örneklerin; sertliğini, rengini ve duyu kalitesini daha iyi muhafaza ettiği ve koruduğu düşünülmektedir. Mantar çürümesi, atmosferik koşullarda depolanan örneklerde raf ömrünü 30 gün ile sınırlarken; pasif modifiye atmosferde depolanan örneklerde depolama süresi 105 gün olarak belirlenmiştir.

Khoshnoudi-Nia et al. (2019), yenilebilir kaplama ve sıcaklığın kavrulmuş Antep fıstığının depolama sırasında kalite özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Antep fıstıkları; askorbik asit+propil gallat, jelatin+propil gallat, jelatin+askorbik asit, askorbik asit+propil gallat+jelatin ile kaplanmış ve kontrol (kaplamasız) olarak PE/PA(Polietilen/Poliamid) ambalaj malzemesi 20, 35 ve 50 °C’de 3 ay boyunca depolanmıştır. Depolama sıcaklığının artmasıyla; peroksit, serbest yağ asitliği ve p-anisidin değerleri de artmış ve her depolama koşulu için en büyük artışın kontrol örneğinde gerçekleştiği belirtilmiştir. Jelatin kaplı örneklerde, lipid oksidasyonunu azaldığı ve genel kabul edilebilirliğin ise arttığı gözlenmiştir. Çalışmaya göre, askorbik asit içeren jelatin kaplamaların, Antep fıstığı ve/veya yağlı gıdaların, raf ömrünü arttırmak için kullanılabileceği düşünülmektedir.

Toz haline getirilen Antep fıstığının, bütün haline göre daha fazla yüzey alanına sahip olması nedeniyle, özellikle depolama aşamasında oksidasyon ve

hidroliz gibi bozulma reaksiyonlarının farklı bir kinetik yol izleyeceği düşünülmektedir. Literatürde, Antep fıstığı tozunun ambalajlanmasına yönelik çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde;

Tavakolipour et al. (2016), Antep fıstığında, mevsimsel farklılıkların (sıcaklık ve bağıl nem) lipid oksidasyonunu etkilediğini ve buna bağlı olarak ürünün kalitesinin ve raf ömrünün azaldığını belirtmişlerdir. Antep fıstığı tozunun bütün haline göre hava, nem ve ışıktan daha fazla etkilendiği vurgulamışlardır. Antep fıstığı tozunun, farklı depolama sıcaklıkları (15, 25, 35 ve 40 °C) ve bağıl nemde (%11, %33, %73 ve %87) lipid oksidasyon kinetiğinin çalışıldığı bu araştırmada, Antep fıstığı tozu karanlıkta ve cam kavanozlarda 90 gün boyunca depolanmıştır. Sıcaklık arttıkça lipid oksidasyonun hızının arttığı ve buna bağlı peroksit değerinin arttığı gözlenmiştir. 15 °C ve %33 bağıl nem koşullarında depolamanın, Antep fıstığı tozunun kalite özelliklerinin daha iyi muhafaza edildiği, minimum lipid oksidasyonuna uğradığı ve daha uzun raf ömrü sağlandığını belirtilmiştir.

Rafsanjani et al. (2018), depolama sırasında, dondurma ve vakum işleminin Antep fıstığı tozunun kalite özelliklerine etkisini incelemiştir. Antep fıstığı tozu, vakum ambalaj ve atmosferik koşullarda -18 °C ve 25 °C’de 4 ay boyunca, çelik kutularda depolanmıştır. Depolama süresince Antep fıstığı tozunun; serbest yağ asidi, peroksit değeri, nem miktarı, renk ve duyu özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Depolama süresi, sıcaklık, oksijen varlığı, Antep fıstığı tozu örneklerinde serbest yağ asitliği, peroksit değerini artırırken; renk ve nem içeriğinde önemli bir farklılık belirlenmemiştir. Çalışmada, Antep fıstığı tozunun, vakum işlemi yapıldıktan hemen sonra dondurulduğunda, raf ömrünün uzayabileceği tespit edilmiştir.

Yapılan literatür araştırmaları neticesinde, depolama sıcaklığının oksidasyon ve hidroliz reaksiyonlarını hızlandırdığı ve ürünün rengini olumsuz etkilediği görülmüştür. Tüm gıdalarda olduğu gibi Antep fıstığı tozu da, depolama sırasında farklı sıcaklık koşullarına maruz kalabilmekte ve bunun sonucunda kalite özelliklerindeki değişim farklı seyredebilmektedir. Bu nedenle, Antep fıstığı tozunun depolama ve dağıtım süresince düşük sıcaklıklarda depolanması, ürünün daha uzun raf ömrüne sahip olması açısından oldukça önemlidir.

2.5 Sürdürülebilir ve Geri Dönüştürülebilir Esnek Ambalajlar ve Geri Dönüşüm Süreci

Ambalaj sektöründe; ambalaj malzemesi olarak kağıt, cam, metal ve plastik gibi farklı malzemeler kullanılabilen; bunlar arasında plastik ambalajlar, ambalaj atıklarının büyük bir çoğunluğunu oluşturduğundan dolayı dünya ekosistemini tehlikeye atan küresel bir sorun haline gelmektedir (Dahlbo et al., 2018; Demetrious et al., 2019; Luijsterburg et al., 2014; Zhu et al., 2022).

Plastik ambalajlar günümüzde bir çevre sorunu, bir atık kaynağı ve iklim değişikliğine katkıda bulunan bir sorun olarak algılanmaktadır. Artan kamuoyu baskısı ve mevcut çevre mevzuatları nedeniyle, koruyucu özelliklerine rağmen plastik ambalajların kullanımını azaltmak ve plastik ambalajların geri dönüştürülebilirliğini artırmak için büyük çaba sarf edilmektedir (Dilkes-Hoffman et al., 2019; Pauer et al., 2020).

Ambalajın çevreye olan olumsuz etkisinin azaltılması için ambalaj malzemesinin bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle gıdaya uygun ambalaj malzemesi belirlenirken, sürdürülebilir kalkınmaya olumlu etkisi olacak, geri dönüşümü kolay ambalaj malzemeleriyle ambalajlanması oldukça önemlidir. CEFLEX (Circular economy for flexible packaging)'e (2020) göre, gıda ürününün özelliklerine göre ambalaj tasarımı yapmak sürdürülebilir kalkınmanın önemli parçasıdır. Sürdürülebilir ambalaj malzemesi, kullanım ömrünün sonunda toplandıktan sonra kolayca geri ayrıştırılabilir ve geri dönüştürülebilir olmalıdır. Aynı zamanda, geri dönüşüm sürecinin verimli olması ve elde edilen malzemenin kaliteli olması da oldukça önemlidir.

Ambalaj atık miktarının azaltılmasını sağlamak amacıyla ambalaj malzemesi seçimi, en önemli faktörlerden biridir. Çevre dostu malzemelerin kullanılmasının önemi literatürde ve birçok hükümetin ulusal stratejilerinin yanı sıra kamu medyasında defalarca vurgulanmaktadır. Bu nedenle ambalaj tasarımı yapılırken;

- Ambalaj malzemeleri geri dönüştürülebilir ve sürdürülebilir özellikte olmalı,
- Ambalaj malzemesinin katman sayısı azaltılmalı, çok katmanlı ambalaj yapıları yerine mono yapıda geri dönüşüme uygun ambalaj malzemeleri seçilmeli,
- Yenilenebilir kaynaklardan biyo-bazlı ambalaj malzemeleri kullanılmalı,

- Geri dönüşüm sürecini kolaylaştırmak adına açık renk ambalaj malzemeleri tercih edilmeli,
- Ambalaj malzemesinin ağırlığı azaltılmalı,
- Ambalajın boyutu, şekli yeniden kullanıma veya iade edilebilir depozitolu ambalaj formuna uygun olmalıdır (Azzi et al., 2012; Casarejos et al., 2018; Leissner et al., 2019; Zhu et al., 2022; Lase et al., 2022).

Gıda ambalajlama sektöründe kullanılan plastik malzemeler; rijit (sert) veya esnek halde olabilmektedirler. Esnek ambalajlar; kolayca şekil alabilen, hafif, gıda ürününün formu bile bütünleşebilen; torba, poşet şeklindeki ambalaj yapılarıdır (Niaounakis, 2019). Rijit ambalajlar ise; daha ağır, esnekliği çok daha az veya hiç olmayan şişe, kutu, kap şeklindeki ambalaj yapılarıdır (Hannay, 2002).

Esnek ambalaj malzemeleri, gıda ürününü korurken (kırılma, bozulma, kontaminasyon vb.), raf ömrünü uzatarak tüketilebilirliğini arttırmaktadır. Esnek ambalajlar; plastik, kağıt, alüminyum folyo veya bu yapıların herhangi bir kombinasyonu dahil olmak üzere mono yapıda veya çok katmanlı yapıda; düz, baskılı, kaplamalı ve/veya lamine olabilmektedir. Ambalaj malzemesindeki kaplama ve/veya katmanlar malzemenin bariyer özelliklerini iyileştirmektedir (Niaounakis, 2019; CEFLEX, 2020; Lase et al., 2022).

Esnek ambalajlama, dünya çapında en hızlı büyüyen ambalaj sektörü olarak karşımıza çıkmaktadır. Avrupa'daki esnek ambalaj pazarının yıllık 3,7 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Bunun yaklaşık %70-80'i (3 milyon ton) tek katmanlı mono-polietilen (PE), mono-polipropilen (PP) veya iki katmanlı poliolefin (PE/PP) olarak rapor edilmektedir. Kullanılan esnek ambalajların geri kalan %20-30'u, alüminyum folyo, kağıt, poliamid (PA), polietilen tereftalat (PET), etilen vinil alkol (EVOH) gibi diğer fonksiyonel malzemeleri içeren çok katmanlı ambalaj yapılarını içermektedirler (Faraca et al., 2019; CEFLEX, 2020; Lase vd., 2022).

Esnek ambalaj malzemelerinin avantajları ise;

- Üretimde daha az malzeme ve enerji kullanımı,
- Daha hafif olması,
- Kolay baskı yapılabilir olması,
- Nakliye sırasında daha az CO₂ gazı salınımı,
- Daha az atık oluşturması ve oluşan atıkların daha az yer kaplaması,
- Gıda ürününün raf ömrünü uzatması ve tazeliğini koruması,

- Gıda israfını azaltması,
- Gıda ürününün görünürlüğünü sağlaması ve
- Ambalajı açması, taşınması, saklaması, tekrar kapatmasının daha kolay olmasıdır (Niaounakis, 2019; Horodytska et al., 2018; FPA, 2023).

Esnek ambalaj malzemeleri birçok olumlu özelliği bulunmasına rağmen genellikle tek kullanımlık olmaları nedeni ile geri dönüştürülmediği takdirde atık miktarının artmasına neden olabilmektedir. Esnek ambalajların geri dönüşüm süreci ise; mekanik geri dönüşüm, kimyasal geri dönüşüm veya enerji geri kazanımı (yakma) ile gerçekleştirilmektedir.

Mekanik geri dönüşüm süreci; ambalaj atıklarının 10 cm gibi bir boyuta getirilmesi ile başlar ve ambalaj atıkları manyetik ayırma, girdap akımı ayırma, kızılötesi (FT-NIR) ayırma, lazer ayırma yöntemleri ile farklı yapılardan ayrılır. 25-40 °C suyla yapılan yıkama işlemi ile ambalaj atıklarından organik kalıntılar, kağıt ve etiket gibi kirleticilerin uzaklaştırılması sağlanır ve bu işlem sırasında atıkların boyutları 1 cm'e kadar küçültülür. Boyut küçültme ve yıkama işleminden sonra yoğunluğa göre ayırma işlemi yapılarak kalan ağır polimerler veya metaller uzaklaştırılır. Bu işlem sırasında poliolefinlerin (PO) yoğunluğu $<1 \text{ g/cm}^3$ olduğu için işlem sırasında su üzerinde yüzer ve diğer polimerlerden (Polivinilklorür (PVC), Polistiren (PS), PET) ayrılırlar. Ekstrüzyon işleminden önce nemin uzaklaşması için kurutma işlemi gerçekleştirilir ve plastik atıklar eritilerek pelet haline getirilir (Hopewell vd., 2009; Larrain et al., 2021; Kleinhans et al., 2021; Faraca et al., 2019; Horodytska et al., 2018; Brouwer et al., 2018; Ragaert et al., 2017; Lase vd., 2022; CEFLEX, 2020; Hopewell vd., 2009).

Kimyasal geri dönüşüm işlemleri ise; depolimerizasyon, kısmi oksidasyon (gazlaştırma) ve pirolizdir. Depolimerizasyon işlemi; polimer oluşumunun ters reaksiyonudur ve kimyasal çözümler yardımı ile (etilen glikol, metilamin, su, metanol vb.) polimerlerin monomerlerine dönüşmesi aşamasıdır (Achilias et al., 2007; Horodytska et al., 2018; Panda et al., 2010; Ragaert vd., 2017; Yan vd., 2023). Kimyasal geri dönüşüm yöntemlerinden diğeri ise piroliz ve gazlaştırmadır. Piroliz işlemi, oksijen yokluğunda orta ila yüksek sıcaklıklarda (500 °C-900 °C, 1-2 atm) gerçekleşmektedir. Bu yöntem, malzeme ve enerji geri kazanımı verimliliği açısından yakmaya kıyasla daha avantajlı bir ileri termokimyasal geri dönüşüm teknolojisidir (Lopez et al., 2018; Ragaert vd., 2017; Ahamed vd., 2021).

Enerji geri kazanımı yakma süreci; atıkların düzenli olarak çöplüklerde biriktirilmesi (depolanması) ve yakılmasıdır (Ahamed vd, 2021). Mekanik ve kimyasal geri dönüşümün mümkün olmadığı çok katmanlı esnek ambalaj yapılarının bertarafı için yakma yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak; He et al. (2019) yapmış olduğu bir çalışmada, atıkların depolanması sırasında oluşan sızıntı suyunda, 17 farklı plastik türü tanımlanmış ve mikro-plastik konsantrasyonunun 0,42-24,58 partikül/L arasında ve 100–1000 µm boyutunda olduğu belirtilmiştir. Atıkların çöplüklerde biriktirilmesinden kaynaklı oluşan bu suyun yer altı kaynaklarına sızması riski de oluşabilmektedir. Ayrıca, Zheng et al. (2019) yapmış olduğu bir başka çalışmada atıkların yakılması işleminin geri dönüşüme göre daha yüksek miktarda sera gazı emisyonuna neden olduğu belirtilmiştir. Bu sebeple, atıkların çöplüklerde biriktirilmesi ve yakılması sürdürülebilir bir atık yönetimi değildir.

Tablo 2.4. Geri dönüştürülebilen ve geri dönüştürülemeyen esnek ambalaj yapıları (CEFLEX, 2020)

Ambalaj malzemesi	Açıklama
Mono-PE ve mono-PP yapıları (yapısında en az %90 PE veya PP bulunan tek katmanlı ambalaj yapıları)	Geri dönüştürülebilir
PE/PE ve PP/PP ambalaj yapıları (yapısında en az %90 PE veya PP bulunmalıdır)	Geri dönüştürülebilir
PE/PP (PO) ambalaj yapıları (yapısında en az %90 PO malzemesi bulunmalıdır)	Geri dönüştürülebilir
Kaplamalı ve katmanlı PE ve PP yapılar (EVOH, PVOH (Polivinil alkol), Akrilik, SiOx (Silikon kaplama) ve AlOx (Alüminyum kaplama) gibi, yapısında en fazla %5 oranında bulunabilir)	Geri dönüştürülebilir
PET ambalaj yapıları örn. PET/PE, metalize PET/PE, PET/PP vb.	Katmanları oluşturan ambalaj yapılarının farklı fiziksel-kimyasal özelliklere sahip olmaları ve birbirleriyle homojen olarak karışmamaları çok katmanlı esnek ambalaj yapılarının geri dönüşüm sürecini zorlaştırmaktadır. Bu malzemelerin geri dönüştürülmesi ambalaj yapısının bileşenlerinin mekanik özelliklerini kaybetmesine neden olmaktadır. Bu durum çok katmanlı esnek ambalajların geri dönüşümünü ekonomik ve teknik olarak zor hale getirmektedir (Kaiser, 2020; Pauer et al., 2020; Berkane et al., 2023).

Tablo 2.4’te görüldüğü gibi, tez kapsamında seçilen her üç ambalaj malzemesi de geri dönüştürülebilir olduğu için sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlamakta ve ambalajın çevreye olan olumsuz etkisini minimize etmektedir.

2.6 Reaksiyon Kinetiği ve Raf Ömrü Tahminlemesi

Kinetik modeller, bir gıda sisteminde meydana gelen değişiklikleri nicel olarak tanımlamak için yapısal bir çerçeve sağlamaktadır. Bu değişiklikler için uygun kinetik sabitlerin hesaplanması, depolama sırasında belirli bir gıda bileşenindeki değişimin büyüklüğünü ve gıdanın raf ömrünü tahminlenmesini sağlamaktadır. Çoğu kinetik model, zamanın bir fonksiyonu olarak gıda bileşenlerini etkileyen dış etkenleri (sıcaklık, basınç vb.) de modelleme sürecine

dahil etmektedir. Özetle, kinetik modeller, herhangi bir koruma süreci tasarım modelinin önemli bir bileşenidir (Heldman, 2011).

Kimyasal kinetik, bir kimyasal ürünün diğerine dönüştüğü hız ve mekanizmaların incelenmesini içerir. Bir kimyasal reaksiyonun hızı, üretilen bir ürünün kütlesi veya birim zamanda tüketilen reaktant tarafından belirlenir. Genel olarak, reaksiyon hızları, reaktantların veya reaksiyon ürünlerinin konsantrasyonunun izlenmesiyle belirlenebilir.

Gıda maddelerinin kalite özelliklerinde meydana gelen değişim genel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir (Labuza, 1973).



burada A, istenilen kalite özelliğini, B ise istenilmeyen kalite özelliğini simgelemektedir. Kalite değişim hızı Eşitlik (1) ile gösterilen reaksiyonun ne kadar ilerlemiş olduğunun bir göstergesi olup, belirli bir zaman biriminde A maddesinin konsantrasyonunda meydana gelen değişim olarak tanımlanır. Kalite değişim hızının hesaplanmasında veya gıda maddesinin kalitesindeki kaybın tahmini için kullanılan genel eşitlik, Eşitlik (2) ile aşağıda gösterilmiştir (Saguy et al., 1980). Hız eşitliği, reaksiyon hızının matematiksel bir ifadesidir. Birim zamanda, reaksiyona giren maddelerden veya reaksiyon sonucunda oluşan ürünlerden birinin derişiminde görülen değişiklik, o reaksiyonun hızı olarak ifade edilmektedir.

$$-\frac{dQ_A}{dt} = f(E_i, F_j) \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

$-\frac{dQ_A}{dt}$: Bozunma hızı (reaksiyon hızı) (Q /birim zaman) - (Bozunma reaksiyonu A'nın azalmasını gösteriyorsa negatif (-) işaretli, istenmeyen B'nin artışı gösteriyorsa pozitif (+) işaretlidir), Q : Gıda maddesinde incelenen bir kalite özelliğinin konsantrasyonu, E_i : Çevresel faktörler ($i=1,2,\dots,n$), F_j : Gıda maddesinin bileşimiyle ilgili faktörler ($j=1,2,\dots,n$)'dir.

Kalite özelliklerinde bozunma reaksiyon hızı Eşitlik (2)'de görüldüğü gibi, çevresel faktörler (sıcaklık, nem, oksijen, ışık, basınç) ve gıda maddesinin bileşiminin (reaktif bileşenlerin konsantrasyonu, su aktivitesi, pH, enzimler) bir fonksiyonudur (Saguy et al., 1980). Ortam koşulları sabit olduğu zaman, reaksiyon

hızı reaksiyona giren maddelerin konsantrasyonları ve sayısı ile doğrudan orantılıdır (Karel, 1982). Q kalite özneliği için genel bir reaksiyon kinetiği modeli Eşitlik (3)'teki gibi ifade edilebilir (Singh, 1994).

$$\int_{Q_0}^Q \frac{dQ}{Q^n} = \pm \int_0^t k dt \quad (3)$$

Bu eşitlikte, $\pm Q$ incelenen kalite niteliğinin konsantrasyonu; k , reaksiyon hız sabiti (Q^{1-n} /birim zaman), n , reaksiyonun derecesini gösteren üs faktörü; t , depolama süresidir.

Reaksiyon derecesi n faktörlerinin toplamına eşit olup n 'nin değeri tamsayı veya kesirli sayı olabilir. 0. dereceden bir reaksiyon için, $n=0$ olduğundan, hız denklemi:

$$-\frac{dQ}{dt} = k \quad (4)$$

olarak yazılır. Eşitlik (4), $t = 0$ $Q = Q_0$; $t = t$ $Q = Q$ sınır koşulları ile integre edilirse,

$$Q = Q_0 - k \cdot t \quad (5)$$

elde edilir ve burada; $Q_0 : t = 0$ anındaki konsantrasyon (başlangıç konsantrasyonu), $Q : t = t$ anındaki konsantrasyon, t : depolama süresidir.

Sıcaklık, bağıl nem ve ışık gibi çevresel faktörlerin ve diğer bileşenlerin konsantrasyonlarının sabit tutulduğu varsayılmaktadır. Gıdalarda gözlenen bozunma reaksiyonlarının genellikle sıfırıncı ve birinci dereceden reaksiyonlar oldukları belirtilmektedir (Labuza, 1984).

Tablo 2.5. Sıfırıncı ve birinci derece kinetik modeller için hız denklemleri, kalite değişimleri, raf ömrü denklemleri (Labuza, 1984)

Reaksiyon derecesi	Diferansiyel formu	İntegral formu	Raf ömrü denklemi (Eşitlik (9) kullanılarak)	Raf ömrü denklemi (Eşitlik (10) kullanılarak)	Yarı ömür
0	$-\frac{dQ}{dt} = k$	$Q = Q_0 - k \cdot t$	$t = \frac{Q - Q_0}{k_0 \exp\left(-\frac{E_A}{R \cdot T}\right)}$	$t = \frac{Q - Q_0}{k_{ref} \exp\left[-\frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right]}$	$t_{1/2} = \frac{Q_0}{2k}$
1	$-\frac{dQ}{dt} = k \cdot Q$	$\ln Q = \ln Q_0 - k \cdot t$	$t = \frac{\ln(Q) - \ln(Q_0)}{\exp\left(\ln k_0 - \frac{E_A}{R \cdot T}\right)}$	$t = \frac{\ln(Q) - \ln(Q_0)}{k_{ref} \exp\left[-\frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right]}$	$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$

Burada; Q_0 , kalite özelliğinin başlangıç konsantrasyonu, Q ise t zaman depolanma sonra değişimi; k kinetik model için reaksiyon hız sabiti, t ise depolama süresidir.

Zamanın bir fonksiyonu olarak Eşitlik (3)'ün integral formunun çözülmesi ile gerçek depolama koşullarında raf ömrü Eşitlik (6) ile hesaplanabilir.

$$Raf \text{ ömrü} = \frac{\int_{Q_0}^Q \frac{dQ}{Q^n}}{\pm k} \quad T = \text{sabit} \quad (6)$$

Yukarıda belirtildiği gibi, hız sabitlerinin büyüklükleri, kontrollü koşullar altında zamanın bir fonksiyonu olarak konsantrasyonların ölçülmesiyle belirlenmektedir. Reaksiyon hızları birkaç parametreye bağlı olabilsede, gıda ürünlerindeki reaksiyonlar sıcaklığa çok duyarlıdır. Arrhenius denklemi, bir gıda ürünündeki reaksiyon hızı sabiti üzerindeki sıcaklığın etkisini şu şekilde tanımlamaktadır:

$$k = k_0 \cdot e^{\frac{-E_A}{R \cdot T}} \quad (7)$$

Bu eşitliğin integrasyonu sonucu;

$$\ln k = -\frac{E_A}{R \cdot T} + \ln k_0 \quad (8)$$

eşitliği elde edilir. Burada; k_0 , frekans faktörü (pre-exponential factor, reaksiyon deresine göre reaksiyon hız sabiti ile aynı birimdedir); E_A (kJ/mol), aktivasyon enerjisini; R (8,314 J/K · mol), ideal gaz sabitini; T (K), mutlak sıcaklığı göstermektedir (Calligaris et al., 2007).

Arrhenius denklemi, gıda ürünlerinin depolama süreçlerinde, depolama sıcaklık aralıkları ile gıda sistemlerindeki reaksiyon hızı sabitlerini ilişkilendirmek için kullanılmaktadır. Bir reaksiyonun başlayabilmesi için bileşenlerin sahip olmaları gereken en düşük enerjiye aktivasyon enerjisi denir. Aktivasyon enerjisi reaksiyonun sıcaklığa karşı duyarlılığının ölçüsüdür. Sıcaklık yükseldikçe reaksiyonun ne kadar hızlanacağını gösterir (Labuza, 1984). Gıdalarda meydana gelen çeşitli reaksiyonlarla ilişkili aktivasyon enerjilerinin aralıklarının, gıdalarda meydana gelen bu değişiklikler üzerinde sıcaklığın nispi etkisi hakkında bilgi verdiği birçok çalışmada belirtilmiştir (Heldman, 2011).

Raf ömrü denklemi Eşitlik (6) ve Arrhenius denklemleri Eşitlik (7) entegre edilerek genel bir raf ömrü tahmini modeli Eşitlik (9)'daki gibi elde edilebilir. Eşitlik (9)'un sıfıncı ve birinci derece kinetik modeller için denklemleri Tablo 2.5'te verilmiştir.

$$\text{Raf Ömrü} = \frac{\int_{Q_0}^Q \frac{dQ}{Q^n}}{\pm k_0 \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}}} \quad (9)$$

Eşitlik (9) bir referans sıcaklığa bağlı olarak yeniden yazıldığında Eşitlik (10) elde edilmektedir (Calligaris et al., 2007).

$$k = k_{ref} - \exp \left[\frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right] \quad (10)$$

burada; k_{ref} , referans sıcaklık için reaksiyon hız sabiti; T_{ref} , referans sıcaklık, depolama sıcaklık aralığının merkezi değeri olarak kabul edilmiştir (Calligaris et al., 2007).

Yarı ömür, kalite kriterlerinin %50'sini kaybetmesi için geçerli süre olup, sıfıncı ve birinci derece kinetik modeller için denklemler Tablo 2.5'te verilmiştir. Sıfıncı derece reaksiyonlarda reaksiyon boyunca yarı ömür sabit değildir. Birinci derece reaksiyonlarda yarı ömür, başlangıç konsantrasyonundan bağımsızdır.

3 MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1 Kimyasal maddeler, Antep fıstığı tozu ve ambalaj malzemeleri

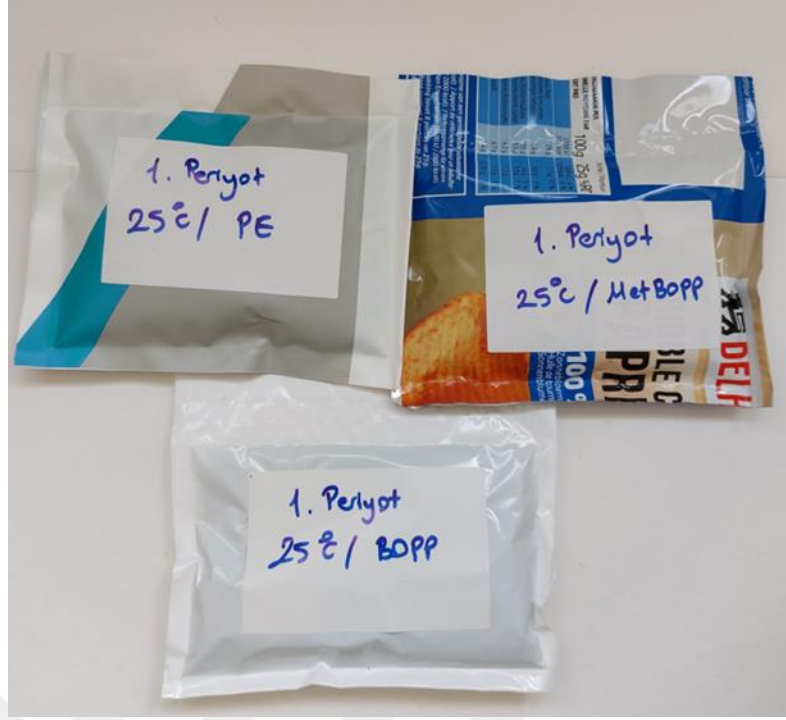
Yeni hasat edilmiş Antep fıstığı, iç Antep fıstığı (kabuksuz) olarak Gaziantep’te bulunan Açıköz27 Tarım Ürünleri San. ve A.Ş. den temin edilmiştir ve analizlerde kullanılan iç Antep fıstığı “Uzun” çeşidine aittir.

Antep fıstığı tozunun ambalajlanmasında kullanılan ambalaj malzemeleri Bak Ambalaj Sanayi Tic. AŞ tarafından temin edilmiştir ve kullanılan ambalaj malzemeleri ve özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Analizlerde klorofom, asetik asit, potasyum iyodür, nişasta, sodyum tiyosülfat, etanol, dietil eter, potasyum hidroksit, fenolftaletin, iso-oktan, p-anisidin, hekzan, metanol (HPLC saflıkta), DPPH, sodyum karbonat, Folin-Ciocalteu reaktifi, gallik asit, trolox kimyasalları kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Antep fıstığı tozunun ambalajlanmasında kullanılan ambalaj malzemeleri ve özellikleri

Malzeme	Kalınlık (μm)	OTR ($\text{cc/m}^2\text{gün-atm}$)	WVTR ($\text{g/m}^2\text{gün}$)
PE/EVOH/PE	25 μm /5 μm /85 μm	≤ 1	≤ 4
MetBOPP	40 μm	≤ 120	$\leq 0,5$
BOPP	40 μm	≤ 1200	≤ 4



Şekil 3.1. PE/EVOH/PE, MetBOPP ve BOPP ambalaj malzemesi ile ambalajlanan Antep fıstığı örnekleri

3.1.2 Kullanılan cihazlar

Analitik terazi: Tüm tartım işlemleri Weightlab Instruments (Türkiye) model analitik terazide gerçekleştirilmiştir.

Buzdolabı: Hazırlanan tüm çözeltilerin ve standartların saklanması için sıcaklığı $+4^{\circ}\text{C}$ ve -18°C 'ye ayarlanmış Bosch (Almanya) marka buzdolabı kullanılmıştır.

Etüv: Antep fıstığı tozu örneklerinin depolanması ($25-35-45^{\circ}\text{C}$) ve nem analizinde İldam Etüv Kurutma EK-120 (Türkiye) model etüv kullanılmıştır.

Soğutmalı inkübatör: Antep fıstığı tozu örneklerinin 15°C 'de depolanmasında Nüve marka ES-500 (Türkiye) model soğutmalı inkübatör kullanılmıştır.

Evaporatör: Peroksit, serbest yağ asitliği, p-anisidin, ransimat analizi ve yağ asidi kompozisyonu için yağ eldesinde hekzanı uçurmak amacıyla Heidolph (Almanya) marka evaporatör kullanılmıştır.

Karıştırıcı: Analizlerde kullanılan tüm çözeltilerin elde edilmesinde İTK marka MK 350 Heating Magnetic Stirrer (Türkiye) model karıştırıcı kullanılmıştır.

Öğütme cihazı: Antep fıstığı tozu eldesinde Tefal rondo 400 W (Fransa) model öğütme cihazı kullanılmıştır.

Ransimat cihazı: Ransimat analizi oksidasyon indüksiyon süresinin belirlenmesi için Ransimat 743 (İsviçre) cihazı kullanılmıştır.

Renk ölçer: Antep fıstığı tozu örneklerinin renk değerlerinin tespitinde Hunter Lab Color Flex (ABD) cihazı kullanılmıştır.

Santrifüj cihazı: Toplam fenolik madde miktarı, DPPH reaktifi ile antioksidan aktivite analizlerinin ekstraksiyon aşamasında Hettich Universal 320 R model (Almanya) santrifüj cihazı kullanılmıştır.

Spektrofotometre: Toplam fenolik madde miktarı ve DPPH yöntemi ile antioksidan aktivite ve p-anisidin analizlerinde Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis (A.B.D.) model spektrofotometre kullanılmıştır.

Su aktivitesi: Antep fıstığı tozunun su aktivitesi analizinde Testo 645 (Almanya) marka su aktivitesi cihazı kullanılmıştır.

Ultra saf su cihazı: Tüm analizlerde Human Corporation (Kore) marka saf su cihazından elde edilen su kullanılmıştır.

Yapıştırma makinesi: Ambalaj malzemelerin yapıştırılmasında Pack Tech PT-PCS-300P (Türkiye) model ambalaj yapıştırma makinesi kullanılmıştır.

Kül fırını: Antep fıstığı tozunun kül analizinde Heraeus (Almanya) model kül fırını kullanılmıştır.

Protein yakma ve destilasyon aleti: Antep fıstığı tozunun protein analizinde Gerhardt (Almanya) model protein yakma makinesi kullanılmıştır.

Gaz kromatografisi: Yağ asitlerinin kompozisyonunun belirlenmesinde, Agilent 7820A (A.B.D.) model gaz kromatografisi kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Hammadde gerçekleştirilen analizler

Antep fıstığı tozu ambalajlanmadan önce nem, kül, protein, yağ, toplam karbonhidrat miktarı, ransimat tayini ve yağ asitleri kompozisyonu analizleri yapılmıştır. Analizler aşağıda belirtilen metotlar uygulanarak ve en az 2 paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Antep fıstığına tozuna ait, yağ asitleri kompozisyonu ise Tablo 4.2’de verilmiştir.

3.2.1.1 Nem miktarı (%) analizi

Nem miktarı, AOAC (2000) metoduna göre gerçekleştirilmiştir. 105 °C’de kurutulan darası alınmış tartım kaplarına 3 g örnek tartılarak ağırlıkları kaydedilmiş ve 105 °C’ye ayarlı etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurumaya bırakılmıştır. Etüvden çıkarılan örneklerin nem miktarı % olarak Eşitlik (11) göre hesaplanmıştır.

$$\%Nem = \frac{\text{Alınan örnek miktarı} - \text{Kurutulmuş örnek miktarı}}{\text{Alınan örnek miktarı}} \times 100 \quad (11)$$



Şekil 3.2. Antep fıstığı tozu örneklerinin nem analizi

3.2.1.2 Kül analizi

Antep fıstığı tozu örneklerinin kül içeriği kuru külleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Kuru ağırlık bazında 2 g örnek kroze tartılmış ve krezeler 6 saat boyunca 800 °C'ye ısıtılan yüksek sıcaklıklı kül fırınında beyaz kül elde edilene kadar yakılmıştır. Tam yakma işleminin sonunda örneklerin ağırlıkları tartılmış ve % kül miktarları Eşitlik (12)'e göre belirlenmiştir (Öksüzler, 2015).

$$\%K\ddot{u}l\ miktar\ i = \frac{K\ddot{u}l\ miktar\ i}{\ddot{O}rnek\ miktar\ i} \times 100 \quad (12)$$

3.2.1.3 Protein tayini

Protein/nitrojen analizör cihazı ile ilk olarak kör(boş) yakma yapılmış, cihaz standarda ulaştığında 0,15 g Antep fıstığı tozu tartılıp kapsüllere konularak cihaza yerleştirilmiştir. Örnekteki azot oranı ölçölüp, elde edilen sayı protein faktörü 6,25 ile çarpılarak örnekteki protein miktarı hesaplanmıştır (Öksüzler, 2015).

3.2.1.4 Yağ analizi

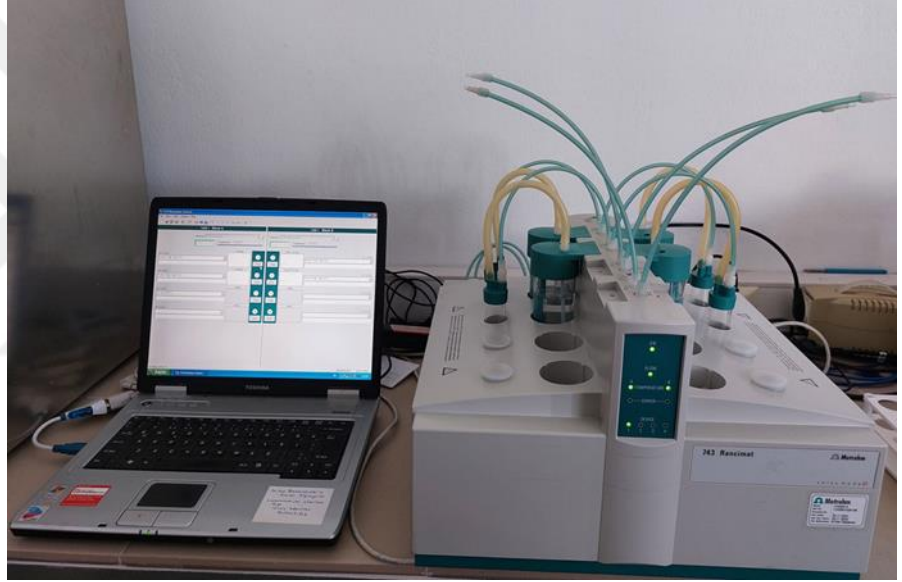
Antep fıstığı tozunun, toplam yağ oranı soksalet ekstraksiyon düzeneği kullanılarak çözgen ekstraksiyonu prensibiyle gerçekleştirilmiştir (Aydın, 2013). Yaklaşık 10 g Antep fıstığı tozu örneği tartılarak Soksalet ekstraktörü için kullanılan özel kartuşa yerleştirilmiştir. Önceden etüvde kurutulmuş ve desikatörde soğutularak darası belirlenmiş cam balon ve bir geri soğutucu kullanılarak oluşturulan soksalet düzeneğine örnekler yerleştirilmiş ve ekstraktöre ekstraktör hacmine uygun miktarda hekzan ilave edilmiştir. Su banyosu üzerinde en az 5 saat veya 20 sifon ile ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir ve balonun içerisindeki çözgen yağ karışımından çözgen dönerli buharlaştırıcıda uzaklaştırılmıştır. İşlem sonunda balon tekrar tartılarak iki tartım arasındaki fark üzerinden örnekteki yağ miktarı yüzde cinsinden hesaplanmıştır.

3.2.1.5 Toplam karbonhidrat miktarı

Toplam kuru maddeden protein, kül ve yağ miktarı toplamı çıkarılarak toplam karbonhidrat içeriği belirlenmiştir.

3.2.1.6 Ransimat analizi

Ransimat tayini AOCS standart metodu (Official Method Cd 12b-92) kullanılarak belirlenmiştir. Antep fıstığı tozu yağında ransimat tayini oksidasyon indüksiyon süresinin belirlenmesi için Rancimat 743 (İsviçre) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla soğuk ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen 3 g yağ örneğine farklı sıcaklıklarda (110-120-130-140-150 °C) hızlandırılmış oksidasyon işlemi uygulanmıştır. Yağ örneklerinin oksidasyonu ile oluşan uçucu organik asitler, farklı bir tüpe konularak 60 g ultra saf suyun (başlangıç elektriksel iletkenliği $< 8\mu\text{S}$ olan) içerisinden geçirilmiş, elektriksel iletkenlik değerlerindeki artış üzerinden indüksiyon süresi (peroksit sayısında logaritmik artışın yaşandığı süre) tespit edilmiştir.



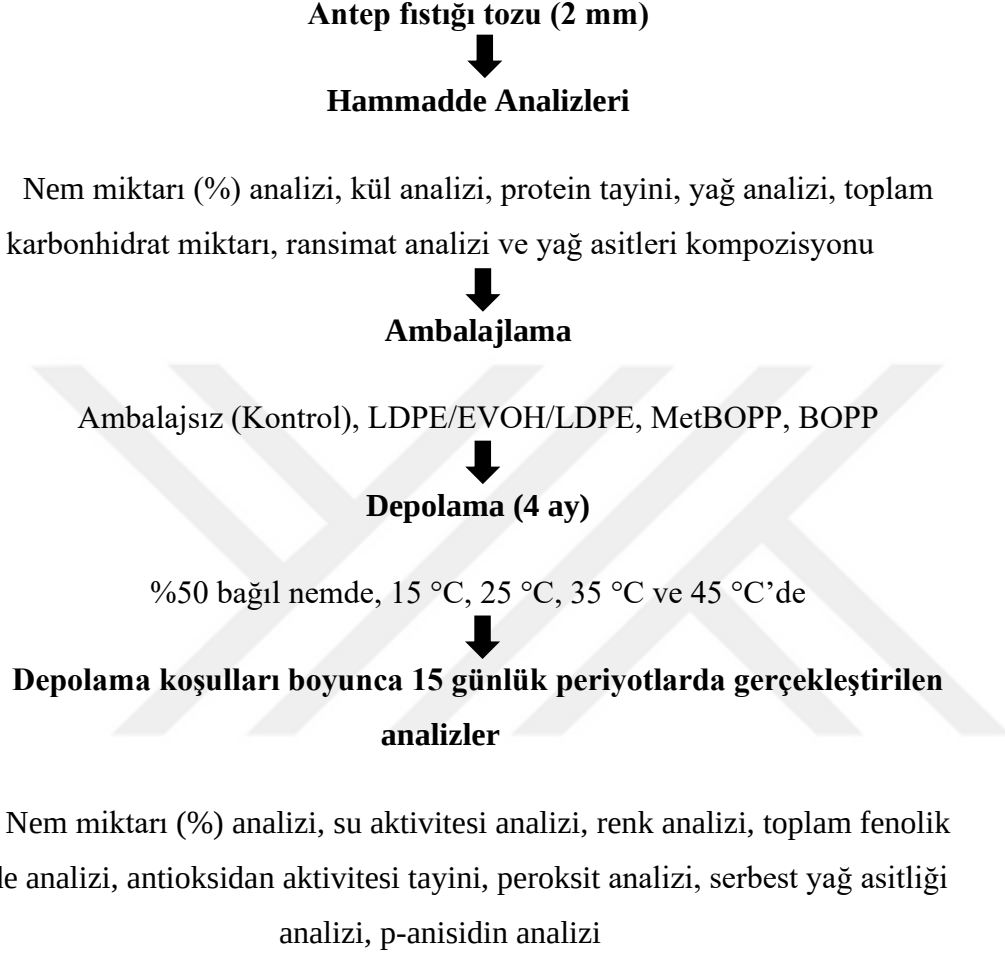
Şekil 3.3. Ransimat analizi cihazı

3.2.1.7 Yağ asitleri kompozisyonu

Antep fıstığı tozunun yağ asitleri kompozisyonu, Özdikicierler (2021) yararlanılarak belirlenmiştir. Yağ asidi bileşimini belirlemek için metil esterler, n-heptan içindeki bir yağ çözeltisinin (7 ml'de 0,5 ml) 1 ml 2 N metanolik potas ile kuvvetli bir şekilde çalkalanmasıyla hazırlanmış ve alev iyonizasyon dedektörü ile donatılmış bir Agilent (7820) gaz kromatografisi ile analiz edilmiştir. Yağ asitlerinin tanımlanması için Supelco 37 Component FAME Mix (CRM47885) kullanılmıştır.

3.2.2 Deneme planı

Şekil 3.4'te tez çalışmasına ait deneme planı verilmiştir ve her analiz en az 2 paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Tez çalışması deneme planı

3.2.3 Antep fıstığı tozu örneklerinin hazırlanması, ambalajlanması ve depolanması

İç Antep fıstıkları (kabuksuz) laboratuvarında öğütme cihazı ile öğütülerek 2 mm’lik elekten geçirilerek tanecik boyutu standardize edilmiştir.



Şekil 3.5. İç Antep fıstığı ve Antep fıstığı tozu

Antep fıstığı tozu örnekleri her bir ambalaj materyalinin içerisinde 75 g örnek olacak şekilde atmosferik koşullarda yapıştırma makinesi ile ambalajlanmıştır. Kontrol örneği olarak, her bir depolama koşulu için açıkta (ambalajsız) depolama yapılmıştır. Ambalajlanan örnekler ve kontrol örneği %50 bağıl nemde, 15 °C, 25 °C, 35 °C ve 45 °C’de depolanarak 15’er günlük periyotlarda olacak şekilde 4 ay boyunca analizler gerçekleştirilmiştir. Depolama koşullarını sağlamak amacıyla inkübatör, etüv ve desikatör kullanılmıştır. Ortam koşulları ise magnezyum nitrat (50 ± 2) tuzunun doymuş çözeltisi kullanılarak sağlanmıştır (Greenspan,1976).



Şekil 3.6. Kontrol örneği ve ambalajlı örneklerin desikatöre yerleştirildikten sonra etüvde depolanması

3.2.4 Depolama koşullarında gerçekleştirilen analizler

4 ay süren olan depolama süresince 15 günde bir periyotlarda olacak şekilde, her koşul ve ambalaj malzemesi için analizler gerçekleştirilmiştir. Her analiz en az 2 paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.1 Nem miktarı (%) analizi

Nem miktarı, AOAC (2000) metoduna göre gerçekleştirilmiştir. 105 °C’de kurutulan darası alınmış tartım kaplarına 2 g örnek tartılarak ağırlıkları kaydedilmiş ve 105 °C’ye ayarlı etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurumaya bırakılmıştır. Etüvden çıkarılan örneklerin nem miktarı % olarak Eşitlik (11) göre hesaplanmıştır.

3.2.4.2 Su aktivitesi (a_w) analizi

Su aktivitesi tayini, Testo,645 (A.B.D.) su aktivitesi cihazı ile belirlenmiştir. Analiz için yaklaşık 2 g örnek, cihazın paslanmaz çelikten yapılmış sızdırmaz haznesine yerleştirilmiştir. Su aktivitesi değerinde 20 dk boyunca 0,001’den az bir değişim olduğunda sistemin dengeye ulaştığı kabul edilmiş ve cihazın göstergesinden su aktivitesi değeri doğrudan okunmuştur.

3.2.4.3 Renk analizi

Antep fıstığı tozu örneklerinin renk analizi Hunter Lab Color Flex cihazı ile L*, a*, b* değerleri belirlenerek gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılmadan önce ilk olarak siyah daha sonra beyaz plaka ile cihaz kalibre edilmiştir. Renk analizi, Antep fıstığı tozu örneklerinin renk kabının bütün yüzeyini kaplayacak şekilde konulması ve L*, a*, b* değerlerinin ölçülmesi ile belirlenmiştir. Esmerleşme indeksi ise (BI), kahverengileşme ile ilgili önemli bir parametredir ve Eşitlik (13) ve Eşitlik(14) kullanılarak hesaplanmıştır (Mohammadi et al., 2008).

$$BI = \frac{[100(x-0,31)]}{0,17} \quad (13)$$

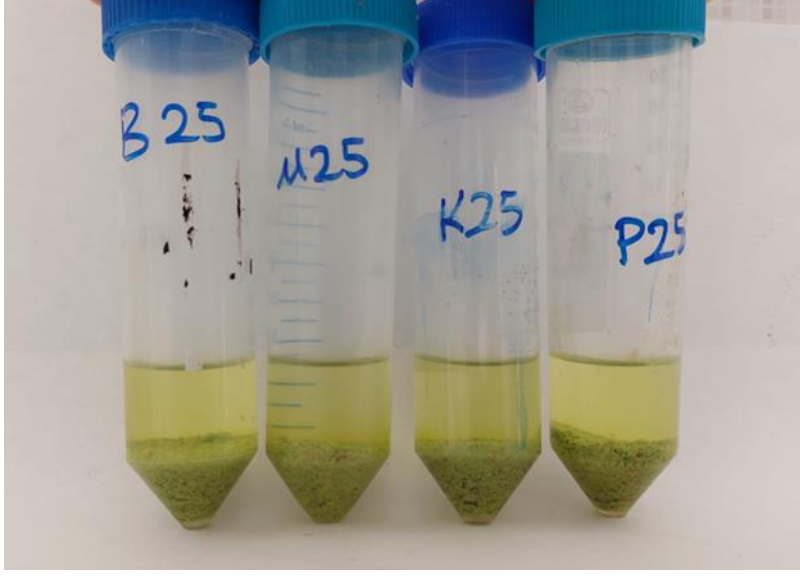
$$x = \frac{(a^*+1,7L^*)}{(5,645L^*+a^*-3,012b^*)} \quad (14)$$



Şekil 3.7. Renk analizi cihazı

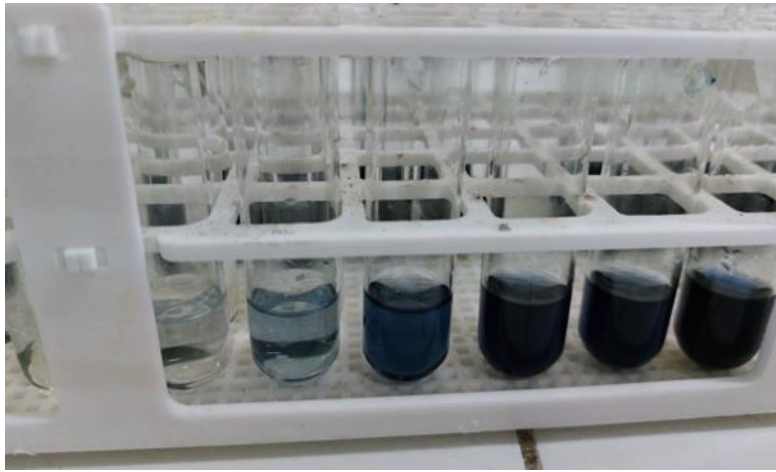
3.2.4.4 Toplam fenolik madde miktarı analizi

Antep fıstığı tozu örneklerinde toplam fenolik madde analizi Hashemi et al. (2021) tarafından uygulanan yöntem modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. 1,5 g Antep fıstığı tozu örneğine 9 ml % 85'lik metanol (a/h) ilave edilerek, 4000 rpm'de 15 dakika boyunca 4 °C'de santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonunda elde edilen ekstrakttan 300 µl alınarak üzerine 1200 µl %7'lik (a/h) sodyum karbonat çözeltisi ve 1500 µl %10'luk (h/h) Folin-Ciocalteu çözeltisi eklenmiştir. Karışım 90 dakika boyunca oda sıcaklığında karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Süre sonunda 760 nm dalga boyunda örneklerin absorbansı spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. Aynı yöntem gallik asit standartlarına uygulanarak kalibrasyon grafiği oluşturulmuş ve örneğe uygulanan seyreltme miktarı dikkate alınarak, sonuçlar gallik asit (GAE) eşdeğeri olarak verilmiştir.

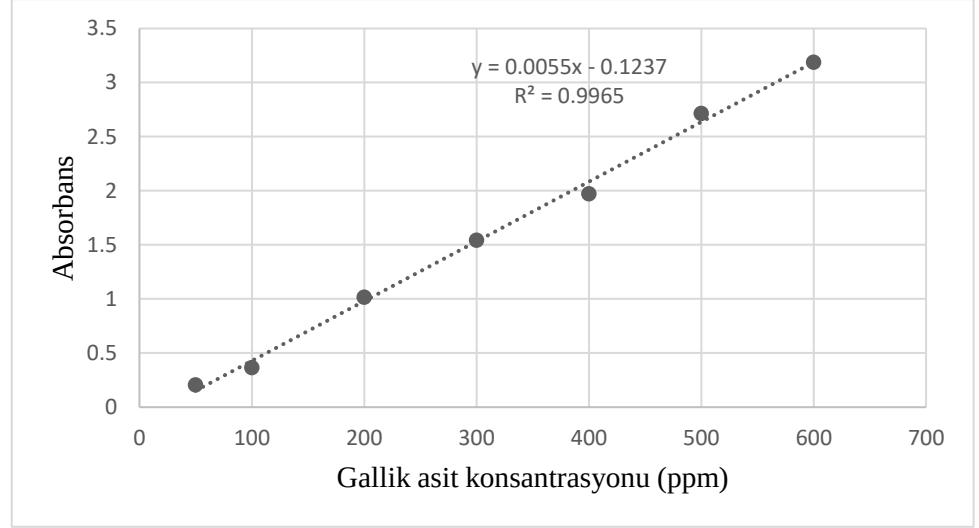


Şekil 3.8. Santrifüj işlemi sonrası Antep fıstığı tozu örnekleri

Gallik asit kalibrasyon grafiği oluşturmak için, 0,1 g gallik asit tartılıp 100 ml'lik balon joje içerisinde %85'lik metanol (a/h) ile 100 ml'ye tamamlanmıştır ve 1000 ppm (mg/L) konsantrasyonunda gallik asit stok çözeltisi oluşturulmuştur. 600 ppm, 500 ppm, 400 ppm, 300 ppm, 200 ppm, 100 ppm ve 50 ppm'lik gallik asit standartlarını oluşturmak için sırasıyla 6 ml, 5 ml, 4 ml, 3 ml, 2 ml, 1 ml ve 0,5 ml miktarında 1000 ppm'lik stok çözeltisinden alınarak 10 ml'lik balon jojede %85'lik metanol ile tamamlanmıştır ve gallik asit standart çözeltileri oluşturulmuştur. Gallik asit standart çözeltilerine örnek hazırlamada uygulanan prosedür uygulanmış ve standart çözeltilerin spektrofotometrede absorpsanları ölçülerek kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur. Şekil 3.10'da görülmekte olan gallik asit standart çözeltilerine ait kalibrasyon grafiğidir.



Şekil 3.9. Sırasıyla 600 ppm, 500 ppm, 400 ppm, 300 ppm, 200 ppm, 100 ppm ve 50 ppm gallik asit standartları



Şekil 3.10. Gallik asit çözeltisi kalibrasyon grafiği

3.2.4.5 Antioksidan aktivite tayini

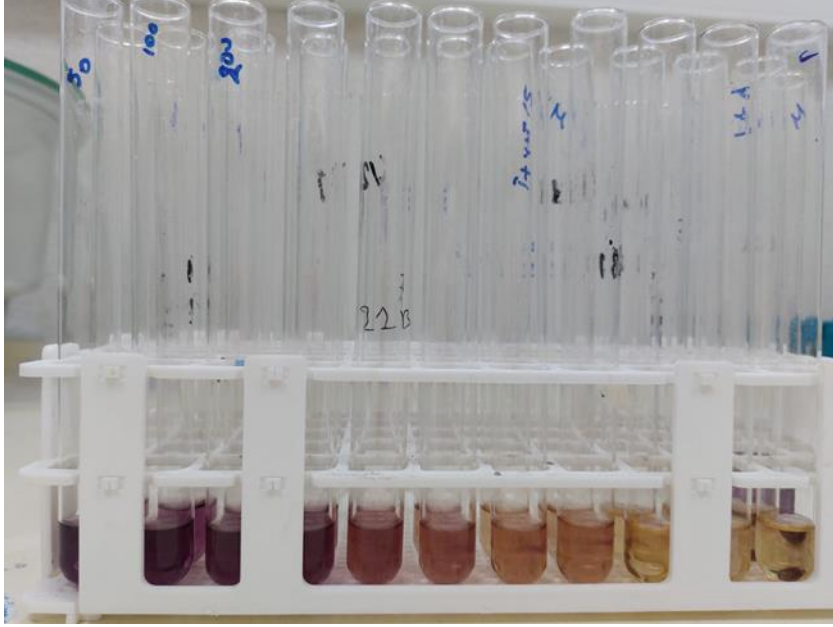
Antep fıstığı tozu örneklerinin ekstraksiyonu için Hashemi et al. (2021) tarafından uygulanan yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. 1,5 g Antep fıstığı tozu örneğine 9 ml %85'lik (a/h) metanol ilave edilerek, 4000 rpm'de 15 dakika boyunca 4 °C'de santrifüj edilmiştir. Antep fıstığı tozu örneklerinin DPPH reaktifi ile antioksidan aktivite tayini Barreca et. al. (2016) uyguladığı analiz yöntemi referans alınarak ve modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ekstraktan 60 µl alınarak son hacim 3 ml olana kadar 80 µM DPPH-metanol çözeltisi ile karıştırılmıştır. Karışım homojen olacak şekilde karıştırıldıktan sonra karanlıkta ve oda sıcaklığında 30 dakika bekletilmiştir. Süre sonunda 517 nm dalga boyunda örneklerin absorbansı spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. Aynı yöntem trolox standartlarına uygulanarak kalibrasyon grafiği oluşturulmuş ve örneğe uygulanan seyreltme miktarı dikkate alınarak sonuçlar trolox eşdeğeri olarak verilmiştir. Aynı zamanda kontrol örneği olarak metanol kullanılarak sonuçlar Eşitlik (15) ile %inhibisyon olarak da hesaplanmıştır.

$$\% inhibisyon = \frac{A_{kontrol} - A_{örnek}}{A_{kontrol}} \times 100 \quad (15)$$

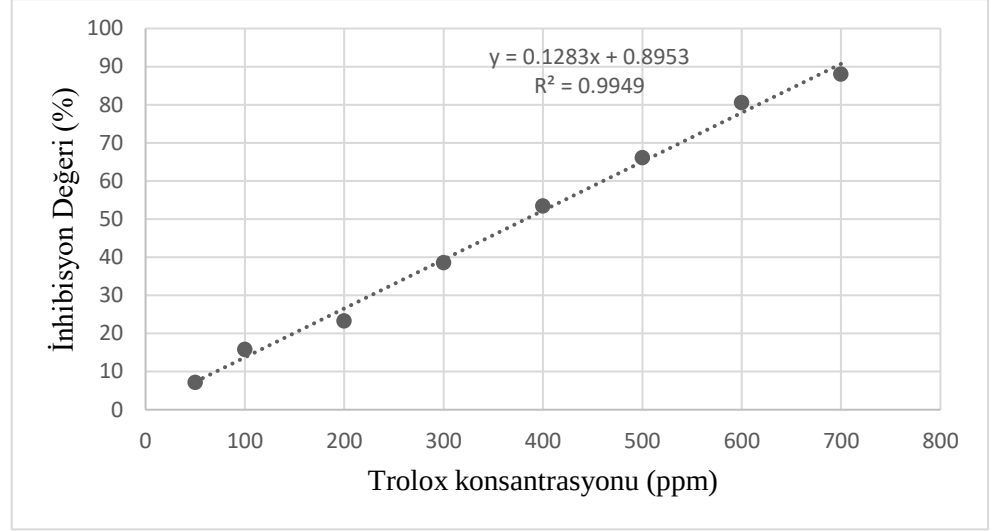
$A_{kontrol}$: kontrol örneğinin absorbans değeri

$A_{örnek}$: Antep fıstığı tozu örneğinin absorbans değeri

Trolox kalibrasyon grafiği oluşturmak için, 0,1 g trolox tartılıp 100 ml'lik balon joje içerisinde saf metanol ile 100 ml'ye tamamlanmıştır ve 1000 ppm konsantrasyonunda trolox stok çözeltisi oluşturulmuştur. 700 ppm, 600 ppm, 500 ppm, 400 ppm, 300 ppm, 200 ppm, 100 ppm ve 50 ppm'lik trolox standartlarını oluşturmak için sırasıyla 7 ml, 6 ml, 5 ml, 4 ml, 3 ml, 2 ml, 1 ml ve 0,5 ml miktarında 1000 ppm'lik stok çözeltisinden alınarak 10 ml'lik balon jojede saf metanol ile tamamlanmıştır ve trolox standart çözeltileri oluşturulmuştur. Örneğe uygulanan işlemler uygulanmış ve trolox standart çözeltilerinin spektrofotometrede absorbanları ölçölerek kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur. İnhibisyon değer (%) hesaplanan örneklerin, trolox konsantrasyonuna eş inhibisyon değer grafiği çizilmiş ve elde edilen denklem yardımıyla ($y=0,1283x+0,8953$) örneklere ait trolox konsantrasyonu (ppm) hesaplanmıştır. şekil 3.12'de görölmekte olan trolox konsantrasyonuna karşı % inhibisyon grafiğidir.



şekil 3.11. Sırasıyla 1000 ppm, 900 ppm, 800 ppm, 700 ppm, 600 ppm, 500 ppm, 400 ppm, 300 ppm, 200 ppm, 100 ppm ve 50 ppm'lik trolox standartları



Şekil 3.12. Trolox konsantrasyonuna eş inhibisyon değeri

3.2.4.6 Peroksit analizi

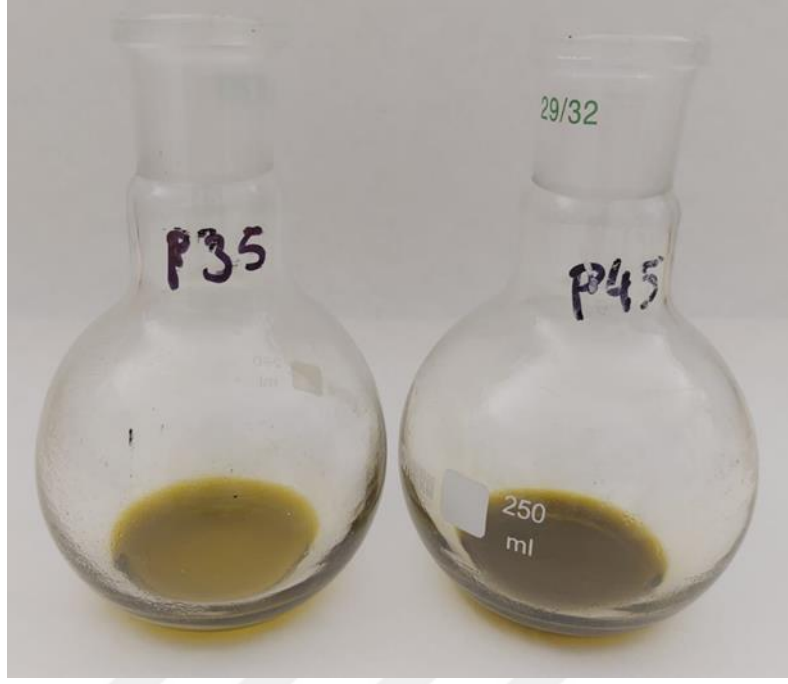
Peroksit, serbest yağ asitliği ve p-anisidin analizlerinde kullanılmak üzere soğuk ekstraksiyon yöntemi ile Antep fıstığı tozu örneklerinden yağ elde edilmiştir. Soğuk ekstraksiyon yöntemi için Öksüzler (2015) referans alınarak; 50 g Antep fıstığı tozu üzerine yaklaşık 100 ml n-hekzan eklenmiş, oda sıcaklığında ve karanlıkta yaklaşık 24 saat boyunca bekletilmiştir. Süre sonunda örnek ve hekzan karışımı siyah bant filtre kağıdından süzölmüş ve hekzan 60 °C’de 1200 devirde vakum altında dönerli buharlaştırıcı kullanılarak uzaklaştırılmıştır. Elde edilen yağ örneğinin üst kısmındaki ve çeperlerde bulunan hava boşluğu azot gazı ile süpürüldükten sonra belirtilen analizlerde kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Antep fıstığı tozu ve hekzanın filtre kağıdı ile süzülmesi



Şekil 3.14. Vakumlu evaporatör cihazı

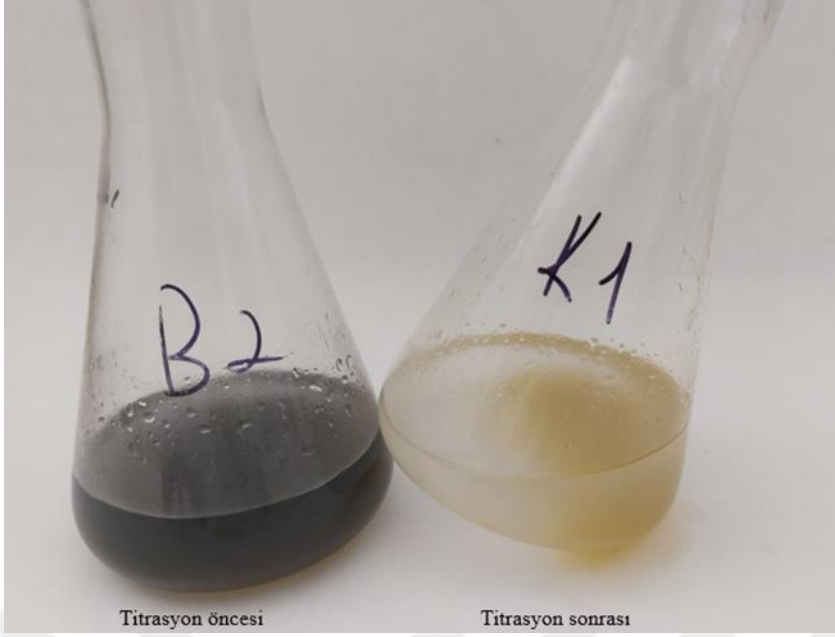


Şekil 3.15. Antep fıstığı yağı

Peroksit analizi, AOCS standart metodu (Official Method Cd 8b-90) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Soğuk ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen 2 g yağ örneği erlenmayer içerisinde tartılmış ve üzerine 10 ml kloroform ilave edildikten sonra erlenmayer hızla çalkalanarak yağın çözülmesi sağlanmıştır. Sıra ile 15 ml asetik asit ve 1 ml taze hazırlanmış olan doygun potasyüm iyodür ilave edilmiş erlenmayerin ağzı kapatılarak 1 dakika boyunca çalkalanmıştır. Oda sıcaklığında ve karanlıkta 5 dakika boyunca bekletilmiştir. Süre sonunda 75 ml saf su ve 1 ml %1 lik nişasta çözeltisi indikatörlüğünde 0,01 N sodyum tiyosülfat çözeltisi ile beyaz renk elde edilinceye kadar titre edilmiştir. Sonuçlar Eşitlik(16) kullanılarak hesaplanmış olup, mEq.O₂/kg yağ birimine uygun olarak verilmiştir.

$$\text{Peroksit değeri} = \frac{0.01 \times (S - KS)}{m} \times 1000 \quad (16)$$

S: örnek sarfiyatı (ml), KS: kör sarfiyat (ml), m:örnek miktarı (g)



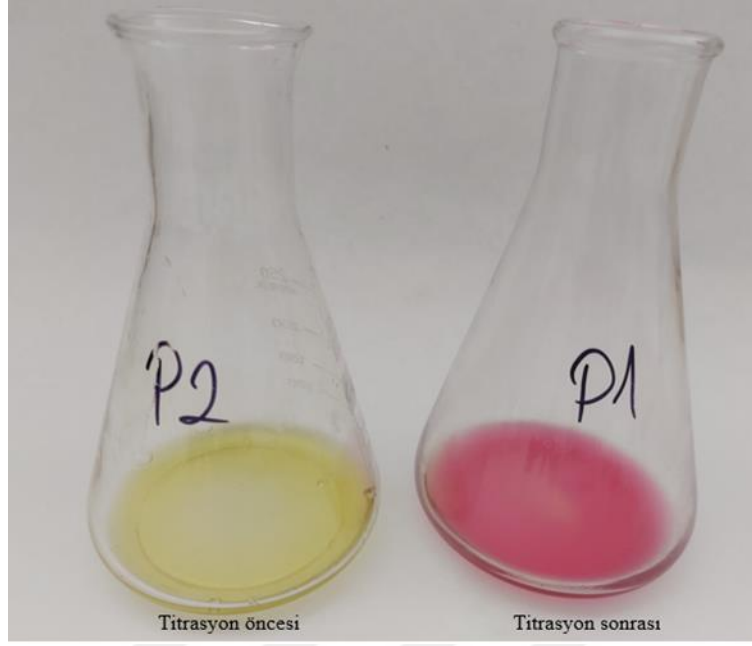
Şekil 3.16. Peroksit analizi

3.2.4.7 Serbest yağ asitliği analizi

Serbest yağ asitliği analizi, AOCS standart metodu (Official Method Ca 5a-40) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Soğuk ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen 0,5 g yağ örneği 10 ml etanol ve 10 ml dietil eter ile çözüldürülmüştür. Yağ örneği içerisindeki serbest yağ asitleri 0,05 N etanollü potasyum hidroksit çözeltisi ile fenolftalein indikatörlüğünde açık pembe renk elde edilinceye titre edilmiştir. Serbest yağ asitlerinin (SYA) miktarı oleik asit cinsinden %(a/a), Eşitlik(17) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\%Serbest\ yağ\ asitliği\ miktarı = \frac{0.05 \times (S - KS) \times 282}{10 \times m} \quad (17)$$

S: örnek sarfiyatı (ml), KS: kör sarfiyat (ml), m:örnek miktarı (g)



Şekil 3.17. Serbest yağ asitliği analizi

3.2.4.8 p-anisidin analizi

Antep fıstığı tozu örneklerinde gerçekleşen oksidasyon reaksiyonunun incelenmesinde, ikincil oksidasyon ürünlerinin miktarındaki değişim, p-anisidin analizi ile AOCS standart metodu (Official Method Cd 18-90) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Soğuk ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen yağ örneğinden 0,20 g alınarak iso-oktan ile 20 ml'ye seyreltilmiştir. %1'lik (a/h) olarak hazırlanan çözeltiden 5 ml cam bir tüpe alınarak 1 ml p-anisidin çözeltisi eklenmiştir. %1 lik çözeltiden 2. bir cam tüpe p-anisidin eklenmeden 5 ml alınmıştır. Kör ölçüm olarak 5 ml iso-oktan çözeltisine 1 ml p-anisidin çözeltisi eklenerek tüm örnekler 10 dakika boyunca karanlıkta bekletilmiştir. Süre sonunda, 350 nm dalga boyunda absorbans değişimi Eşitlik(18) kullanılarak, p-anisidin değeri (p-anV) hesaplanmıştır.

$$p - anV = \frac{25 \times (1.2 \times A_s - A_b)}{m} \quad (18)$$

A_s : p-anisidin reaktifi eklenen örneğin 350 nm dalga boyundaki absorbansı

A_b : p-anisidin reaktifi eklenmeyen örneğin 350 nm dalga boyundaki absorbansı

m: örnek miktarı (g)

3.2.4.9 Toplam oksidasyon değerinin hesaplanması

Örneklerden elde edilen yağların toplam oksidasyon değeri (TOTOX değeri); Eşitlik (19) formülü ile hesaplanmıştır (Cao et al, 2014).

$$\text{TOTOX} = 2 \times \text{PV} + \text{p} - \text{anV} \quad (19)$$

PV: Peroksit değeri

p-anV: p-anisidin değeri

3.2.4.10 Depolama süresince peroksit değeri, serbest yağ asitliği değeri ve p-anisidin değeri değişiminin kinetik analizi

Tüm depolama koşullarında, depolama sırasında peroksit değeri, serbest yağ asitliği değeri ve p-anisidin değerindeki değişim kinetiğinin matematiksel olarak belirlenmesi amacıyla, elde edilmiş olan veriler kinetik modellemeye tabi tutulmuş ve reaksiyon derecesi ve ilgili katsayılar Tablo 2.5'teki eşitlikler kullanılarak, en küçük kareler yöntemi ile doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizi ile Matlab 2022a (Curve fitting tools) paket programı kullanılarak belirlenmiştir. Modelin uygunluğunun saptanabilmesi için, R^2 ortalama değeri hesaplanmıştır. Farklı sıcaklıklarda depolamaya alınan kalite parametrelerinin zamana göre değişimin hem birinci derece hem de sıfırıncı derece reaksiyon kinetiğine uyduğundan dolayı, hesaplamalarda her iki reaksiyon kinetiğine ait denklemler kullanılmıştır.

İlgili katsayılar modeller için hesaplandıktan sonra, reaksiyon hızlarının sıcaklığa bağımlılığını tanımlamak için Arrhenius denklemi uygulanmıştır (Tablo 2.5). Bu amaçla incelenen kriterlere ilişkin k değerlerinin doğal logaritmaları ($\ln k$) aritmetik skalalı bir grafiğin y eksenine ve bu değerlere karşılık gelen sıcaklık değerlerinin resiprokali ($1/T$) x eksenine işlenerek lineer bir eğri elde edilmiş ve regresyon analizi uygulanarak, elde edilen denklemdeki eğim değeri ile ideal gaz sabiti çarpılarak incelenen her bir kalite özelliğinin aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır.

Antep fıstığı tozunun, Ulusal Yasal Mevzuatta raf ömrünü belirleyici kalite kriterleri hakkında bir düzenleme bulunmamaktadır. Ancak yaklaşık %50 oranında yağ içeren bir ürün olarak Antep fıstığı tozunun raf ömrü üzerine, yağ fraksiyonun

kalite kriterlerinin belirleyici olduğu düşünölebilir. Türk Gıda Kodeksi (2012) ve Codex Alimentarius International Food Standarts (2021) “Bitki adı ile anılan yağlar tebliğine” göre soğuk preslenmiş ve natürel yağlarda peroksit değerin en çok 15 mEq.O₂/kg yağ ve serbest yağ asidi miktarının en çok %2 (4 mg KOH/g yağ) olabileceğı belirtilmiştir. Bu nedenle, peroksit sayısı ve serbest yağ asidi miktarı ile ilgili Eşitlik (10) kullanılarak limit değere göre, incelenen her bir kalite özelliğı için Antep fıstığı tozunun raf ömrü tahminlenmiştir. Referans sıcaklık, depolama sıcaklık aralığını merkezi değeri olan 30 °C olarak kabul edilmiştir Ayrıca, Tablo 2.5’te gösterilen yarı ömür eşitlikleri kullanılarak, reaksiyon kinetiğinden hesaplanan katsayılar ile incelenen her bir kalite özelliğı için yarı ömür süreleri hesaplanmıştır.

3.2.4.11 İstatistiksel analiz

İstatistiksel analizler için, SPSS Statistics v.25 (IBM, ABD) paket programı kullanılmıştır. Farklı ambalaj uygulamalarının raf ömrü ilişkisini ortaya koymak için “One-way ANOVA between groups” analizi gerçekleştirilmiştir. Depolama süreci boyunca kalite parametrelerinin birbiri ile ilişkisini belirlemek için “Tukey test” analizi kullanılmıştır. İstatistiksel analizler için %95 güven aralığı dikkate alınmıştır.

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Antep Fıstığı Tozunda Gerçekleştirilen Bileşim Analizleri

4.1.1 Antep fıstığı tozunun besin içeriğinin belirlenmesi

Çalışmada kullanılan Antep fıstığı tozunun besin içeriğini belirlemek için yapılan analizlerin sonucu Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Antep fıstığı tozunun 100 g’daki besin içeriği

Besin içeriği	Miktar (%)
Nem	3,61±0,10
Kül	2,38±0,06
Protein	22,98±0,24
Yağ, toplam	50,60±0,28
Karbonhidrat, toplam	20,49±0,09

Analizlerde kullanılan Antep fıstığı tozunun %3,61 nem, %2,38 kül, %22,98 protein, %50,60 toplam yağ ve %20,49 toplam karbonhidrat içerdiği tespit edilmiştir. Türkomp (2023) verilerine göre taze (kavlatılmamış) Antep fıstığının ortalama %4,51 nem, %2,61 kül, %17,64 protein, %51,15 toplam yağ ve %24,10 toplam karbonhidrat içerdiği belirtilmiştir.

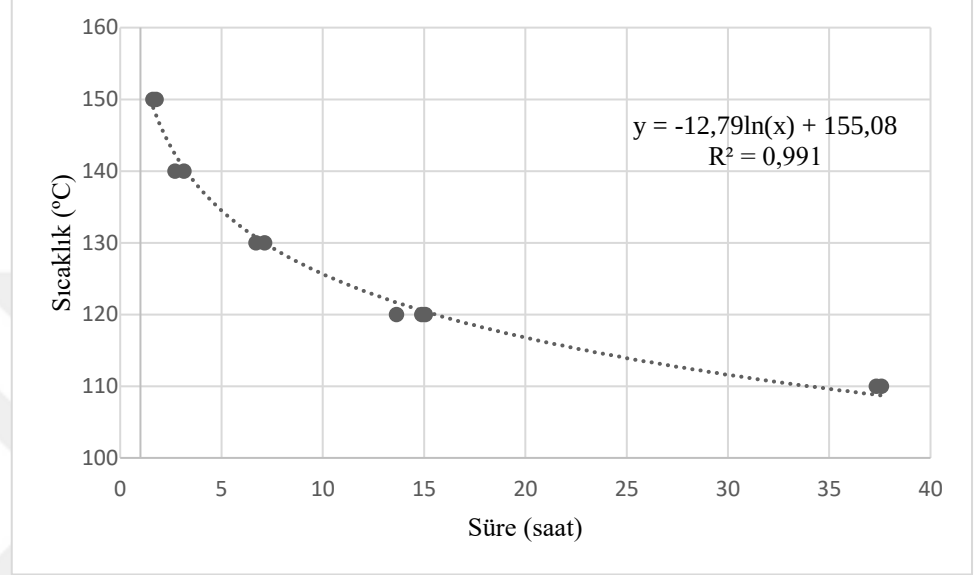
Küçüköner et al., (2003) tarafından yapılan bir çalışmada Türkiye’de üretilen *Pistacia vera* çeşitlerinin bazı kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışmaya göre Antep fıstığı çeşitlerinin nem miktarı %3,14-3,33 aralığındaki değerlerde, kül miktarı %2,47-2,66 aralığındaki değerlerde, protein miktarı %20,18-23,62 aralığındaki değerlerde ve toplam yağ miktarı ise %56,03-57,65 aralığındaki değerlerde olduğu saptanmıştır.

Çınar (2012) tarafından yapılan bir çalışmada Türk Antep fıstığı çeşitlerinde nem miktarı %3,13-4,67 aralığında, kül miktarı %2,41-3,23 aralığında, protein miktarı %11,43-21,61 aralığında ve toplam yağ miktarı ise %50,77-58,31 aralığında değiştiği belirtilmiştir.

Tez çalışmamızda kullandığımız Antep fıstığı örneklerinin kimyasal bileşim olarak, yapılan diğer çalışma sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

4.1.2 Ransimat analizi

Yağların oksidasyon stabilitesi, hızlandırılmış bir yöntem olan Ransimat analizi ile belirlenebilmektedir (Mateos et al., 2006). Antep fıstığı yağında 110-120-130-140-150 °C’de gerçekleştirilen ransimat analizi sonucu Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Ransimat analizi grafiği

Antep fıstığı yağının 110 °C’de indüksiyon süresi (DSI) 37,46±0,18 saat olarak belirlenmiştir.

Ciemniewska-Zytkiewicz et al. (2014) yapmış olduğu çalışmada, 110 °C’deki indüksiyon süresinin fındık yağında 10,05-18,96 saat aralığında, zeytinyağında 10,61-21,63 saat aralığında ve kolza yağında 9,45-11,81 saat aralığında olduğunu belirlemiştir.

Gülmez et al. (2019) yapmış olduğu bir çalışmada saf fındık yağının indüksiyon süresinin 110 °C’de 13,67 olduğunu belirlemişlerdir.

Yahyavi et al., (2020) yapmış olduğu bir çalışmada İran ve Doğu Azerbaycan’da yetişen Antep fıstığı çeşitlerinin yağ kalitesini belirlemiştir. Bu çalışmada 110 °C ‘de Antep fıstığı çeşitlerinin indüksiyon süreleri (DSI) 12,4-17 saat aralığındaki değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Dini et al. (2023) yapmış olduğu bir çalışmada İran’da yetişen Antep fıstığı çeşitlerinde indüksiyon süresinin 110 °C’de 12,24-14,75 saat aralığında olduğunu belirtmiştir.

Yapılan çalışmalarda da görüldüğü üzere, çalışmamızda kullanılan Antep fıstığı yağının 110 °C’de indüksiyon süresi daha fazladır. Bu durum, çalışmada kullanılan ürünün kaliteli ve taze (yeni hasat edilmiş) olduğunun bir göstergesidir.

4.1.3 Yağ asidi kompozisyonu

Antep fıstığı yağının yağ asidi kompozisyonu Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Antep fıstığı yağının yağ asidi kompozisyonu

Yağ asidi kompozisyonu	(%)
Miristik asit (C14:0)	0,12
Palmitik asit (C16:0)	8,60
Palmitoleik asit (C16:1)	0,54
Margarik asit (C17:0)	0,04
Margaoleik asit (C17:1)	0,05
Stearik asit (C18:0)	2,36
Oleik asit (C18:1)	70,90
Linoleik asit (C18:2)	16,05
Linolenik asit (C18:3)	0,24
Araşidik asit (C20:0)	0,50
Gadoleik asit (C20:1)	0,32
Behenik asit (C22:0)	0,14
Lignoserik asit (C24:0)	0,05

Tablo 4.2 sonuçlara benzer olarak Çınar (2012) yapmış olduğu bir çalışmada, Antep fıstığının Uzun çeşidinde doymuş yağ asidi oranları (%) miristik asit %0,08 olarak, palmitik asit %8,56-8,66 aralığında, margarik asit %0,04 olarak, stearik asit %1,76-2,21 aralığında, araşidik asit %0,14-0,15 aralığında, behenik asit %0,03-0,20 aralığında ve lignoserik asit ise %0,1 olarak tespit edilmiştir. Doymamış yağ asidi oranları (%) ise; palmitoleik asit %0,66-0,71 aralığında, margaoleik asit %0,05-0,06 aralığında, oleik asit %64,22-69,31 aralığında, linoleik asit %18,14-23,05 aralığında, linolenik asit %0,29-0,35 aralığında ve gadoleik asit ise %0,38-0,51 aralığında tespit edilmiştir.

4.2 Raf Ömrü Analizleri

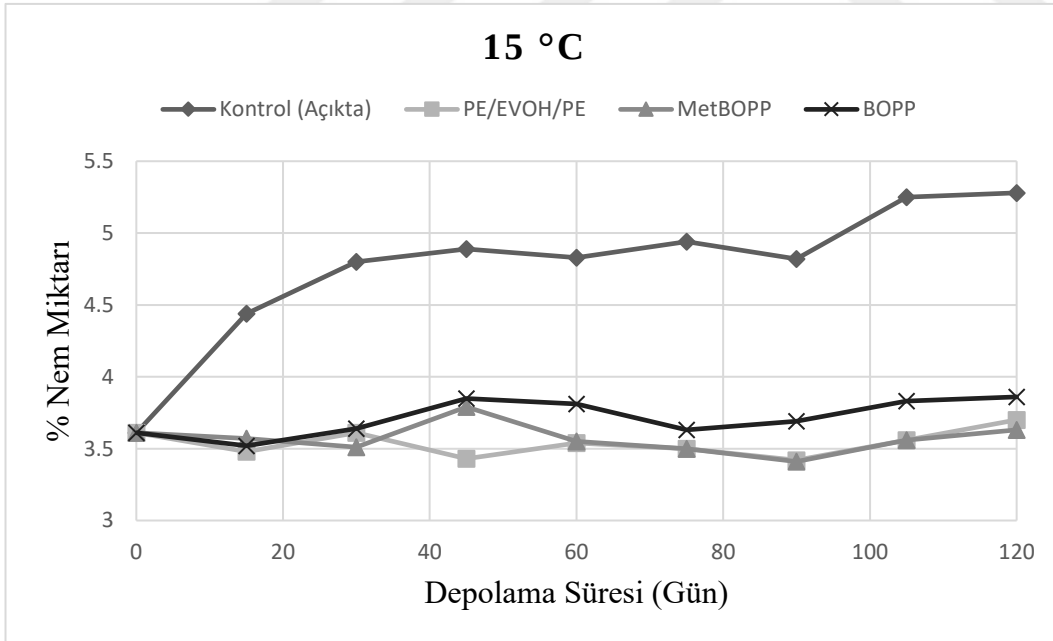
4.2.1 Nem miktarı (%) analizi

15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %nem miktarları Tablo 4.3’te verilmiştir. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %nem miktarı dağılım grafikleri ise sırasıyla Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’teki gibidir.

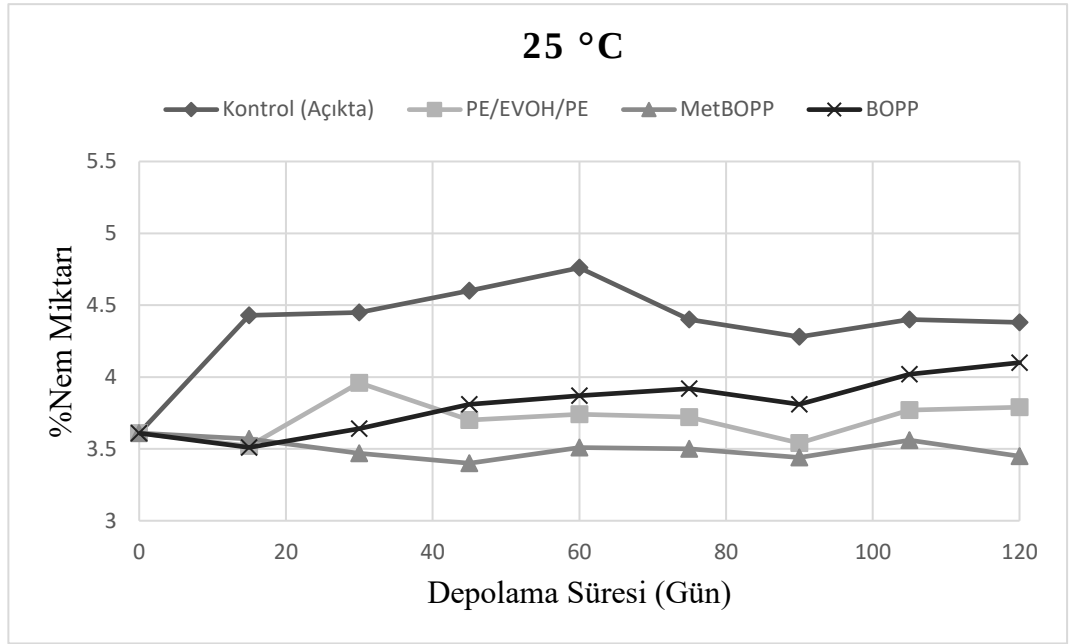
Dağılım grafiklerinde de görüldüğü gibi, tüm depolama sıcaklıklarında depolanan Antep fıstığı tozu örneklerindeki nem değişiminin en fazla kontrol örneğinde olduğu belirlenmiştir. Başlangıç nem içeriği %3,61 olan örneklerde, 15°C, 25°C ve 35°C’de depolama süresi boyunca nem miktarının zamana bağlı olarak bir artış içerisinde olduğu ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir ($p<0,05$). Belirtilen üç depolama sıcaklığında; nem kazanımının depolama sıcaklığı arttıkça azaldığı ve 120 günlük depolama süresi sonunda nem değerlerinin sırayla %5,28; %4,38 ve %4,09 olduğu belirlenmiştir. 45°C depolama sıcaklığında ise, kontrol örneği periyodik olarak nem kaybına uğramış ve 120 günün sonunda nem miktarı %3,41’e düşmüştür.

Ambalajlı örneklerin nem içerikleri, tüm depolama sıcaklıklarında depolama süresi boyunca hafif dalgalanmalar göstermiş ve ambalaj malzemesinin WVTR değeri ile doğru orantılı olarak değişim göstermiştir. 15°C’de 120 günlük depolama süresinin sonunda, nem içeriği başlangıç değeri olan % 3,61’den; MetBOPP örneklerinde %3,63’e, PE/EVOH/PE örneklerinde %3,70’e ve BOPP örneklerinde 3,86’ya yükselmiştir. 25°C’de örneklerin nem kazanım miktarları artmış, bazı örnekler nem kaybetmişler ve 120 günlük depolama süresinin sonunda MetBOPP örneklerinde %3,45’e düşerken, PE/EVOH/PE örneklerinde %3,79’a ve BOPP örneklerinde 4,10’a yükselmiştir. 35°C’de 120 günlük depolama süresinin sonunda MetBOPP örneklerinde %3,34’e, PE/EVOH/PE örneklerinde %3,46’ya düşerken, BOPP örneklerinde 3,72’ye yükselmiştir. 45°C’de ise kontrol örneği de dahil tüm örneklerin nem içerikleri düşmüş ve nem içerikleri 120 günlük depolama süresinin sonunda MetBOPP örneklerinde %3,29; PE/EVOH/PE ve BOPP örneklerinde %3,32 olmuştur.

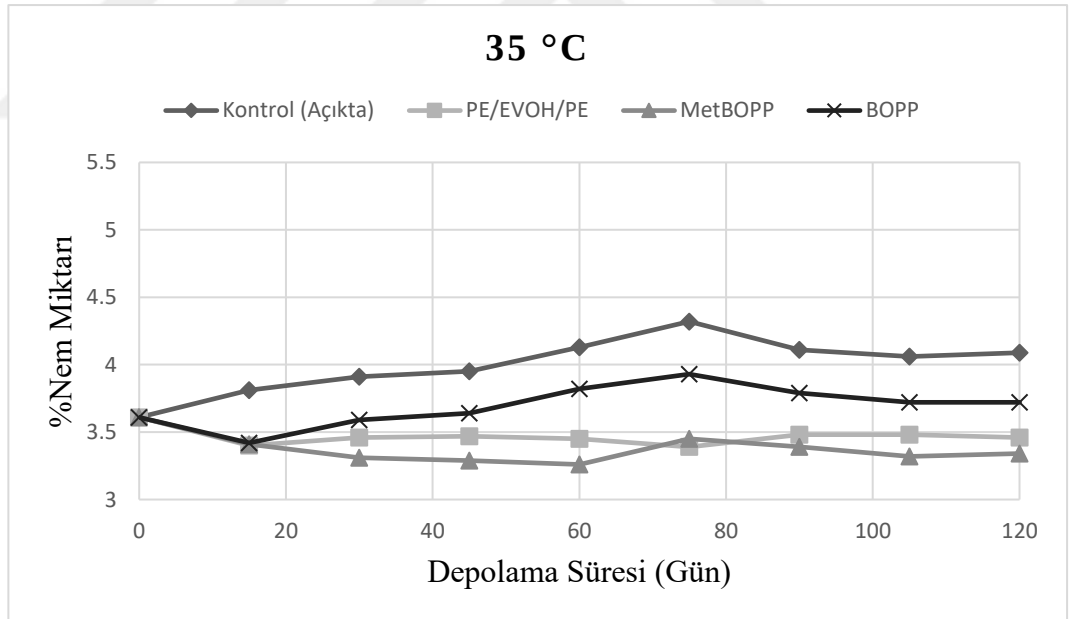
Elde ettiğimiz sonuçlardan, ambalaj malzemesinin su buharı geçirgenlik özelliğinin ve depolama sıcaklığının örneklerin nem değişimi üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ürünün nem miktarındaki değişimde, ambalaj malzemesinin WVTR değeri önemli bir faktördür. Çalışmamızda kullanılan her üç ambalaj malzemesinin de WVTR değerleri birbirine yakın olmakla beraber, MetBOPP tüm malzemeler içerisinde en düşük WVTR değerine sahiptir ($WVTR_{MetBOPP} \leq 0,5$ g/m²gün, $WVTR_{PE/EVOH/PE}$ ve $WVTR_{BOPP} \leq 4$ g/m²gün). Ancak kullanılan tüm ambalaj malzemelerinin Antep fıstığı tozu örneklerindeki nem değişimi açısından koruyucu özellik sergilediği ve örneklerin açıkta ve 45°C gibi yüksek sıcaklıklarda depolanması durumunda bile nem değişimin düşük miktarlarda kaldığı ve örneğin bu ortam koşullarında nem değişimine uğramaya yönelik yani higroskopik bir örnek olmadığı sonucuna varılmıştır. Depolama sıcaklığının artmasıyla, nem kazanımının azaldığı hatta örneklerin nem kaybettiği belirlenmiştir. Çünkü; sabit bağıl nemde, ürünün nem içeriği artan sıcaklıkla birlikte azalmaktadır (Makower et al., 1943; Palipane et al., 1992; Goula et al., 2008). Sıcaklığın yükselmesiyle birlikte, su moleküllerinin enerjileri de artmakta, gıdadan daha kolay uzaklaşabilmekte ve böylece gıdanın nem içeriği azalmaktadır (Goula et al., 2008; Aviara, 2020).



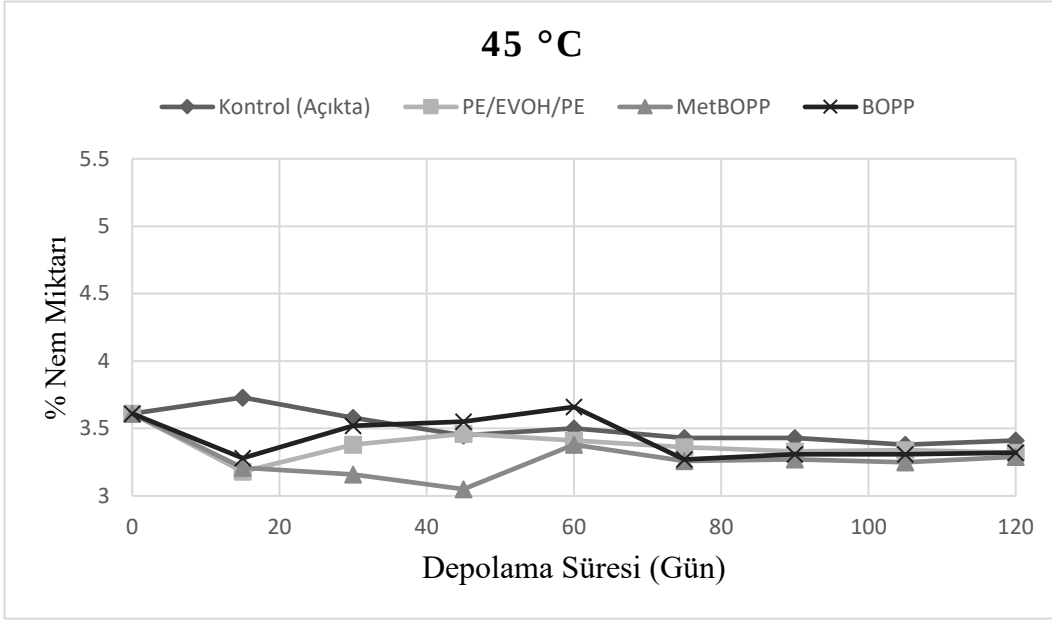
Şekil 4.2. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %nem miktarı dağılım grafiği



Şekil 4.3. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %nem miktarı dağılım grafiği



Şekil 4.4. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %nem miktarı dağılım grafiği



Şekil 4.5. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %nem miktarı dağılım grafiği

Tablo 4.3. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %nem miktarı

Sıcaklık	Depolama süresi (gün)	Kontrol (Açıkta)	PE/EVOH/PE	MetBOPP	BOPP
15 °C	0	3,61±0,10 ^{aA}	3,61±0,10 ^{abA}	3,61±0,10 ^{abA}	3,61±0,10 ^{abA}
	15	4,44±0,16 ^{bA}	3,48±0,05 ^{abA}	3,57±0,33 ^{abA}	3,52±0,28 ^{aA}
	30	4,80±0,19 ^{cB}	3,61±0,03 ^{abA}	3,51±0,05 ^{aA}	3,64±0,16 ^{abA}
	45	4,89±0,02 ^{cC}	3,43±0,11 ^{abA}	3,79±0,04 ^{bB}	3,85±0,04 ^{cB}
	60	4,83±0,08 ^{cB}	3,54±0,19 ^{abA}	3,55±0,00 ^{abA}	3,81±0,01 ^{bA}
	75	4,94±0,11 ^{cdB}	3,50±0,05 ^{abA}	3,50±0,15 ^{aA}	3,63±0,0 ^{abA}
	90	4,82±0,03 ^{cC}	3,42±0,05 ^{aA}	3,41±0,02 ^{aA}	3,69±0,04 ^{abB}
	105	5,25±0,04 ^{dC}	3,56±0,03 ^{abA}	3,56±0,06 ^{abA}	3,83±0,05 ^{bB}
	120	5,28±0,06 ^{dC}	3,70±0,02 ^{bA}	3,63±0,04 ^{abA}	3,86±0,01 ^{cB}
25 °C	0	3,61±0,10 ^{aA}	3,61±0,10 ^{aA}	3,61±0,10 ^{aA}	3,61±0,10 ^{abA}
	15	4,43±0,09 ^{bcB}	3,52±0,05 ^{aA}	3,57±0,07 ^{aA}	3,51±0,09 ^{aA}
	30	4,45±0,07 ^{bcA}	3,96±0,69 ^{aA}	3,47±0,11 ^{aA}	3,64±0,04 ^{abA}
	45	4,60±0,14 ^{cB}	3,70±0,32 ^{aA}	3,40±0,14 ^{aA}	3,81±0,18 ^{bAB}
	60	4,76±0,07 ^{dB}	3,74±0,09 ^{aA}	3,51±0,14 ^{aA}	3,87±0,09 ^{bA}
	75	4,40±0,00 ^{bcB}	3,72±0,20 ^{aA}	3,50±0,19 ^{aA}	3,92±0,09 ^{cAB}
	90	4,28±0,06 ^{bcC}	3,54±0,05 ^{aA}	3,44±0,03 ^{aA}	3,81±0,07 ^{bB}
	105	4,40±0,02 ^{bcD}	3,77±0,02 ^{abB}	3,56±0,08 ^{aA}	4,02±0,03 ^{dC}
	120	4,38±0,03 ^{bcD}	3,79±0,03 ^{abB}	3,45±0,01 ^{aA}	4,10±0,02 ^{dC}
35 °C	0	3,61±0,10 ^{aA}	3,61±0,10 ^{bA}	3,61±0,10 ^{dA}	3,61±0,10 ^{bA}
	15	3,81±0,04 ^{bA}	3,40±0,04 ^{abB}	3,41±0,01 ^{bB}	3,42±0,03 ^{abB}
	30	3,91±0,01 ^{bcD}	3,46±0,02 ^{abB}	3,31±0,02 ^{abA}	3,59±0,01 ^{bC}
	45	3,95±0,01 ^{bcD}	3,47±0,01 ^{abB}	3,29±0,01 ^{abA}	3,64±0,01 ^{bC}
	60	4,13±0,05 ^{cD}	3,45±0,04 ^{abB}	3,26±0,05 ^{aA}	3,82±0,05 ^{cdC}
	75	4,32±0,01 ^{dC}	3,39±0,02 ^{aA}	3,45±0,04 ^{cA}	3,93±0,06 ^{dB}
	90	4,11±0,01 ^{cD}	3,48±0,01 ^{abB}	3,39±0,03 ^{bA}	3,79±0,00 ^{cC}
	105	4,06±0,01 ^{cD}	3,48±0,02 ^{abB}	3,32±0,01 ^{abA}	3,72±0,04 ^{bcC}
	120	4,09±0,00 ^{cD}	3,46±0,03 ^{abB}	3,34±0,01 ^{abA}	3,72±0,02 ^{bcC}
45 °C	0	3,61±0,10 ^{cA}	3,61±0,10 ^{dA}	3,61±0,10 ^{dA}	3,61±0,10 ^{bcA}
	15	3,73±0,02 ^{dC}	3,18±0,01 ^{aA}	3,21±0,02 ^{bA}	3,28±0,03 ^{abB}
	30	3,58±0,01 ^{cD}	3,38±0,02 ^{bcB}	3,16±0,01 ^{abA}	3,52±0,02 ^{bC}
	45	3,45±0,03 ^{abB}	3,46±0,02 ^{cB}	3,05±0,03 ^{aA}	3,55±0,01 ^{bcC}
	60	3,50±0,02 ^{bB}	3,41±0,02 ^{bcA}	3,38±0,04 ^{cA}	3,66±0,01 ^{cC}
	75	3,43±0,04 ^{abB}	3,36±0,03 ^{bcB}	3,26±0,01 ^{bA}	3,27±0,02 ^{aA}
	90	3,43±0,02 ^{abB}	3,33±0,01 ^{bA}	3,27±0,01 ^{bcA}	3,31±0,04 ^{aA}
	105	3,38±0,02 ^{aC}	3,34±0,03 ^{bcB}	3,25±0,01 ^{bA}	3,31±0,01 ^{abB}
	120	3,41±0,01 ^{abB}	3,32±0,04 ^{bA}	3,29±0,01 ^{bcA}	3,32±0,01 ^{aA}

^aAynı sütundaki küçük harfler zamana göre aynı sıcaklık ve ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

^AAynı satırdaki büyük harfler farklı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

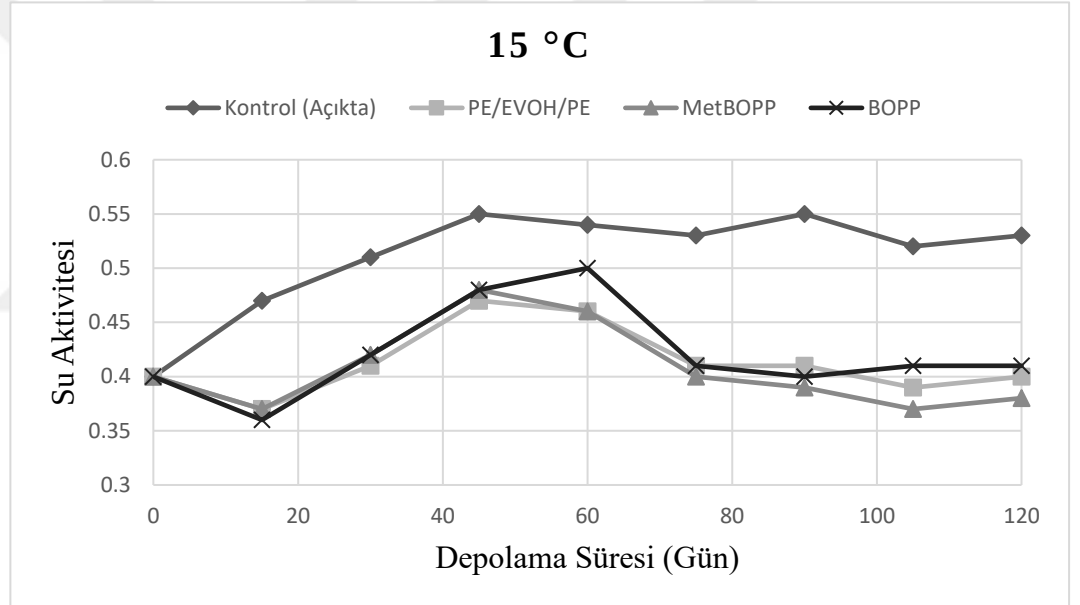
Shakerardekani et al. (2013) yapmış olduğu çalışmada; 5 farklı ambalaj malzemesi (LDPE, LDPE/PA, PVC, PA/PP, PET) ile ambalajlanan Antep fıstığını 22-28 °C’de (%85-100 bağıl nem) 10 ay boyunca depolamıştır. Antep fıstığının depolama sonundaki nem değerinin her bir ambalaj malzemesi için farklı olduğunu belirlemişlerdir. Bu durum çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlara uygun olarak kullanılan ambalaj malzemelerinin WVTR değerlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Arena et al. (2013) yapmış olduğu bir çalışmada Türkiye ve İtalya’da hasat edilen Antep fıstığı örneklerini 20 gün boyunca 10 °C, 20 °C ve 30 °C’de depolamıştır (Ambalaj malzemesi hakkında bilgi verilmemiştir). Depolama süresi boyunca sıcaklığın artmasıyla örneklerin nem miktarındaki düşüşün arttığını belirlemişlerdir. Türksever (2022), farklı WVTR değerlerine sahip 4 farklı ambalaj malzemesi (PET/Al-folyo/LDPE, PET.Alox/LDPE, MetPET/LDPE, MetBOPP) ile ambalajlanmış olan toz puding karışımının depolama çalışmasında, örneklerdeki nem kazanımlarının ambalaj malzemelerinin WVTR değerlerinin yükselmesi ile arttığını belirlemiştir. Naserifar et al. (2022), farklı WVTR değerlerine sahip 2 ambalaj malzemesi (BOPP, PA/EVOH/LDPE) ile ambalajladığı tam buğday unlu ekmek örneklerinin depolanması sırasında, örneklerin nem içeriğinde ambalaj malzemesinin WVTR değeri ile doğru orantılı bir artış tespit etmişlerdir.

4.2.2 Su aktivitesi (a_w) analizi

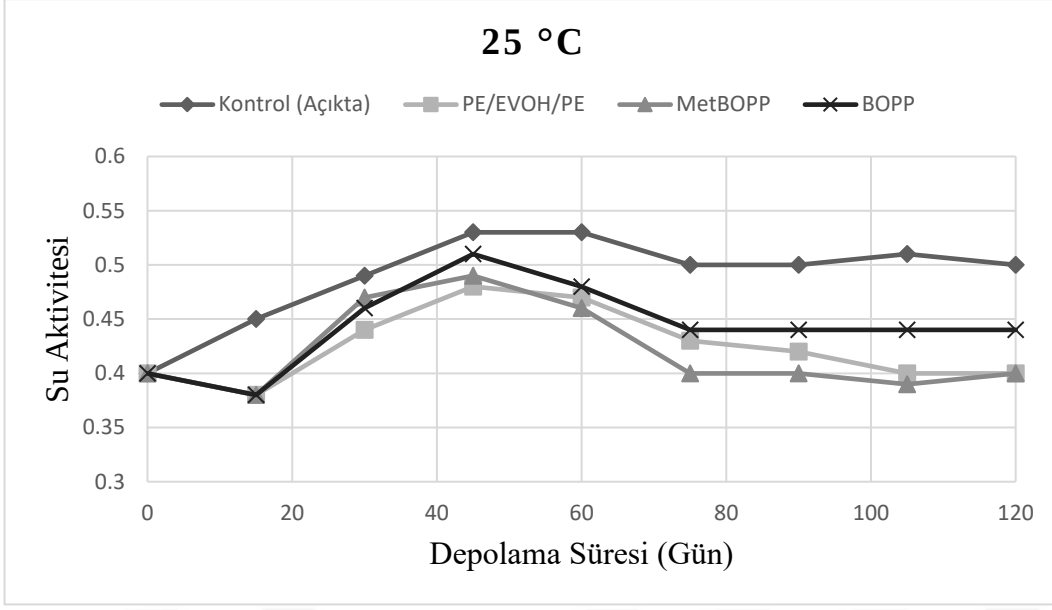
15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait su aktivitesi (a_w) değerleri Tablo 4.4’te verilmiştir. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait su aktivitesi (a_w) dağılım grafikleri ise sırasıyla Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’daki gibidir.

Dağılım grafiklerinde de görüldüğü gibi, tüm depolama sıcaklıklarında depolanan Antep fıstığı tozu örneklerinin su aktivitesi değerindeki değişim en fazla kontrol örneğinde olmuştur. Başlangıç su aktivitesi 0,40 olan örneklerin, 15°C, 25°C, 35 °C ve 45°C’de depolama süresi boyunca su aktivitesi değerleri, zamana bağlı olarak artmış ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir ($p<0,05$). Belirtilen dört depolama sıcaklığında; su aktivitesindeki artışın, depolama sıcaklığı arttıkça azaldığı ve 120 günlük depolama süresi sonunda su aktivitesi değerlerinin sırayla 0,53; 0,50; 0,46 ve 0,43 olduğu belirlenmiştir. Gıdanın nem içeriğindeki azalma, su aktivitesinin azalmasına, nem içeriğinde artma su aktivitesinin artmasına neden olmaktadır (Vlasek et al., 2013). Nitekim kontrol örneğinde elde edilen sonuçlardan da, örneklerin nem değerlerindeki azalmalar olduğunda su aktivitesinin de azaldığı gözlemlenmiştir.

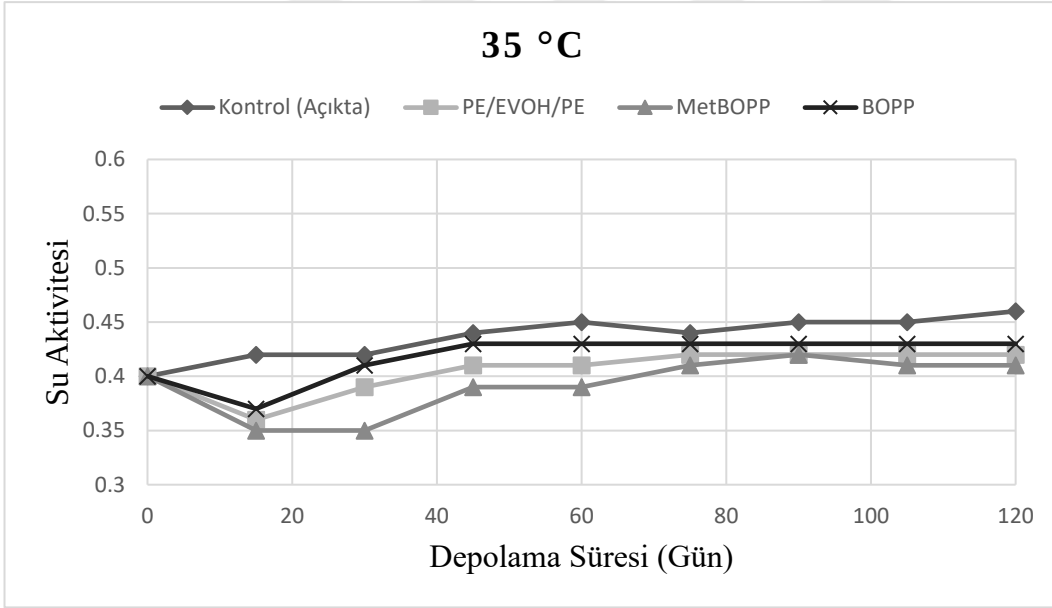
Ambalajlı olan örneklerdeki su aktivitesi değerleri, tüm depolama sıcaklarında depolama süresi boyunca hafif dalgalanmalar gösterse de 120 gün sonunda tüm ambalaj malzemeleri için örneklerin su aktivitesi değerinin başlangıç su aktivitesi değerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. 15°C’de 120 günlük depolama süresinin sonunda, su aktivitesi başlangıç değeri olan 0,40’dan; MetBOPP örneklerinde 0,38’e düşmüş, PE/EVOH/PE örneklerinde 0,40 ile değişmemiş ve BOPP örneklerinde 0,41’e yükselmiştir. 25°C’de 120 günlük depolama süresinin sonunda MetBOPP ve PE/EVOH/PE örneklerinde su aktivitesi miktarı 0,40 ile değişmemiş, BOPP örneklerinde 0,44’e yükselmiştir. 35°C’de 120 günlük depolama süresinin sonunda MetBOPP örneklerinde 0,41’e, PE/EVOH/PE örneklerinde 0,42’ye ve BOPP örneklerinde ise 0,43’e yükselmiştir. 45°C’de ise su aktivitesi değerleri 120 günlük depolama süresinin sonunda MetBOPP ve PE/EVOH/PE örneklerinde 0,41’e, BOPP örneklerinde 0,42’ye yükselmiştir.



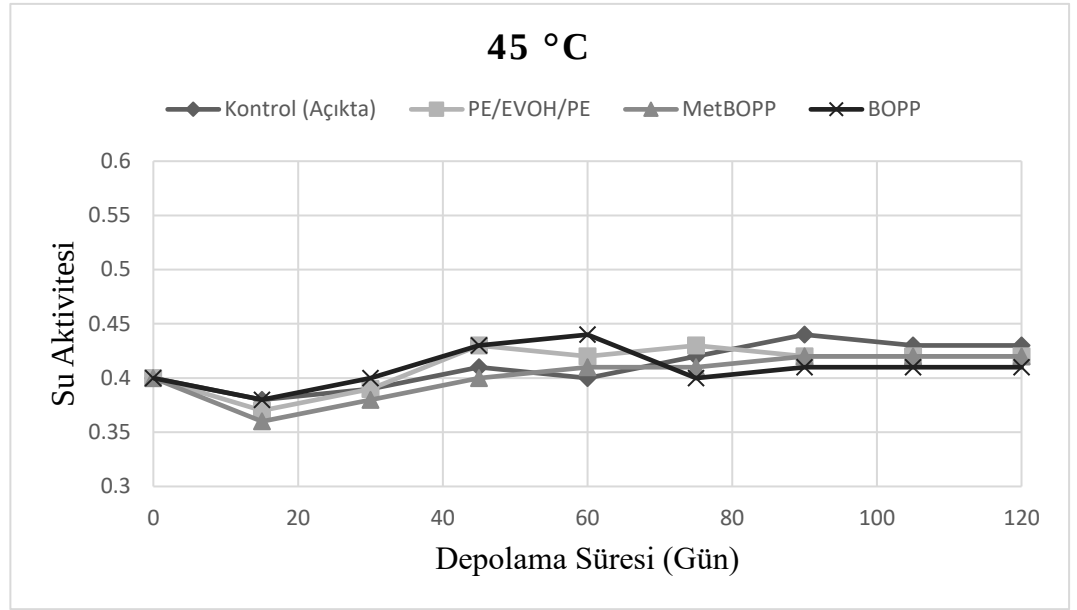
Şekil 4.6. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait su aktivitesi (a_w) dağılım grafiği



Şekil 4.7. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait su aktivitesi (a_w) dağılım grafiği



Şekil 4.8. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait su aktivitesi (a_w) dağılım grafiği



Şekil 4.9. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait su aktivitesi (a_w) dağılım grafiği

Tablo 4.4. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait su aktivitesi(a_w)

Sıcaklık	Depolama süresi (gün)	Kontrol (Açıkta)	PE/EVOH/PE	MetBOPP	BOPP
15 °C	0	0,40±0,00 ^{aA}	0,40±0,00 ^{abA}	0,40±0,00 ^{bA}	0,40±0,00 ^{bA}
	15	0,47±0,00 ^{bB}	0,37±0,00 ^{aA}	0,37±0,00 ^{aA}	0,36±0,00 ^{aA}
	30	0,51±0,00 ^{cB}	0,41±0,00 ^{bA}	0,42±0,00 ^{cA}	0,42±0,00 ^{bA}
	45	0,55±0,00 ^{eB}	0,47±0,00 ^{cA}	0,48±0,00 ^{eA}	0,48±0,00 ^{cA}
	60	0,54±0,00 ^{dB}	0,46±0,00 ^{cA}	0,46±0,00 ^{dA}	0,50±0,00 ^{cAB}
	75	0,53±0,00 ^{cdB}	0,41±0,00 ^{bA}	0,40±0,00 ^{bA}	0,41±0,00 ^{bA}
	90	0,55±0,00 ^{eC}	0,41±0,00 ^{bB}	0,39±0,00 ^{abA}	0,40±0,00 ^{bAB}
	105	0,52±0,00 ^{cD}	0,39±0,00 ^{abB}	0,37±0,00 ^{aA}	0,41±0,00 ^{bC}
	120	0,53±0,00 ^{cdB}	0,40±0,00 ^{abA}	0,38±0,00 ^{abA}	0,41±0,00 ^{bA}
25 °C	0	0,40±0,00 ^{aA}	0,40±0,00 ^{aA}	0,40±0,00 ^{aA}	0,40±0,00 ^{bA}
	15	0,45±0,00 ^{bB}	0,38±0,00 ^{aA}	0,38±0,00 ^{aA}	0,38±0,00 ^{aA}
	30	0,49±0,00 ^{cB}	0,44±0,00 ^{cA}	0,47±0,00 ^{bcAB}	0,46±0,00 ^{dAB}
	45	0,53±0,00 ^{eB}	0,48±0,00 ^{dA}	0,49±0,00 ^{cA}	0,51±0,00 ^{eB}
	60	0,53±0,00 ^{eB}	0,47±0,00 ^{dA}	0,46±0,00 ^{bA}	0,48±0,00 ^{dA}
	75	0,50±0,00 ^{cdC}	0,43±0,00 ^{bcB}	0,40±0,00 ^{aA}	0,44±0,00 ^{cB}
	90	0,50±0,00 ^{cdC}	0,42±0,00 ^{bAB}	0,40±0,00 ^{aA}	0,44±0,00 ^{cB}
	105	0,51±0,00 ^{dC}	0,40±0,00 ^{aA}	0,39±0,00 ^{aA}	0,44±0,00 ^{cB}
	120	0,50±0,00 ^{cdC}	0,40±0,00 ^{aA}	0,40±0,00 ^{aA}	0,44±0,00 ^{cB}
35 °C	0	0,40±0,00 ^{aA}	0,40±0,00 ^{bcA}	0,40±0,00 ^{bA}	0,40±0,00 ^{bA}
	15	0,42±0,00 ^{bB}	0,36±0,00 ^{aA}	0,35±0,00 ^{aA}	0,37±0,00 ^{aA}
	30	0,42±0,00 ^{bC}	0,39±0,00 ^{bB}	0,35±0,00 ^{aA}	0,41±0,00 ^{bBC}
	45	0,44±0,00 ^{bcB}	0,41±0,00 ^{bcA}	0,39±0,00 ^{bA}	0,43±0,00 ^{cB}
	60	0,45±0,00 ^{bcD}	0,41±0,00 ^{bcB}	0,39±0,00 ^{bA}	0,43±0,00 ^{cC}
	75	0,44±0,00 ^{bcB}	0,42±0,00 ^{cA}	0,41±0,00 ^{bcA}	0,43±0,00 ^{cB}
	90	0,45±0,00 ^{bcB}	0,42±0,00 ^{cA}	0,42±0,00 ^{cA}	0,43±0,00 ^{cA}
	105	0,45±0,00 ^{bcC}	0,42±0,00 ^{cB}	0,41±0,00 ^{bcA}	0,43±0,00 ^{cB}
	120	0,46±0,00 ^{cC}	0,42±0,00 ^{cA}	0,41±0,00 ^{bcA}	0,43±0,00 ^{cB}
45 °C	0	0,40±0,00 ^{bA}	0,40±0,00 ^{cA}	0,40±0,00 ^{cA}	0,40±0,00 ^{bA}
	15	0,38±0,00 ^{aC}	0,37±0,00 ^{aB}	0,36±0,00 ^{aA}	0,38±0,00 ^{aC}
	30	0,39±0,00 ^{abB}	0,39±0,00 ^{bB}	0,38±0,00 ^{bA}	0,40±0,00 ^{bC}
	45	0,41±0,00 ^{bcA}	0,43±0,00 ^{eB}	0,40±0,00 ^{cA}	0,43±0,00 ^{cB}
	60	0,40±0,00 ^{bA}	0,42±0,00 ^{dB}	0,41±0,00 ^{dA}	0,44±0,00 ^{cB}
	75	0,42±0,00 ^{cB}	0,43±0,00 ^{eB}	0,41±0,00 ^{dA}	0,40±0,00 ^{bA}
	90	0,44±0,00 ^{dC}	0,42±0,00 ^{dB}	0,42±0,00 ^{eB}	0,41±0,00 ^{bA}
	105	0,43±0,00 ^{cdC}	0,42±0,00 ^{dB}	0,42±0,00 ^{eB}	0,41±0,00 ^{bA}
	120	0,43±0,00 ^{cdB}	0,42±0,00 ^{dAB}	0,42±0,00 ^{eAB}	0,41±0,00 ^{bA}

^aAynı sütundaki küçük harfler zamana göre aynı sıcaklık ve ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir ($p<0,05$).

^AAynı satırdaki büyük harfler farklı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir ($p<0,05$).

Tavakolipour et al. (2007) yapmış olduğu bir araştırmada, Antep fıstığı tozunun sorpsiyon izotermi çalışmıştır. Bu çalışmada, su aktivitesi miktarıyla örneğin nem miktarı paralellik göstermektedir. Başka bir deyişle, örneğin nem içeriğinin azalması su aktivitesi değerinin azalmasına, nem içeriğinin artması su aktivitesi değerinin artmasına neden olmaktadır. Antep fıstığı tozunun, zamana bağlı olarak su aktivitesi değerinin belirlendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Çalışmamızda kullanılan her üç ambalaj malzemesinin de Antep fıstığı tozu örneklerindeki su aktivitesi değeri açısından koruyucu özellik sergilediği ve 45°C gibi yüksek sıcaklıklarda depolanması durumunda bile su aktivitesi değeri değişimin düşük miktarlarda kaldığı belirlenmiştir.

4.2.3 Renk analizi

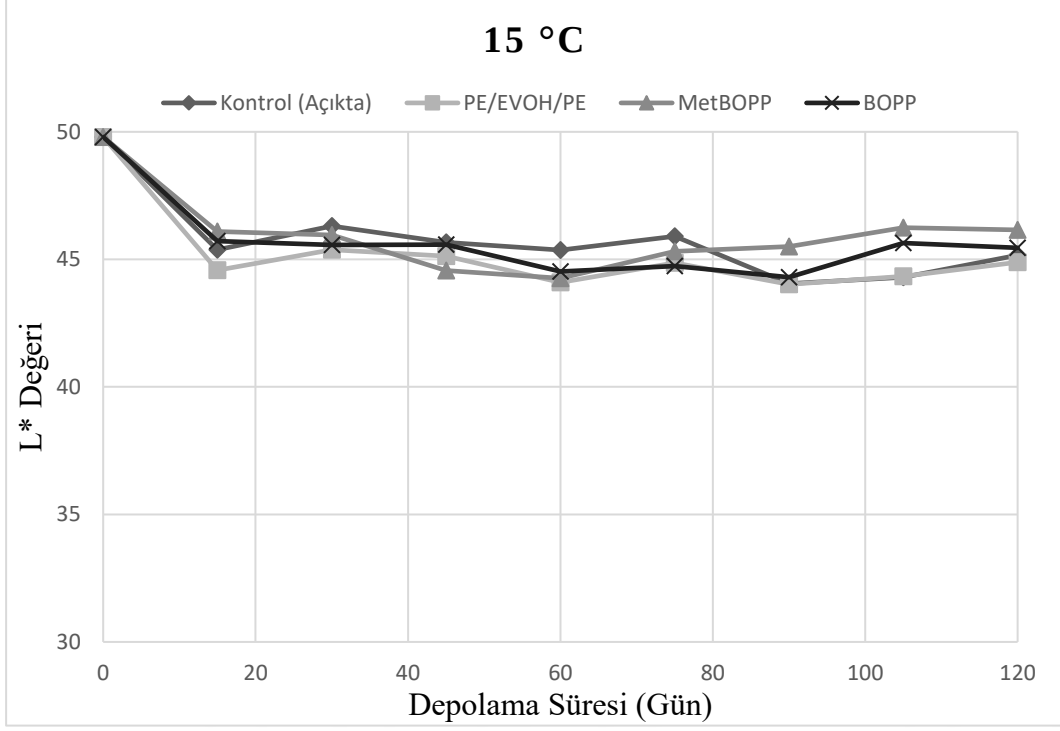
Hunter Lab Color Flex cihazı ile gerçekleştirilen renk analizine göre L* değeri aydınlık, a* değeri yeşillik ve kırmızılık ve b* değeri ise mavilik ve sarılığı ifade etmektedir. L* değeri 0-100 aralığında değişmekte olup 0 değerine yaklaştıkça koyuluğun arttığı, 100 değerine yaklaştıkça aydınlığının attığını belirtmektedir. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait L* değerleri Tablo 4.5’te, a* değerleri Tablo 4.6’da ve b* değerleri ise Tablo 4.7’de verilmiştir.

Antep fıstığı tozu örneklerinin L*, a* ve b* değerlerindeki değişim incelenirken, tüm örneklerin etüvde depolandığı için ışıktan etkilenmediği ve örneklerdeki zamana bağlı renk değişimin farklı depolama sıcaklığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

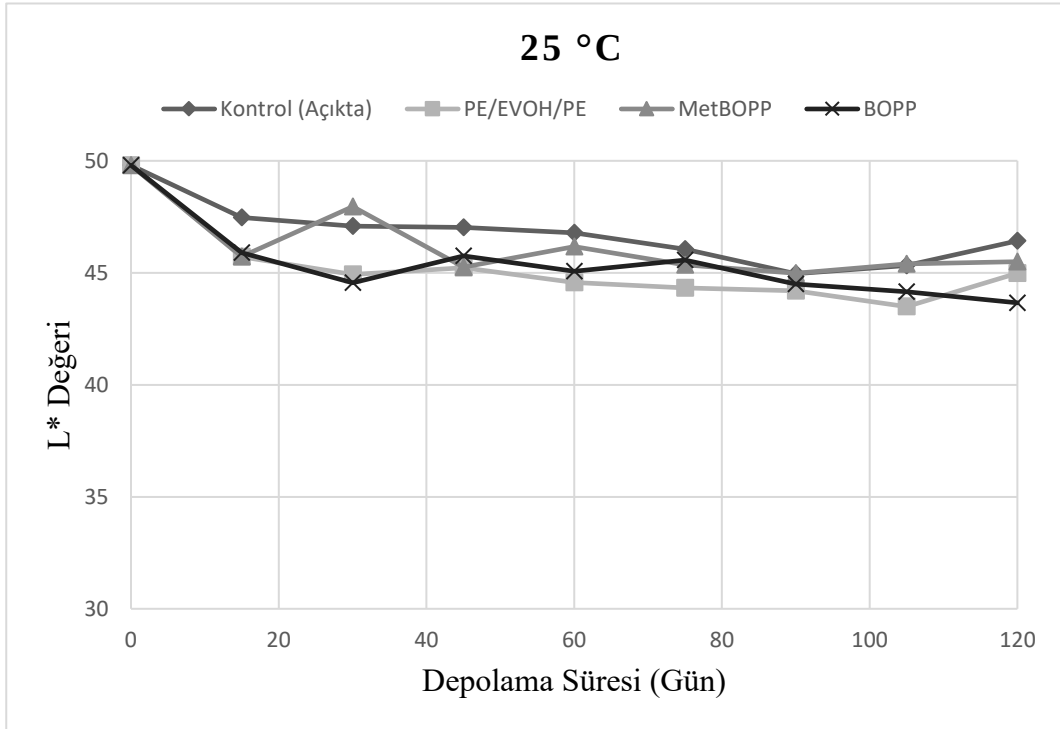
15 , 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait L* değeri dağılım grafiği Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’teki gibidir.

Tablo 4.5 ve dağılım grafiklerinde de görüldüğü gibi, tüm depolama koşullarında, L* değerinde bir azalma olduğu gözlenmiştir. Tüm örneklerde, L* değerinin zamana bağlı olarak azaldığı ve bu azalmanın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). L* değerinin zamana bağlı olarak azalması, Antep fıstığı tozunun renginin koyulaşmasını (kahverengileşmesi) ifade etmektedir. 15 ve 25 °C’de 120 gün sonunda, kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerde, L* değeri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı olsa da ($p<0,05$), bu değerlerin birbirine çok yakın

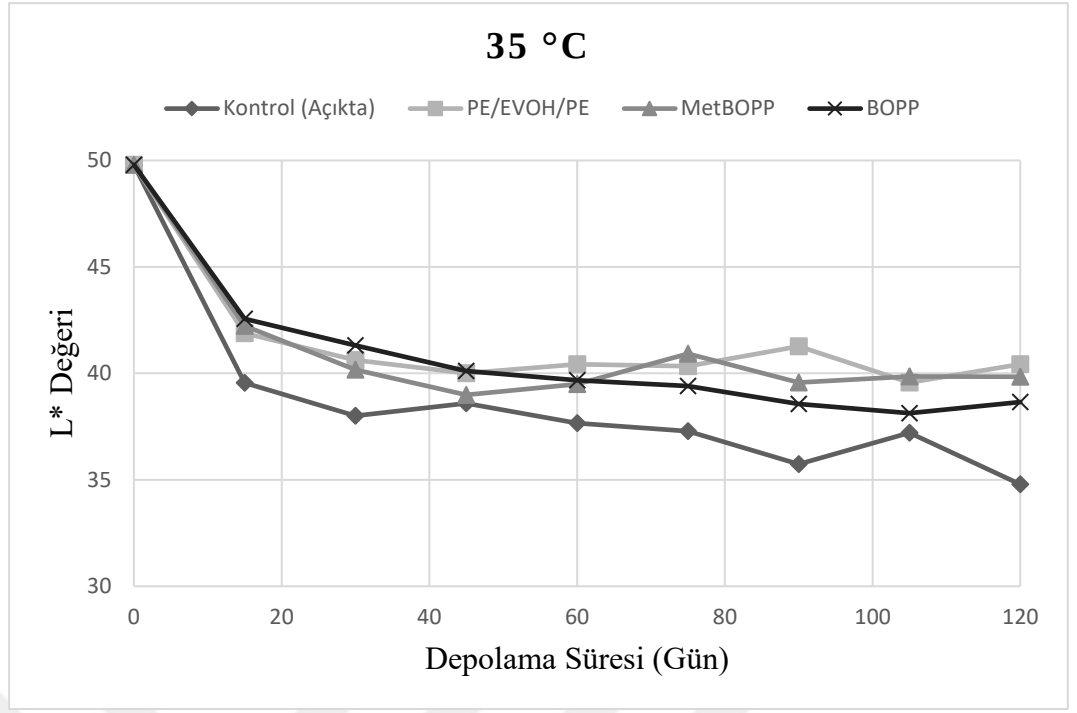
olduğu görülmektedir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte, Antep fıstığı tozu örneklerinin L^* değeri daha fazla azalmaktadır. 35 ve 45 °C’de depolanan örneklerin L^* değeri incelendiğinde, kontrol örneğinin L^* değerinin, ambalajlı örneklerin L^* değerinden oldukça düşük olduğu ve bu farklılığında istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ($p<0,05$).



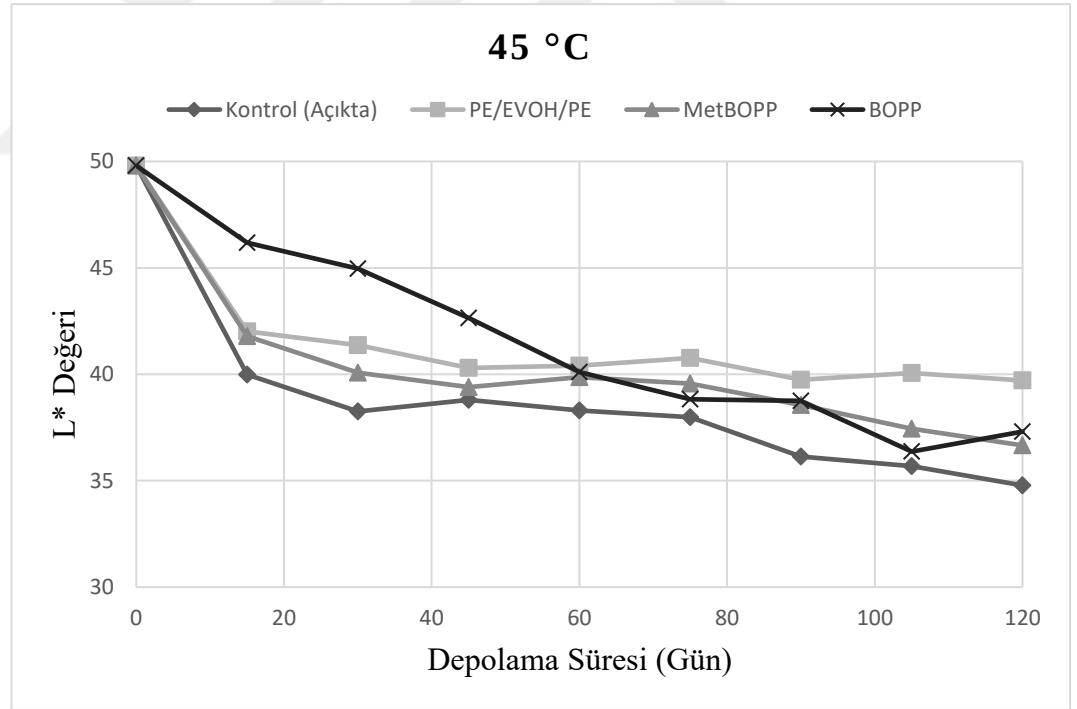
Şekil 4.10. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait L^* değeri dağılım grafiği



Şekil 4.11. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait L^* değeri dağılım grafiği



Şekil 4.12. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait L* değeri dağılım grafiği



Şekil 4.13. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait L* değeri dağılım grafiği

Tablo 4.5. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait L* değerleri

Sıcaklık	Depolama süresi (gün)	Kontrol (Açıkta)	PE/EVOH/PE	MetBOPP	BOPP
15 °C	0	49,80±0,05 ^{eA}	49,80±0,05 ^{eA}	49,80±0,05 ^{dA}	49,80±0,05 ^{dA}
	15	45,38±0,14 ^{bB}	44,57±0,08 ^{bA}	46,09±0,14 ^{cD}	45,72±0,05 ^{cC}
	30	46,30±0,03 ^{dD}	45,38±0,05 ^{dA}	45,95±0,10 ^{cC}	45,56±0,10 ^{cB}
	45	45,67±0,07 ^{cC}	45,12±0,12 ^{cdB}	44,56±0,05 ^{aA}	45,58±0,40 ^{cC}
	60	45,36±0,18 ^{bC}	44,10±0,17 ^{abA}	44,26±0,03 ^{bC}	44,52±0,13 ^{abB}
	75	45,91±0,13 ^{cC}	44,86±0,09 ^{cA}	45,32±0,20 ^{bB}	44,74±0,08 ^{bA}
	90	44,05±0,11 ^{aA}	44,02±0,23 ^{aA}	45,50±0,11 ^{bB}	44,30±0,09 ^{aA}
	105	44,30±0,07 ^{aA}	44,34±0,02 ^{abA}	46,24±0,09 ^{cC}	45,64±0,09 ^{cB}
	120	45,17±0,10 ^{bAB}	44,89±0,20 ^{cA}	46,16±0,16 ^{cC}	45,45±0,10 ^{cB}
25 °C	0	49,80±0,05 ^{hA}	49,80±0,05 ^{gA}	49,80±0,05 ^{fA}	49,80±0,05 ^{gA}
	15	47,47±0,08 ^{gC}	45,71±0,08 ^{fA}	45,73±0,10 ^{cAB}	45,90±0,08 ^{fB}
	30	47,08±0,08 ^{fC}	44,93±0,04 ^{dB}	47,96±0,11 ^{eD}	44,55±0,08 ^{cA}
	45	47,02±0,03 ^{efC}	45,23±0,15 ^{eA}	45,26±0,17 ^{bA}	45,76±0,03 ^{efB}
	60	46,78±0,14 ^{eD}	44,57±0,06 ^{cA}	46,17±0,03 ^{dC}	45,07±0,08 ^{dB}
	75	46,05±0,07 ^{cC}	44,32±0,12 ^{bA}	45,36±0,14 ^{bB}	45,57±0,29 ^{eB}
	90	44,96±0,18 ^{aC}	44,19±0,17 ^{bA}	44,98±0,13 ^{aC}	44,50±0,06 ^{cB}
	105	45,32±0,08 ^{bC}	43,49±0,07 ^{aA}	45,40±0,10 ^{bC}	44,16±0,16 ^{bB}
	120	46,43±0,14 ^{dD}	44,98±0,05 ^{dB}	45,50±0,09 ^{bcC}	43,66±0,11 ^{aA}
35 °C	0	49,80±0,05 ^{hA}	49,80±0,05 ^{fA}	49,80±0,05 ^{gA}	49,80±0,05 ^{gA}
	15	39,56±0,10 ^{gA}	41,89±0,31 ^{eB}	42,23±0,11 ^{fBC}	42,56±0,06 ^{fC}
	30	38,00±0,20 ^{eA}	40,62±0,16 ^{cC}	40,17±0,07 ^{dB}	41,31±0,11 ^{eD}
	45	38,59±0,03 ^{fA}	40,00±0,13 ^{bC}	38,99±0,20 ^{aB}	40,11±0,19 ^{dC}
	60	37,66±0,14 ^{dA}	40,43±0,08 ^{cC}	39,49±0,12 ^{bB}	39,68±0,12 ^{cB}
	75	37,28±0,12 ^{cA}	40,33±0,29 ^{bcC}	40,92±0,09 ^{eD}	39,41±0,24 ^{cB}
	90	35,74±0,10 ^{bA}	41,27±,11 ^{dD}	39,57±0,20 ^{bcC}	38,57±0,12 ^{bB}
	105	37,21±0,15 ^{cA}	39,57±0,12 ^{aC}	39,86±0,09 ^{cD}	38,13±0,07 ^{aB}
	120	34,79±0,11 ^{aA}	40,43±0,04 ^{cD}	39,84±0,08 ^{cC}	38,65±0,17 ^{bB}
45 °C	0	49,80±0,05 ^{hA}	49,80±0,05 ^{fA}	49,80±0,05 ^{gA}	49,80±0,05 ^{hA}
	15	39,99±0,11 ^{gA}	42,01±0,10 ^{eB}	41,79±0,15 ^{fB}	46,18±0,07 ^{gC}
	30	38,25±0,12 ^{deA}	41,37±0,20 ^{dC}	40,08±0,04 ^{eB}	44,97±0,03 ^{fD}
	45	38,79±0,25 ^{fA}	40,30±0,13 ^{bC}	39,40±0,08 ^{dB}	42,65±0,05 ^{eD}
	60	38,30±0,12 ^{dA}	40,40±0,13 ^{bcC}	39,87±0,06 ^{deB}	40,10±0,15 ^{dB}
	75	37,99±0,09 ^{dA}	40,77±0,24 ^{cD}	39,57±0,02 ^{deC}	38,82±0,13 ^{cB}
	90	36,13±0,11 ^{cA}	39,75±0,20 ^{aC}	38,55±0,28 ^{cB}	38,75±0,15 ^{cB}
	105	35,69±0,06 ^{bA}	40,06±0,11 ^{abD}	37,44±0,11 ^{bC}	36,37±0,01 ^{aB}
	120	34,78±0,03 ^{aA}	39,71±0,13 ^{aD}	36,66±0,23 ^{aB}	37,31±0,17 ^{bC}

^aAynı sütundaki küçük harfler zamana göre aynı sıcaklık ve ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

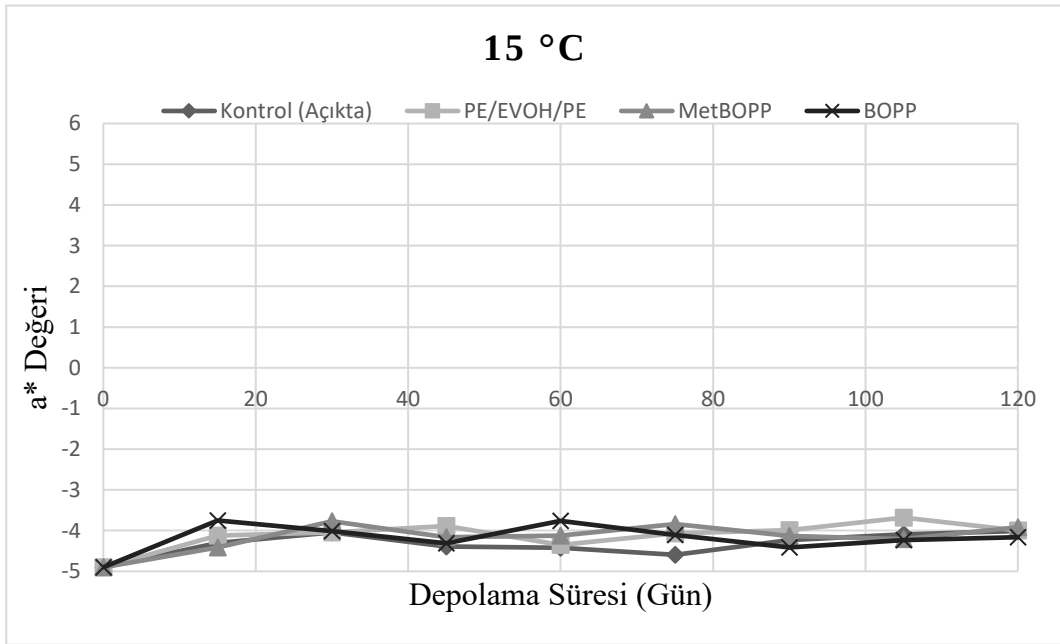
^AAynı satırdaki büyük harfler farklı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait a^* değeri dağılım grafiği Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’deki gibidir.

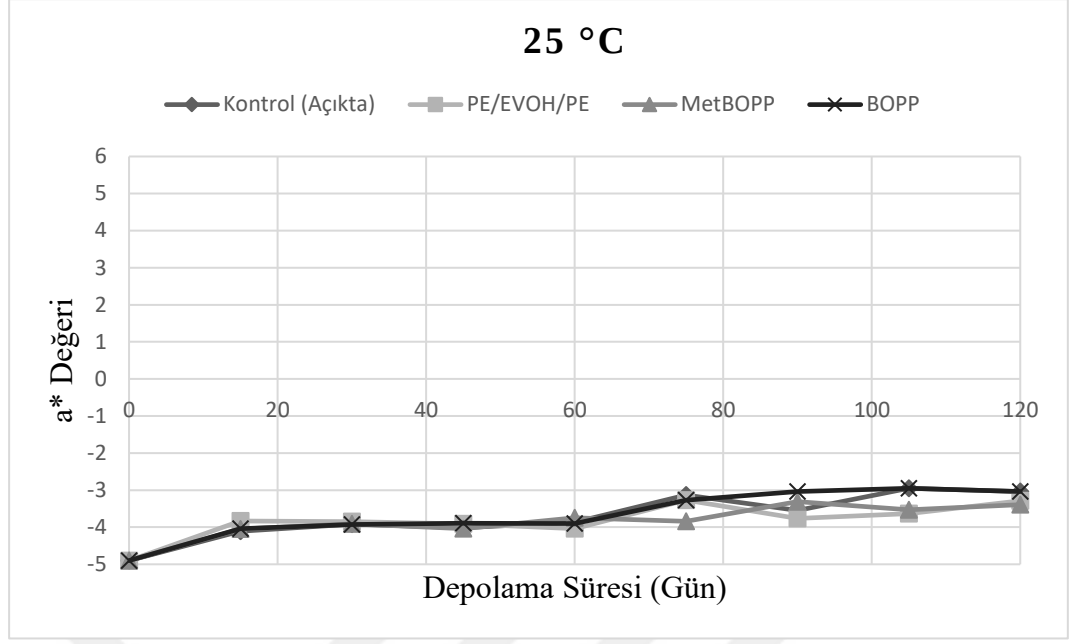
Tablo 4.6 ve dağılım grafiklerinde de görüldüğü gibi, tüm depolama koşulları için tüm örneklerin a^* değerinde bir artış olmuştur. Başlangıçta (-) 4,90 olan a^* değeri örneklerin yeşil olduğunu göstermekte ve depolama sıcaklığı ve süresi arttıkça a^* değeri yükselmektedir. Bu durum tüm örneklerin depolama sıcaklığına ve süresine bağlı olarak yeşilliğini kaybetmesi olarak ifade edilebilir. Tüm depolama koşullarında, kontrol ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerin a^* değerinin zamana bağlı olarak arttığı ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir ($p < 0,05$). 15 °C’de depolanan örneklerde, depolama süresi boyunca örneklerin a^* değerlerinde dalgalanmalar olduğu, ancak a^* değerinin genel olarak düşük miktarda artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Başlangıçta a^* değeri (-)4,90 iken, depolama süresi sonunda; tüm örneklerin a^* değerlerinin (-)3,92-(-)4,16 arasında olduğu ve kontrol örneği, PE/EVOH/PE ve MetBOPP ambalajlı örnekler arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür ($p > 0,05$). Başka bir deyişle, düşük sıcaklıkta depolamada örneğin a^* değeri üzerine ambalajlı olmasının etkisi olmamıştır. 25 °C’de depolanan örneklerde ise depolama süresi boyunca örneklerin a^* değerlerinde dalgalanmalar olduğu, ancak a^* değerinin genel olarak artma eğiliminde olduğu ve bu artışın 15 °C depolama sıcaklığına göre daha fazla olduğu söylenebilir. 120 gün sonunda, tüm örneklerin a^* değerleri (-)3,04-(-)3,39 arasında olup, a^* değerindeki en büyük artış (-)3,04 ile kontrol örneği ve BOPP ambalajlı örnekte gerçekleşmiştir. Depolama süresi sonunda, PE/EVOH/PE ve MetBOPP ambalajlı örnekler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı gözlenmiştir ($p > 0,05$). 35 °C ve 45 °C’de depolanan örneklerde ise depolama süresi boyunca a^* değerinde çok daha fazla miktarda artışlar olduğu görülmüştür ve bu değişim 45 °C’de daha fazla olmuştur. Her iki depolama sıcaklığında da depolama süresinin sonunda, a^* değerindeki en büyük artış kontrol örneğinde gerçekleşmiş ve sırayla 0,17 ve 6,00 değerleri tespit edilmiştir. OTR değeri en düşük olan PE/EVOH/PE örneklerinde ise en düşük artışlar olmuş ve sırayla (-)0,84 ve 5,01 değerleri tespit edilmiştir. Başka bir deyişle, daha yüksek sıcaklıklarda depolamada ambalajın etkisi daha fazla olmuş ve OTR değeri düşük olan ambalajlarda a^* değeri daha iyi muhafaza edilmiştir. Şekil 4.34’ten örnek resimlerinden de görüldüğü gibi, örneklerin renk değişimi depolama sıcaklığı temelinde oldukça belirgindir. 15 °C ve 25 °C’de depolamada ambalajın etkisi net olarak fark edilmezken, 35 °C gibi yüksek bir depolama sıcaklığında daha net fark edilmektedir. 45 °C gibi daha

yüksek depolama sıcaklığında ise, tüm örnekler renk açısından kabul edilemez durumdadır.

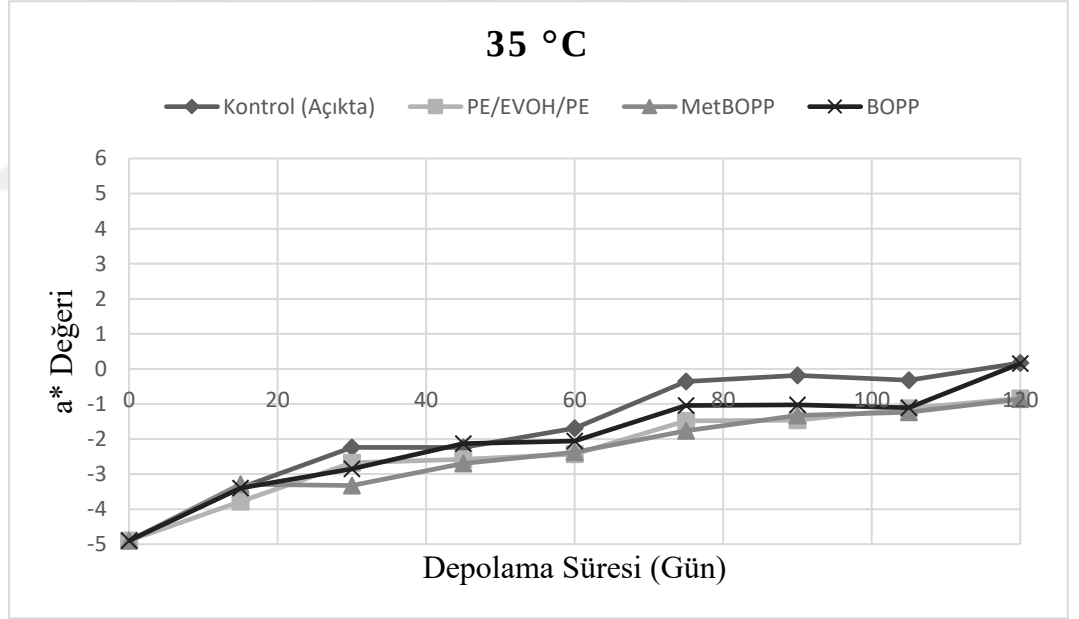
Elde ettiğimiz sonuçlara benzer olarak, Gamlı ve ark. (2013) Antep fıstığı kremasını 4 °C ve 20 °C’de 240 gün boyunca depolamış ve depolama sıcaklığı ve depolama süresi arttıkça Antep fıstığına rengini veren pigmentlerin bozunmasına ve kahverengi pigmentlerin oluşumuna bağlı olarak a* değerlerinin arttığını belirlemiştir. Dini et al. (2019), kavurma prosesinin Antep fıstığının renk kinetiği üzerine yapmış olduğu çalışmada, sıcaklığın a* değeri üzerine önemli bir etkisi olduğunu belirlemiştir.



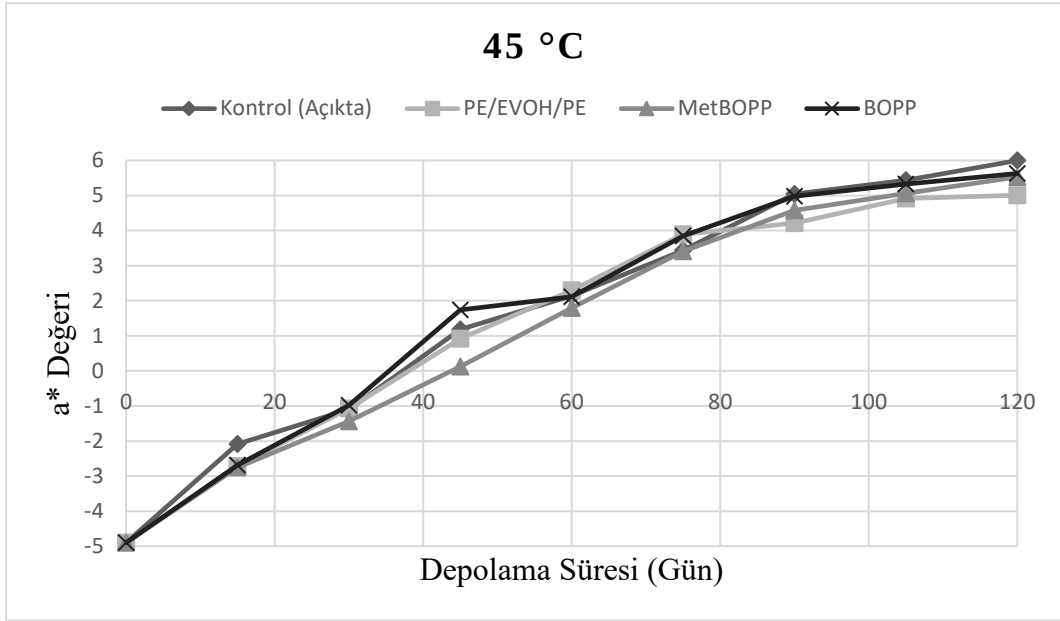
Şekil 4.14 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait a* değeri dağılım grafiği



Şekil 4.15. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait a* değeri dağılım grafiği



Şekil 4.16. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait a* değeri dağılım grafiği



Şekil 4.17. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait a* değeri dağılım grafiği

Tablo 4.6. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait a* değerleri

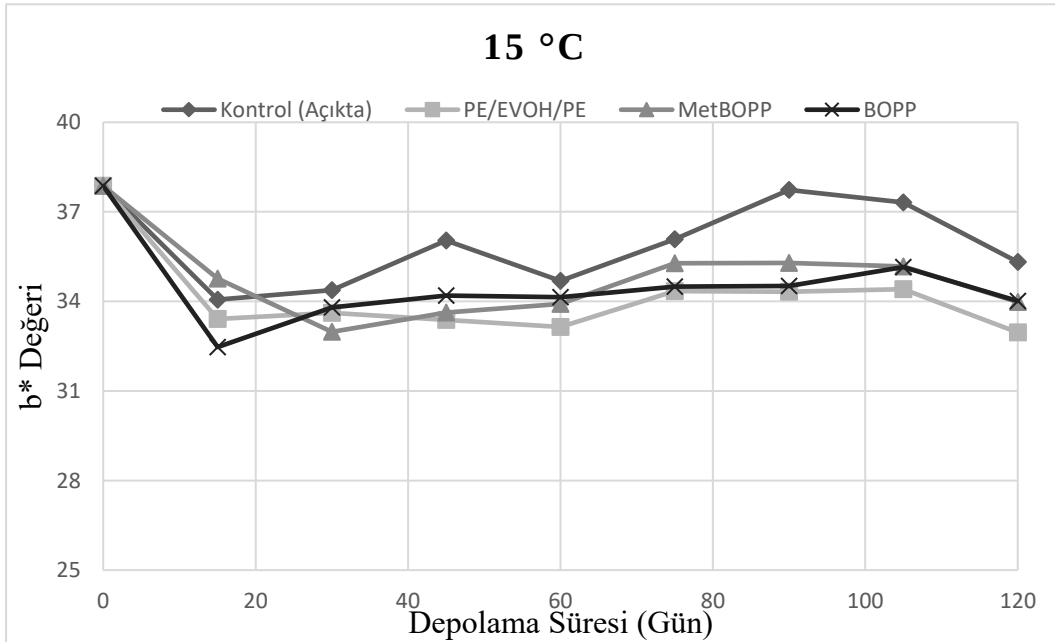
Sıcaklık	Depolama süresi (gün)	Kontrol (Açıkta)	PE/EVOH/PE	MetBOPP	BOPP
15 °C	0	-4,90±0,03 ^{aA}	-4,90±0,03 ^{aA}	-4,90±0,03 ^{aA}	-4,90±0,03 ^{aA}
	15	-4,30±0,05 ^{cdA}	-4,12±0,07 ^{cb}	-4,41±0,04 ^{ba}	-3,75±0,07 ^{ec}
	30	-4,04±0,05 ^{eA}	-4,04±0,04 ^{cdA}	-3,77±0,11 ^{dB}	-4,01±0,03 ^{dA}
	45	-4,39±0,24 ^{cA}	-3,89±0,11 ^{dB}	-4,16±0,70 ^{bcAB}	-4,31±0,07 ^{bcA}
	60	-4,42±0,06 ^{cA}	-4,35±0,07 ^{baB}	-4,12±0,17 ^{bcB}	-3,76±0,08 ^{ec}
	75	-4,59±0,06 ^{ba}	-4,07±0,06 ^{cb}	-3,84±0,10 ^{dC}	-4,11±0,05 ^{cdB}
	90	-4,23±0,07 ^{dAB}	-3,99±0,04 ^{cdB}	-4,13±0,20 ^{bcB}	-4,41±0,08 ^{ba}
	105	-4,09±0,12 ^{deA}	-3,68±0,09 ^{eB}	-4,21±0,05 ^{bcA}	-4,23±0,03 ^{cA}
	120	-4,01±0,03 ^{eB}	-4,00±0,04 ^{cdB}	-3,92±0,08 ^{cb}	-4,16±0,11 ^{cdA}
25 °C	0	-4,90±0,03 ^{aA}	-4,90±0,03 ^{aA}	-4,90±0,03 ^{aA}	-4,90±0,03 ^{aA}
	15	-4,11±0,03 ^{ba}	-3,83±0,16 ^{cb}	-4,05±0,07 ^{baB}	-4,04±0,09 ^{baB}
	30	-3,92±0,13 ^{cA}	-3,85±0,05 ^{bcA}	-3,91±0,05 ^{bcA}	-3,93±0,04 ^{ba}
	45	-4,01±0,02 ^{bcAB}	-3,91±0,07 ^{bcAB}	-4,04±0,05 ^{ba}	-3,89±0,00 ^{bb}
	60	-3,87±0,09 ^{cAB}	-4,04±0,06 ^{ba}	-3,75±0,05 ^{cb}	-3,90±0,03 ^{baB}
	75	-3,13±0,03 ^{eB}	-3,27±0,06 ^{eB}	-3,84±0,05 ^{bcA}	-3,27±0,10 ^{cb}
	90	-3,55±0,12 ^{dB}	-3,76±0,07 ^{cdA}	-3,31±0,09 ^{dC}	-3,04±0,02 ^{dD}
	105	-2,95±0,08 ^{eB}	-3,63±0,08 ^{dA}	-3,53±0,04 ^{dA}	-2,95±0,06 ^{dB}
	120	-3,04±0,03 ^{eB}	-3,29±0,04 ^{eA}	-3,39±0,02 ^{dA}	-3,04±0,11 ^{dB}
35 °C	0	-4,90±0,03 ^{aA}	-4,90±0,03 ^{aA}	-4,90±0,03 ^{aA}	-4,90±0,03 ^{aA}
	15	-3,39±0,07 ^{bb}	-3,78±0,07 ^{ba}	-3,29±0,13 ^{bb}	-3,40±0,03 ^{bb}
	30	-2,24±0,04 ^{cd}	-2,68±0,07 ^{cC}	-3,33±0,03 ^{ba}	-2,85±0,05 ^{cb}
	45	-2,24±0,08 ^{cb}	-2,58±0,05 ^{cdA}	-2,70±,11 ^{cA}	-2,13±0,11 ^{dB}
	60	-1,69±0,06 ^{dC}	-2,43±0,10 ^{dA}	-2,38±0,17 ^{dA}	-2,06±0,06 ^{dB}
	75	-0,36±0,01 ^{eD}	-1,48±0,09 ^{eB}	-1,77±0,08 ^{eA}	-1,04±0,14 ^{ec}
	90	-0,19±0,35 ^{eC}	-1,46±0,10 ^{eA}	-1,33±0,12 ^{fAB}	-1,03±0,11 ^{eB}
	105	-0,32±0,03 ^{eB}	-1,13±0,07 ^{fA}	-1,24±0,09 ^{fA}	-1,11±0,01 ^{eA}
	120	0,17±0,01 ^{fB}	-0,84±0,05 ^{gA}	-0,86±0,05 ^{gA}	0,15±0,02 ^{fB}
45 °C	0	-4,90±0,03 ^{aA}	-4,90±0,03 ^{aA}	-4,90±0,03 ^{aA}	-4,90±0,03 ^{aA}
	15	-2,09±0,11 ^{bb}	-2,72±0,09 ^{ba}	-2,75±0,07 ^{ba}	-2,69±0,16 ^{ba}
	30	-1,10±0,09 ^{cb}	-1,07±0,17 ^{cb}	-1,44±0,10 ^{cA}	-0,98±0,04 ^{cb}
	45	1,18±0,10 ^{dC}	0,92±0,02 ^{dB}	0,12±0,06 ^{dA}	1,74±0,08 ^{dD}
	60	2,14±0,04 ^{eB}	2,30±0,04 ^{eC}	1,79±0,10 ^{eA}	2,11±0,02 ^{eB}
	75	3,44±0,04 ^{fA}	3,89±0,06 ^{fB}	3,41±,09 ^{fA}	3,85±0,04 ^{fB}
	90	5,04±0,08 ^{gC}	4,21±0,04 ^{gA}	4,58±0,10 ^{gB}	4,98±0,08 ^{gC}
	105	5,44±0,06 ^{hD}	4,92±0,02 ^{hA}	5,06±0,05 ^{hB}	5,33±0,00 ^{hC}
	120	6,00±0,09 ^{cC}	5,01±0,07 ^{hA}	5,53±0,10 ^{iB}	5,63±0,02 ^{iB}

^aAynı sütundaki küçük harfler zamana göre aynı sıcaklık ve ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

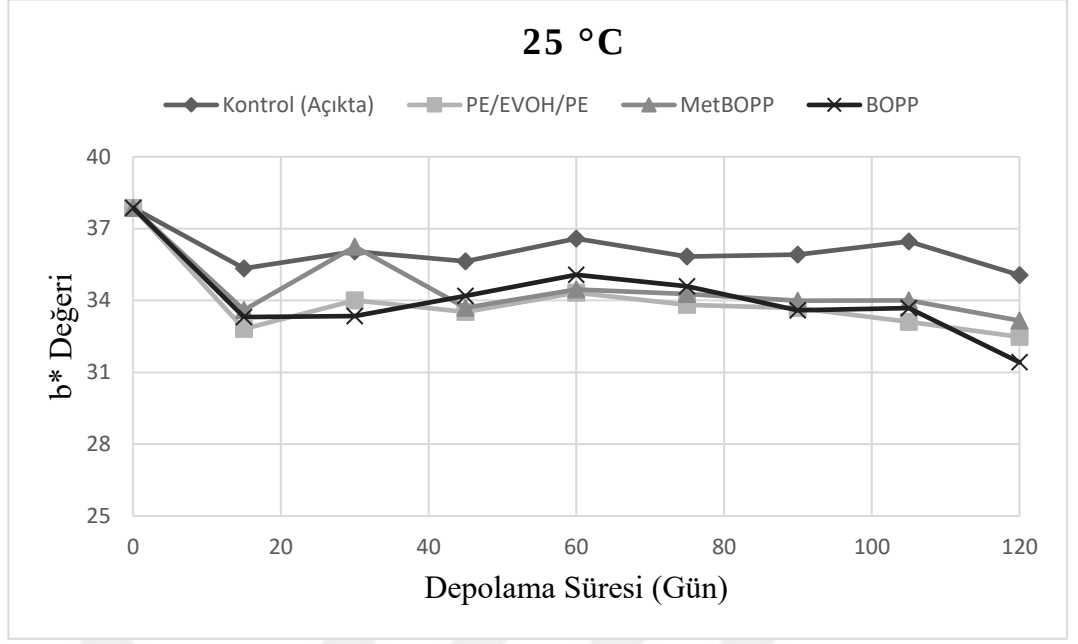
^AAynı satırdaki büyük harfler farklı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait b* değeri dağılım grafiği Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’deki gibidir.

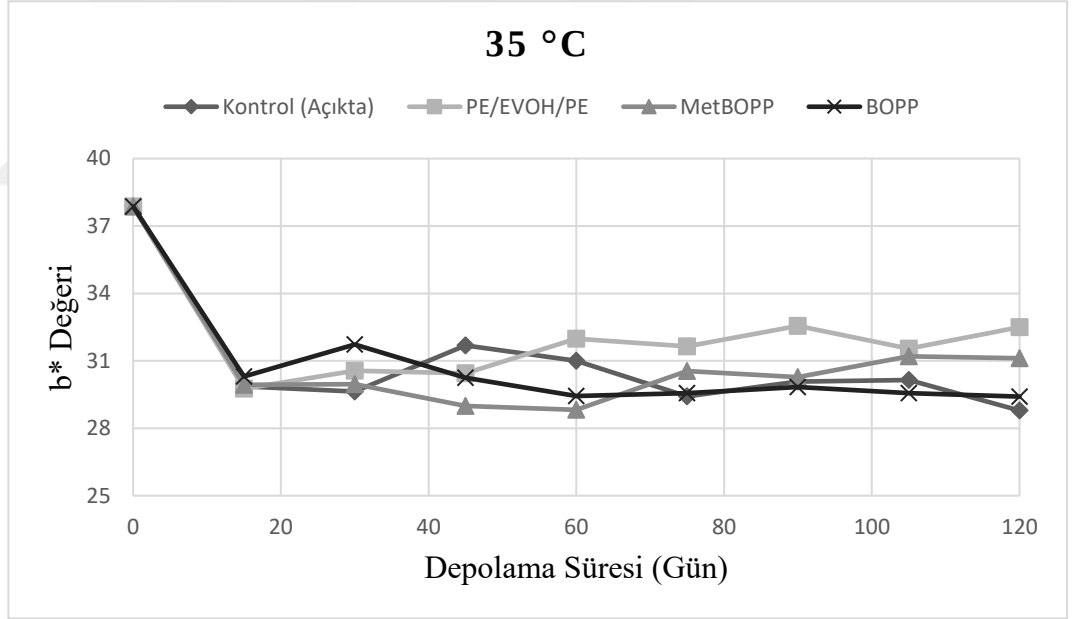
Tablo 4.7 ve dağılım grafiklerinde de görüldüğü gibi, tüm depolama koşulları için, b* değerinde zamana bağlı olarak bir azalmanın olduğu ve azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Depolama koşulları karşılaştırıldığında, b* değerindeki en büyük azalmanın 25,33 ile 45 °C’de/120 gün ve kontrol örneğinde gerçekleştiği görülmektedir. Depolama sıcaklığının artmasıyla, b* değerinin artan sıcaklıkla birlikte azaldığı görülmektedir. 15 ve 25 °C’de 120 gün sonunda, kontrol ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemeleri ile ambalajlanan örneklerin b* değeri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli olsa da ($p<0,05$), bu değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Şöyle ki, başlangıç b* değeri 37,87 olan örneklerde, 15 ve 25 °C’de 120 gün sonunda kontrol örneğinde sırayla 35,32 ve 35,06, PE/EVOH/PE örneklerinde 32,96 ve 32,48, MetBOPP örneklerinde 33,98 ve 33,16, BOPP örneklerinde ise 34,01 ve 31,42 olmuştur. 35 °C ve 45 °C’de depolanan örneklerde ise b* değerinde azalma diğer iki depolama sıcaklığına göre daha fazla olmuş ve en fazla azalma 45 °C’de depolamada kontrol örneğinde gerçekleşmiştir. Başlangıç b* değeri 37,87 olan örneklerin, 35 ve 45 °C’de 120 gün sonunda; kontrol örneğinde sırayla 28,79 ve 32,50, PE/EVOH/PE örneklerinde 32,50 ve 31,26, MetBOPP örneklerinde 31,11 ve 27,23, BOPP örneklerinde ise 29,41 ve 26,88 olmuştur. b* değerinde azalmanın en az PE/EVOH/PE örneğinde olduğu belirlenmiştir.



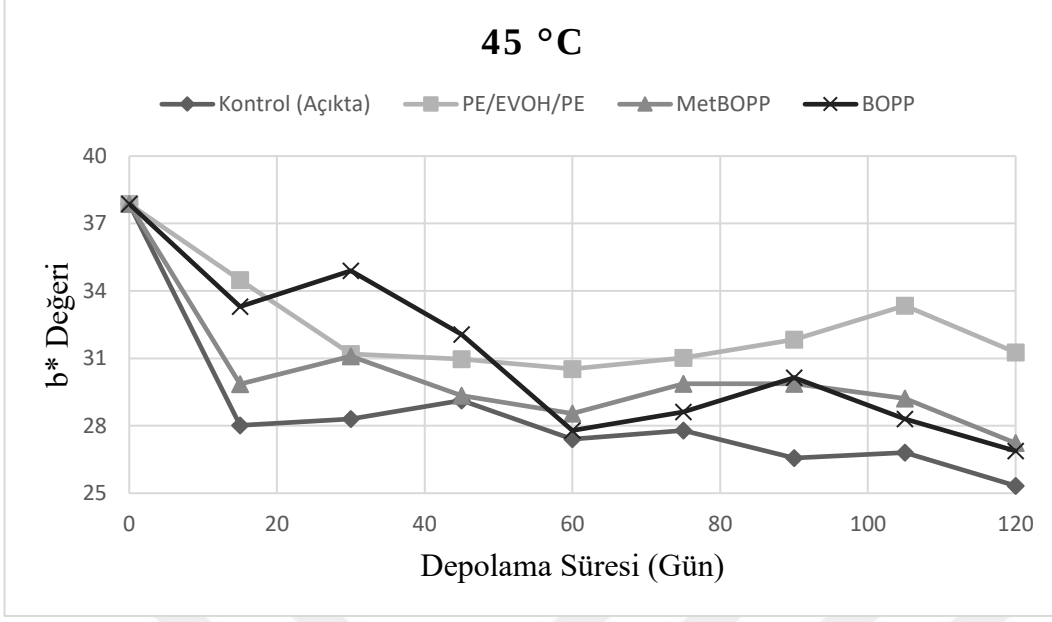
Şekil 4.18. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait b* değeri dağılım grafiği



Şekil 4.19. 25 °C'de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait b* değeri dağılım grafiği



Şekil 4.20. 35 °C'de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait b* değeri dağılım grafiği



Şekil 4.21. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait b* değeri dağılım grafiği

Tablo 4.7. 15, 25, 35 ve 45°C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait b* değerleri

Sıcaklık	Depolama süresi (gün)	Kontrol (Açıkta)	PE/EVOH/PE	MetBOPP	BOPP
15 °C	0	37,87±0,18 ^{fA}	37,87±0,18 ^{cA}	37,87±0,18 ^{dA}	37,87±0,18 ^{eA}
	15	34,06±0,23 ^{aC}	33,41±0,17 ^{aB}	34,76±0,15 ^{bD}	32,47±0,16 ^{aA}
	30	34,38±0,23 ^{abC}	33,62±0,21 ^{aB}	32,98±0,20 ^{aA}	33,80±0,17 ^{bB}
	45	36,04±0,14 ^{dC}	33,38±0,40 ^{aA}	33,63±0,23 ^{aA}	34,19±0,19 ^{bcB}
	60	34,69±0,09 ^{bC}	33,14±0,22 ^{aA}	33,92±0,43 ^{abB}	34,14±0,08 ^{bcB}
	75	36,08±0,22 ^{dB}	34,34±0,25 ^{bA}	35,28±0,94 ^{cAB}	34,50±0,07 ^{cA}
	90	37,73±0,27 ^{efC}	34,32±0,53 ^{bA}	35,29±0,28 ^{cB}	34,52±0,26 ^{cA}
	105	37,31±0,12 ^{eB}	34,41±0,10 ^{bA}	35,17±0,65 ^{cA}	35,15±0,53 ^{dA}
	120	35,32±0,03 ^{cC}	32,96±0,20 ^{aA}	33,98±0,09 ^{abB}	34,01±0,05 ^{bcB}
25 °C	0	37,87±0,18 ^{eA}	37,87±0,18 ^{eA}	37,87±0,18 ^{eA}	37,87±0,18 ^{dA}
	15	35,34±0,11 ^{abC}	32,81±0,60 ^{abA}	33,61±0,16 ^{bB}	33,31±,11 ^{bAB}
	30	36,05±0,16 ^{cdC}	34,00±0,13 ^{dB}	36,25±0,13 ^{dC}	33,35±0,23 ^{bA}
	45	35,64±0,23 ^{bC}	33,52±0,10 ^{bcA}	33,70±0,13 ^{bA}	34,19±0,16 ^{bcB}
	60	36,59±0,21 ^{dC}	34,33±0,11 ^{dA}	34,46±0,31 ^{cA}	35,07±0,14 ^{cB}
	75	35,84±0,08 ^{cC}	33,82±0,04 ^{cdA}	34,27±0,19 ^{bcAB}	34,59±0,51 ^{bcB}
	90	35,92±0,20 ^{cB}	33,69±0,37 ^{cA}	33,99±0,17 ^{bcA}	33,59±0,13 ^{bA}
	105	36,47±0,24 ^{dC}	33,11±0,08 ^{bA}	34,01±0,20 ^{bcB}	33,69±0,23 ^{bB}
	120	35,06±0,20 ^{aD}	32,48±0,09 ^{aB}	33,16±0,17 ^{aC}	31,42±0,26 ^{aA}
35 °C	0	37,87±0,18 ^{eA}	37,87±0,18 ^{eA}	37,87±0,18 ^{eA}	37,87±0,18 ^{dA}
	15	29,87±0,57 ^{abA}	29,76±0,24 ^{aA}	29,93±0,22 ^{bA}	30,31±,12 ^{bA}
	30	29,63±0,22 ^{abA}	30,56±0,18 ^{bB}	29,96±0,34 ^{bA}	31,73±0,26 ^{cB}
	45	31,69±0,28 ^{dC}	30,44±0,41 ^{bB}	28,99±0,14 ^{aA}	30,25±0,33 ^{bB}
	60	31,00±0,21 ^{cC}	31,98±0,12 ^{cdD}	28,82±0,11 ^{aA}	29,43±0,04 ^{aB}
	75	29,42±0,14 ^{abA}	31,65±0,40 ^{cB}	30,55±0,04 ^{cB}	29,57±0,71 ^{abA}
	90	30,08±0,23 ^{bA}	32,55±0,15 ^{dB}	30,27±0,24 ^{bcA}	29,83±0,37 ^{abA}
	105	30,15±0,15 ^{bB}	31,55±0,10 ^{cD}	31,20±0,16 ^{dC}	29,56±0,12 ^{abA}
	120	28,79±0,06 ^{aA}	32,50±0,27 ^{dD}	31,11±0,10 ^{dC}	29,41±0,25 ^{aB}
45 °C	0	37,87±0,18 ^{fA}	37,87±0,18 ^{bA}	37,87±0,18 ^{fA}	37,87±0,18 ^{hA}
	15	28,02±0,14 ^{cdA}	34,48±0,72 ^{abB}	29,86±0,15 ^{dAB}	33,30±0,17 ^{fAB}
	30	28,30±0,24 ^{dA}	31,20±0,18 ^{aB}	31,09±0,16 ^{eB}	34,90±0,15 ^{gC}
	45	29,13±0,34 ^{eA}	30,97±0,40 ^{aB}	29,35±0,17 ^{cdA}	32,06±0,15 ^{eC}
	60	27,40±0,04 ^{cA}	30,53±0,06 ^{aD}	28,54±0,14 ^{bC}	27,79±0,10 ^{bB}
	75	27,79±0,10 ^{cdA}	31,03±0,05 ^{aD}	29,87±0,31 ^{dC}	28,61±0,13 ^{cB}
	90	26,56±0,20 ^{bA}	31,84±0,25 ^{aC}	29,87±0,21 ^{dB}	30,14±0,10 ^{dB}
	105	26,81±0,04 ^{bA}	33,34±0,23 ^{abD}	29,21±0,10 ^{cC}	28,31±0,09 ^{cB}
	120	25,33±0,22 ^{aA}	31,26±0,10 ^{aC}	27,23±0,58 ^{aB}	26,88±0,36 ^{aB}

^aAynı sütundaki küçük harfler zamana göre aynı sıcaklık ve ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

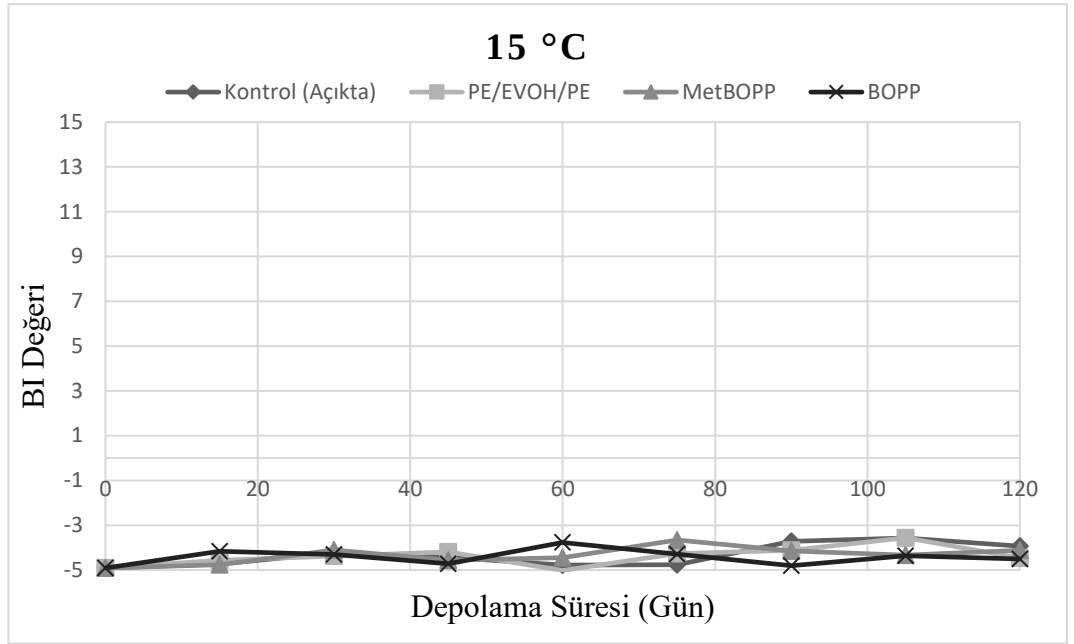
^AAynı satırdaki büyük harfler farklı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait BI değerleri dağılım grafiği Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’teki gibidir.

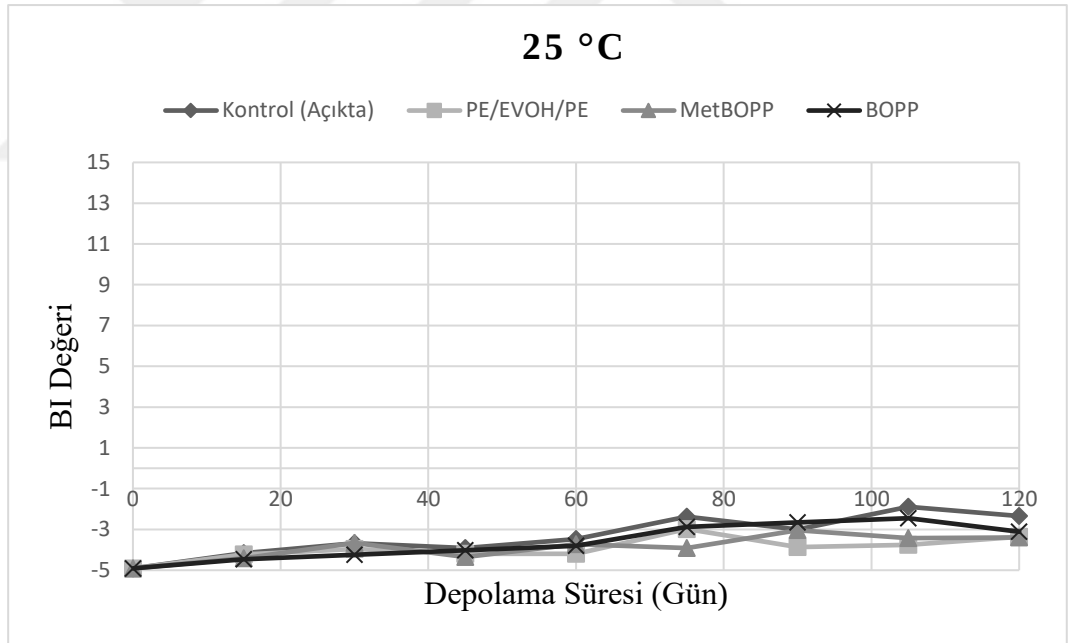
Tablo 4.8 ve dağılım grafiklerinde görüldüğü gibi örneklerin kahverengileşme indeksi de (BI), depolama sıcaklığı arttıkça yükselmiştir. Başlangıçta (-)4,91 olan Antep fıstığı örneklerinin BI değeri, 15 °C’de depolama sonunda (-)3,93-(-4,50) arasında değişirken, 25 °C’de depolama sonunda (-)2,34 - (-)3,39 arasında olmuştur. 35 °C’de ve 45 °C’de depolamada örneklerin BI değerinde artış çok daha fazla olmuş sırayla 1,15-3,64 ve 12,06-14,68 arasında belirlenmiştir.

Elde ettiğimiz sonuçlara benzer olarak, Sheikhi et al. (2019) yapmış olduğu çalışmada, 0 °C/%90 RH koşullarında 105 gün süreyle depolanmış olan Antep fıstığının, depolama süresi boyunca L* ve b* değerinin azalırken, a* değerinin ise arttığını belirlemiştir. Öksüzler (2015), kavurma işleminin Antep fıstığı örneklerinin renk değişimi üzerindeki etkisini incelemiş ve kavurma sıcaklığı arttıkça, L* ve b* değerleri azalırken a* değeri ise artmıştır.

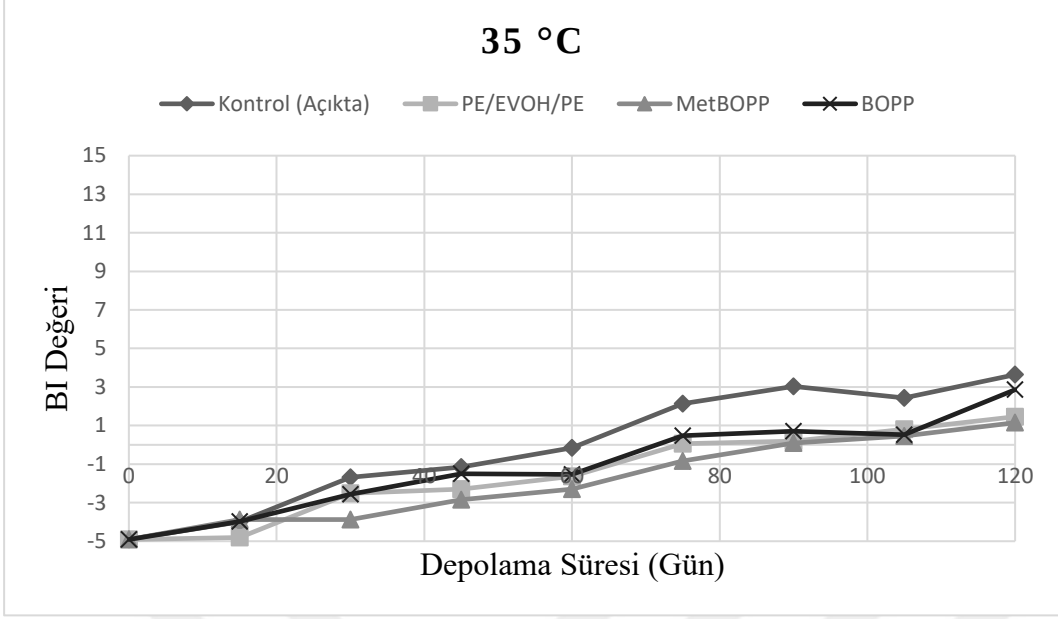
Antep fıstığının rengi, yeşil rengi veren klorofil-a, klorofil-b ve sarı rengi veren beta karoten ve lutein gibi kloroplastik pigmentlerden kaynaklanmaktadır. (Bellomo et al., 2007; Dini et al., 2019). Klorofil a, klorofil b ve beta karoten sıcaklığın etkisiyle kolayca bozunmakta iken, lutein yüksek kavurma sıcaklıklarında bile bozunmaya karşı dayanıklıdır. Bu nedenle depolama sıcaklığının yükselmesiyle klorofil a ve klorofil b yıkımına bağlı olarak örneklerin yeşilliği azalmaktadır (Dini et al., 2019). Bunun yanı sıra, Antep fıstığı hasat sonrasında depolama süresi boyunca polifenol oksidaz enzimi (PPO) ve peroksidaz enzimi (POD) gibi enzimlerin fenolik bileşiklerin oksidasyonu sonucunda enzimatik olarak esmerleşebilmektedir (Gheysarbigi et al., 2020; Molamohammadi et al., 2020). Depolama süresi ilerledikçe enzimatik aktivitenin artışına bağlı olarak kahverengileşme artmaktadır (Gheysarbigi et al., 2020; Hosseini et al., 2019). Nitekim fenolik bileşik miktarındaki düşüş de bu sonucu desteklemektedir. Enzimatik reaksiyonlar üzerinde, özellikle renk modifikasyonları üzerinde sıcaklığın doğrudan bir etkisi bulunmaktadır. Enzimatik esmerleşme gibi reaksiyonlar için optimum sıcaklık ise 35 ve 40 °C arasındadır. Depolama sıcaklığının artması enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının artmasına neden olmakta, düşük sıcaklıklar ise sadece reaksiyon hızının yavaşmasını sağlamakta ancak engellememektedir. (Croguennec et al., 2016).



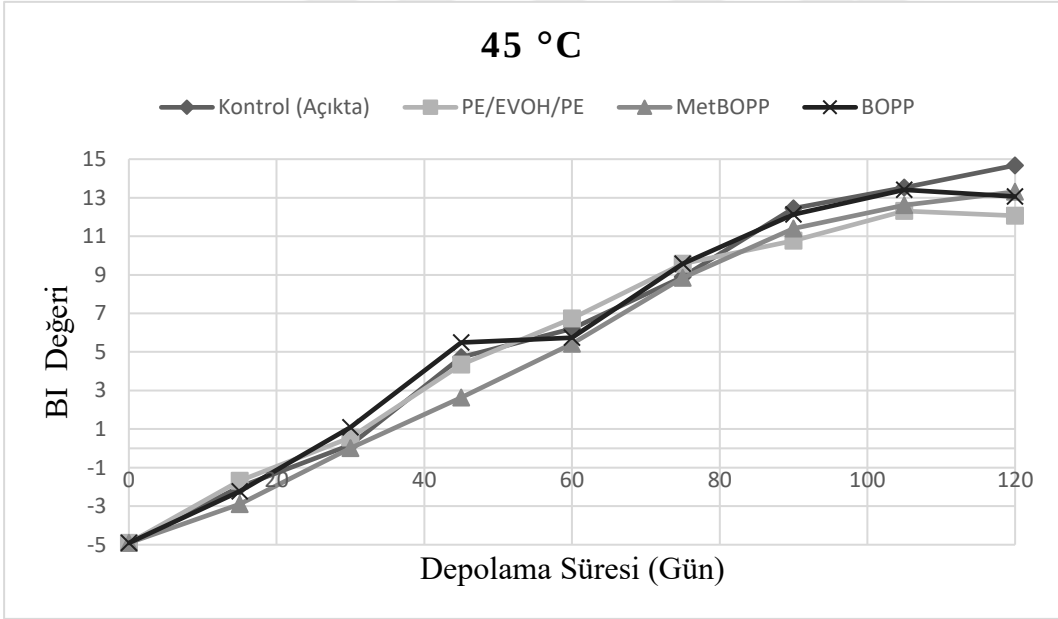
Şekil 4.22. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait BI değeri dağılım grafiği



Şekil 4.23. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait BI değeri dağılım grafiği



Şekil 4.24. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait BI değeri dağılım grafiği



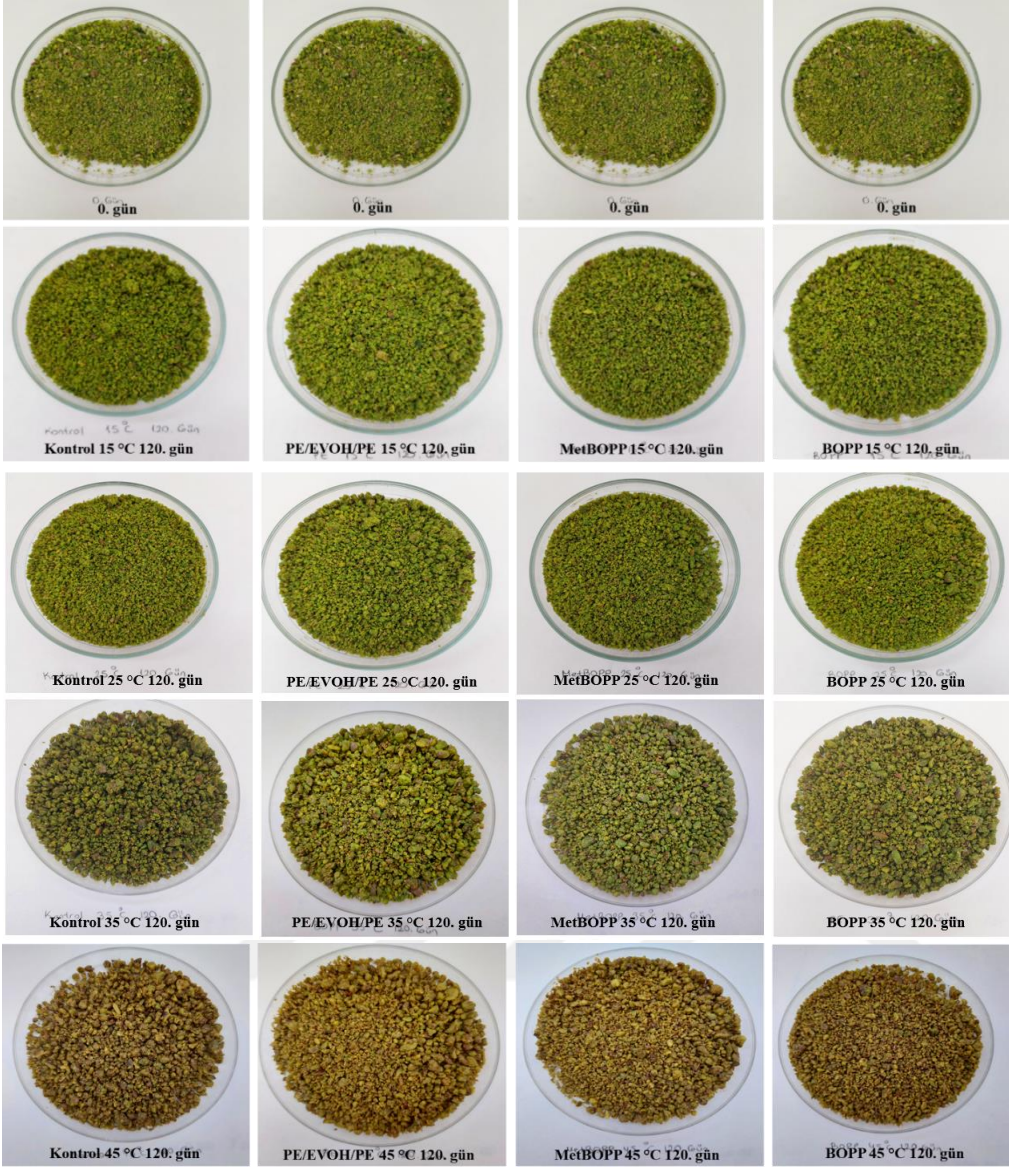
Şekil 4.25. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait BI değeri dağılım grafiği

Tablo 4.8. 15, 25, 35 ve 45°C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait esmerleşme indeksi (BI) değerleri

Sıcaklık	Depolama süresi (gün)	Kontrol (Açıkta)	PE/EVOH/PE	MetBOPP	BOPP
15 °C	0	-4,91±0,02 ^{aA}	-4,91±0,02 ^{aA}	-4,91±0,02 ^{aA}	-4,91±0,02 ^{aA}
	15	-4,74±0,07 ^{abA}	-4,56±0,10 ^{bA}	-4,76±0,07 ^{abA}	-4,17±0,12 ^{cB}
	30	-4,23±0,13 ^{bcAB}	-4,38±0,04 ^{bcA}	-4,10±0,15 ^{dB}	-4,30±0,04 ^{bcAB}
	45	-4,43±0,40 ^{bAB}	-4,19±0,10 ^{cB}	-4,57±0,09 ^{bAB}	-4,72±0,08 ^{abA}
	60	-4,78±0,11 ^{abA}	-5,02±0,09 ^{aA}	-4,45±0,19 ^{bcB}	-3,77±0,14 ^{dC}
	75	-4,76±0,06 ^{abA}	-4,26±0,11 ^{bcB}	-3,66±0,35 ^{eC}	-4,29±0,09 ^{bcB}
	90	-3,72±0,10 ^{dB}	-4,12±0,18 ^{cB}	-4,15±0,29 ^{dB}	-4,80±0,20 ^{aA}
	105	-3,57±0,18 ^{dB}	-3,56±0,18 ^{dB}	-4,33±0,16 ^{cA}	-4,37±0,10 ^{bcA}
	120	-3,93±0,05 ^{cB}	-4,46±0,03 ^{bcA}	-4,12±0,13 ^{dB}	-4,50±0,18 ^{bA}
25 °C	0	-4,91±0,02 ^{aA}	-4,91±0,02 ^{aA}	-4,91±0,02 ^{aA}	-4,91±0,02 ^{aA}
	15	-4,17±0,07 ^{bcB}	-4,23±0,20 ^{abAB}	-4,41±0,10 ^{bAB}	-4,47±0,14 ^{bA}
	30	-3,68±0,19 ^{bcC}	-3,96±0,07 ^{bB}	-3,66±0,07 ^{dC}	-4,25±0,03 ^{bcA}
	45	-3,92±0,08 ^{bcB}	-4,19±0,13 ^{abAB}	-4,36±0,08 ^{bA}	-4,02±0,05 ^{bcAB}
	60	-3,47±0,18 ^{bcC}	-4,20±0,12 ^{abA}	-3,73±0,01 ^{cdB}	-3,81±0,06 ^{cB}
	75	-2,37±0,06 ^{dC}	-2,98±0,10 ^{dB}	-3,91±0,06 ^{cA}	-2,87±0,23 ^{deB}
	90	-3,01±0,19 ^{cB}	-3,86±0,18 ^{bA}	-3,04±0,16 ^{fB}	-2,66±0,04 ^{deC}
	105	-1,89±0,13 ^{eD}	-3,75±0,13 ^{bA}	-3,43±0,11 ^{eB}	-2,45±0,10 ^{eC}
	120	-2,34±0,08 ^{dC}	-3,36±0,08 ^{cA}	-3,39±0,03 ^{eA}	-3,12±0,14 ^{dB}
35 °C	0	-4,91±0,02 ^{aA}	-4,91±0,02 ^{aA}	-4,91±0,02 ^{aA}	-4,91±0,02 ^{aA}
	15	-3,99±0,16 ^{bB}	-4,81±0,19 ^{aA}	-3,88±0,18 ^{bB}	-3,98±0,04 ^{bB}
	30	-1,68±0,04 ^{cC}	-2,51±0,15 ^{bB}	-3,87±0,08 ^{bA}	-2,57±0,10 ^{cB}
	45	-1,16±0,20 ^{cC}	-2,30±0,10 ^{bB}	-2,85±0,22 ^{cA}	-1,50±0,15 ^{dC}
	60	-0,15±0,15 ^{dC}	-1,64±0,18 ^{cB}	-2,30±0,32 ^{dA}	-1,54±0,12 ^{dB}
	75	2,14±0,09 ^{eC}	0,06±0,20 ^{dB}	-0,84±0,16 ^{eA}	0,47±0,38 ^{eB}
	90	3,04±0,74 ^{fB}	0,20±0,16 ^{dA}	0,09±0,19 ^{fA}	0,70±0,14 ^{eA}
	105	2,44±0,05 ^{efC}	0,80±0,14 ^{eB}	0,46±0,16 ^{fA}	0,52±0,03 ^{eA}
	120	3,64±0,07 ^{gD}	1,46±0,14 ^{fB}	1,15±0,10 ^{gA}	2,86±0,07 ^{fC}
45 °C	0	-4,91±0,02 ^{aA}	-4,91±0,02 ^{aA}	-4,91±0,02 ^{aA}	-4,91±0,02 ^{aA}
	15	-2,00±0,19 ^{bA}	-1,69±1,52 ^{bA}	-2,89±0,11 ^{bA}	-2,24±0,27 ^{bA}
	30	0,17±0,14 ^{cAB}	0,55±0,28 ^{cB}	0,01±0,19 ^{cA}	1,09±0,09 ^{cC}
	45	4,72±0,21 ^{dC}	4,35±0,13 ^{dB}	2,63±0,14 ^{dA}	5,49±0,13 ^{dD}
	60	6,21±0,11 ^{eC}	6,73±0,06 ^{eD}	5,42±0,21 ^{eA}	5,74±0,08 ^{dB}
	75	8,90±0,12 ^{fA}	9,57±0,16 ^{fB}	8,84±0,19 ^{fA}	9,57±0,09 ^{eB}
	90	12,44±0,13 ^{gC}	10,77±0,07 ^{fA}	11,40±0,23 ^{gB}	12,13±0,21 ^{fC}
	105	13,53±0,10 ^{hC}	12,31±0,04 ^{gA}	12,62±0,08 ^{hB}	13,41±0,03 ^{gC}
	120	14,68±0,11 ^{iC}	12,06±0,13 ^{gA}	13,31±0,13 ^{iB}	13,07±0,06 ^{hB}

^aAynı sütundaki küçük harfler zamana göre aynı sıcaklık ve ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

^AAynı satırdaki büyük harfler farklı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).



Şekil 4.26. Farklı depolama sıcaklıklarında depolanan örneklerin, depolamanın ilk günü ve 120. gününe ait görselleri

Antep fıstığı tozunun rengi, hem üreticiler hem de tüketiciler tarafından değerlendirilen en önemli kalite kriterlerinden biridir. Yapılan çalışmalar ve sonuçlarımız değerlendirildiğinde, depolama sıcaklığının Antep fıstığı tozunun rengi üzerindeki etkisi net bir şekilde görülmektedir. Sıcaklık arttıkça, Antep fıstığı tozunun a^* ve BI değerleri artarken, L^* ve b^* değerleri ise azalmaktadır. Şekil 4.26’da görüldüğü gibi, depolama sıcaklığının artması, Antep fıstığı tozunun canlı yeşil renkten uzaklaşmasına ve ürünün renginin yeşilden kahverengiye dönmesine neden olmaktadır. Bu durum, görsel olarak Antep fıstığı tozunun tüketilebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, Antep fıstığı tozuna ait yeşil rengin korunması için, ürünün düşük sıcaklıklarda depolanmasının ve 35 °C gibi yüksek sıcaklıklarda

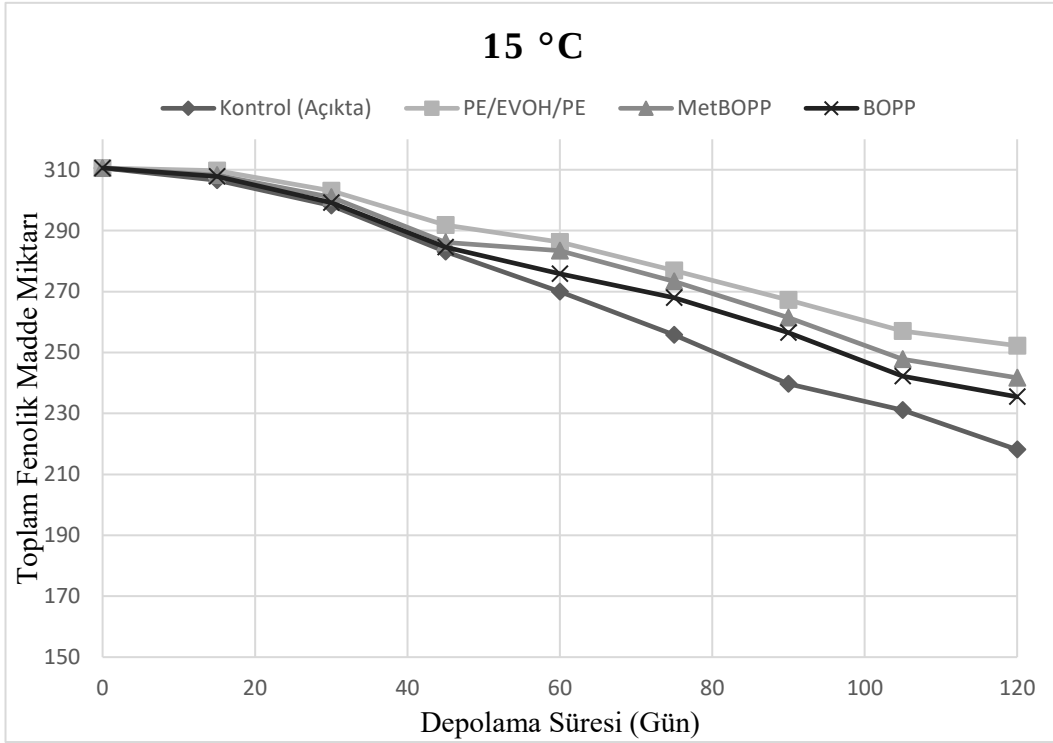
depolanması durumunda örneğin OTR değeri düşük bir ambalaj malzemesi ile ambalajlanmasının oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

4.2.4 Toplam fenolik madde miktarı analizi

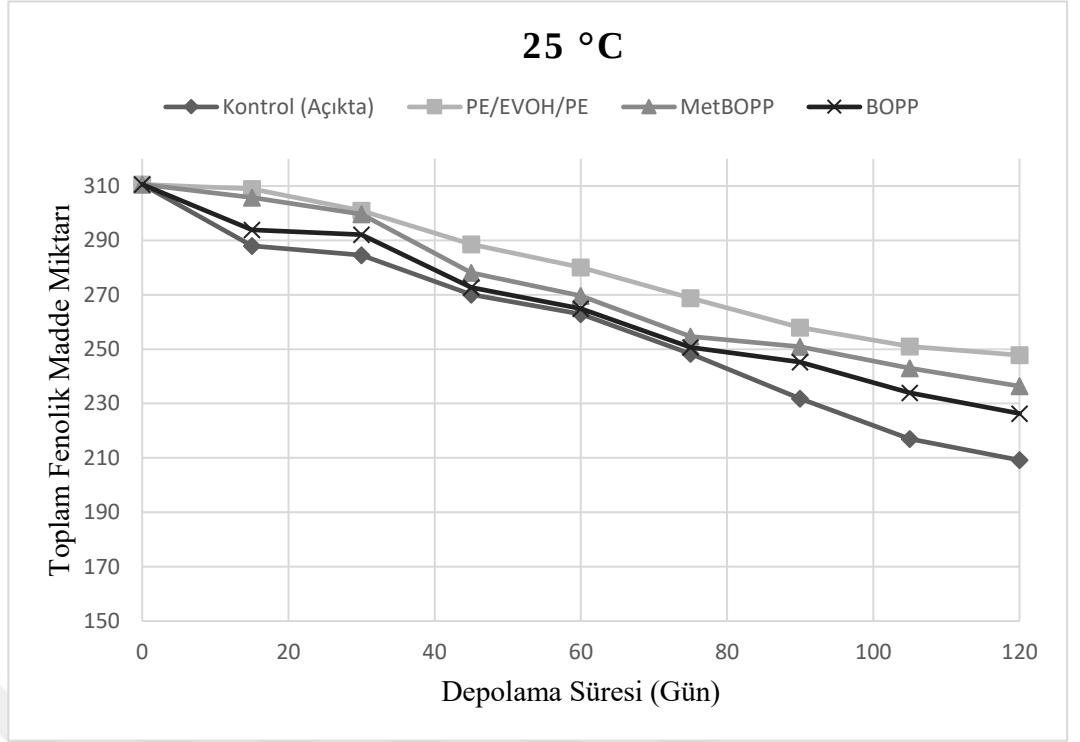
Fenolik bileşikler, bitkilerde ve bitki kaynaklı gıdalarda bulunan ikincil metabolitlerdir ve kabuklu yemişler zengin birer fenolik bileşik kaynağıdır (Cheynier et al., 2012; Nichenametta et al., 2007). Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı gallik asit eşdeğeri olarak mg GAE/100 g olarak hesaplanmıştır. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g) Tablo 4.9’da verilmiştir. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g) dağılım grafikleri ise sırasıyla Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’daki gibidir.

Tablo 4.9 ve dağılım grafiklerinde de görüldüğü gibi, depolama süresince, toplam fenolik madde miktarının tüm örneklerde azalma eğiliminde olduğu ve her depolama sıcaklığında, en fazla kontrol örneğinde azaldığı gözlenmiştir. Toplam fenolik madde miktarının korunması amacıyla Antep fıstığı tozunun ambalajlanarak depolanması gerektiği net bir şekilde görülmektedir. Tüm depolama sıcaklıklarında, kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerin toplam fenolik madde miktarının zamana bağlı olarak azaldığı ve bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir ($p < 0,05$). 15 °C’de depolanan örneklerin başlangıç toplam fenolik madde miktarı 310,58 mg GAE/100 g’dan, depolama sonunda, kontrol örneği için 218,11 mg GAE/100 g’a, PE/EVOH/PE ambalajlı örnek için 252,25 mg GAE/100 g’a, MetBOPP ambalajlı örnek için 241,70 mg GAE/100 g ve BOPP ambalajlı örnek için ise 235,45 mg GAE/100 g’a düşmüştür. Depolamanın ilk 30 günü, kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin, toplam fenolik madde miktarı arasındaki farklılıklar, istatistiksel farklılıklar anlamlı değilken ($p > 0,05$), 45. günden itibaren bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir ($p < 0,05$). 25 °C depolama koşullarında, örneklerin başlangıç toplam fenolik madde miktarı 310,58 mg GAE/100 g’dan, depolama sonunda, kontrol örneği için 209,17 mg GAE/100 g’a, PE/EVOH/PE ambalajlı örnek için 247,78 mg GAE/100 g’a, MetBOPP ambalajlı örnek için 236,38 mg GAE/100 g ve BOPP ambalajlı örnek için ise 226,33 mg GAE/100 g’a düşmüştür. 35 °C depolama koşullarında, örneklerin başlangıç toplam fenolik madde miktarı 310,58 mg GAE/100 g’dan, depolama sonunda, kontrol örneği için 177,37 mg GAE/100 g’a,

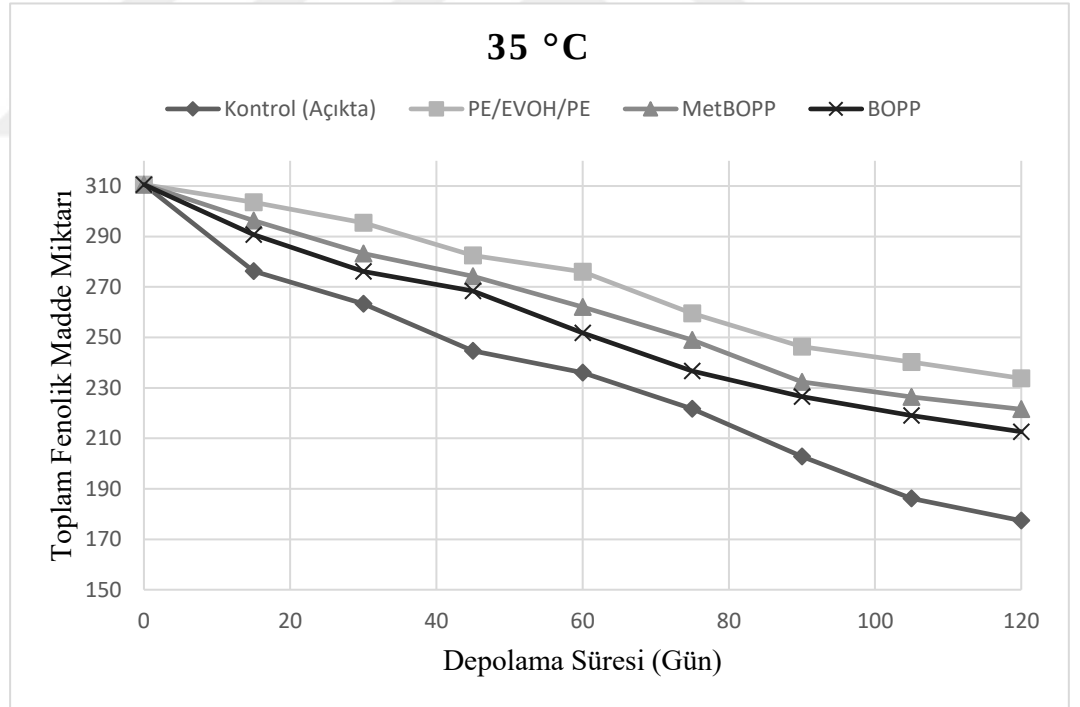
PE/EVOH/PE ambalajlı örnek için 233,78 mg GAE/100 g'a, MetBOPP ambalajlı örnek için 221,52 mg GAE/100 g ve BOPP ambalajlı örnek için ise 212,61 mg GAE/100 g'a düşmüştür. 45 °C depolama koşullarında ise, örneklerin başlangıç toplam fenolik madde miktarı, depolama sonunda, 310,58 mg GAE/100 g'dan, kontrol örneği için 155,30 mg GAE/100 g'a, PE/EVOH/PE ambalajlı örnek için 221,58 mg GAE/100 g'a, MetBOPP ambalajlı örnek için 207,25 mg GAE/100 g ve BOPP ambalajlı örnek için ise 198,81 mg GAE/100 g'a düşmüştür. 25, 35 ve 45 °C depolama koşulları için, kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin toplam fenolik madde miktarı arasındaki farklılıkların istatistiksel anlamlı olduğu gözlenmiştir ($p<0,05$).



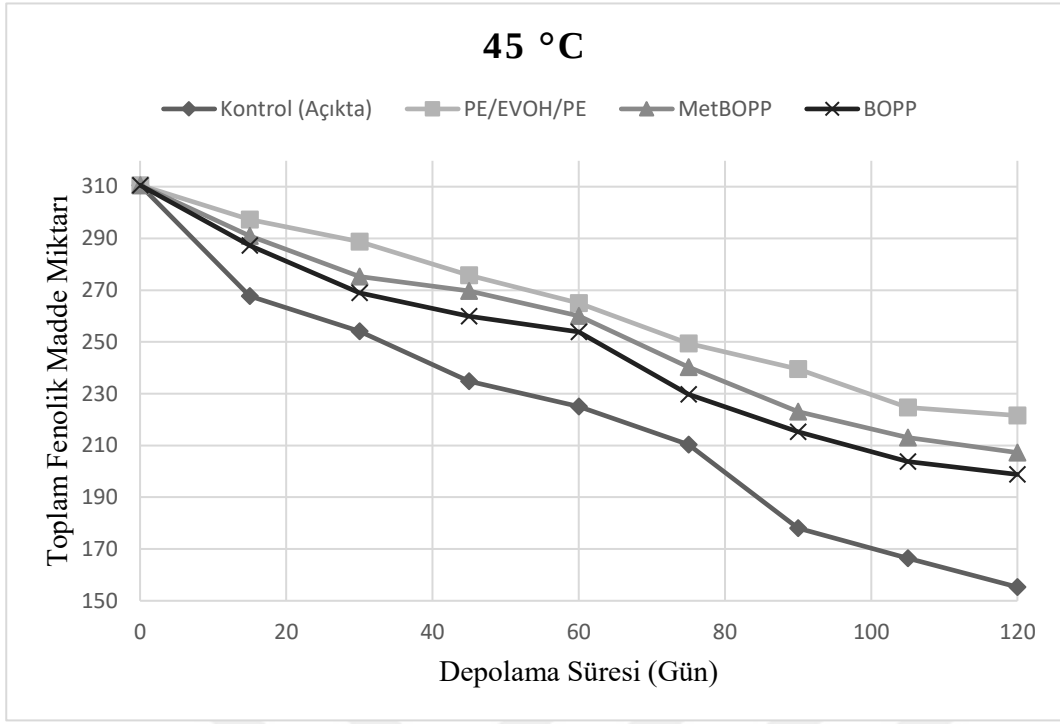
Şekil 4.27. 15 °C'de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g) dağılım grafiği



Şekil 4.28. 25 °C'de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g) dağılım grafiği



Şekil 4.29. 35 °C'de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g) dağılım grafiği



Şekil 4.30. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g) dağılım grafiği

Tablo 4.9. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g)

Sıcaklık	Depolama süresi (gün)	Kontrol (Açıkta)	PE/EVOH/PE	MetBOPP	BOPP
15 °C	0	310,58±0,19 ^{hA}	310,58±0,19 ^{hA}	310,58±0,19 ^{gA}	310,58±0,19 ^{iA}
	15	306,53±1,18 ^{hA}	309,69±0,25 ^{hA}	308,17±1,73 ^{gA}	307,76±0,36 ^{hA}
	30	298,25±4,44 ^{gA}	303,06±0,24 ^{gA}	301,02±2,12 ^{fA}	299,20±0,12 ^{gA}
	45	283,14±0,47 ^{fA}	291,87±1,59 ^{fB}	286,14±1,38 ^{eA}	284,53±0,53 ^{fA}
	60	270,02±0,03 ^{eA}	286,23±0,33 ^{eD}	283,39±0,20 ^{eC}	275,89±0,25 ^{eB}
	75	255,76±0,03 ^{dA}	276,95±0,14 ^{dD}	273,37±0,22 ^{dC}	268,02±0,03 ^{dB}
	90	239,74±0,02 ^{cA}	267,20±0,09 ^{cD}	261,48±0,02 ^{cC}	256,54±0,07 ^{cB}
	105	231,07±0,03 ^{bA}	257,08±0,02 ^{bD}	247,79±0,02 ^{bC}	242,22±0,04 ^{bB}
	120	218,11±0,02 ^{aA}	252,25±0,01 ^{aD}	241,70±0,02 ^{aC}	235,45±0,01 ^{aB}
25 °C	0	310,58±0,19 ^{hA}	310,58±0,19 ^{gA}	310,58±0,19 ^{iA}	310,58±0,19 ^{hA}
	15	288,03±3,51 ^{gA}	308,98±0,15 ^{gB}	305,70±0,69 ^{hB}	293,91±1,08 ^{gA}
	30	284,59±0,02 ^{gA}	300,94±3,52 ^{fC}	299,65±0,47 ^{gC}	292,04±0,41 ^{gB}
	45	270,11±1,85 ^{fA}	288,56±0,01 ^{eC}	278,13±0,19 ^{fB}	272,63±0,71 ^{fA}
	60	262,84±0,09 ^{eA}	280,08±0,06 ^{dD}	269,56±0,09 ^{eC}	264,91±0,42 ^{eB}
	75	248,30±0,14 ^{dA}	268,84±0,10 ^{cD}	254,70±0,01 ^{dC}	250,67±0,40 ^{dB}
	90	231,86±0,07 ^{cA}	257,98±0,07 ^{bD}	250,91±0,06 ^{cC}	245,22±0,08 ^{cB}
	105	216,99±0,02 ^{bA}	251,06±0,02 ^{aD}	243,0±0,01 ^{bC}	233,94±0,01 ^{bB}
	120	209,17±0,02 ^{aA}	247,78±0,02 ^{aD}	236,38±0,00 ^{aC}	226,33±0,01 ^{aB}
35 °C	0	310,58±0,19 ^{iA}	310,58±0,19 ^{iA}	310,58±0,19 ^{iA}	310,58±0,19 ^{iA}
	15	276,30±0,02 ^{hA}	303,53±0,02 ^{hD}	296,36±0,00 ^{hC}	290,74±0,01 ^{hB}
	30	263,34±0,02 ^{gA}	295,43±0,01 ^{gD}	283,30±0,01 ^{gC}	276,12±0,00 ^{gB}
	45	244,61±0,02 ^{fA}	282,48±0,00 ^{fD}	274,26±0,02 ^{fC}	268,34±0,01 ^{fB}
	60	236,07±0,02 ^{eA}	276,06±0,02 ^{eD}	262,07±0,02 ^{eC}	251,78±0,01 ^{eB}
	75	221,69±0,02 ^{dA}	259,53±0,00 ^{dD}	248,96±0,00 ^{dC}	236,72±0,00 ^{dB}
	90	202,83±0,00 ^{cA}	246,33±0,02 ^{cD}	232,37±0,02 ^{cC}	226,56±0,01 ^{cB}
	105	186,22±0,00 ^{bA}	240,17±0,02 ^{bD}	226,46±0,02 ^{bC}	219,04±0,01 ^{bB}
	120	177,37±0,01 ^{aA}	233,78±0,02 ^{aD}	221,52±0,02 ^{aC}	212,61±0,02 ^{aB}
45 °C	0	310,58±0,19 ^{iA}	310,58±0,19 ^{iA}	310,58±0,19 ^{iA}	310,58±0,19 ^{iA}
	15	267,71±0,02 ^{hA}	297,36±0,02 ^{hD}	291,04±0,04 ^{hC}	287,29±0,02 ^{hB}
	30	254,18±0,02 ^{gA}	288,81±0,05 ^{gD}	275,33±0,02 ^{gC}	268,99±0,02 ^{gB}
	45	234,88±0,00 ^{fA}	275,75±0,01 ^{fD}	269,75±0,00 ^{fC}	259,92±0,02 ^{fB}
	60	225,09±0,00 ^{eA}	264,98±0,00 ^{eD}	260,06±0,01 ^{eC}	253,90±0,01 ^{eB}
	75	210,35±0,00 ^{dA}	249,39±0,01 ^{dD}	240,27±0,00 ^{dC}	229,78±0,01 ^{dB}
	90	178,09±0,01 ^{cA}	239,49±0,00 ^{cD}	223,07±0,01 ^{cC}	215,30±0,00 ^{cB}
	105	166,48±0,01 ^{bA}	224,74±0,01 ^{bD}	213,06±0,02 ^{bC}	203,75±0,01 ^{bB}
	120	155,30±0,02 ^{aA}	221,58±0,02 ^{aD}	207,25±0,02 ^{aC}	198,81±0,00 ^{aB}

^aAynı sütundaki küçük harfler zamana göre aynı sıcaklık ve ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

^AAynı satırdaki büyük harfler farklı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

Oğuz (2008), yapmış olduğu çalışmada, bazı çerez gıdaların antioksidan kapasitelerini belirlemiştir. Bu çalışmaya göre ise kavrulmuş Antep fıstığının toplam fenolik madde miktarı 374-1006 mg GAE/100 g aralığında tespit edilmiştir. Tsantili et al. (2011) yapmış olduğu bir çalışmada, farklı Antep fıstığı türlerinin toplam fenolik madde miktarını yaklaşık 10-16 mg GAE/g aralığında tespit etmişlerdir. Ayrıca çalışmasında, 20 °C’de depolamanın 1 °C’ye göre daha fazla toplam fenolik madde miktarının azalmasına yol açtığını belirtmişlerdir. Çalışmamızla benzer olarak oksijen varlığının ve yüksek sıcaklığın toplam fenolik madde miktarının azalmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Sonmezdag vd. (2018) yapmış olduğu bir çalışmada, Antep fıstığının “Uzun” çeşidinin toplam fenolik madde miktarını 9,19-11,46 mg GAE/g aralığında olduğunu belirlemiştir. Esmaeili et al. (2018) yapmış olduğu bir çalışmada, Antep fıstığı yağında toplam fenolik madde miktarını 236 mg GAE/kg olarak tespit etmişlerdir. Pelvan vd. (2018), yapmış olduğu bir çalışmada, Türkiye’de yetişen Antep fıstığı yağlarının toplam fenolik madde miktarını 3,03-4,52 mg GAE/100 g olarak tespit etmişlerdir.

Farklı sıcaklıklarda (15-25-35-45°C), aynı örneklerin sonuçları incelendiğinde, depolama sıcaklığının artmasının toplam fenolik madde miktarını azalmasına neden olduğu oldukça net bir şekilde görülmektedir. Her sıcaklık değeri için depolama sonunda, en yüksek toplam fenolik madde miktarı PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerde; en düşük toplam fenolik madde miktarı ise kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Toplam fenolik madde miktarı değişiminde ambalaj malzemelerinin oksijen geçirgenlik hızlarının önemli olduğu düşünülmektedir. Çünkü; gıdada bulunan fenolik madde miktarı ürünün işlenmesi veya depolanması sırasında meydana gelen oksidatif reaksiyonlar ile değişebilmektedir. Fenolik bileşikler nispeten düşük konsantrasyonlarda antioksidan olarak, daha yüksek konsantrasyonlarda ise (oksidasyona duyarlı oldukları için) oksidasyonu başlatan pro-oksidanlar olarak davranabilmektedirler (Robards et al., 1999). Bu bağlamda, en düşük OTR değerine sahip PE/EVOH/PE ($OTR_{PE/EVOH/PE} \leq 1 \text{ cc/m}^2\text{gün-atm}$) ambalaj malzemesinin, örneğin toplam fenolik madde miktarını daha iyi koruduğu belirlenmiştir. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde ise, Antep fıstığı tozuna ait toplam fenolik madde miktarının korunabilmesi için, düşük sıcaklıklarda ve düşük OTR değerine sahip ambalaj malzemeleri ile depolanması gerektiği görülmektedir.

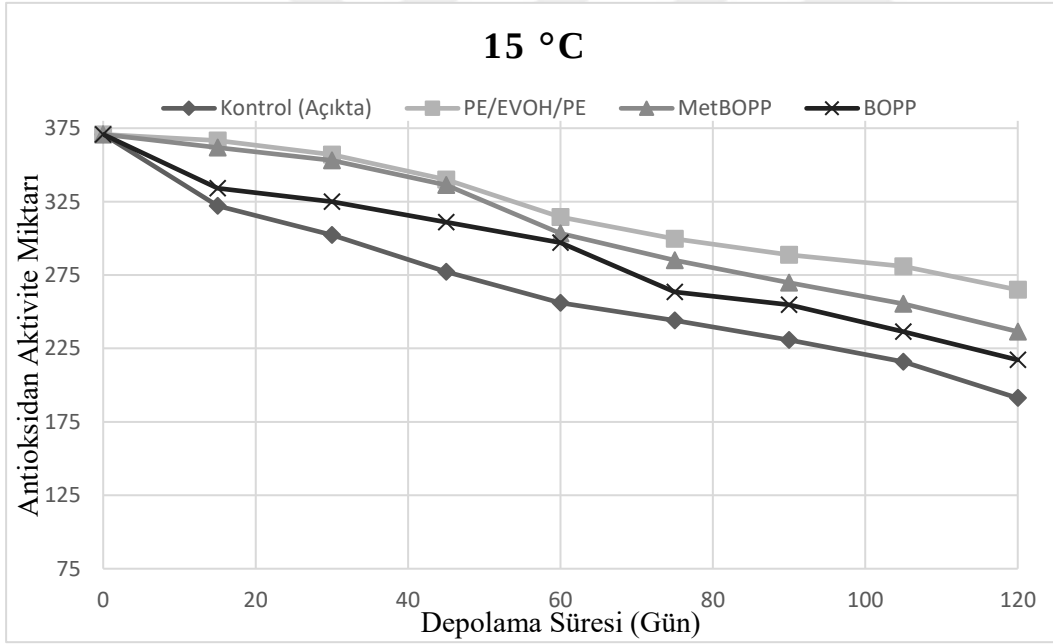
4.2.5 Antioksidan aktivite tayini

Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite miktarı değerleri Trolox eşdeğeri mg/100 g Trolox ve antioksidan aktivite kapasitesi (% inhibisyon) olarak hesaplanmıştır.

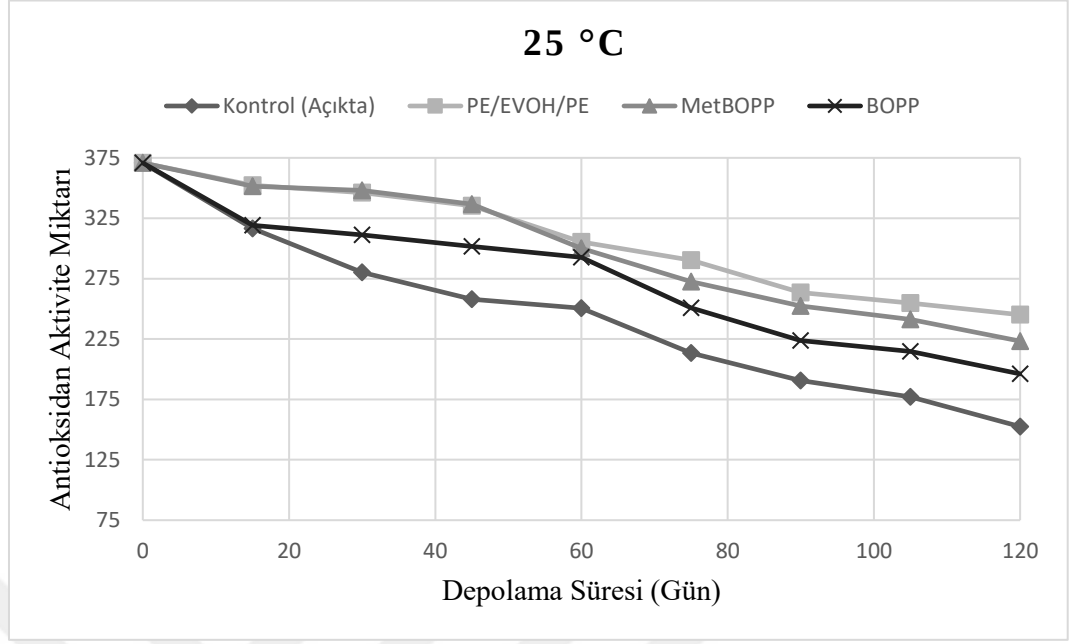
15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite miktarı (mg/100 g Trolox) Tablo 4.10’da verilmiştir. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite miktarı (mg/100 g Trolox) dağılım grafikleri ise sırasıyla Şekil 4.31, Şekil 4.32, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34’teki gibidir.

Tablo 4.10 ve dağılım grafiklerinde de görüldüğü gibi, depolama süresince, antioksidan aktivite miktarının, tüm örneklerde azalma eğiliminde olduğu ve her depolama sıcaklığı için, en büyük düşüşün kontrol örneğinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu bağlamda, antioksidan aktivite miktarının korunması amacıyla Antep fıstığı tozunun ambalajlanarak depolanması gerektiği net bir şekilde görülmektedir. Tüm depolama koşullarında, kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerin antioksidan aktivite miktarının zamana bağlı olarak azaldığını ve bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir ($p < 0,05$). 15 °C’de depolanan örneklerde 120 gün sonunda, örneklerin başlangıç antioksidan aktivite miktarının 370,78 mg Trolox/100 g’dan, kontrol örneği için 191,22 mg Trolox/100 g’a, PE/EVOH/PE ambalajlı örnek için 264,93 mg Trolox/100 g’a, MetBOPP ambalajlı örnek için 236,48 mg Trolox/100 g ve BOPP ambalajlı örnek için ise 217,20 mg Trolox/100 g’a düştüğü belirlenmiştir. 25 °C’de depolanan örneklerde 120 gün sonunda, örneklerin başlangıç antioksidan aktivite miktarı 370,78 mg Trolox/100 g’dan, kontrol örneği için 152,52 mg Trolox/100 g’a, PE/EVOH/PE ambalajlı örnek için 245,08 mg Trolox/100 g’a, MetBOPP ambalajlı örnek için 223,25 mg Trolox/100 g ve BOPP ambalajlı örnek için ise 196,12 mg Trolox /100 g’a düşmüştür. 35 °C’de depolanan örneklerde 120 gün sonunda, örneklerin başlangıç antioksidan aktivite miktarı 370,78 mg Trolox/100 g’dan, kontrol örneği için 113,98 mg Trolox/100 g’a, PE/EVOH/PE ambalajlı örnek için 216,57 mg Trolox/100 g’a, MetBOPP ambalajlı örnek için 205,36 mg Trolox/100 g ve BOPP ambalajlı örnek için ise 190,38 mg Trolox/100 g’a düştüğü gözlenmiştir. Tablo 4.10’da görüldüğü gibi, depolama sıcaklığı arttıkça, örneklerin antioksidan aktivite miktarı azalmaktadır. 45 °C’de depolanan örneklerde 120 gün sonunda, örneklerin başlangıç antioksidan aktivite miktarı 370,78 mg Trolox/100 g’dan, kontrol örneği için 75,33 mg Trolox/100 g’a,

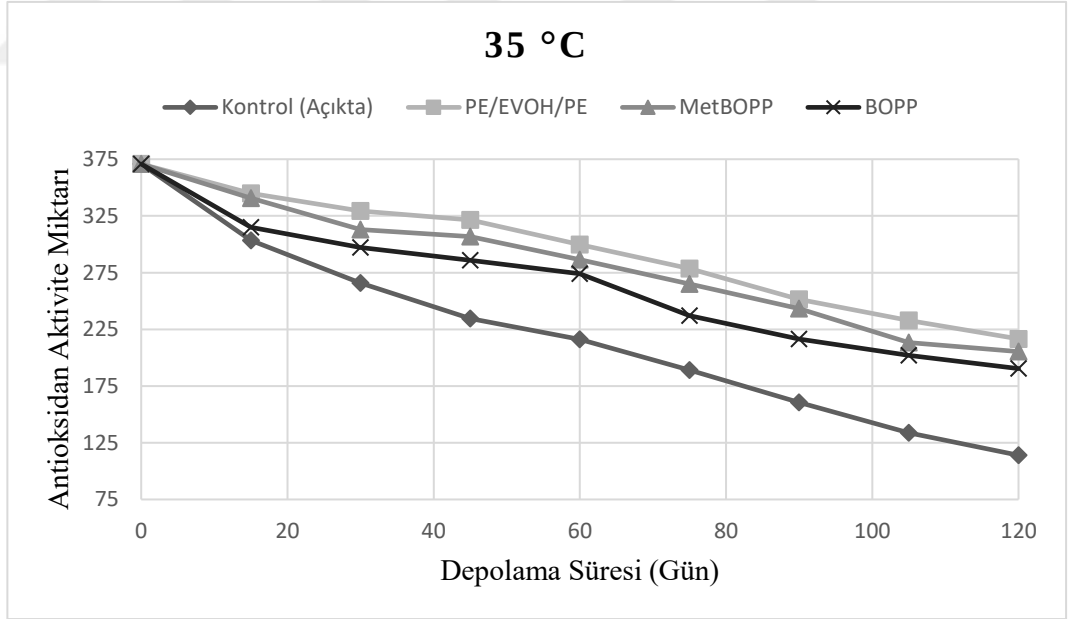
PE/EVOH/PE ambalajlı örnek için 211,54 mg Trolox/100 g'a, MetBOPP ambalajlı örnek için 191,53 mg Trolox/100 g ve BOPP ambalajlı örnek için ise 165,56 mg Trolox 100 g'a düşmüştür. 15, 25, 35 ve 45 °C depolama koşullarında, depolama süresi boyunca, kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin, antioksidan aktivite miktarı arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Antioksidanlar, oksijen ile reaksiyona girerek, oksijenin gıda üzerindeki olumsuz etkisini engelleyebilirler (Bulca, 2014). Bu sebeple, antioksidan aktivite değerinin değişiminde, örneklerin açıkta depolanması ve ambalaj malzemelerinin farklı oksijen geçirgenlik hızlarına sahip olmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Nitekim, tüm depolama sıcaklıklarında, en düşük antioksidan aktivite miktarı kontrol örneğinde tespit edilirken; farklı ambalaj malzemeleri değerlendirildiğinde ise, en yüksek antioksidan aktivite değeri PE/EVOH/PE ($OTR_{PE/EVOH/PE} \leq 1 \text{ cc/m}^2\text{gün-atm}$) ambalajlı örneklere, en düşük değer ise BOPP ($OTR_{BOPP} \leq 1200 \text{ cc/m}^2\text{gün-atm}$) ambalajlı örneklere ait olduğu görülmektedir.



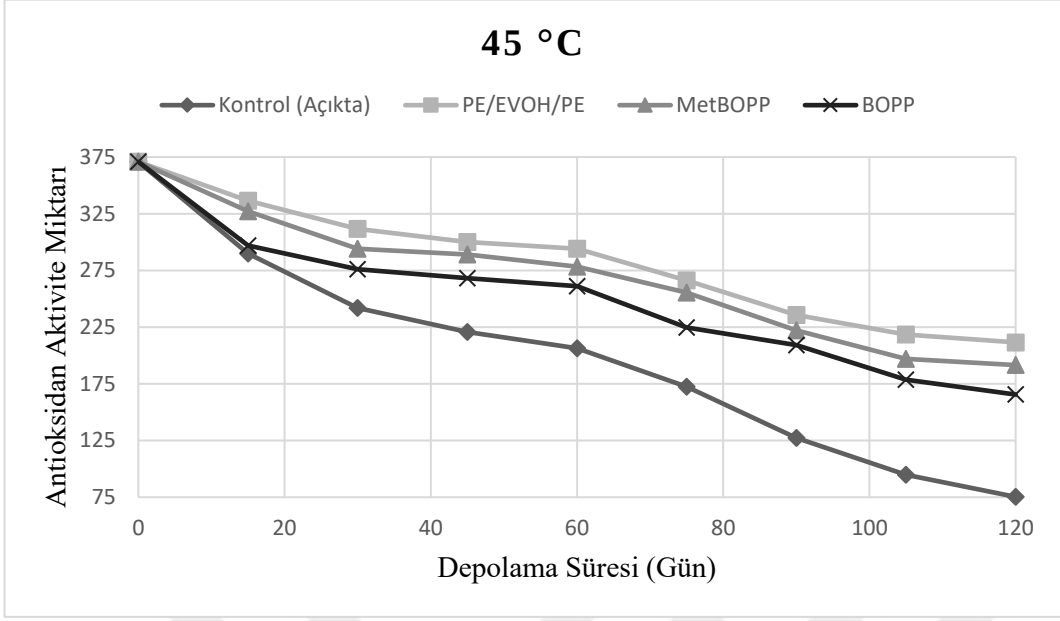
Şekil 4.31. 15 °C'de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite miktarı (mg Trolox/100 g) dağılım grafiği



Şekil 4.32. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite miktarı (mg Trolox/100 g) dağılım grafiği



Şekil 4.33. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite miktarı (mg Trolox/100 g) dağılım grafiği



Şekil 4.34. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite miktarı (mg Trolox/100 g) dağılım grafiği

Tablo 4.10. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite miktarı (mg Trolox/100 g)

Sıcaklık	Depolama süresi (gün)	Kontrol (Açıktaki)	PE/EVOH/PE	MetBOPP	BOPP
15 °C	0	370,78±1,55 ^{IA}	370,78±1,55 ^{hA}	370,78±1,55 ^{IA}	370,78±1,55 ^{IA}
	15	322,06±0,27 ^{hA}	366,69±0,38 ^{hD}	361,80±0,19 ^{hC}	334,16±0,27 ^{hB}
	30	302,24±0,07 ^{gA}	356,95±0,21 ^{gD}	353,14±0,21 ^{gC}	324,85±0,16 ^{gB}
	45	277,20±2,17 ^{fA}	339,96±3,04 ^{fC}	336,31±1,12 ^{fC}	310,98±0,23 ^{fB}
	60	256,00±0,05 ^{eA}	314,54±1,44 ^{eD}	303,26±0,24 ^{eC}	296,96±0,65 ^{eB}
	75	243,97±0,20 ^{dA}	299,72±0,14 ^{dD}	285,03±0,67 ^{dC}	263,50±0,35 ^{dB}
	90	230,67±0,12 ^{cA}	288,68±0,09 ^{cD}	269,71±0,14 ^{cC}	254,68±0,08 ^{cB}
	105	215,85±0,12 ^{bA}	280,90±0,08 ^{bD}	255,40±0,17 ^{bC}	236,47±0,06 ^{bB}
	120	191,22±0,08 ^{aA}	264,93±0,08 ^{aD}	236,48±0,06 ^{aC}	217,20±0,05 ^{aB}
25 °C	0	370,78±1,55 ^{IA}	370,78±1,55 ^{IA}	370,78±1,55 ^{IA}	370,78±1,55 ^{IA}
	15	316,46±0,47 ^{hA}	352,18±0,08 ^{hC}	351,47±0,58 ^{hC}	319,26±0,57 ^{hB}
	30	280,30±1,49 ^{gA}	346,09±0,41 ^{gC}	348,06±0,02 ^{gC}	311,30±0,72 ^{gB}
	45	257,90±0,53 ^{fA}	335,33±0,14 ^{fC}	336,71±0,32 ^{fD}	301,77±0,12 ^{fB}
	60	250,59±1,20 ^{eA}	305,28±3,15 ^{eC}	300,17±0,12 ^{eBC}	292,56±2,14 ^{eB}
	75	213,40±0,12 ^{dA}	290,34±0,09 ^{dD}	272,58±0,11 ^{dC}	250,75±0,03 ^{dB}
	90	190,66±0,05 ^{cA}	263,44±0,11 ^{cD}	252,44±0,02 ^{cC}	223,75±0,17 ^{cB}
	105	177,14±0,08 ^{bA}	254,66±0,05 ^{bD}	241,28±0,05 ^{bC}	214,83±0,02 ^{bB}
	120	152,52±0,09 ^{aA}	245,08±0,06 ^{aD}	223,25±0,06 ^{aC}	196,12±0,05 ^{aB}
35 °C	0	370,78±1,55 ^{IA}	370,78±1,55 ^{IA}	370,78±1,55 ^{IA}	370,78±1,55 ^{IA}
	15	303,33±0,08 ^{hA}	344,85±0,09 ^{hD}	340,51±0,02 ^{hC}	315,02±0,05 ^{hB}
	30	265,71±0,03 ^{gA}	329,37±0,05 ^{gD}	313,10±0,08 ^{gC}	297,30±0,14 ^{gB}
	45	234,52±0,02 ^{fA}	321,42±0,02 ^{fD}	306,85±0,02 ^{fC}	285,85±0,08 ^{fB}
	60	216,05±0,05 ^{eA}	299,76±0,02 ^{eD}	286,47±0,02 ^{eC}	274,06±0,05 ^{eB}
	75	189,13±0,02 ^{dA}	278,51±0,02 ^{dD}	265,09±0,02 ^{dC}	236,99±0,05 ^{dB}
	90	160,46±0,05 ^{cA}	251,31±0,08 ^{cD}	243,39±0,02 ^{cC}	216,35±0,02 ^{cB}
	105	133,84±0,06 ^{bA}	232,85±0,02 ^{bD}	213,39±0,15 ^{bC}	202,12±0,06 ^{bB}
	120	113,98±0,02 ^{aA}	216,57±0,05 ^{aD}	205,36±0,08 ^{aC}	190,38±0,05 ^{aB}
45 °C	0	370,78±1,55 ^{IA}	370,78±1,55 ^{IA}	370,78±1,55 ^{IA}	370,78±1,55 ^{IA}
	15	289,82±0,02 ^{hA}	336,33±0,09 ^{hD}	327,28±0,09 ^{hC}	296,92±0,05 ^{hB}
	30	242,02±0,08 ^{gA}	311,60±0,11 ^{gD}	294,01±0,14 ^{gC}	275,91±0,09 ^{gB}
	45	220,83±0,05 ^{fA}	300,06±0,02 ^{fD}	289,06±0,02 ^{fC}	268,11±0,02 ^{fB}
	60	206,26±0,03 ^{eA}	294,19±0,02 ^{eD}	278,30±0,05 ^{eC}	260,97±0,05 ^{eB}
	75	172,36±0,02 ^{dA}	266,09±0,02 ^{dD}	255,53±0,02 ^{dC}	224,73±0,05 ^{dB}
	90	127,28±0,02 ^{cA}	235,74±0,05 ^{cD}	222,24±0,05 ^{cC}	209,08±0,05 ^{cB}
	105	94,75±0,06 ^{bA}	218,44±0,05 ^{bD}	196,95±0,02 ^{bC}	178,66±0,08 ^{bB}
	120	75,33±0,06 ^{aA}	211,54±0,05 ^{aD}	191,53±0,09 ^{aC}	165,56±0,02 ^{aB}

^aAynı sütundaki küçük harfler zamana göre aynı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

^AAynı satırdaki büyük harfler farklı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite kapasitesi (% inhibisyon) Tablo 4.11’de verilmiştir. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite kapasitesi (%inhibisyon) dağılım grafikleri ise sırasıyla Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’deki gibidir.

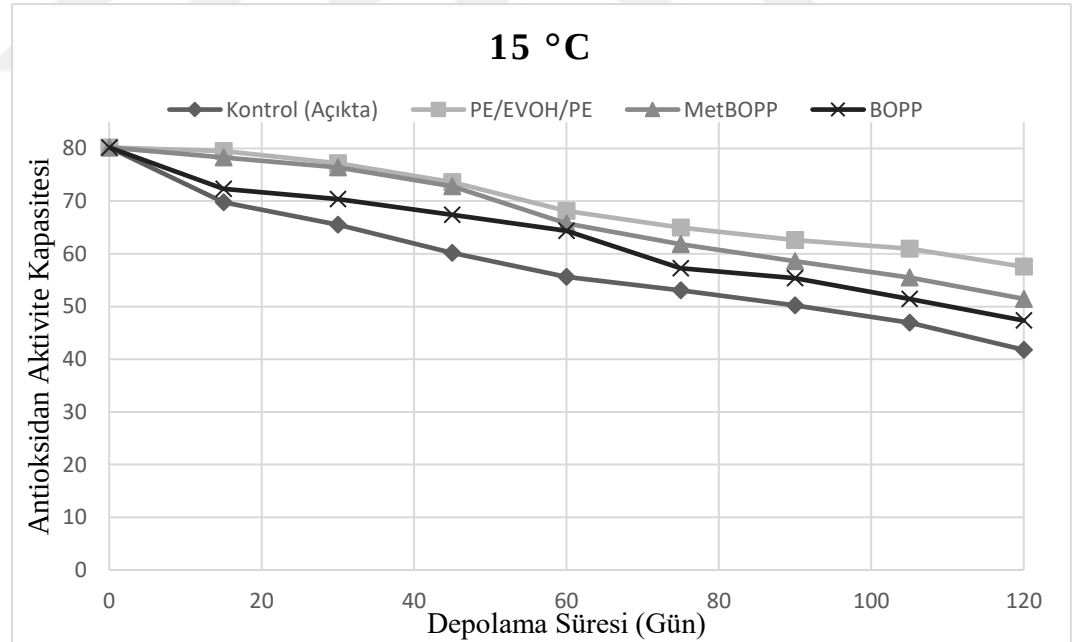
Tablo 4.11 ve dağılım grafiklerinde görüldüğü gibi, 15, 25, 35 ve 45 °C depolama sıcaklıklarında, tüm Antep fıstığı tozu örneklerinde, %inhibisyon antioksidan kapasitenin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. 15 °C’de depolanan örneklerde, depolama sonunda, antioksidan aktivite miktarı %80,18’den %41,78’e düşerek, en fazla kontrol örneğinde azalmıştır. Kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalajlı örneklerin %antioksidan aktivite değerinin, zamana bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu ve bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ($p<0,05$). 15 °C’de depolanan örneklerde, başlangıç %antioksidan kapasite miktarı 80,18’den, kontrol örneğinde 41,78’e, PE/EVOH/PE ambalajlı örnekte 57,54’e, MetBOPP ambalajlı örnekte 51,46’ya ve BOPP ambalajlı örnekte ise 47,34’e düşmüştür. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklere ait %antioksidan aktivite miktarı arasında farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir ($p<0,05$).

25 °C’de depolanan örneklerde, depolama süresi sonunda %antioksidan aktivite miktarı, %80,18’den, %33,51’e düşerek en fazla kontrol örneğinde azalmıştır. Kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin %antioksidan aktivite miktarları zamana bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu ve bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir ($p<0,05$). 25 °C’de depolanan örneklerde, başlangıç %antioksidan aktivite miktarı 80,18’den, kontrol örneğinde 33,51’e, PE/EVOH/PE ambalajlı örnekte 53,30’a, MetBOPP ambalajlı örnekte 48,63’e ve BOPP ambalajlı örnekte ise 42,83’e düşmüştür. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin, %antioksidan aktivite miktarı arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir ($p<0,05$).

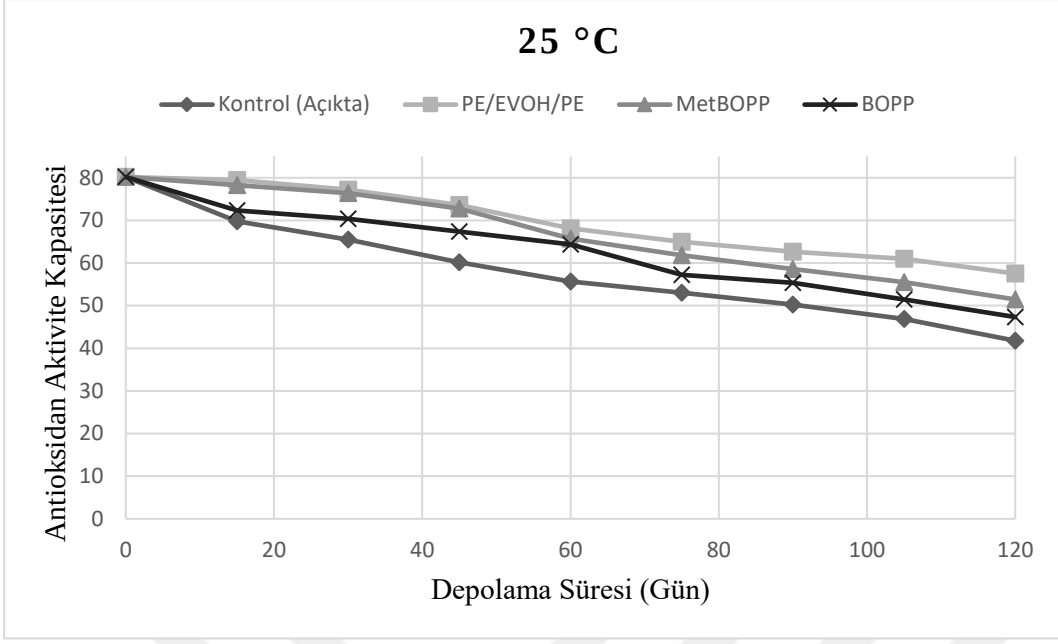
35 °C’de depolanan örneklerde, depolama süresi sonunda %antioksidan aktivite miktarı, %80,18’den, 25,26’ya düşerek en fazla kontrol örneğinde azalmıştır. Kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin %antioksidan aktivite miktarları zamana bağlı olarak azalmış ve bu değişim ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Depolama süresi sonunda, %antioksidan aktivite miktarı 80,18’den,

kontrol örneğinde 25,26'ya, PE/EVOH/PE ambalajlı örnekte 47,20'ye, MetBOPP ambalajlı örnekte 44,80'e ve BOPP ambalajlı örnekte ise 41,60'a düşmüştür. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin %antioksidan aktivite değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir ($p<0,05$).

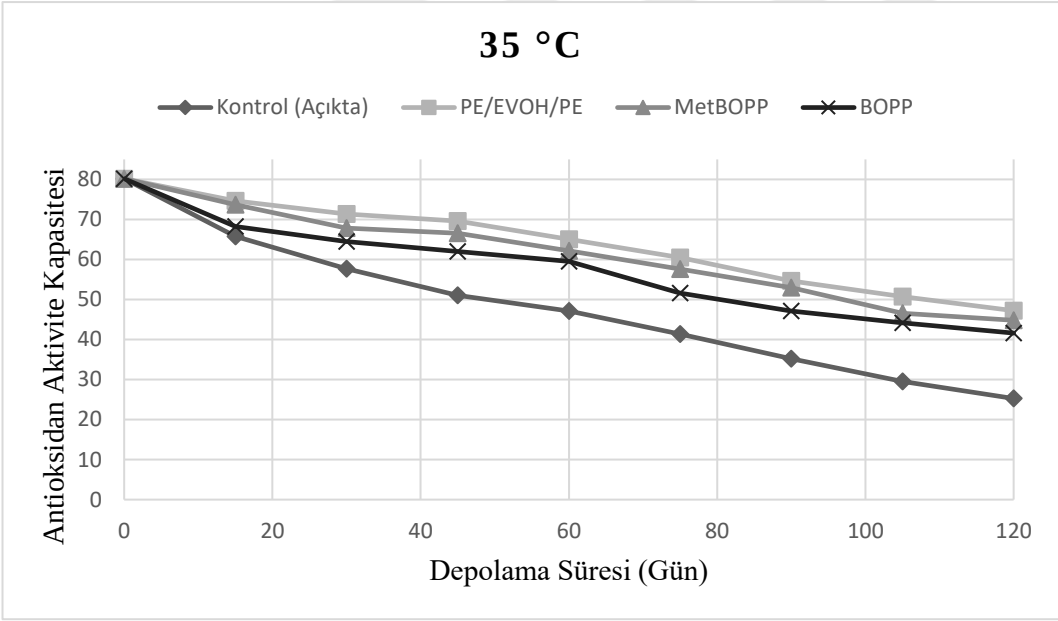
45 °C'de depolanan örneklerde, depolama süresi sonunda %antioksidan aktivite miktarı, %80,18'den, 17,00'a düşerek en fazla kontrol örneğinde azalmıştır. Kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin %antioksidan aktivite miktarlarının, zamana bağlı olarak azaldığı ve bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ($p<0,05$). Depolama süresi sonunda, %antioksidan aktivite miktarı 80,18'den, kontrol örneğinde 17,00'a, PE/EVOH/PE ambalajlı örnekte 46,13'e, MetBOPP ambalajlı örnekte 41,85'e ve BOPP ambalajlı örnekte ise 36,29'a düşmüştür. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin %antioksidan aktivite değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak ise önemlidir ($p<0,05$). Depolama sıcaklığı arttıkça (15, 25, 35 ve 45 °C), aynı örneklerin %antioksidan aktivite miktarının azaldığı görülmektedir.



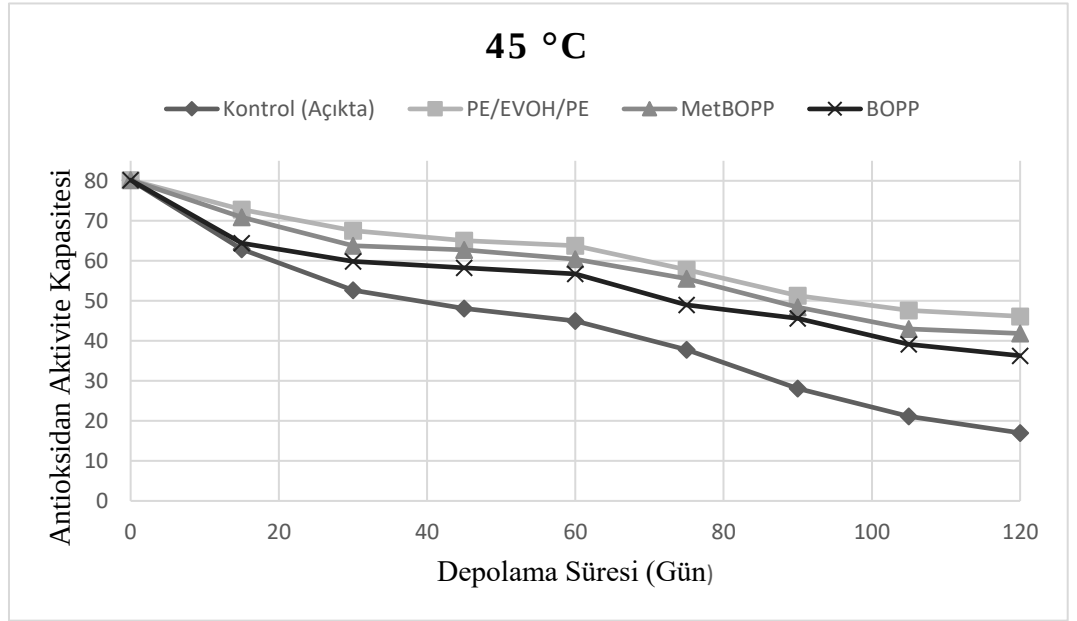
Şekil 4.35. 15 °C'de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite kapasitesi (% inhibisyon) dağılım grafiği



Şekil 4.36. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite kapasitesi (% inhibisyon) dağılım grafiği



Şekil 4.37. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite kapasitesi (% inhibisyon) dağılım grafiği



Şekil 4.38. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite kapasitesi (% inhibisyon) dağılım grafiği

Tablo 4.11. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait antioksidan aktivite kapasitesi (% inhibisyon)

Sıcaklık	Depolama süresi (gün)	Kontrol (Açıkta)	PE/EVOH/PE	MetBOPP	BOPP
15 °C	0	80,18±0,33 ^{iA}	80,18±0,33 ^{hA}	80,18±0,33 ^{iA}	80,18±0,33 ^{iA}
	15	69,76±0,06 ^{hA}	79,48±0,33 ^{hA}	78,26±0,04 ^{hA}	72,35±0,05 ^{hA}
	30	65,52±0,02 ^{gA}	77,22±0,04 ^{gD}	76,41±0,04 ^{gC}	70,36±0,03 ^{gB}
	45	60,17±0,46 ^{fA}	73,59±0,65 ^{fC}	72,81±0,24 ^{fC}	67,39±0,04 ^{fB}
	60	55,64±0,01 ^{eA}	68,15±0,30 ^{eD}	65,74±0,04 ^{eC}	64,39±0,13 ^{eB}
	75	53,06±0,04 ^{dA}	64,98±0,03 ^{dD}	61,84±0,14 ^{dC}	57,24±0,07 ^{dB}
	90	50,22±0,02 ^{cA}	62,62±0,02 ^{cD}	58,57±0,02 ^{cC}	55,35±0,02 ^{cB}
	105	46,91±0,02 ^{bA}	60,96±0,01 ^{bD}	55,51±0,04 ^{bC}	51,46±0,01 ^{bB}
	120	41,78±0,02 ^{aA}	57,54±0,02 ^{aD}	51,46±0,01 ^{aC}	47,34±0,01 ^{aB}
25 °C	0	80,18±0,33 ^{iA}	80,18±0,33 ^{iA}	80,18±0,33 ^{iA}	80,18±0,33 ^{iA}
	15	68,57±0,09 ^{hA}	76,20±0,02 ^{hC}	76,05±0,12 ^{hC}	69,16±0,12 ^{hB}
	30	60,83±0,31 ^{gA}	74,90±0,08 ^{gC}	75,32±0,00 ^{gC}	67,46±0,15 ^{gB}
	45	56,04±0,11 ^{fA}	72,60±0,02 ^{fD}	72,89±0,06 ^{fC}	65,42±0,02 ^{fB}
	60	54,48±0,25 ^{eA}	66,17±0,67 ^{eC}	65,08±0,02 ^{eBC}	63,45±0,45 ^{eB}
	75	46,53±0,02 ^{dA}	62,98±0,01 ^{dD}	59,18±0,02 ^{dC}	54,51±0,00 ^{dB}
	90	41,66±0,00 ^{cA}	57,23±0,02 ^{cD}	54,87±0,00 ^{cC}	48,74±0,03 ^{cB}
	105	38,77±0,02 ^{bA}	55,35±0,01 ^{bD}	52,49±0,01 ^{bC}	46,83±0,00 ^{bB}
	120	33,51±0,01 ^{aA}	53,30±0,01 ^{aD}	48,63±0,00 ^{aC}	42,83±0,01 ^{aB}
35 °C	0	80,18±0,33 ^{iA}	80,18±0,33 ^{iA}	80,18±0,33 ^{iA}	80,18±0,33 ^{iA}
	15	65,75±0,02 ^{hA}	74,63±0,02 ^{hD}	73,70±0,00 ^{hC}	68,26±0,01 ^{hB}
	30	57,71±0,00 ^{gA}	71,32±0,00 ^{gD}	67,84±0,02 ^{gC}	64,47±0,02 ^{gB}
	45	51,04±0,00 ^{fA}	69,62±0,00 ^{fD}	66,51±0,00 ^{fC}	62,02±0,01 ^{fB}
	60	47,09±0,00 ^{eA}	64,99±0,00 ^{eD}	62,15±0,00 ^{eC}	59,50±0,01 ^{eB}
	75	41,33±0,00 ^{dA}	60,45±0,00 ^{dD}	57,58±0,01 ^{dC}	51,57±0,01 ^{dB}
	90	35,21±0,01 ^{cA}	54,63±0,02 ^{cD}	52,94±0,00 ^{cC}	47,15±0,00 ^{cB}
	105	29,51±0,00 ^{bA}	50,68±0,00 ^{bD}	46,52±0,00 ^{bC}	44,12±0,01 ^{bB}
	120	25,26±0,00 ^{aA}	47,20±0,00 ^{aD}	44,80±0,02 ^{aC}	41,60±0,00 ^{aB}
45 °C	0	80,18±0,33 ^{iA}	80,18±0,33 ^{iA}	80,18±0,33 ^{iA}	80,18±0,33 ^{iA}
	15	62,86±0,00 ^{hA}	72,81±0,02 ^{hD}	70,88±0,01 ^{hC}	64,39±0,01 ^{hB}
	30	52,64±0,02 ^{gA}	67,52±0,02 ^{gD}	63,76±0,03 ^{gC}	59,89±0,02 ^{gB}
	45	48,12±0,01 ^{fA}	65,05±0,00 ^{fD}	62,70±0,00 ^{fC}	58,22±0,00 ^{fB}
	60	45,00±0,00 ^{eA}	63,80±0,02 ^{eD}	60,40±0,00 ^{eC}	56,70±0,01 ^{eB}
	75	37,75±0,00 ^{dA}	57,79±0,01 ^{dD}	55,53±0,00 ^{dC}	48,95±0,01 ^{dB}
	90	28,11±0,00 ^{cA}	51,30±0,01 ^{cD}	48,42±0,01 ^{cC}	45,60±0,01 ^{cB}
	105	21,16±0,01 ^{bA}	47,60±0,01 ^{bD}	43,00±0,00 ^{bC}	39,10±0,01 ^{bB}
	120	17,00±0,00 ^{aA}	46,13±0,01 ^{aD}	41,85±0,02 ^{aC}	36,29±0,00 ^{aB}

^aAynı sütundaki küçük harfler zamana göre aynı sıcaklık ve ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

^AAynı satırdaki büyük harfler farklı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

Antep fıstığının kalite özelliklerini inceleyen Hashemi et al. (2021), yapmış olduğu çalışmada, farklı konsantrasyonlarda kaplama yapılan Antep fıstığı örneklerini 2 °C’de (%85 bağıl nem) 36 gün boyunca depolamıştır. Depolama sonunda, örneklerin %antioksidan miktarı değeri %48’den, %8’lere kadar düştüğü tespit edilmiştir. Sonmezdag vd. (2018) yapmış olduğu bir çalışmada, Antep fıstığının “Uzun” çeşidinin antioksidan miktarının 7,19-13,58 mM Trolox/kg aralığında olduğunu belirlemiştir. Tsantili et al. (2011) yapmış olduğu bir çalışmada, Antep fıstığının, 20 °C’de depolanmasının 1 °C’ye göre daha fazla antioksidan miktarında azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Çalışmamızda Antep fıstığı tozunun, antioksidan miktarı her depolama koşulunda en yüksek PE/EVOH/PE ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerde, en düşük ise kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Antep fıstığı tozunun düşük OTR değerine sahip ambalaj malzemeleri ile ve düşük sıcaklıklarda depolandığında, antioksidan miktarını daha iyi koruyacağı düşünülmektedir.

4.2.6 Peroksit analizi

Depolama sırasında yağların kalite özelliklerinin bozulmasının ana nedeni; sıcaklık, ışık, oksijen ve metal iyonları varlığından etkilenebilen lipid oksidasyonudur. Peroksit değeri ise, oksidasyonun ilk aşamasının bir göstergesi olarak, hidroperoksitleri ölçmek ve lipid oksidasyonunu izlemek için kullanılan kalite parametrelerinden biridir. Peroksit değeri, bir kilogram yağ başına aktif oksijenin milieşdeğeri (meq) olarak tanımlanır. Yağlarda, oksidasyon istenmeyen tat ve koku oluşumuna neden olur ve kritik peroksit değerinin aşılması gıda zehirlenmelerine bile neden olabilmektedir (Maskan vd., 1999; Raisi et al., 2015; Zhang et al., 2021; Hori et al., 2019; He et al., 2023). Maskan vd. (1999), Antep fıstığının yüksek oranda doymamış yağ asitleri içerdiğini ve bu nedenle oksidasyona oldukça duyarlı olduğunu belirtmiştir. Antep fıstığı tozuna ait peroksit değerleri meq g O₂/kg yağ cinsinden hesaplanmıştır. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait peroksit değerleri Tablo 4.12’de verilmiştir. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait peroksit değeri dağılım grafikleri ise sırasıyla Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42 ’de verilmiştir.

Tablo 4.12 ve dağılım grafiklerinde görüldüğü gibi, tüm depolama sıcaklıklarında ve tüm örneklerde, peroksit değeri, depolama süresince artma eğilimindedir. 15°C’de 120 gün boyunca depolanan tüm Antep fıstığı tozu

örnekleri arasında, peroksit değerindeki en büyük artış 34,43 meq g O₂/kg yağ ile kontrol örneğinde gerçekleşmiştir. Kontrol örneğinin ambalajsız bir şekilde depolanması lipid oksidasyonunun daha hızlı gerçekleşmesine ve bu nedenle peroksit değerinin daha hızlı bir şekilde artmasına neden olmuştur. Kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin, peroksit değerinde, zamana bağlı olarak bir artış olduğu ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ($p<0,05$). 15 °C’de depolanan örneklerde 120. gün sonunda, örneklerin başlangıç peroksit değeri 2,16 meq g O₂/kg yağ’dan kontrol örneğinde 34,43 meq g O₂/kg yağ’a, PE/EVOH/PE ambalaj örneğinde 15,82 meq g O₂/kg yağ’a, MetBOPP ambalaj örneğinde 24,00 meq g O₂/kg yağ ve BOPP ambalaj örneğinde ise 27,30 meq g O₂/kg yağ’a yükselmiştir. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleriyle depolanan örneklerin peroksit değerleri arasında farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir ($p<0,05$). Oksidasyon reaksiyonunun ilerlemesi için oksijen gerekliliği açıktır. Bu nedenle kullanılan ambalaj malzemesinin OTR değeri de, lipid oksidasyonunun sınırlandırılması ve kalite özelliklerinin korunması açısından önemlidir. Antep fıstığı tozunun peroksit değeri değişiminde, kullanılan ambalaj malzemelerinin farklı OTR değerlerine sahip olması oldukça önemlidir ($OTR_{PE/EVOH/PE} \leq 1 \text{ cc/m}^2\text{gün-atm}$, $OTR_{MetBOPP} \leq 120 \text{ cc/m}^2\text{gün-atm}$, $OTR_{BOPP} \leq 1200 \text{ cc/m}^2\text{gün-atm}$). Nitekim, farklı OTR değerlerine sahip ambalaj malzemeleri değerlendirildiğinde ise, PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerde en düşük peroksit değeri tespit edilirken, BOPP ambalajlı örneklerde ise en yüksek peroksit değeri tespit edilmiştir. Bu bağlamda, Antep fıstığı tozunda lipid oksidasyonu nedeniyle gerçekleşen peroksit değerindeki değişimde, farklı OTR değerine sahip ambalaj malzemeleri önemli bir faktördür. Türk Gıda Kodeksi (2012) ve Codex Alimentarius International Food Standarts (2021) Bitki adı ile anılan yağlar tebliğine göre soğuk preslenmiş ve natürel yağlarda peroksit değerinin en çok 15 meq g O₂/kg yağ olması gerekmektedir. 15 °C’de depolamada; PE/EVOH/PE ambalaj malzemesi ile ambalajlanan örneklerde peroksit değeri 120. günde sınır değerin üzerine çıkmıştır. Ancak belirtilen sınır değer, kontrol örneği ve BOPP ambalajlı örnekler için 75. günde, MetBOPP ambalajlı örnekler için ise 90. günde aşılmıştır.

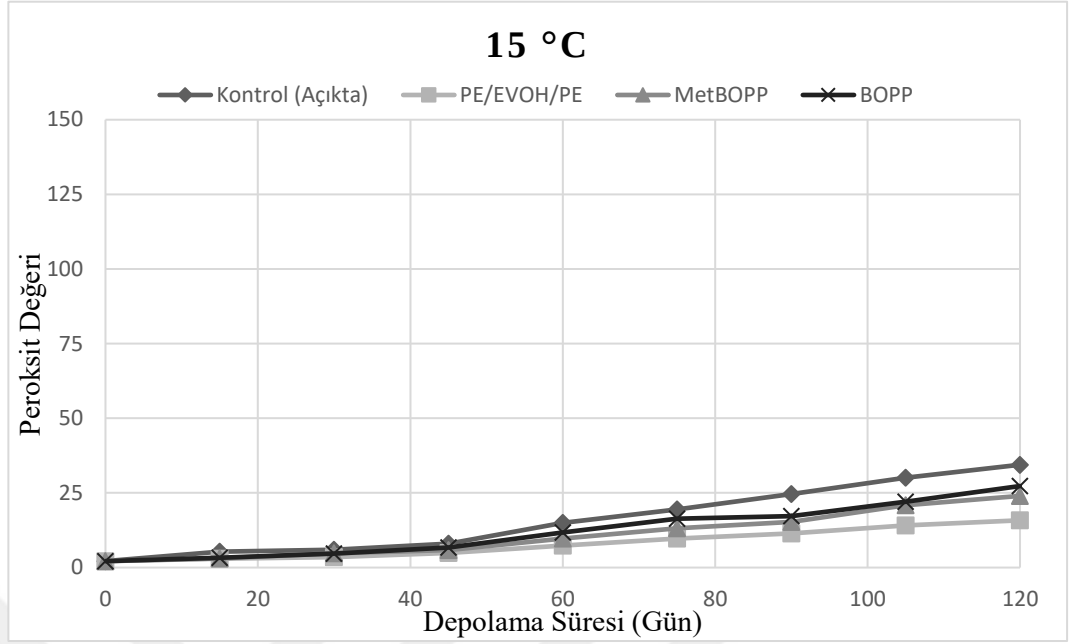
25°C’de 120 gün boyunca depolanan tüm Antep fıstığı tozu örnekleri arasında peroksit değerindeki en büyük artış 59,47 meq g O₂/kg yağ ile kontrol örneğinde gerçekleşmiştir. Kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerin, peroksit değerinde, zamana bağlı bir artışın olduğu ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir ($p<0,05$). 25 °C’de depolanan örneklerde 120. gün sonunda, örneklerin başlangıç

peroksit değeri 2,16 meq g O₂/kg yağ'dan kontrol örneğinde 59,47 meq g O₂/ kg yağ'a, PE/EVOH/PE ambalaj örneğinde 27,22 meq g O₂/kg yağ'a, MetBOPP ambalaj örneğinde 35,92 meq g O₂/kg yağ'a ve BOPP ambalaj örneğinde ise 41,46 meq g O₂/kg yağ'a yükselmiştir. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleriyle depolanan örneklerin peroksit değerleri arasında farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05). Farklı OTR değerlerine sahip ambalaj malzemeleri değerlendirildiğinde ise, PE/EVOH/PE ambalaj malzemesinde en düşük peroksit değeri tespit edilirken, BOPP ambalaj malzemesinde ise en yüksek peroksit değeri tespit edilmiştir. Depolama süresi sonunda, 15 °C'de depolanan kontrol örneği ve ambalajlı örneklerin peroksit değeri, 25 °C'de depolanan kontrol örneği ve ambalajlı örneklerin peroksit değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Depolama süreci sonunda kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerin peroksit değeri sınır değer olan 15,00 meq g O₂/kg aşmıştır. Ancak belirtilen sınır değer, kontrol örneği için 45. günde, BOPP ambalajlı örnekler için 60. günde, ve PE/EVOH/PE ve MetBOPP ambalajlı örnekler için 75. günde aşılmıştır.

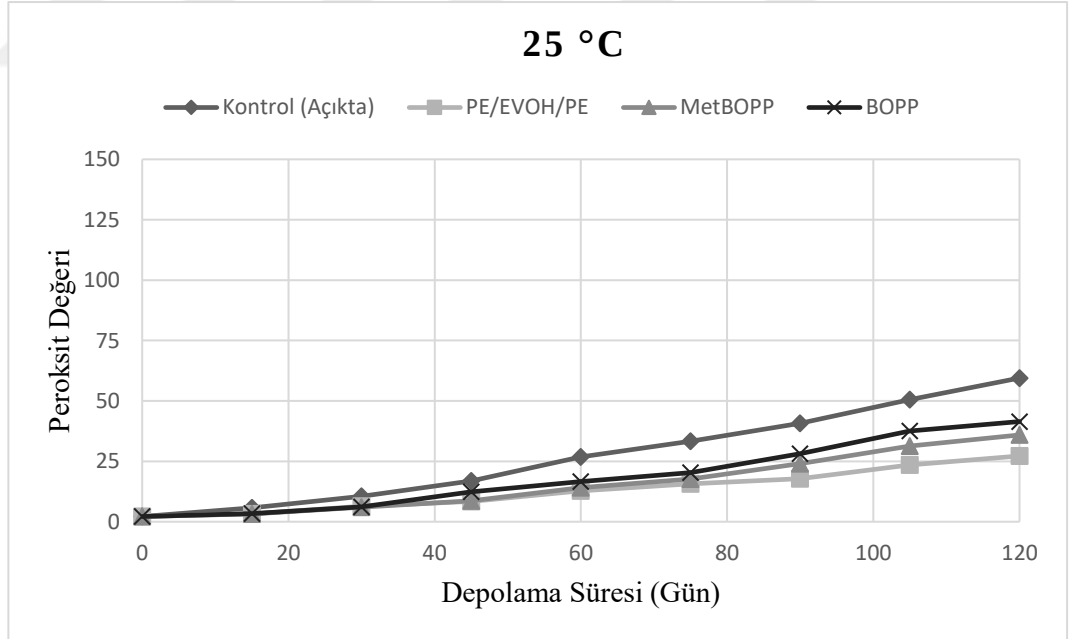
35°C'de 120 gün boyunca depolanan tüm Antep fıstığı tozu örneklerindeki peroksit değerinde diğer iki depolama sıcaklığına göre daha fazla artış olmuş ve peroksit değerindeki en büyük artış 99,15 meq g O₂/kg yağ ile kontrol örneğinde gerçekleşmiştir. Kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerin, peroksit değerinde, zamana bağlı bir artışın olduğu ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir (p<0,05). 35 °C'de depolanan örneklerde 120. gün sonunda, örneklerin başlangıç peroksit değeri 2,16 meq g O₂/kg yağ'dan kontrol örneğinde 99,15 meq g O₂/kg yağ'a, PE/EVOH/PE ambalaj örneğinde 30,48 meq g O₂/ kg yağ'a, MetBOPP ambalaj örneğinde 44,04 meq g O₂/kg yağ'a ve BOPP ambalaj örneğinde ise 52,53 meq g O₂/kg yağ'a yükselmiştir. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleriyle depolanan örneklerin peroksit değerleri arasında farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05). Farklı OTR değerlerine sahip ambalaj malzemeleri değerlendirildiğinde, PE/EVOH/PE ambalaj malzemesinde en düşük peroksit değeri tespit edilirken, BOPP ambalaj malzemesinde ise en yüksek peroksit değeri tespit edilmiştir. Depolama süresi sonunda, 15 °C ve 25 °C'de depolanan kontrol örneği ve ambalajlı örneklerin peroksit değeri, 35 °C'de depolanan kontrol örneği ve ambalajlı örneklerin peroksit değerinden daha düşük olarak belirlenmiştir. Depolama süresi sonunda, kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerin peroksit değeri sınır değer olan 15,00 meq g O₂/kg yağ'ı aşmıştır. Ancak belirtilen sınır değer, kontrol örneği için 45.

günde, MetBOPP ve BOPP ambalajlı örnekler için 60. günde ve PE/EVOH/PE ambalajlı örnekler için 75. günde aşılmıştır.

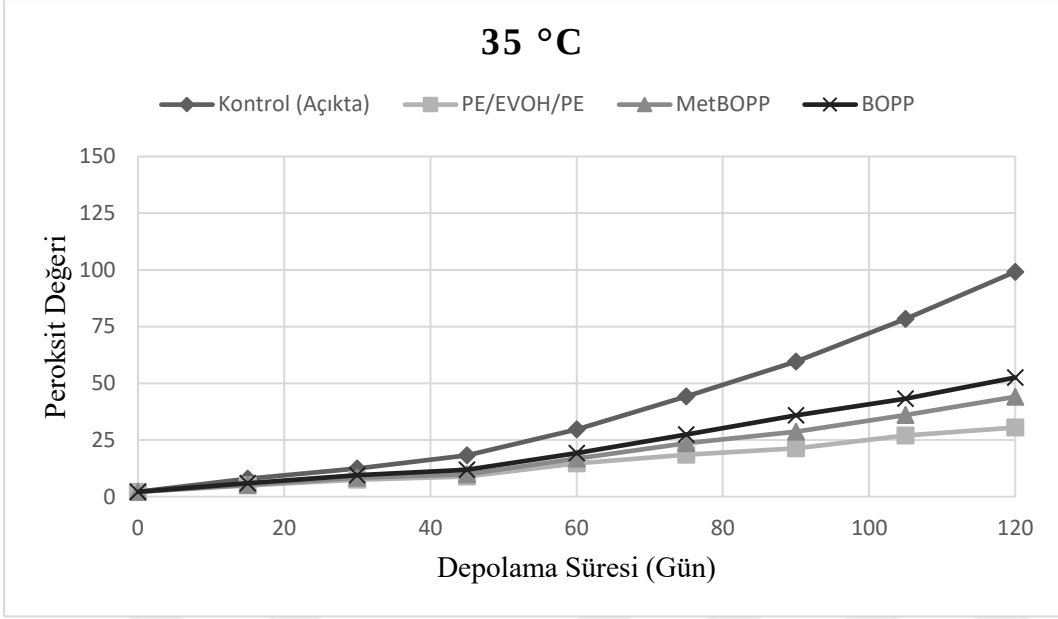
45°C’de, 120 gün boyunca depolanan tüm Antep fıstığı tozu örneklerindeki peroksit değerinde diğer sıcaklıklara göre daha fazla artış olmuş ve peroksit değerindeki en büyük artış 145,36 meq g O₂/kg yağ ile kontrol örneğinde gerçekleşmiştir. Kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerin, peroksit değerinde, zamana bağlı bir artışın olduğu ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir (p<0,05). 45 °C’de depolanan örneklerde 120. gün sonunda, örneklerin başlangıç peroksit değeri 2,16 meq g O₂/kg yağ’dan kontrol örneğinde 145,36 meq g O₂/kg yağ’a, PE/EVOH/PE ambalaj örneğinde 39,46 meq g O₂/kg yağ’a, MetBOPP ambalaj örneğinde 47,89 meq g O₂/ kg yağ’a ve BOPP ambalaj örneğinde ise 60,93 meq g O₂/kg yağ’a yükselmiştir. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleriyle depolanan örneklerin, peroksit değerleri arasında farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05). Farklı OTR değerlerine sahip ambalaj malzemeleri değerlendirildiğinde, PE/EVOH/PE ambalaj malzemesinde en düşük peroksit değeri tespit edilirken, BOPP ambalaj malzemesinde ise en yüksek peroksit değeri tespit edilmiştir. Depolama süresi sonunda, 15-25-35 °C’de depolanan kontrol örneği ve ambalajlı örneklerin peroksit değeri, 45 °C’de depolanan kontrol örneği ve ambalajlı örneklerin peroksit değerinden daha düşük olarak belirlenmiştir. Çünkü, sıcaklık arttıkça lipid oksidasyon hızı artmakta ve buna bağlı olarak peroksit değeri daha hızlı bir şekilde yükselmektedir (Arena et al. 2013; Rafsanjani et al. 2018; Tavakoli et al. 2008; Tavakolipour et al. 2016). Depolama süreci sonunda, kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerin peroksit değeri sınır değer olan 15,00 meq g O₂/ kg yağ aşmıştır. Ancak belirtilen sınır değer, kontrol örneği için 30. günde, PE/EVOH/PE, MetBOPP ve BOPP ambalajlı örnekler için 60. günde aşılmıştır.



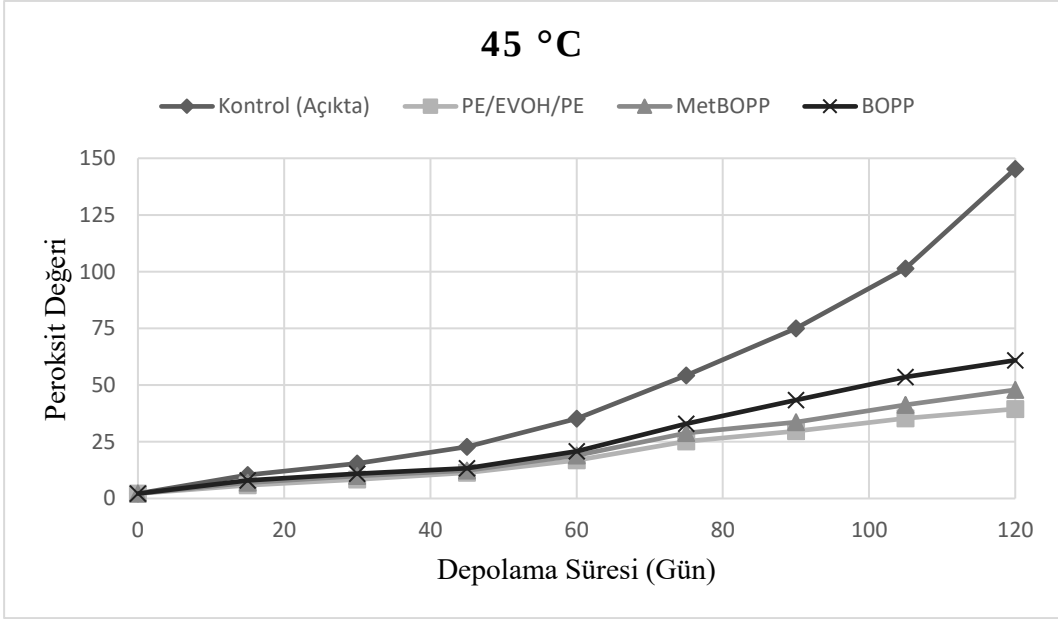
Şekil 4.39. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait peroksit değeri (meq g O₂/kg yağ) dağılım grafiği



Şekil 4.40. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait peroksit değeri (meq g O₂/kg yağ) dağılım grafiği



Şekil 4.41. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait peroksit değeri (meq g O₂/kg yağ) dağılım grafiği



Şekil 4.42. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait peroksit değeri (meq g O₂/kg yağ) dağılım grafiği

Tablo 4.12. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait peroksit değerleri (meq g O₂/ kg yağ)

Sıcaklık	Depolama süresi (gün)	Kontrol (Açıkta)	PE/EVOH/PE	MetBOPP	BOPP
15 °C	0	2,16±0,00 ^{aA}	2,16±0,00 ^{aA}	2,15±0,00 ^{aA}	2,16±0,00 ^{aA}
	15	5,33±0,10 ^{bB}	3,00±0,00 ^{bA}	3,10±0,00 ^{bA}	3,24±0,36 ^{bA}
	30	5,94±0,53 ^{bC}	3,48±0,00 ^{bA}	4,84±0,01 ^{cB}	4,67±0,00 ^{cB}
	45	7,98±0,34 ^{cC}	4,92±0,09 ^{cA}	5,84±0,04 ^{dAB}	6,67±0,37 ^{dB}
	60	14,98±0,25 ^{dD}	7,38±0,04 ^{dA}	9,76±0,04 ^{eB}	11,78±0,15 ^{eC}
	75	19,52±0,21 ^{eD}	9,71±0,31 ^{eA}	13,16±0,08 ^{fB}	16,34±0,12 ^{fC}
	90	24,64±0,24 ^{fD}	11,40±0,46 ^{fA}	15,34±0,07 ^{gB}	17,27±0,05 ^{gC}
	105	30,10±0,20 ^{gD}	14,13±0,14 ^{gA}	20,82±0,17 ^{hB}	22,03±0,01 ^{hC}
	120	34,43±0,01 ^{hD}	15,82±0,14 ^{hA}	24,00±0,01 ^{iB}	27,30±0,12 ^{iC}
25 °C	0	2,16±0,00 ^{aA}	2,16±0,00 ^{aA}	2,16±0,00 ^{aA}	2,16±0,00 ^{aA}
	15	5,74±0,03 ^{bB}	3,27±0,06 ^{aA}	3,28±0,20 ^{bA}	3,43±0,09 ^{bA}
	30	10,54±0,04 ^{cB}	6,36±1,33 ^{bA}	5,96±0,02 ^{cA}	6,11±0,00 ^{cA}
	45	16,82±0,04 ^{dC}	8,42±0,02 ^{cA}	8,69±0,43 ^{dA}	12,37±0,00 ^{dB}
	60	26,80±0,10 ^{eD}	12,73±0,33 ^{dA}	14,16±0,16 ^{eB}	16,58±0,07 ^{eC}
	75	33,30±0,11 ^{fD}	15,67±0,30 ^{eA}	17,70±0,00 ^{fB}	20,39±0,09 ^{fC}
	90	40,67±0,09 ^{gD}	17,84±0,22 ^{fA}	24,01±0,09 ^{gB}	28,17±0,08 ^{gC}
	105	50,54±0,11 ^{hD}	23,46±0,05 ^{gA}	31,33±0,16 ^{hB}	37,52±0,04 ^{hC}
	120	59,47±0,12 ^{iD}	27,22±0,02 ^{hA}	35,92±0,13 ^{iB}	41,46±0,06 ^{iC}
35 °C	0	2,16±0,00 ^{aA}	2,16±0,00 ^{aA}	2,16±0,00 ^{aA}	2,16±0,00 ^{aA}
	15	7,91±0,16 ^{bC}	4,98±0,00 ^{bA}	5,27±0,02 ^{bA}	5,94±0,04 ^{bB}
	30	12,37±0,00 ^{cD}	7,43±0,01 ^{cA}	8,39±0,01 ^{cB}	9,48±0,01 ^{cC}
	45	18,26±0,12 ^{dD}	8,93±0,08 ^{dA}	9,82±0,14 ^{dB}	11,90±0,11 ^{dC}
	60	29,67±0,04 ^{eD}	14,62±0,03 ^{eA}	16,76±0,07 ^{eB}	19,24±0,02 ^{eC}
	75	44,25±0,19 ^{fD}	18,45±0,03 ^{fA}	23,61±0,04 ^{fB}	27,34±0,02 ^{fC}
	90	59,55±0,14 ^{gD}	21,25±0,05 ^{gA}	28,68±0,09 ^{gB}	35,89±0,13 ^{gC}
	105	78,39±0,35 ^{hD}	26,94±0,02 ^{hA}	35,93±0,00 ^{hB}	43,24±0,14 ^{hC}
	120	99,15±0,04 ^{iD}	30,48±0,11 ^{iA}	44,04±0,02 ^{iB}	52,53±0,04 ^{iC}
45 °C	0	2,16±0,00 ^{aA}	2,16±0,00 ^{aA}	2,16±0,00 ^{aA}	2,16±0,00 ^{aA}
	15	10,40±0,00 ^{bD}	5,86±0,02 ^{bA}	7,01±0,10 ^{bB}	7,97±0,10 ^{bC}
	30	15,46±0,02 ^{cD}	8,39±0,11 ^{cA}	9,92±0,01 ^{cB}	10,87±0,15 ^{cC}
	45	22,84±0,12 ^{dD}	11,39±0,08 ^{dA}	12,37±0,01 ^{dB}	13,30±0,03 ^{dC}
	60	35,15±0,1 ^{eD}	16,79±0,06 ^{eA}	18,91±0,07 ^{eB}	20,82±0,04 ^{eC}
	75	54,24±0,01 ^{fD}	25,20±0,21 ^{fA}	28,81±0,02 ^{fB}	32,88±0,00 ^{fC}
	90	75,03±0,06 ^{gD}	29,67±0,1 ^{gA}	33,62±0,06 ^{gB}	43,40±0,02 ^{gC}
	105	101,33±0,23 ^{hD}	35,29±0,12 ^{hA}	41,33±0,09 ^{hB}	53,57±0,10 ^{hC}
	120	145,36±0,14 ^{iD}	39,46±0,02 ^{iA}	47,89±0,02 ^{iB}	60,93±0,08 ^{iC}

^aAynı sütundaki küçük harfler zamana göre aynı sıcaklık ve ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

^AAynı satırdaki büyük harfler farklı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

Maskan vd., (1999), Antep fıstığında yaptıkları bir çalışmada, sıcaklık ve depolama süresi arttıkça, Antep fıstığının peroksit değerinin arttığını ve CO₂ (%98) gazı ile depolanan örneklerde peroksit oluşum hızının, hava ile depolanan örneklerdeki peroksit oluşum hızına göre daha yavaş olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçlarımızla benzer olarak; sıcaklık, depolama süresi ve O₂ varlığı peroksit değerini etkilemektedir. Farklı depolama sıcaklıklarının Antep fıstığının kalite özelliklerine etkisini inceleyen Arena et al. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, Türkiye ve İtalya’da hasat edilen Antep fıstığı örnekleri 20 gün boyunca 10 °C, 20 °C ve 30 °C’de depolanmıştır (Ambalaj malzemesi hakkında bilgi verilmemiştir). Türkiye’de hasat edilen, 10 °C, 20 °C ve 30 °C’de depolanan Antep fıstığı örneklerinin başlangıç peroksit değeri 0,70 meq g O₂/kg yağ’dan 20. gün sonunda sırasıyla 1,3’e, 2,1 ve 2,5 meq g O₂/kg yağ’a yükselirken; İtalya’da hasat edilen örneklerin başlangıç peroksit değeri ise 1,3 meq g O₂/kg’dan 20. gün sonunda sırasıyla 1,6’ya, 2,9’a ve 3,3 meq g O₂/kg yağ’a yükselmiştir. Sonuçlarımızla benzerlik gösteren bu çalışmada, depolama sıcaklığın artmasıyla birlikte örneklerin peroksit değeri de artmaktadır. Ozturk vd. (2016) yapmış olduğu bir çalışmada, Antep fıstığı örnekleri atmosferik koşullarda, modifiye atmosferde ve vakum ambalajlama yapılarak 4 °C’de 30 gün boyunca depolanmıştır. Vakum ambalajlamada ambalaj malzemesi olarak PA/PE (poliamid/polietilen) kullanılırken, modifiye atmosfer koşulu olarak %30 CO₂+%70 N₂ ve PVC/PE (polivinil klorür/polietilen) ambalaj malzemesi ve atmosferik koşullar için PE (polietilen) ambalaj malzemesi kullanılmıştır. Depolama sonunda örneklerin peroksit değeri atmosferik koşullarda ambalajlama için 5,6 meq g O₂/kg yağ, modifiye atmosferde ambalajlama için 4,3 meq g O₂/kg yağ ve vakum ambalaj için ise 4,1 meq g O₂/kg yağ olarak bulunmuştur. Çalışmamızla benzer olarak O₂ varlığı Antep fıstığı örneklerinin lipid oksidasyon hızını arttırarak peroksit değerinin artmasına neden olmaktadır. Vakum ambalaj ve dondurma işleminin Antep fıstığı tozunun kalite özelliklerine etkisini inceleyen Rafsanjani et al. (2018), Antep fıstığı tozunu çelik kutularda vakumlu ve vakum işlemi yapmadan 4 ay boyunca 25 °C ve -18°C’de depolanmıştır. Depolama sonunda ise örneklerin başlangıç peroksit değeri 2,50 meq g O₂/ kg yağ’dan, 25 °C’de vakum işlemi yapılmayan örneklerde 5,50’ye, vakumlu örneklerde 3,16’ya yükselirken; -18°C’de ise vakum işlemi yapılmayan örneklerde 3,10’a, vakumlu örneklerde ise 2,76 meq g O₂/ kg yağ’ya yükselmiştir. Sonuçlarımızla benzer olarak bu çalışmada da, depolama sıcaklığının artması ve O₂ varlığı Antep fıstığı tozunun peroksit değerinin artmasına neden olmaktadır. Tavakoli et al. (2018) yapmış olduğu bir çalışmada, Antep fıstığı örneklerini, atmosferik koşullarda ve vakum ambalaj işlemi ile 20 °C, 35 °C ve 50 °C’de 12 hafta boyunca depolanmıştır. Ambalaj malzemesi olarak PE/PA/PE

(polietilen/poliamid/polietien) ve PET/AL/LDPE (polietilen tereftalat/alüminyum/alçak yoğunluklu polietilen) ambalajın kullanıldığı çalışmada, 20 °C ve 35 °C’de peroksit değerleri arasında anlamlı bir fark gözlenmezken ($p<0,05$), 50 °C’de örneklerin peroksit değerinin arttığı belirlenmiştir. En iyi koşulun PET/AL/LDPE ambalaj malzemesi ve vakum ambalaj olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışmada yüksek oksidatif stabilite, örneklerdeki antioksidan ve tokoferol içeriğinin düşük miktarda azalmasına bağlanmıştır. Benzer sonuçları elde ettiğimiz çalışmamızda da, en yüksek %antioksidan kapasite ve toplam fenolik madde içeriğine sahip olan PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerin, en düşük peroksit değerine sahip olduğu görülmektedir. Çünkü, fenolik içeriği ve antioksidanlar, lipid oksidasyonunu geciktirebilen veya önleyebilen bileşikler olup, oksidatif stabilitenin korunmasını sağlamaktadırlar (Zheng 2001; Bakkalbaşı vd., 2012; Velioglu vd., 1998). Mexis et al. (2009), ambalaj ve depolama koşullarının kabuklu cevizin kalitesine etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, kabuklu cevizleri 3 farklı ambalaj malzemesi ile 12 ay boyunca 4 °C ve 20 °C’de, aydınlık/karanlık ortamlarda depolamışlardır. Çalışmada, LDPE ($OTR_{LDPE}=4500 \text{ ml/m}^2\text{günatm}$), PET/PE ($OTR_{PET/PE}=103 \text{ ml/m}^2\text{günatm}$) ve PET-SiOx/PE (Polietilen tereftalat-silikonoksit/Polietilen) ($OTR_{PET-SiOx/PE}=1,4 \text{ ml/m}^2\text{günatm}$) olmak üzere farklı OTR değerine sahip ambalaj malzemeleri kullanılmıştır. 12 ay sonunda en düşük peroksit değeri her iki sıcaklık içinde en düşük OTR değerine sahip olan PET-SiOx/PE ambalajlı örneklerde tespit edilmiştir. Aynı zamanda 20 °C’de depolanan örneklerin peroksit değeri, 4°C’de depolanan örneklerle göre daha fazla olduğu; aydınlıkta depolanan örneklerinde peroksit değeri her sıcaklık ve ambalaj malzemesinde karanlıkta depolanan örneklerle göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Tavakolipour (2013), Antep fıstığının, vakum altında depolandığında, ortam koşullarında depolanan örneklerle göre daha düşük peroksit değerine sahip olduğunu, yüksek sıcaklık ve uzun depolama sürelerinin bozulma reaksiyonlarını hızlandırdığını belirtmiştir. Tavakolipour et al. (2016), Antep fıstığı tozunun farklı depolama koşullarında lipid oksidasyon kinetiğini çalışmışlardır. Bu çalışmada, farklı bağıl nemlerde (%11-33-73-87) ve 15, 25, 35 ve 40 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerinin sıcaklık arttıkça peroksit değerinin arttığı ve 15 °C-%33 bağıl nemde lipid oksidasyon reaksiyonunun çok daha daha yavaş gerçekleştiğini, bu koşullar altında Antep fıstığı tozunun kalite özelliklerini koruduğu ve daha uzun raf ömrü sağlayacağı belirtilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlara benzer olarak düşük sıcaklıklarda Antep fıstığı tozunun lipid oksidasyon hızı azalmaktadır.

Tablo 4.12’de görüldüğü gibi, sıcaklığın artması tüm örneklerde peroksit değerinin artmasına neden olurken, tüm depolama sıcaklıkları (15-25-35-45 °C) için, en yüksek peroksit değeri ambalajsız bir şekilde depolanan kontrol örneğinde, en düşük peroksit değeri ise PE/EVOH/PE ($OTR_{PE/EVOH/PE} \leq 1$ cc/m²gün-atm) ambalajlı örneklerde tespit edilmiştir. Her depolama sıcaklığında, PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerin peroksit değerleri, kontrol örneğinin peroksit değerinin en az yarısı olarak tespit edilmiştir. Bu durum, yağlı gıda ürünlerinde özellikle Antep fıstığı tozu gibi en az %50 oranında yağ içeren gıdalarda, lipid oksidasyonunun önlenmesi için ürünün kesinlikle ambalajlı bir şekilde depolanması gerektiğinin açık bir göstergesidir. Farklı OTR değerine sahip ambalaj malzemeleri değerlendirildiğinde ise, tüm depolama sıcaklıkları (15-25-35-45 °C) için, BOPP ($OTR_{BOPP} \leq 1200$ cc/m²gün-atm) ambalajlı örneklerde en yüksek peroksit değeri belirlenirken, PE/EVOH/PE ($OTR_{PE/EVOH/PE} \leq 1$ cc/m²gün-atm) ambalajlı örneklerde ise en düşük peroksit değeri tespit edilmiştir. Bu nedenle, Antep fıstığı tozunun ambalajlanarak depolanmasının yanı sıra, düşük OTR değerine sahip ambalaj malzemeleri ile depolanmasının da lipid oksidasyonunu yavaşlatacağı sonucuna varılmıştır.

4.2.7 Serbest yağ asitliği analizi

Serbest yağ asitliği, bitkisel yağlarda düşük miktarda ve doğal olarak bulunan bileşiklerden biridir. Yağlar için önemli bir kalite kriteri olarak kabul edilen serbest yağ asitliği, trigliseritlerin hidrolitik bozunmasının bir ürünüdür. Oksidatif ve hidrolitik bozunma süreçlerinin asıl nedenleri ve sonuçları farklı olsa da, birbirleriyle etkileşime girdikleri ve yağın raf ömrünün azalmasına neden olduğu bilinmektedir (Frega et al., 1999; Parasido et al., 2010). Antep fıstığı tozuna ait serbest yağ asitliği değerleri %oleik asit cinsinden hesaplanmıştır. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %serbest yağ asitliği değerleri Tablo 4.13’te verilmiştir. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %serbest yağ asitliği değeri dağılım grafikleri sırasıyla Şekil 4.43 Şekil 4.44, Şekil 4.45 ve Şekil 4.46 gibidir.

Tablo 4.13’te görüldüğü üzere, 15 °C’de depolanan örneklerin başlangıç %serbest yağ asitliği değeri, %0,70 iken, depolama süresi boyunca artma eğiliminde olmuş ve en büyük artış %3,61 ile kontrol örneğinde meydana gelmiştir. Kontrol örneğinde, zamana bağlı olarak %serbest yağ asitliği değerinin arttığı ve artışın ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ($p < 0,05$). PE/EVOH/PE ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerde, %serbest yağ asitliği az da olsa artmış

olmakla birlikte, zamana bağılı olarak bulunan değerler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir ($p<0,05$). MetBOPP ve BOPP ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin, %serbest yağ asitliği değerinde, zamana bağılı olarak bir artışın olduğu ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). 15 °C’de depolanan örneklerde 120. gün sonunda, örneklerin başlangıç %serbest yağ asitliği değeri, %0,70’dan, kontrol örneğinde %3,61’e, PE/EVOH/PE ambalaj örneğinde %1,59’a, MetBOPP ambalaj örneğinde %1,95’e ve BOPP ambalaj örneğinde ise %2,47’ye yükselmiştir. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleriyle depolanan örneklerin %serbest yağ asitliği değerleri arasındaki farklılıklar ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Türk Gıda Kodeksi (2012) ve Codex Alimentarius International Food Standarts (2021) Bitki adı ile anılan yağlar tebliğine göre soğuk preslenmiş ve natürel yağlarda serbest yağ asidi miktarının en çok %2 (4 mg KOH/g yağ) olabileceği belirtilmiştir. Depolama süresince PE/EVOH/PE ve MetBOPP ambalajlı örneklerin sonuçları standarda uygun bulunmuştur. Ancak belirtilen sınır değer, kontrol örneği ve BOPP ambalajlı örnekler için 90. günde aşılmıştır.

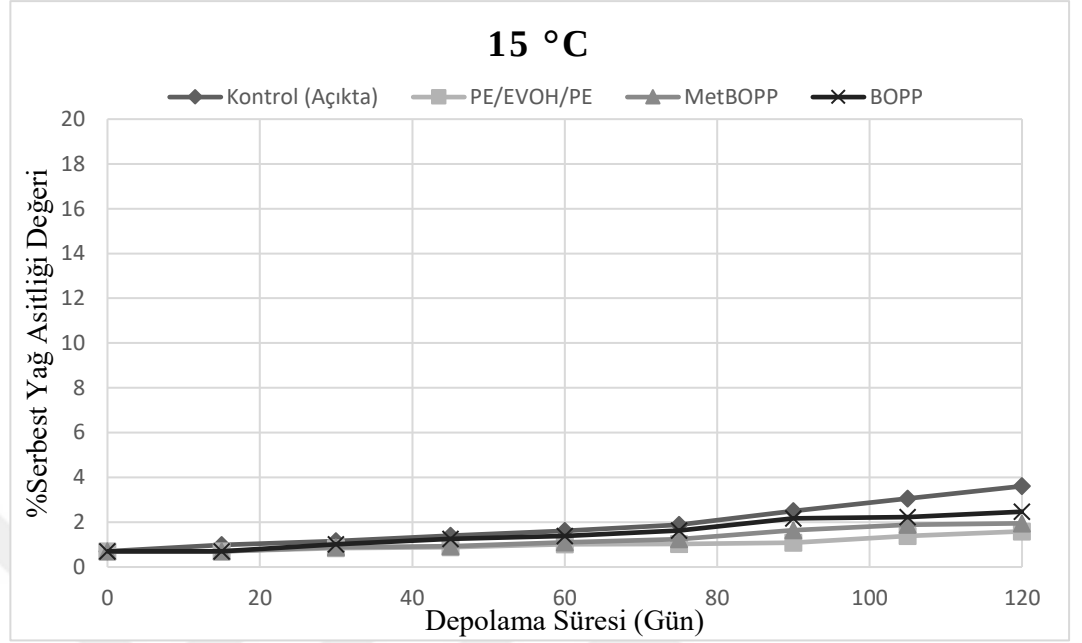
25 °C’de depolanan tüm örneklerin, depolama süresince serbest yağ asitliği değerleri bir artış içerisindedir. Ancak, örnekler arasında en büyük artış %7,49 ile kontrol örneğinde olmuştur. Kontrol örneğinin zamana bağılı olarak serbest yağ asitliği değerleri arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). PE/EVOH/PE, MetBOPP ve BOPP ambalajlı örneklerin de zamana bağılı olarak serbest yağ asitliği değerleri bir artış içerisinde olup, bu artış arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir ($p<0,05$). 25 °C’de depolanan örneklerde 120. gün sonunda, örneklerin başlangıç %serbest yağ asitliği değeri, %0,70’dan, kontrol örneğinde %7,49’a, PE/EVOH/PE ambalaj örneğinde %2,15’e, MetBOPP ambalaj örneğinde %2,50 ve BOPP ambalaj örneğinde ise %2,75’e yükselmiştir. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleriyle depolanan örneklerin %serbest yağ asitliği değerleri arasındaki farklılıklar ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Her ne kadar farklı ambalaj malzemeleri arasında (PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP) serbest yağ asitliği değeri açısından, istatistiksel olarak bir farklılık gözlenirse de ($p<0,05$), bu farklılıkların çok küçük olduğu ve kontrol örneğine ait serbest yağ asitliği değerinin ambalajlı ürünlere göre en az iki kat daha fazla olduğu görülmektedir. Depolama süresi sonunda, kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerin %serbest yağ asitliği (oleik asit cinsinden) %2 sınır değerini aşmıştır. Belirtilen sınır değer, kontrol örneği için 60. günde, PE/EVOH/PE ve

MetBOPP ambalajlı örnekler için 105. günde ve BOPP ambalajlı örnekler için 90. günde aşılmıştır.

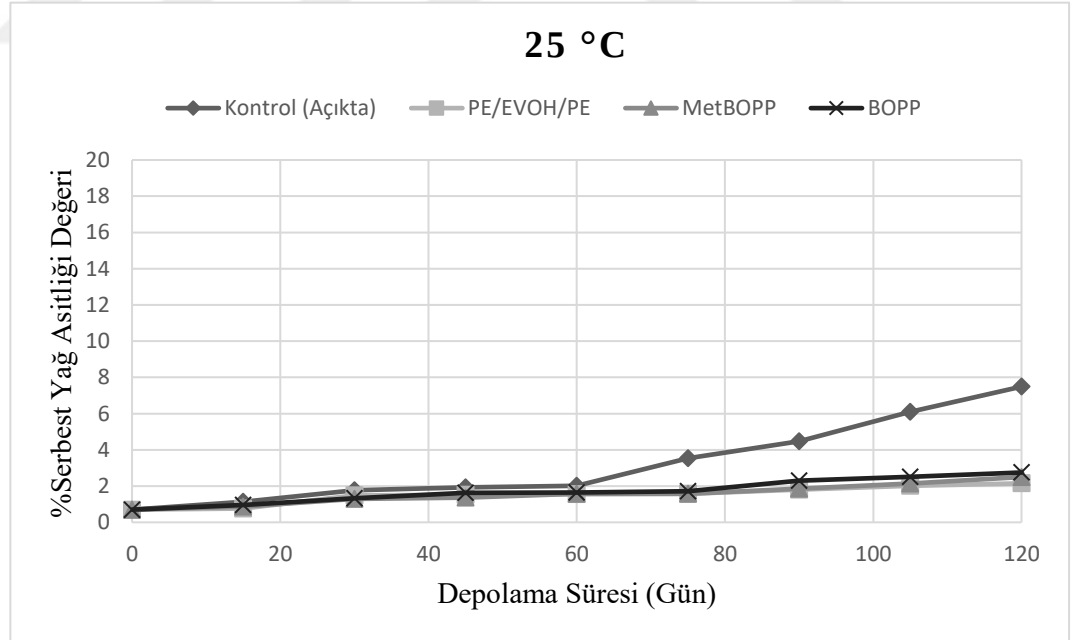
35 °C’de depolanan tüm örneklerde, serbest yağ asitliği değeri, depolama süresi boyunca artma eğiliminde olmuş ve en büyük artış %11,93 ile kontrol örneğinde meydana gelmiştir. Kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerde, %serbest yağ asitliği değerinin zamana bağlı olarak bir artış içerisinde olduğu ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). 35 °C’de depolanan örneklerde 120. gün sonunda, örneklerin başlangıç %serbest yağ asitliği değeri, %0,70’den, kontrol örneğinde %11,93’e, PE/EVOH/PE ambalaj örneğinde %4,96’ya, MetBOPP ambalaj örneğinde %5,89’a ve BOPP ambalaj örneğinde ise %7,41’e yükselmiştir. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleriyle depolanan örneklerin %serbest yağ asitliği değerleri arasındaki farklılıklar ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Depolama süresi sonunda, kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerin %serbest yağ asitliği (oleik asit cinsinden) %2 sınır değerini aşmıştır. Belirtilen sınır değer, kontrol örneği ve MetBOPP, BOPP ambalajlı örnekler için 45. günde, PE/EVOH/PE ambalajlı örnek için 60. günde aşılmıştır.

45 °C depolama süresince, tüm örneklerin %serbest yağ asitliği bir artış içerisinde ve örnekler arasındaki en büyük artış ise %16,36 ile kontrol örneğinde meydana gelmiştir. Kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile ambalajlanan örneklerde, %serbest yağ asitliği değerinde, zamana bağlı olarak bir artış içerisinde olduğu ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir ($p<0,05$). 45 °C’de depolanan örneklerde 120. gün sonunda, örneklerin başlangıç %serbest yağ asitliği değeri, %0,70’den, kontrol örneğinde %16,36’ya, PE/EVOH/PE ambalaj örneğinde %6,34’e, MetBOPP ambalaj örneğinde %8,08’e ve BOPP ambalaj örneğinde ise %9,44’e yükselmiştir. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleriyle depolanan örneklerin %serbest yağ asitliği değerleri arasındaki farklılıklar ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Depolama süresince elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, tüm depolama sıcaklıkları için, lipid hidrolizinin daha yavaş bir şekilde gerçekleşmesi için, Antep fıstığı tozunun ambalajlı bir şekilde ve düşük sıcaklıklarda depolanması gerektiği düşünülmektedir. Depolama süresi sonunda, kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerin %serbest yağ asitliği (oleik asit cinsinden) %2 sınır değerini aşmıştır. Belirtilen

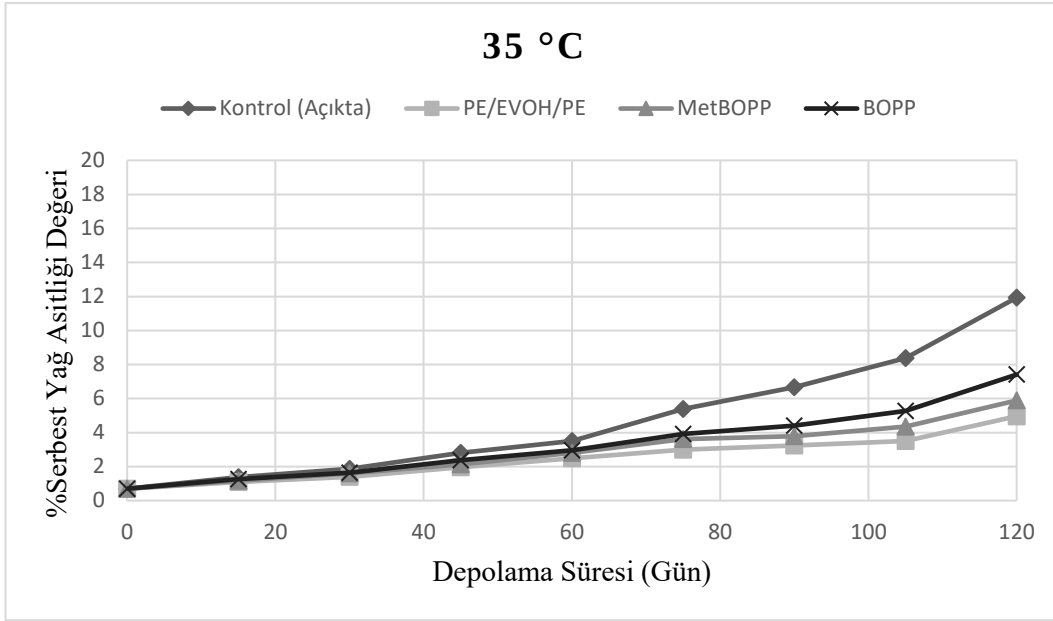
sınır değeri, kontrol örneği için 30. günde, PE/EVOH/PE, MetBOPP ve BOPP ambalajlı örnekler için 45. günde aşılmıştır.



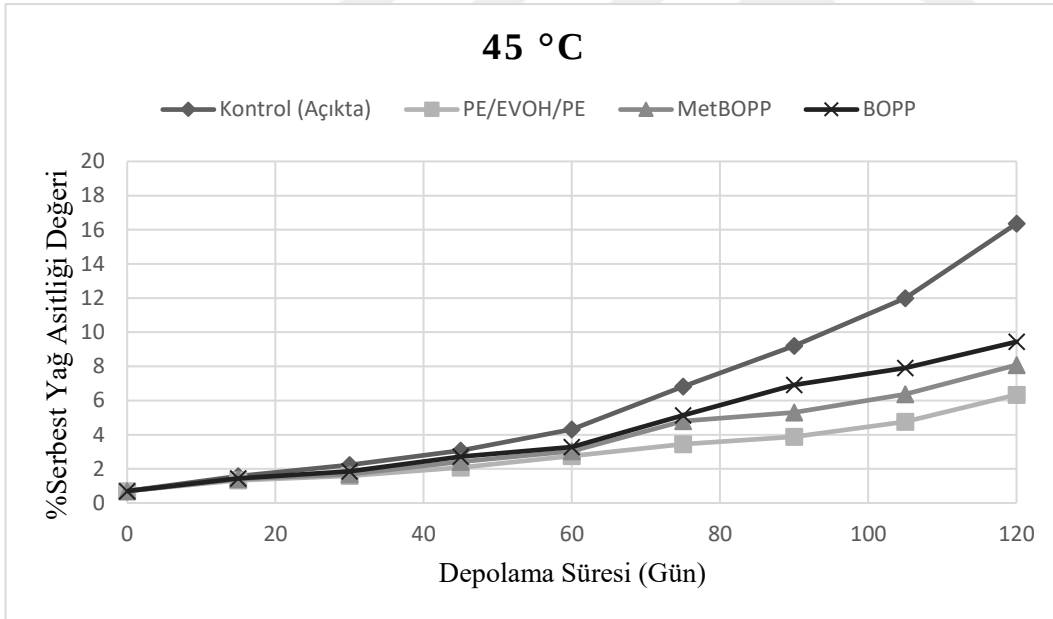
Şekil 4.43. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %serbest yağ asitliği değerleri (oleik asit cinsinden) dağılım grafiği



Şekil 4.44. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %serbest yağ asitliği değerleri (oleik asit cinsinden) dağılım grafiği



Şekil 4.45. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %serbest yağ asitliği değerleri (oleik asit cinsinden) dağılım grafiği



Şekil 4.46. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %serbest yağ asitliği değeri (oleik asit cinsinden) dağılım grafiği

Tablo 4.13. 15, 25, 35 ve 45°C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait %serbest yağ asitliği değerleri (oleik asit cinsinden)

Sıcaklık	Depolama süresi (gün)	Kontrol (Açıkta)	PE/EVOH/PE	MetBOPP	BOPP
15 °C	0	0,70±0,03 ^{aA}	0,70±0,03 ^{aA}	0,70±0,03 ^{aA}	0,70±0,03 ^{aA}
	15	0,99±0,00 ^{bB}	0,70±0,00 ^{aA}	0,70±0,00 ^{aA}	0,70±0,00 ^{aA}
	30	1,15±0,00 ^{cA}	0,84±0,16 ^{abA}	0,89±0,12 ^{abA}	1,02±0,30 ^{abA}
	45	1,40±0,01 ^{dB}	0,89±0,11 ^{abA}	0,93±0,1 ^{abAB}	1,25±0,07 ^{bAB}
	60	1,61±0,04 ^{eC}	1,01±0,02 ^{bA}	1,10±0,01 ^{bA}	1,39±0,01 ^{bB}
	75	1,89±0,02 ^{fB}	1,03±0,01 ^{bA}	1,24±0,17 ^{cA}	1,63±0,02 ^{cB}
	90	2,50±0,02 ^{gD}	1,09±0,03 ^{bA}	1,64±0,00 ^{dB}	2,17±0,08 ^{dC}
	105	3,06±0,04 ^{hD}	1,38±0,01 ^{cA}	1,89±0,07 ^{dB}	2,23±0,00 ^{dC}
	120	3,61±0,01 ^{iD}	1,59±0,00 ^{cA}	1,95±0,00 ^{dB}	2,47±0,02 ^{dC}
25 °C	0	0,70±0,03 ^{aA}	0,70±0,03 ^{aA}	0,70±0,03 ^{aA}	0,70±0,03 ^{aA}
	15	1,13±0,03 ^{bB}	0,77±0,12 ^{aA}	0,86±0,06 ^{aAB}	0,95±0,01 ^{abAB}
	30	1,77±0,00 ^{cB}	1,49±0,00 ^{bAB}	1,29±0,11 ^{bA}	1,32±0,19 ^{bAB}
	45	1,93±0,03 ^{cdB}	1,52±0,17 ^{bAB}	1,37±0,11 ^{bcA}	1,62±0,02 ^{cAB}
	60	2,01±0,09 ^{dB}	1,56±0,02 ^{bA}	1,57±0,04 ^{cA}	1,65±0,16 ^{cAB}
	75	3,53±0,08 ^{eB}	1,57±0,05 ^{bA}	1,58±0,06 ^{cA}	1,71±0,14 ^{cA}
	90	4,47±0,03 ^{fC}	1,81±0,07 ^{bcA}	1,85±0,00 ^{dA}	2,30±0,06 ^{dB}
	105	6,10±0,02 ^{gC}	2,02±0,07 ^{cA}	2,14±0,05 ^{eA}	2,51±0,00 ^{deB}
	120	7,49±0,03 ^{hD}	2,15±0,02 ^{cA}	2,50±0,00 ^{fB}	2,75±0,02 ^{eC}
35 °C	0	0,70±0,03 ^{aA}	0,70±0,03 ^{aA}	0,70±0,03 ^{aA}	0,70±0,03 ^{aA}
	15	1,37±0,00 ^{bB}	1,10±0,03 ^{bA}	1,18±0,08 ^{bA}	1,26±0,00 ^{bAB}
	30	1,87±0,00 ^{cC}	1,39±0,00 ^{cA}	1,60±0,01 ^{cB}	1,64±0,06 ^{cB}
	45	2,80±0,00 ^{dD}	1,96±0,00 ^{dA}	2,14±0,07 ^{dB}	2,38±0,02 ^{dC}
	60	3,51±0,02 ^{eD}	2,49±0,00 ^{eA}	2,80±0,00 ^{eB}	2,96±0,01 ^{eC}
	75	5,39±0,01 ^{fD}	2,99±0,03 ^{fA}	3,62±0,04 ^{fB}	3,92±0,02 ^{fC}
	90	6,67±0,09 ^{gD}	3,24±0,02 ^{gA}	3,79±0,00 ^{fB}	4,41±0,04 ^{gC}
	105	8,38±0,04 ^{hD}	3,51±0,02 ^{hA}	4,35±0,02 ^{gB}	5,28±0,01 ^{hC}
	120	11,93±0,02 ^{iD}	4,96±0,03 ^{iA}	5,89±0,05 ^{hB}	7,41±0,00 ^{iC}
45 °C	0	0,70±0,03 ^{aA}	0,70±0,03 ^{aA}	0,70±0,03 ^{aA}	0,70±0,03 ^{aA}
	15	1,57±0,02 ^{bC}	1,33±0,00 ^{bA}	1,40±0,00 ^{bAB}	1,44±0,04 ^{bB}
	30	2,22±0,04 ^{cC}	1,59±0,00 ^{cA}	1,68±0,00 ^{cA}	1,86±0,02 ^{cB}
	45	3,07±0,07 ^{dD}	2,07±0,07 ^{dA}	2,42±0,02 ^{dB}	2,72±0,01 ^{dC}
	60	4,30±0,00 ^{eD}	2,75±0,02 ^{eA}	3,04±0,00 ^{eB}	3,27±0,00 ^{eC}
	75	6,83±0,00 ^{fD}	3,44±0,05 ^{fA}	4,80±0,07 ^{fB}	5,14±0,07 ^{fC}
	90	9,20±0,11 ^{gD}	3,87±0,01 ^{gA}	5,30±0,01 ^{gB}	6,92±0,09 ^{gC}
	105	11,99±0,09 ^{hD}	4,75±0,03 ^{hA}	6,38±0,02 ^{hB}	7,91±0,01 ^{hC}
	120	16,36±0,05 ^{iD}	6,34±0,09 ^{iA}	8,08±0,07 ^{iB}	9,44±0,02 ^{iC}

^aAynı sütundaki küçük harfler zamana göre aynı sıcaklık ve ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

^AAynı satırdaki büyük harfler farklı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

Elde ettiğimiz sonuçlara benzer olarak, Arena et al. (2013) yapmış olduğu çalışmada, Antep fıstığı örneklerinin, %serbest yağ asitliği değerlerinin geçen süre ve artan depolama sıcaklığına bağlı olarak yükseldiğini belirlemiştir. Ozturk vd. (2016) yapmış olduğu bir çalışmada, sonuçlarımızla benzer olarak O₂ varlığının Antep fıstığı örneklerinin serbest yağ asidi değerlerini arttırdığını belirlemiştir. Antep fıstığına ait, en düşük %serbest yağ asidi değerinin, vakum ambalaj yapılarak depolandığı zaman elde edildiğini tespit etmişlerdir. Rafsanjani et al. (2018), Antep fıstığı tozunu çelik kutularda vakumlu ve vakum işlemi yapmadan 4 ay boyunca 25 °C ve -18°C’de depolamıştır. Depolama sonunda ise örneklerin başlangıç %serbest yağ asitliği değeri, %0,35’den, 25 °C’de vakum işlemi yapılmayan örneklerde %3,36’ya, vakumlu örneklerde %1,36’ya yükselirken; -18°C’de ise vakum işlemi yapılmayan örneklerde %1,13’e, vakumlu örneklerde ise %0,50’ye yükselmiştir. Sonuçlarımızla benzer olarak bu çalışmada da, depolama sıcaklığının artması ve O₂ varlığı Antep fıstığı tozunun %serbest yağ asidi değerinin artmasına neden olmaktadır. Her ne kadar oksidatif ve hidrolitik bozunma süreçlerinin nedenleri ve sonuçları farklı olsa da, birbirleriyle etkileşime girerek ürünün raf ömrünü ve kalite özelliklerini olumsuz etkilemektedir.

Tablo 4.13 ve dağılım grafiklerinde görüldüğü gibi, sıcaklığın artması tüm örneklerde serbest yağ asitliğinin artmasına neden olurken, tüm depolama sıcaklıkları (15-25-35-45 °C) için, en yüksek serbest yağ asitliği değeri ambalajsız bir şekilde depolanan kontrol örneğinde, en düşük serbest yağ asitliği değeri ise PE/EVOH/PE ($OTR_{PE/EVOH/PE} \leq 1$ cc/m²gün-atm) ambalajlı örneklerde tespit edilmiştir. Her depolama sıcaklığında, PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerin serbest yağ asitliği değeri, kontrol örneğinin serbest yağ asitliği değerinin en az yarısı olarak tespit edilmiştir. Antep fıstığı yağı, oksidatif ve hidrolitik bozunmaya duyarlı yüksek oranda doymamış yağ asidi içeriğine sahip bir yağdır (Çağlırmak vd., 2005). Bu nedenle, serbest yağ asitliği miktarının değişiminde, kullanılan ambalaj malzemesinin, su buharı ve oksijen geçirgenlik hızının önemli olduğu düşünülmektedir. Her üç ambalaj malzemesinin de su buharı geçirgenlik hızları birbirine çok yakındır ($WVTR_{PE/EVOH/PE, BOPP} \leq 4$ g/m²gün, $WVTR_{MetBOPP} \leq 1$ g/m²gün). Ancak ambalaj malzemelerinin oksijen geçirgenlik hızları birbirinden oldukça farklıdır ($OTR_{PE/EVOH/PE} \leq 1$ cc/m²gün-atm, $OTR_{MetBOPP} \leq 120$ cc/m²gün-atm, $OTR_{BOPP} \leq 1200$ cc/m²gün-atm). Bu yüzden depolama süresi sonunda, her sıcaklık için, farklı OTR değerlerine sahip ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin serbest yağ asitliği değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,05).

4.2.8 p-anisidin analizi

p-anisidin değeri, yağlarda ve yağlı gıda ürünlerinde meydana gelen ikincil oksidasyon ürünlerinin seviyesini belirten kalite kriterlerinden biridir. Oksidasyonun ikinci aşamasında, peroksitler ayrışarak aldehitleri oluştururlar. Aldehitler, gıdada istenmeyen tat ve koku oluşmasına neden olabilmektedir. p-anisidin değeri, ikincil oksidasyon ürünlerinden biri olan aldehit bileşiklerin varlığını belirleyerek, ürünün ne kadar okside olduğu hakkında da bilgi vermektedir (Moigradean et al., 2012). 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait p-anisidin değerleri Tablo 4.14’te verilmiştir. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait p-anisidin değeri dağılım grafikleri sırasıyla Şekil 4.47, Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50’deki gibidir.

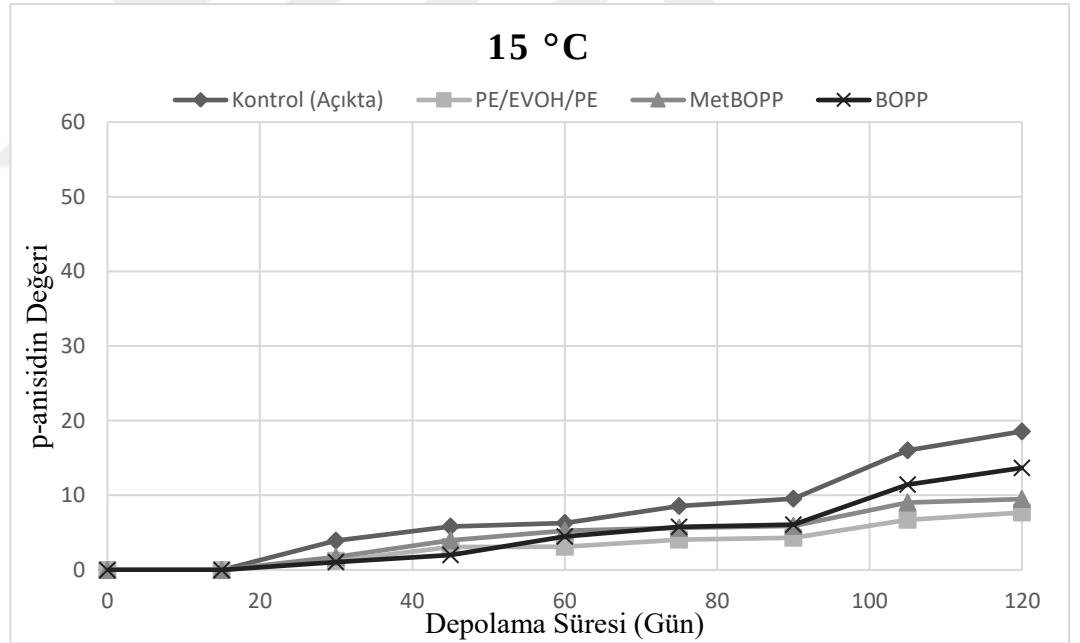
Tablo 4.14’te görüldüğü gibi, 15 °C ve 25’de depolanan tüm örneklerde, ilk 15 gün p-anisidin değeri saptanamamıştır. Bu durum, tüm örneklerde 15 gün boyunca henüz ikincil oksidasyon ürünlerinin oluşmadığı anlamına gelmektedir. 15 °C’de depolanan örneklerde 30 günlük depolama süresinden itibaren, tüm örneklerin p-anisidin değerinin, zamana bağlı olarak arttığı ve bu artışın istatistiksel olarak anlamı olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). 15 °C’de depolanan örneklerde 120. gün sonunda, örneklerin p-anisidin değeri, kontrol örneğinde 18,56; PE/EVOH/PE ambalaj örneğinde 7,69; MetBOPP ambalaj örneğinde 9,49 ve BOPP ambalaj örneğinde ise 13,67 olarak bulunmuştur. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleriyle depolanan örneklerin p-anisidin değerleri arasındaki farklılıklar ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Antep fıstığı tozunun p-anisidin değeri değişiminde, kullanılan ambalaj malzemelerinin farklı OTR değerlerine sahip olması oldukça önemlidir ($OTR_{PE/EVOH/PE} \leq 1 \text{ cc/m}^2\text{gün-atm}$, $OTR_{MetBOPP} \leq 120 \text{ cc/m}^2\text{gün-atm}$, $OTR_{BOPP} \leq 1200 \text{ cc/m}^2\text{gün-atm}$). Farklı OTR değerlerine sahip ambalaj malzemeleri değerlendirildiğinde ise, PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerde en düşük p-anisidin değeri tespit edilirken, BOPP ambalajlı örneklerde ise en yüksek p-anisidin değeri tespit edilmiştir. Bu bağlamda, Antep fıstığı tozunda lipid oksidasyonu nedeniyle gerçekleşen p-anisidin değerinin değişiminde, farklı OTR değerine sahip ambalaj malzemelerinin önemli bir faktör olduğu görülmektedir. p-anisidin değerinin, peroksit ve serbest yağ asitliği değerlerinde olduğu gibi, ambalajsız bir şekilde depolanan kontrol örneğinde en yüksek çıkması, yağlı gıda ürünlerinin, ambalajlı bir şekilde depolanmasının oksidasyonu geciktirici önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

25 °C’de depolanan örnekler arasında, en yüksek p-anisidin değeri 25,99 ile kontrol örneğinde gözlenmiştir. Tüm örneklerin p-anisidin değerinin, zamana bağlı olarak arttığı ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). 25 °C’de depolanan örneklerde 120. gün sonunda, örneklerin p-anisidin değeri, kontrol örneğinde 25,99, PE/EVOH/PE ambalaj örneğinde 11,16, MetBOPP ambalaj örneğinde 14,59 ve BOPP ambalaj örneğinde ise 18,25 olarak bulunmuştur. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleriyle depolanan örneklerin p-anisidin değerleri arasındaki farklılıklar ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Farklı OTR değerlerine sahip ambalaj malzemeleri değerlendirildiğinde ise, PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerde en düşük p-anisidin değeri tespit edilirken, BOPP ambalajlı örneklerde ise en yüksek p-anisidin değeri tespit edilmiştir. 25 °C’de depolanan örneklerin p-anisidin değerleri, 15 °C’de depolanan örneklerin p-anisidin değerlerine göre daha yüksektir. Çünkü, depolama sıcaklığının artması, lipid oksidasyonunu hızlandırmaktadır.

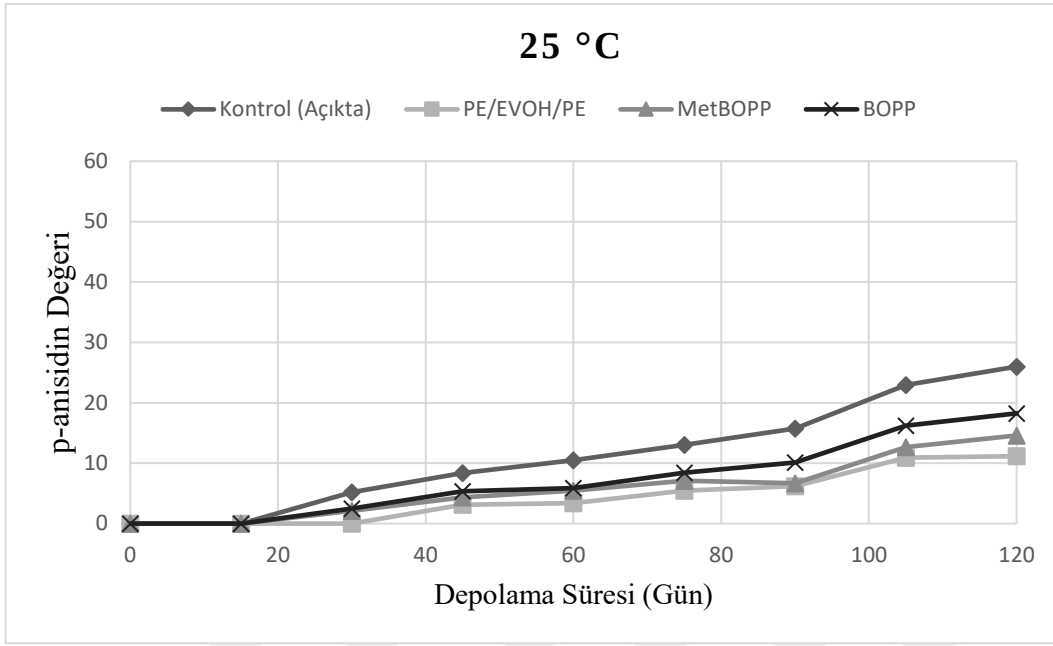
35 °C’de depolanan örnekler arasında, en yüksek p-anisidin değeri 44,25 ile kontrol örneğinde gözlenmiştir. Tüm örneklerin p-anisidin değerinin, zamana bağlı olarak arttığı ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). 35 °C’de depolanan örneklerde 120. gün sonunda, örneklerin p-anisidin değeri, kontrol örneğinde 44,25, PE/EVOH/PE ambalaj örneğinde 14,13, MetBOPP ambalaj örneğinde 18,93 ve BOPP ambalaj örneğinde ise 19,44 olarak bulunmuştur. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleriyle depolanan örneklerin, p-anisidin değerleri arasındaki farklılıklar ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Farklı OTR değerlerine sahip ambalaj malzemeleri değerlendirildiğinde ise, PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerde en düşük p-anisidin değeri tespit edilirken, BOPP ambalajlı örneklerde ise en yüksek p-anisidin değeri tespit edilmiştir. Her ne kadar farklı ambalaj malzemeleri arasında (PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP) p-anisidin değeri açısından, istatistiksel olarak bir farklılık gözlenirse de ($p<0,05$), bu farklılıkların küçük olduğu ve kontrol örneğine ait p-anisidin değerinin ambalajlı ürünlere göre en az iki kat daha fazla olduğu görülmektedir.

45 °C’de depolanan örneklerde, depolama süresi boyunca, p-anisidin değerindeki en büyük artış 55,86 ile kontrol örneğinde gözlenmiştir. Tüm örneklerin p-anisidin değerinin, zamana bağlı olarak arttığı ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). 45 °C’de depolanan örneklerde 120. gün sonunda, örneklerin p-anisidin değeri, kontrol örneğinde 55,86, PE/EVOH/PE ambalaj örneğinde 18,03, MetBOPP ambalaj örneğinde 26,44 ve BOPP ambalaj

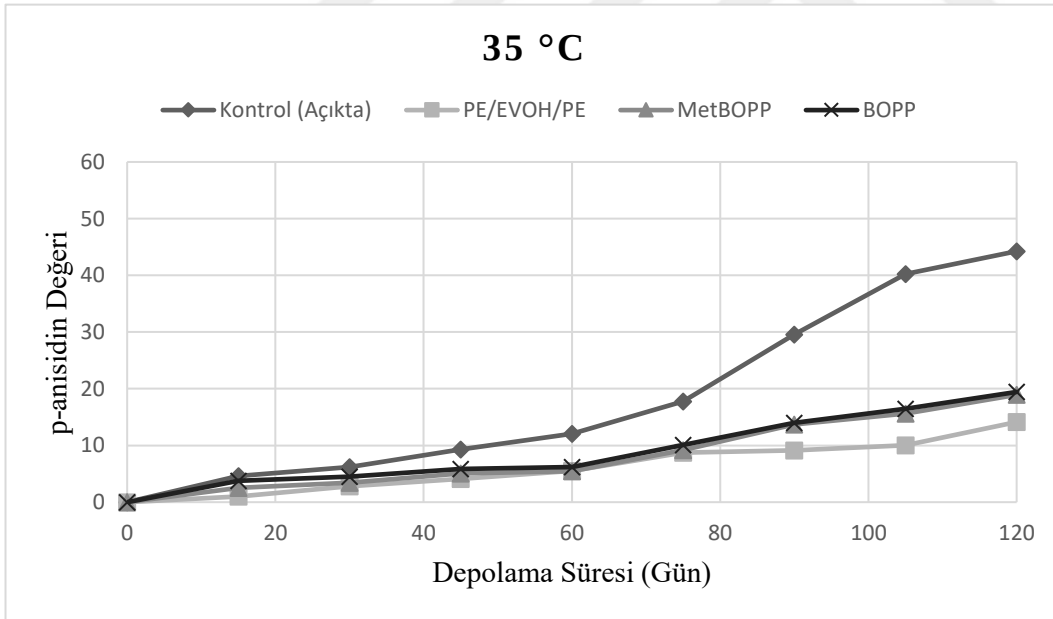
örneğinde ise 28,97 olarak bulunmuştur. Kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleriyle depolanan örneklerin, p-anisidin değerleri arasındaki farklılıklar ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Farklı OTR değerlerine sahip ambalaj malzemeleri değerlendirildiğinde ise, PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerde en düşük p-anisidin değeri tespit edilirken, BOPP ambalajlı örneklerde ise en yüksek p-anisidin değeri tespit edilmiştir. 15-25-35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerinin, p-anisidin değerleri, 45 °C’de depolanan örneklerin p-anisidin değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Tablo 4.15’te görüldüğü üzere, 45°C’de depolanan örneklerde depolama sonunda, kontrol örneğine ait p-anisidin değerinin, ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin p-anisidin değerinden en az iki kat daha fazladır. Tüm depolama sıcaklıklarında (15, 25, 35 ve 45 °C), en yüksek p-anisidin değeri, kontrol örneğinde tespit edilirken; en düşük p-anisidin değeri ise PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerde tespit edilmiştir. Bu bağlamda, p-anisidin değeri açısından, Antep fıstığı tozunun düşük OTR değerine sahip ambalaj malzemeleri ile depolanmasının lipid oksidasyonunu geciktirdiği net bir şekilde görülmektedir.



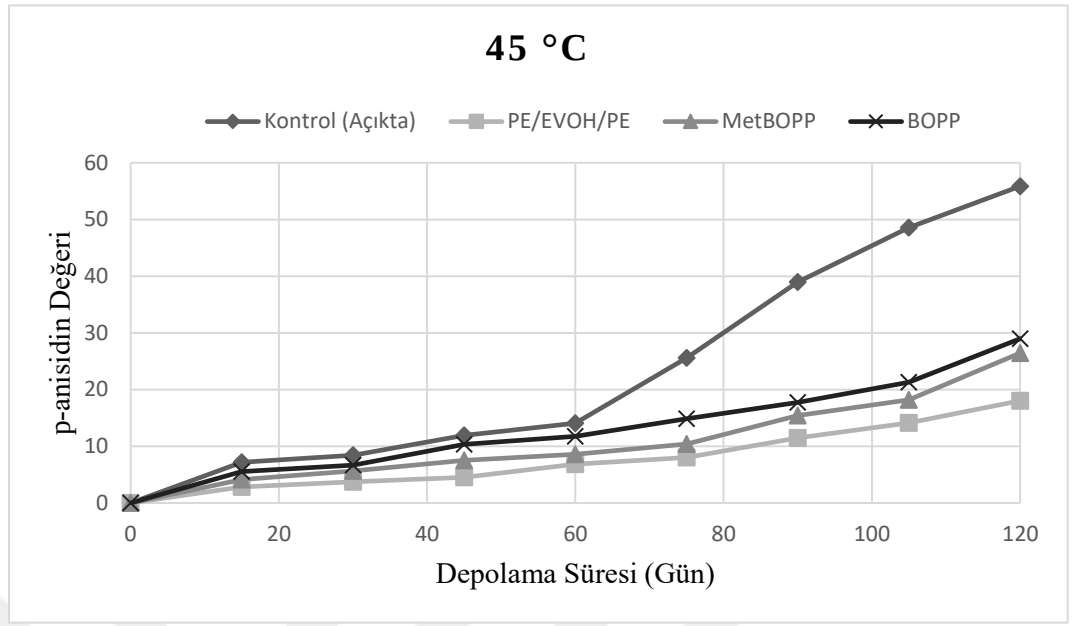
Şekil 4.47. 15 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait p-anisidin değeri dağılım grafiği



Şekil 4.48. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait p-anisidin değeri dağılım grafiği



Şekil 4.49. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait p-anisidin değeri dağılım grafiği



Şekil 4.50. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait p-anisidin değeri dağılım grafiği

Tablo 4.14. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait p-anisidin değerleri

Sıcaklık	Depolama süresi (gün)	Kontrol (Açıkta)	PE/EVOH/PE	MetBOPP	BOPP
15 °C	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	30	3,94±0,81 ^{aB}	1,21±0,09 ^{aA}	1,72±0,09 ^{aA}	1,05±0,08 ^{aA}
	45	5,80±0,26 ^{bC}	3,07±0,16 ^{bAB}	3,98±0,77 ^{bB}	2,00±0,14 ^{bA}
	60	6,27±0,11 ^{bD}	3,12±0,05 ^{bA}	5,27±0,12 ^{cC}	4,49±0,03 ^{cB}
	75	8,55±0,29 ^{cC}	4,06±0,04 ^{cA}	5,64±0,01 ^{cB}	5,77±0,00 ^{dB}
	90	9,56±0,01 ^{cC}	4,29±0,33 ^{cA}	5,88±0,2 ^{cB}	6,07±0,37 ^{dB}
	105	16,01±0,02 ^{dD}	6,71±0,04 ^{dA}	9,04±0,02 ^{dB}	11,43±0,01 ^{eC}
	120	18,56±0,05 ^{eD}	7,69±0,00 ^{eA}	9,49±0,01 ^{dB}	13,67±0,04 ^{fC}
25 °C	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	30	5,18±0,00 ^{aB}	n.d.	2,11±0,02 ^{aA}	2,51±0,28 ^{aA}
	45	8,35±0,25 ^{bC}	3,11±0,43 ^{aA}	4,35±0,45 ^{bAB}	5,35±0,31 ^{bB}
	60	10,48±0,03 ^{cC}	3,41±0,21 ^{aA}	5,46±0,03 ^{cB}	5,87±0,02 ^{bB}
	75	13,03±0,02 ^{dD}	5,47±0,14 ^{bA}	7,11±0,04 ^{dB}	8,42±0,06 ^{cC}
	90	15,76±0,01 ^{eD}	6,18±0,02 ^{cA}	6,68±0,04 ^{dB}	10,10±0,05 ^{dC}
	105	22,96±0,07 ^{fD}	10,93±0,01 ^{dA}	12,66±0,07 ^{eB}	16,19±0,00 ^{eC}
	120	25,99±0,03 ^{gD}	11,16±0,06 ^{dA}	14,59±0,07 ^{fB}	18,25±0,04 ^{fC}
35 °C	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	15	4,60±0,02 ^{aD}	1,01±0,03 ^{aA}	2,54±0,03 ^{aB}	3,78±0,02 ^{aC}
	30	6,17±0,00 ^{bD}	2,80±0,09 ^{bA}	3,45±0,00 ^{bB}	4,50±0,03 ^{bC}
	45	9,32±0,07 ^{cD}	4,13±0,05 ^{cA}	5,07±0,08 ^{cB}	5,86±0,05 ^{cC}
	60	12,07±0,02 ^{dC}	5,50±0,04 ^{dA}	5,47±0,03 ^{dA}	6,17±0,04 ^{dB}
	75	17,78±0,03 ^{eD}	8,72±0,00 ^{eA}	9,20±0,05 ^{eB}	10,09±0,00 ^{eC}
	90	29,57±0,02 ^{fD}	9,11±0,07 ^{fA}	13,71±0,02 ^{fB}	13,98±0,06 ^{fC}
	105	40,22±0,02 ^{gD}	10,05±0,04 ^{gA}	15,61±0,04 ^{gB}	16,49±0,02 ^{gC}
	120	44,25±0,05 ^{hD}	14,13±0,01 ^{hA}	18,93±0,02 ^{hB}	19,44±0,01 ^{hC}
45 °C	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	15	7,17±0,00 ^{aD}	2,85±0,01 ^{aA}	4,11±0,00 ^{aB}	5,52±0,15 ^{aC}
	30	8,43±0,09 ^{bD}	3,71±0,05 ^{bA}	5,63±0,02 ^{bB}	6,66±0,02 ^{bC}
	45	11,90±0,10 ^{cD}	4,50±0,07 ^{cA}	7,51±0,07 ^{cB}	10,34±0,02 ^{cC}
	60	14,07±0,02 ^{dD}	6,82±0,05 ^{dA}	8,58±0,04 ^{dB}	11,77±0,04 ^{dC}
	75	25,60±0,04 ^{eD}	8,03±0,00 ^{eA}	10,41±0,05 ^{eB}	14,83±0,04 ^{eC}
	90	38,98±0,04 ^{fD}	11,49±0,00 ^{fA}	15,44±0,00 ^{fB}	17,74±0,04 ^{fC}
	105	48,56±0,04 ^{gD}	14,13±0,00 ^{gA}	18,21±0,05 ^{gB}	21,30±0,01 ^{gC}
	120	55,86±0,00 ^{hD}	18,03±0,00 ^{hA}	26,44±0,03 ^{hB}	28,97±0,05 ^{hC}

^aAynı sütundaki küçük harfler zamana göre aynı sıcaklık ve ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

^AAynı satırdaki büyük harfler farklı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

Güler vd. (2021) yaptığı bir çalışmada, ambalajlama tekniklerinin ve depolama koşullarının ceviz içi kalitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bütün, kırık ve öğütülmüş (toz) formdaki ceviz içleri, atmosferik koşullarda, vakum ve azot gazı ile ambalajlama teknikleri kullanılarak, 21 hafta boyunca 4 °C ve 20 °C’de depolanmıştır. PE/PA/EVOH/PA/PE (polietilen/poliamid/etilenvinil alkol/poliamid/polietilen) ambalaj malzemesi ile depolanan tüm ceviz örneklerinde, p-anisidin değeri depolama süreci boyunca artmıştır. Öğütülmüş haldeki ceviz örneklerinin p-anisidin değeri, bütün ve kırık haldeki cevizlerin p-anisidin değerinden daha yüksek olduğu ve 20 °C’de depolama süresi sonunda ise vakum ve azot gazı ile ambalajlanan örneklerin p-anisidin değeri atmosferik koşullarda ambalajlanan örneklerden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Sonuçlarımızla benzer olarak, oksijen varlığının p-anisidin değerini arttırdığı gözlenmiştir. Khoshnoudi-Nia et al (2019) Antep fıstığında yapmış olduğu bir çalışmada, sonuçlarımızla benzer olarak, artan depolama sıcaklığıyla (20-35-50 °C) birlikte örneklerin p-anisidin değerinin arttığını tespit etmişlerdir. Shafiei et al (2020) kavrulmuş ve ham fındık örneklerinde yapmış olduğu bir çalışmada, iki katmanlı polietilen ambalaj malzemesi ile ambalajlanan fındık örnekleri, 55 °C, 65 °C ve 75°C’de depolanmışlardır. Sonuçlarımızla benzer olarak, yüksek sıcaklıklarda, p-anisidin değerinin de arttığı gözlenmiştir.

Tablo 4.14’te görüldüğü gibi, sıcaklığın artması tüm örneklerde p-anisidin değerinin artmasına neden olurken, tüm depolama sıcaklıkları için, en yüksek p-anisidin değeri ambalajsız bir şekilde depolanan kontrol örneğinde, en düşük p-anisidin değeri ise PE/EVOH/PE ($OTR_{PE/EVOH/PE} \leq 1 \text{ cc/m}^2\text{gün-atm}$) ambalajlı örneklerde tespit edilmiştir. Her depolama sıcaklığında, PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerin p-anisidin değeri, kontrol örneğinin p-anisidin değerinin en az yarısı olarak tespit edilmiştir. Farklı ambalaj malzemelerine ait örneklerin, p-anisidin değeri değişiminde, kullanılan ambalaj malzemesinin, oksijen geçirgenlik hızının önemli olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple, depolama süresi sonunda, her depolama sıcaklığı için, farklı OTR değerlerine sahip ambalaj malzemeleri ile depolanan örneklerin p-anisidin değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$).

4.2.9 Toplam oksidasyon değeri (TOTOX)

Toplam oksidasyon değeri, $2 \times PV + p - anV$ formülü ile hesaplanmakta ve lipid oksidasyonunun genel bir değerlendirilmesi olarak kabul edilmektedir. TOTOX değeri, hem birincil hem de ikincil oksidasyon ürünleri dahil olmak üzere genel

oksidatif stabilitenin bir göstergesidir. TOTOX değeri ne kadar düşük olursa, yağın veya yağlı gıda ürünlerinin kalite özellikleri o kadar yüksektir (Shafiei et al., 2020; Pereira de Abreu et al., 2010; He et al., 2023; Moigradean et al., 2012). 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait TOTOX değerleri Tablo 4.15’te verilmiştir. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı örneklerine ait TOTOX değeri dağılım grafikleri ise sırasıyla Şekil 4.51, Şekil 4.52, Şekil 4.53 ve Şekil 4.54’teki gibidir.

Tablo 4.15 ve dağılım grafiklerinde görüldüğü gibi, tüm depolama koşullarında, örneklerin TOTOX değeri, depolama süresi boyunca bir artış içerisindedir ve en büyük artış kontrol örneklerinde meydana gelmiştir. Tüm depolama koşullarında, kontrol örneği ve PE/EVOH/PE, MetBOPP, BOPP ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerde, TOTOX değerinin zamana bağlı olarak bir artış içerisinde olduğu ve bu artışın ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$).

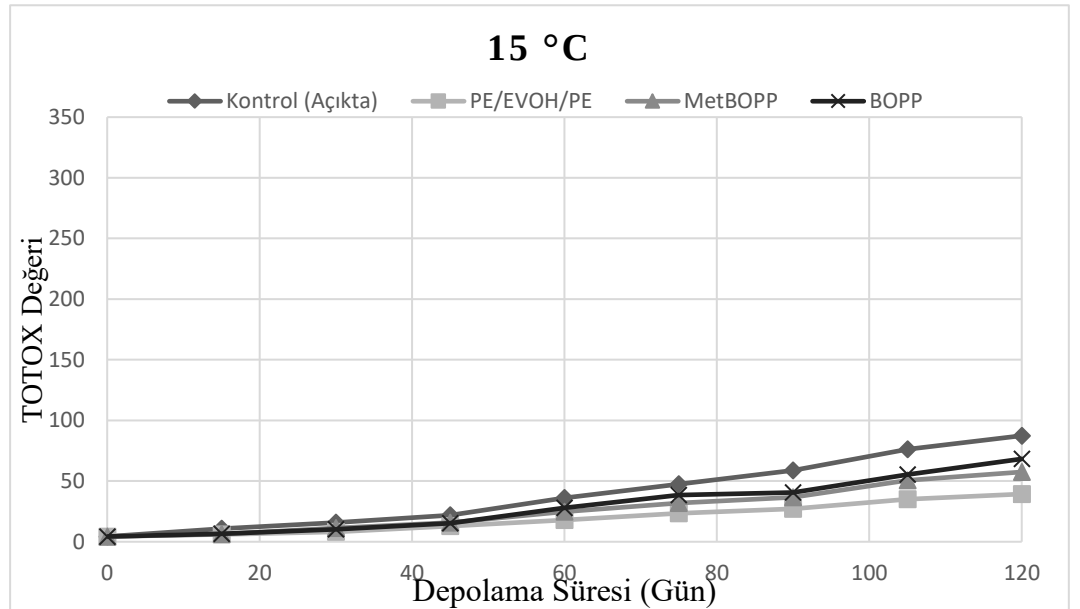
15 °C’de depolanan örneklerde, depolama süresi sonunda, başlangıç TOTOX değeri 4,30’dan, kontrol örneği için 87,42’ye, PE/EVOH/PE ambalajlı örnek için 39,32’ye, MetBOPP ambalajlı örnek için 57,50’ye ve BOPP ambalajlı örnek için ise 68,27’ye yükselmiştir. Depolama sürecinin ilk 45 günü farklı ambalaj malzemeleri ile depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait, TOTOX değerleri arasında, istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir ($p>0,05$). Depolama süresi boyunca, kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleri ile depolanan Antep fıstığı tozu örneklerinin TOTOX değeri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir ($p<0,05$).

25 °C’de depolanan örneklerde, depolama süresi sonunda, başlangıç TOTOX değeri 4,30’dan, kontrol örneği için 144,93’e, PE/EVOH/PE ambalajlı örnek için 65,61’e, MetBOPP ambalajlı örnek için 86,44’e ve BOPP ambalajlı örnek için ise 101,19’a yükselmiştir. Depolama sürecinin ilk 30 günü farklı ambalaj malzemeleri ile depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait, TOTOX değerleri arasındaki farklılık, istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$). Depolama süresi boyunca, kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleri ile depolanan Antep fıstığı tozu örneklerinin TOTOX değeri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir ($p<0,05$).

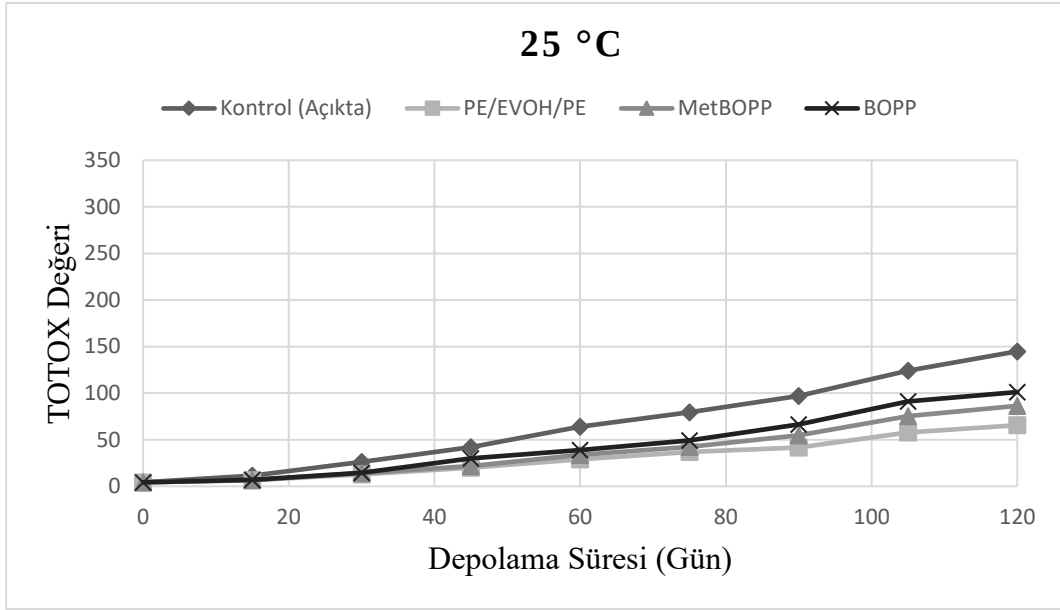
35 °C’de depolanan örneklerde, depolama süresi sonunda, başlangıç TOTOX değeri 4,30’dan, kontrol örneği için 242,55’e, PE/EVOH/PE ambalajlı örnek için

75,08'e, MetBOPP ambalajlı örnek için 107,03'e ve BOPP ambalajlı örnek için ise 124,50'ye yükselmiştir. Depolama süresi boyunca, kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleri ile depolanan Antep fıstığı tozu örneklerinin TOTOX değeri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir ($p<0,05$). Depolama süresi sonunda, kontrol örneğine ait TOTOX değeri, ambalajlı örneklerin TOTOX değerinin en az iki katı olduğu görülmektedir.

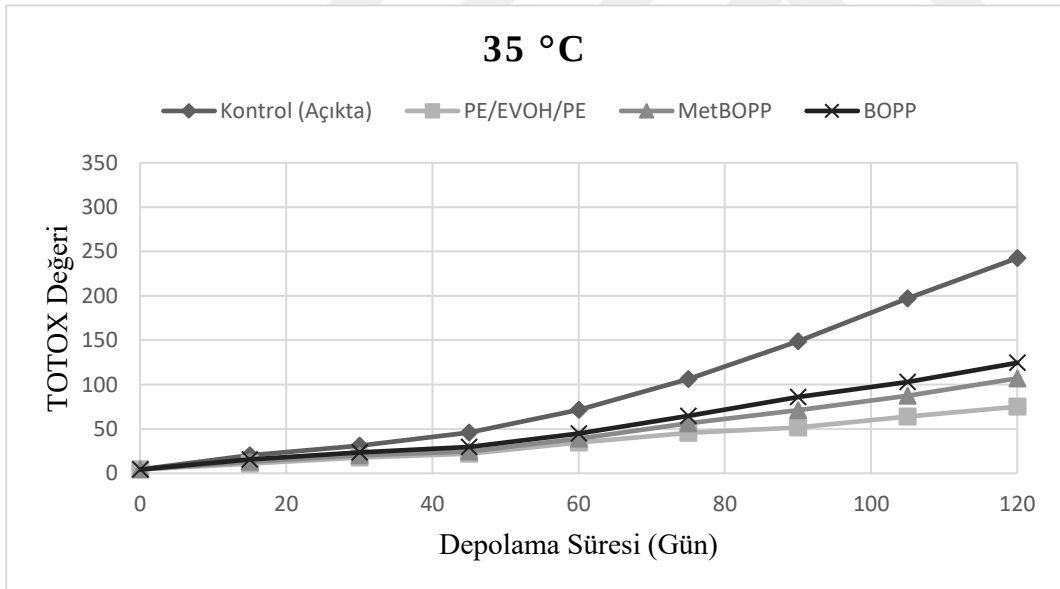
45 °C'de, depolanan örneklerde, depolama süresi sonunda, başlangıç TOTOX değeri 4,30'dan, kontrol örneği için 346,58'e, PE/EVOH/PE ambalajlı örnek için 96,95'e, MetBOPP ambalajlı örnek için 122,23'e ve BOPP ambalajlı örnek için ise 150,83'e yükselmiştir. Depolama süresi boyunca, kontrol örneği ve farklı ambalaj malzemeleri ile depolanan Antep fıstığı tozu örneklerinin TOTOX değeri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir ($p<0,05$). Depolama süresi sonunda, kontrol örneğine ait TOTOX değeri, ambalajlı örneklerin TOTOX değerinin en az iki katı olduğu görülmektedir. Artan sıcaklıkla birlikte, artan peroksit ve p-anisidin değeri, TOTOX değerini de artmaktadır. Bu sebeple, aynı örneklerle ait en yüksek TOTOX değeri, 45 °C depolama sıcaklığında hesaplanmıştır.



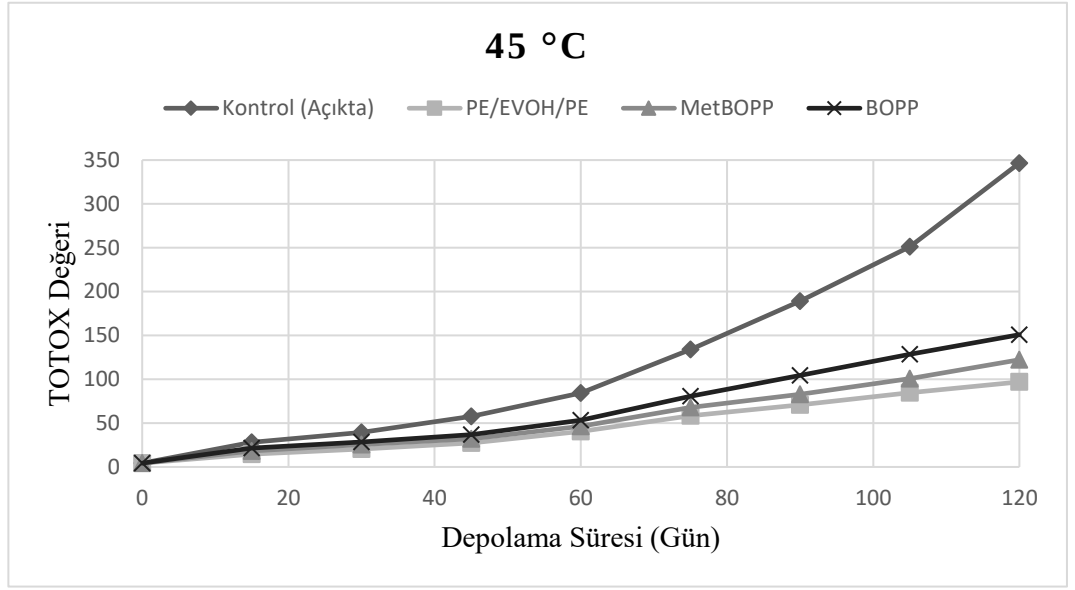
Şekil 4.51. 15 °C'de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait TOTOX değeri dağılım grafiği



Şekil 4.52. 25 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait TOTOX değeri dağılım grafiği



Şekil 4.53. 35 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait TOTOX değeri dağılım grafiği



Şekil 4.54. 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait TOTOX değeri dağılım grafiği

Tablo 4.15. 15, 25, 35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozu örneklerine ait toplam oksidasyon (TOTOX) değerleri

Sıcaklık	Depolama süresi (gün)	Kontrol (Açıkta)	PE/EVOH/PE	MetBOPP	BOPP
15 °C	0	4,30±0,00 ^{aA}	4,30±0,00 ^{aA}	4,30±0,00 ^{aA}	4,30±0,00 ^{aA}
	15	10,66±0,22 ^{bB}	5,98±0,00 ^{bA}	6,18±0,00 ^{bA}	6,46±0,73 ^{bA}
	30	15,80±1,89 ^{cB}	8,16±0,12 ^{cA}	11,37±0,06 ^{cA}	10,35±0,00 ^{cA}
	45	21,74±0,95 ^{dB}	12,91±0,33 ^{dA}	15,66±0,67 ^{dA}	15,33±0,86 ^{dA}
	60	36,21±0,41 ^{eD}	17,87±0,04 ^{eA}	24,78±0,03 ^{eB}	28,02±0,36 ^{eC}
	75	47,58±0,72 ^{fD}	23,49±0,57 ^{fA}	31,95±0,16 ^{fB}	38,46±0,22 ^{fC}
	90	58,80±0,48 ^{gD}	27,08±0,60 ^{gA}	36,56±0,33 ^{gB}	40,61±0,48 ^{gC}
	105	76,21±0,41 ^{hD}	34,97±0,33 ^{hA}	50,68±0,35 ^{hB}	55,47±0,03 ^{hC}
	120	87,42±0,09 ^{iD}	39,32±0,29 ^{iA}	57,50±0,02 ^{iB}	68,27±0,30 ^{iC}
25 °C	0	4,30±0,00 ^{aA}	4,30±0,00 ^{aA}	4,30±0,00 ^{aA}	4,30±0,00 ^{aA}
	15	11,48±0,08 ^{bB}	6,55±0,12 ^{aA}	6,57±0,41 ^{bA}	6,85±0,21 ^{bA}
	30	26,26±0,12 ^{cB}	12,72±2,65 ^{bA}	14,04±0,07 ^{cA}	14,72±0,26 ^{cA}
	45	41,99±0,14 ^{dD}	19,92±0,48 ^{cA}	21,71±0,40 ^{dB}	30,10±0,29 ^{dC}
	60	64,09±0,17 ^{eD}	28,86±0,43 ^{dA}	33,78±0,35 ^{eB}	39,04±0,12 ^{eC}
	75	79,60±0,20 ^{fD}	36,82±0,76 ^{eA}	42,49±0,05 ^{fB}	49,18±0,26 ^{fC}
	90	97,09±0,19 ^{gD}	41,85±0,41 ^{fA}	54,69 ±0,16 ^{gB}	66,43±0,23 ^{gC}
	105	124,02±0,16 ^{hD}	57,83±0,12 ^{gA}	75,29±0,41 ^{hB}	91,22±0,08 ^{hC}
	120	144,93±0,22 ^{iD}	65,61±0,01 ^{hA}	86,44±0,19 ^{iB}	101,19±0,07 ^{iC}
35 °C	0	4,30±0,00 ^{aA}	4,30±0,00 ^{aA}	4,30±0,00 ^{aA}	4,30±0,00 ^{aA}
	15	20,42±0,36 ^{bD}	10,97±0,06 ^{bA}	13,08±0,09 ^{bB}	15,66±0,09 ^{bC}
	30	30,91±0,00 ^{cD}	17,64±0,07 ^{cA}	20,20±0,02 ^{cB}	23,45±0,05 ^{cC}
	45	45,83±0,31 ^{dD}	21,98±0,12 ^{dA}	24,70±0,38 ^{dB}	29,65±0,29 ^{dC}
	60	71,40±0,10 ^{eD}	34,74±0,04 ^{eA}	38,99±0,17 ^{eB}	44,64±0,09 ^{eC}
	75	106,28±0,36 ^{fD}	45,62±0,07 ^{fA}	56,44±0,15 ^{fB}	64,77±0,04 ^{fC}
	90	148,68±0,27 ^{gD}	51,61±0,03 ^{gA}	71,07±0,16 ^{gB}	85,77±0,20 ^{gC}
	105	197,01±0,72 ^{hD}	63,94±0,01 ^{hA}	87,48±0,02 ^{hB}	102,97±0,30 ^{hC}
	120	242,55±0,14 ^{iD}	75,08±0,2 ^{iA}	107,03±0,02 ^{iB}	124,50±0,09 ^{iC}
45 °C	0	4,30±0,00 ^{aA}	4,30±0,00 ^{aA}	4,30±0,00 ^{aA}	4,30±0,00 ^{aA}
	15	27,96±0,01 ^{bD}	14,54±0,07 ^{bA}	18,13±0,19 ^{bB}	21,45±0,36 ^{bC}
	30	39,33±0,13 ^{cD}	20,48±0,16 ^{cA}	25,46±0,02 ^{cB}	28,39±0,27 ^{cC}
	45	57,58±0,14 ^{dD}	27,27±0,23 ^{dA}	32,25±0,10 ^{dB}	36,95±0,04 ^{dC}
	60	84,37±0,38 ^{eD}	40,40±0,17 ^{eA}	46,39±0,09 ^{eB}	53,41±0,13 ^{eC}
	75	134,08±0,06 ^{fD}	58,42±0,41 ^{fA}	68,04±0,00 ^{fB}	80,59±0,05 ^{fC}
	90	189,07±0,05 ^{gD}	70,84±0,19 ^{gA}	82,68±0,12 ^{gB}	104,55±0,00 ^{gC}
	105	251,23±0,41 ^{hD}	84,71±0,25 ^{hA}	100,87±0,12 ^{hB}	128,45±0,19 ^{hC}
	120	346,58±0,29 ^{iD}	96,95±0,04 ^{iA}	122,23±0,07 ^{iB}	150,83±0,11 ^{iC}

^aAynı sütundaki küçük harfler zamana göre aynı sıcaklık ve ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

^AAynı satırdaki büyük harfler farklı ambalaj malzemesinde depolanan Antep fıstığı tozu örnekleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

4.2.10 Antep fıstığı tozunun depolama süresince reaksiyon kinetiği ve raf ömrü tahminlemesi

Antep fıstığı tozu örneklerinde oksidasyon reaksiyonu; tüm depolama koşullarında (15-25-35 ve 45 °C); peroksit değeri, serbest yağ asitliği değeri ve p-anisidin değeri miktarındaki değişim belirlenerek izlenmiş ve reaksiyon kinetiği temelli modellerle matematiksel olarak ifade edilmiştir. Farklı depolama sıcaklıkları ve ambalaj malzemeleri ile depolanan Antep fıstığı tozunun, peroksit, serbest yağ asitliği ve p-anisidin değerlerine ilişkin kinetik parametreler sırasıyla Tablo 4.16, Tablo 4.17 ve Tablo 4.18’de verilmiştir.

Bir gıdanın bozulması kinetik bir reaksiyon olarak kabul edilmektedir ve sıcaklığın bozunmaya olan etkisini açıklamakta Arrhenius denklemi kullanılabilir (Shafiei et al., 2020). Arrhenius denkleminde; k, reaksiyon hız sabiti, E_a , reaksiyonun başlaması için gerekli olan aktivasyon enerjisini (kJ/mol) ifade etmektedir (Maskan vd., 1999).

Tablo 4.16, Tablo 4.17 ve Tablo 4.18’de görüldüğü üzere, sıcaklık arttıkça peroksit, serbest yağ asitliği ve p-anisidin değerine ilişkin hesaplanan k reaksiyon hız sabiti değeri de artmaktadır. Depolama sıcaklığının artması, k değerinin artmasına neden olmaktadır. Oksidasyon reaksiyonlarının tümünde, en yüksek k değerleri kontrol örneğine ait iken en düşük k değerleri ise PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerle aittir. Kontrol örneği ve her ambalaj malzemesi için en düşük k değeri, 15 °C depolama sıcaklığında tespit edilmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklığın ve ambalajsız depolama yapmanın, Antep fıstığı örneklerinin raf ömrü üzerindeki olumsuz etkisini göstermektedir.

Tablo 4.16. Antep fıstığı tozunun peroksit değerine ilişkin kinetik parametreler

Ambalaj malzemesi	Depolama sıcaklığı (°C)	Sıfırıncı dereceden reaksiyon		Birinci dereceden reaksiyon	
		k_0	R_0^2	k_1	R_1^2
Kontrol (Açıkta)	15	0,2468	0,9474	0,0265	0,9014
	25	0,4402	0,9721	0,0329	0,8153
	35	0,6697	0,9063	0,0369	0,8454
	45	0,9041	0,8577	0,0399	0,8139
PE/EVOH/PE	15	0,1043	0,9457	0,0180	0,9793
	25	0,1902	0,9668	0,0241	0,9173
	35	0,2222	0,9758	0,0258	0,8497
	45	0,2985	0,9710	0,0288	0,8288
MetBOPP	15	0,1593	0,9277	0,0219	0,9753
	25	0,2505	0,9260	0,0264	0,9579
	35	0,3056	0,9442	0,0288	0,8836
	45	0,3526	0,9619	0,0305	0,8081
BOPP	15	0,1833	0,9371	0,0234	0,9580
	25	0,2963	0,9379	0,0283	0,9314
	35	0,3709	0,9449	0,0308	0,8606
	45	0,4453	0,9380	0,0328	0,8097

Tablo 4.17. Antep fıstığı tozunun serbest yağ asitliği değerine ilişkin kinetik parametreler

Ambalaj malzemesi	Depolama sıcaklığı (°C)	Sıfırıncı dereceden reaksiyon		Birinci dereceden reaksiyon	
		k_0	R_0^2	k_1	R_1^2
Kontrol (Açıkta)	15	0,0208	0,9310	0,0139	0,9870
	25	0,0459	0,8763	0,0205	0,9673
	35	0,0730	0,8897	0,0251	0,9576
	45	0,1017	0,8727	0,0283	0,9554
PE/EVOH/PE	15	0,0058	0,8781	0,0059	0,9403
	25	0,0129	0,8655	0,0108	0,7375
	35	0,0304	0,9571	0,0174	0,9203
	45	0,0395	0,9468	0,0196	0,9195
MetBOPP	15	0,0096	0,9041	0,0085	0,9570
	25	0,0139	0,9661	0,0112	0,9024
	35	0,0377	0,9656	0,0193	0,9102
	45	0,0537	0,9487	0,0224	0,9286
BOPP	15	0,0142	0,9556	0,0112	0,9684
	25	0,0169	0,9696	0,0127	0,8863
	35	0,0459	0,9368	0,0209	0,9301
	45	0,0652	0,9406	0,0243	0,9325

Tablo 4.18. Antep fıstığı tozunun p-anisidin değerine ilişkin kinetik parametreler

Ambalaj malzemesi	Depolama sıcaklığı (°C)	Sıfırıncı dereceden reaksiyon		Birinci dereceden reaksiyon	
		k_0	R_0^2	k_1	R_1^2
Kontrol (Açıkta)	15	0,1338	0,9188	0,0269	0,8935
	25	0,1979	0,9573	0,0315	0,8526
	35	0,3252	0,9012	0,0368	0,8022
	45	0,4133	0,9138	0,0398	0,6794
PE/EVOH/PE	15	0,0583	0,9451	0,0175	0,9333
	25	0,0827	0,8751	0,0208	0,9238
	35	0,1055	0,9682	0,0244	0,9175
	45	0,1318	0,9538	0,0269	0,8497
MetBOPP	15	0,0782	0,9551	0,0211	0,9082
	25	0,1046	0,9078	0,0239	0,9391
	35	0,1424	0,9446	0,0277	0,8932
	45	0,1817	0,9213	0,0308	0,6897
BOPP	15	0,0917	0,8616	0,0215	0,9260
	25	0,1328	0,9210	0,0265	0,9429
	35	0,1505	0,9550	0,0287	0,7406
	45	0,2152	0,9632	0,0332	0,5230

Depolama sırasında Antep fıstığı tozunda lipid oksidasyonu (peroksit değeri, serbest yağ asitliği değeri, p-anisidin değeri) sonucuna ilişkin parametreler ise sırasıyla Tablo 4.19, Tablo 4.20 ve Tablo 4.21’de verilmiştir.

Tablo 4.19, Tablo 4.20 ve Tablo 4.21’de görüldüğü gibi, depolama sıcaklığı arttıkça Antep fıstığı tozu örneklerinin raf ömrü ve yarılanma süresi azalmaktadır. Peroksit ve serbest yağ asitliği değerine ilişkin parametreler incelendiğinde ise, PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerin en yüksek raf ömrüne sahip olduğu ve en düşük raf ömrünün ise kontrol örneğine ait olduğu görülmektedir. 15 °C depolama sıcaklığının, kontrol örneği ve ambalajlı örneklerin raf ömrünü uzattığı, 45 °C depolama sıcaklığının raf ömrünü olumsuz etkilediği gözlenmiştir.

Peroksit değerinin sonucuna ilişkin parametreler incelendiğinde aktivasyon enerjisinin, 0. dereceden kinetik reaksiyon için 33,00 kJ/mol ile kontrol örneğinde; 1. dereceden kinetik reaksiyon için 11,12 kJ/mol ile PE/EVOH/PE ambalajlı örnekte en yüksek olduğu görülmektedir. Serbest yağ asidi değerinin sonucuna ilişkin parametreler incelendiğinde aktivasyon enerjisinin, 0. ve 1. dereceden kinetik reaksiyon için sırasıyla 50,53 kJ/mol ve 31,22 kJ/mol ile PE/EVOH/PE

ambalajlı örnekte en yüksek olduğu görülmektedir. p-anisidin sonucuna ilişkin parametreler incelendiğinde aktivasyon enerjisinin, 0. dereceden kinetik reaksiyon için 29,63 kJ/mol ile kontrol örneğinde; 1. dereceden kinetik reaksiyon için 11,08 kJ/mol ile PE/EVOH/PE ambalajlı örnekte en yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 4.19. Antep fıstığı tozunun, peroksit değeri sonucuna ilişkin parametreler

Sıfırcı dereceden kinetik reaksiyon				
Ambalaj malzemesi	Depolama sıcaklığı (°C)	Ea (kJ/mol)	t (gün)	t _{1/2} (gün)
Kontrol	15	33,00	49,26	4,36
	25		31,04	2,44
	35		20,15	1,61
	45		13,44	1,19
PE/EVOH/PE	15	22,37	112,38	10,31
	25		78,79	5,65
	35		56,52	4,84
	45		41,41	3,60
MetBOPP	15	19,83	74,78	6,75
	25		56,66	4,29
	35		43,70	3,52
	45		34,27	3,05
BOPP	15	22,14	65,17	5,86
	25		47,80	3,63
	35		35,77	2,90
	45		27,26	2,41
Birinci dereceden kinetik reaksiyon				
Ambalaj malzemesi	Depolama sıcaklığı (°C)	Ea (kJ/mol)	t (gün)	t _{1/2} (gün)
Kontrol	15	10,28	70,99	26,14
	25		61,47	21,08
	35		53,73	18,80
	45		47,37	17,37
PE/EVOH/PE	15	11,12	101,79	38,15
	25		87,12	28,80
	35		75,32	26,90
	45		65,72	24,08
MetBOPP	15	8,17	85,71	31,54
	25		76,45	26,22
	35		68,70	24,11
	45		62,15	22,75
BOPP	15	8,39	80,43	29,61
	25		71,52	24,51
	35		64,09	22,50
	45		57,82	21,16

Tablo 4.20. Antep fıstığı tozunun, serbest yağ asitliği değeri sonucuna ilişkin parametreler

Sıfırıncı dereceden kinetik reaksiyon				
Ambalaj malzemesi	Depolama sıcaklığı (°C)	Ea (kJ/mol)	t (gün)	t _{1/2} (gün)
Kontrol	15	40,08	56,42	16,86
	25		32,19	7,63
	35		19,05	4,79
	45		11,65	3,44
PE/EVOH/PE	15	50,53	207,08	59,96
	25		102,08	27,17
	35		52,68	11,50
	45		28,34	8,85
MetBOPP	15	46,94	146,54	36,49
	25		75,95	25,13
	35		41,08	9,28
	45		23,10	6,52
BOPP	15	42,41	104,75	24,72
	25		57,85	20,69
	35		33,20	7,61
	45		19,74	5,37
Birinci dereceden kinetik reaksiyon				
Ambalaj malzemesi	Depolama sıcaklığı (°C)	Ea (kJ/mol)	t (gün)	t _{1/2} (gün)
Kontrol	15	17,88	70,93	49,80
	25		55,23	33,86
	35		43,70	27,62
	45		35,10	24,52
PE/EVOH/PE	15	31,22	161,88	116,99
	25		104,56	64,18
	35		69,48	39,90
	45		47,37	35,33
MetBOPP	15	26,35	125,09	81,52
	25		86,50	61,72
	35		61,26	35,91
	45		44,34	30,90
BOPP	15	21,56	98,89	62,11
	25		73,12	54,71
	35		55,14	33,04
	45		42,32	28,58

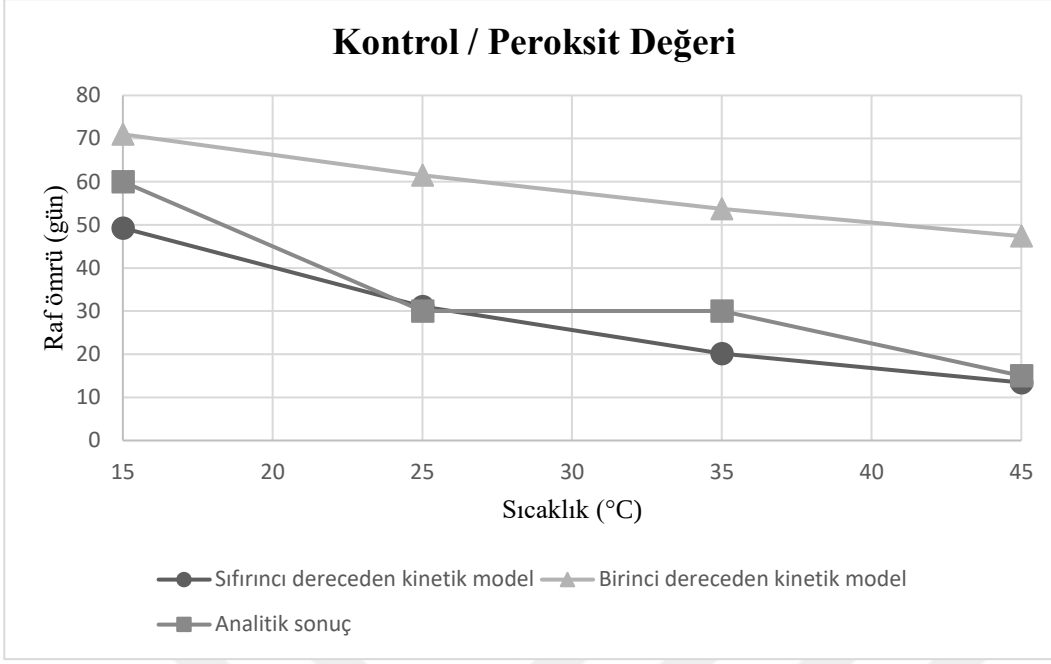
Tablo 4.21. Antep fıstığı tozunun, p-anisidin değeri sonucuna ilişkin parametreler

Sıfırıncı dereceden kinetik reaksiyon			
Ambalaj malzemesi	Depolama sıcaklığı (°C)	Ea (kJ/mol)	t _{1/2} (gün)
Kontrol	15	29,63	0
	25		0
	35		0
	45		0
PE/EVOH/PE	15	20,54	0
	25		0
	35		0
	45		0
MetBOPP	15	21,64	0
	25		0
	35		0
	45		0
BOPP	15	20,45	0
	25		0
	35		0
	45		0
Birinci dereceden kinetik reaksiyon			
Ambalaj malzemesi	Depolama sıcaklığı (°C)	Ea (kJ/mol)	t _{1/2} (gün)
Kontrol	15	10,21	25,80
	25		22,00
	35		18,82
	45		17,42
PE/EVOH/PE	15	11,08	39,52
	25		33,26
	35		28,44
	45		25,68
MetBOPP	15	9,74	32,84
	25		29,01
	35		25,05
	45		22,53
BOPP	15	10,53	32,27
	25		26,12
	35		24,19
	45		20,91

Tablo 4.22. Kontrol örneğine ait peroksit değeri, %serbest yağ asitliği değeri açısından sıfıncı ve birinci dermcidin kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü değerleri

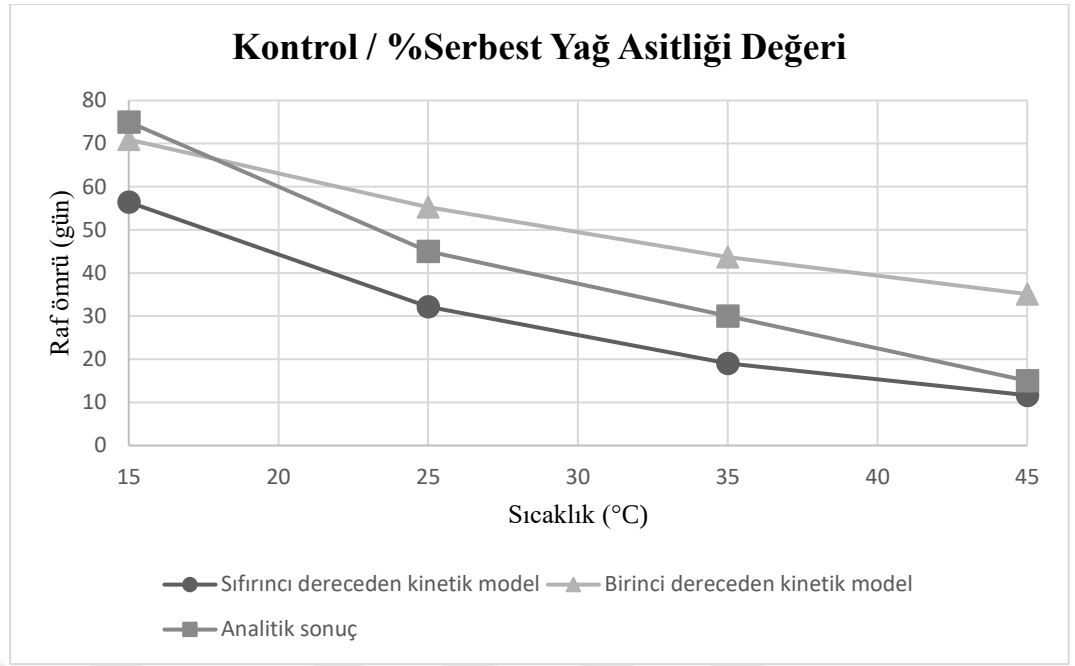
		Sıcaklık (°C)	Raf ömrü (gün)
Peroksit değeri	Sıfıncı dereceden kinetik model	15	49,26
		25	31,04
		35	20,15
		45	13,44
	Birinci dereceden kinetik model	15	70,99
		25	61,47
		35	53,73
		45	47,37
	Analitik sonuç	15	60,00
		25	30,00
		35	30,00
		45	15,00
%Serbest yağ asitliği değeri	Sıfıncı dereceden kinetik model	15	56,42
		25	32,19
		35	19,05
		45	11,65
	Birinci dereceden kinetik model	15	70,93
		25	55,23
		35	43,70
		45	35,10
	Analitik sonuç	15	75,00
		25	45,00
		35	30,00
		45	15,00

Şekil 4.55'te görüldüğü üzere kontrol örneği için, 15-25-35 ve 45 °C'de depolanan Antep fıstığı tozundaki peroksit değeri değişiminin 0. dereceden kinetik modeli izlediği belirlenmiştir. Bu bağlamda, 0. dereceden reaksiyon kinetiği temelinde 15-25-35 ve 45 °C için sırasıyla 49,26 gün, 31,04 gün, 20,15 gün, 13,44 gün olarak hesaplanan raf ömrü; analitik sonuçlara göre ise sırasıyla 60 gün, 30 gün, 30 gün, 15 gün olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.55. Kontrol / Peroksit değeri değişimi için, sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiği

Şekil 4.56’da görüldüğü üzere kontrol örneği için, 15-25-35 ve 45 °C depolanan Antep fıstığı tozundaki %serbest yağ asitliği değişiminin 0. dereceden kinetik modeli izlediği belirlenmiştir. Bu bağlamda, 0. dereceden reaksiyon kinetiği temelinde 15-25-35 ve 45 °C için sırasıyla 56,42 gün, 32,19 gün, 19,05 gün, 11,65 gün olarak hesaplanan raf ömrü; analitik sonuçlara göre ise sırasıyla 75 gün, 45 gün, 30 gün, 15 gün olarak belirlenmiştir.

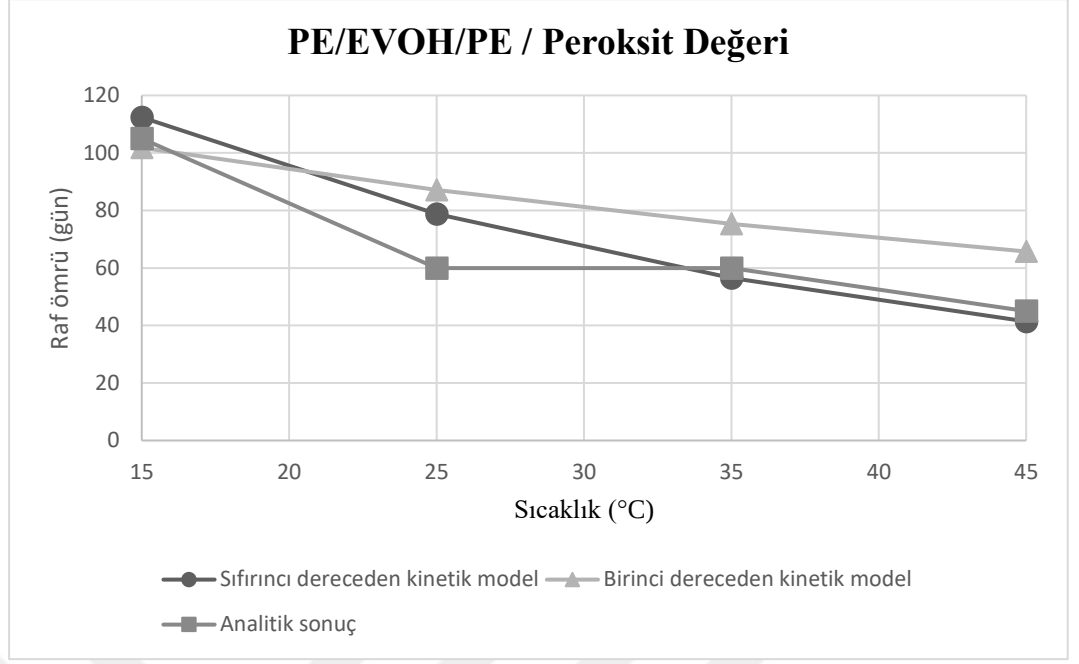


Şekil 4.56. Kontrol / %Serbest yağ asidi değeri değişimi için, sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiği

Tablo 4.23. PE/EVOH/PE örneğine ait peroksit değeri, %serbest yağ asitliği değeri açısından sıfıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü değerleri

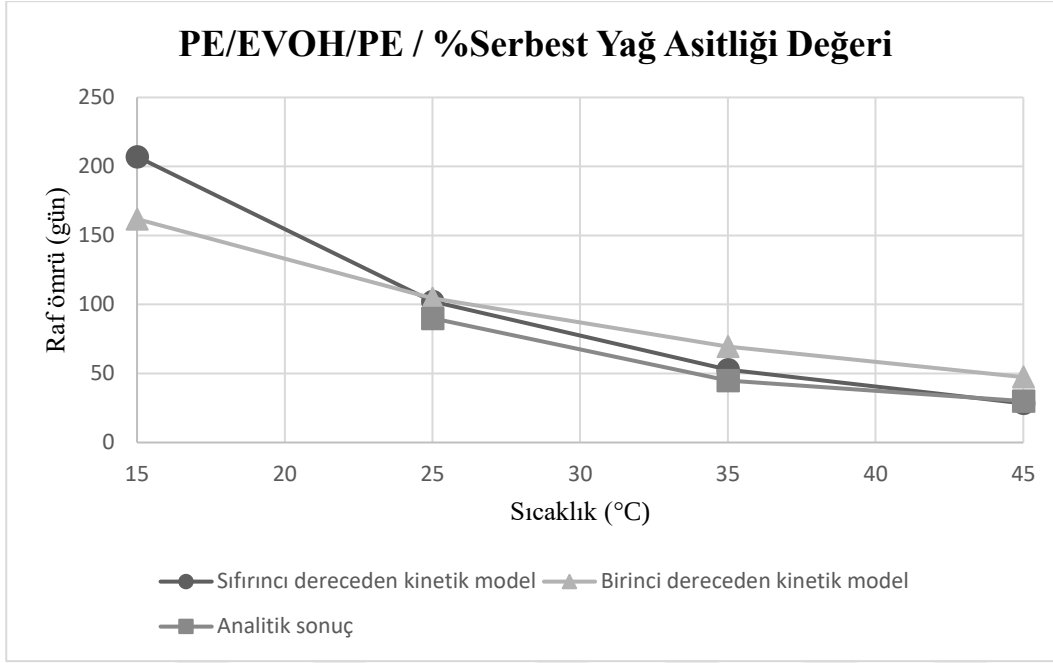
		Sıcaklık (°C)	Raf ömrü (gün)
Peroksit değeri	Sıfıncı dereceden kinetik model	15	112,38
		25	78,79
		35	56,52
		45	41,41
	Birinci dereceden kinetik model	15	101,79
		25	87,12
		35	75,32
		45	65,72
	Analitik sonuç	15	105,00
		25	60,00
		35	60,00
		45	45,00
%Serbest yağ asitliği değeri	Sıfıncı dereceden kinetik model	15	207,08
		25	102,08
		35	52,68
		45	28,34
	Birinci dereceden kinetik model	15	161,88
		25	104,56
		35	69,48
		45	47,37
	Analitik sonuç	15	Raf ömrü devam etmekte
		25	90,00
		35	45,00
		45	30,00

Şekil 4.57’de görüldüğü üzere PE/EVOH/PE ambalajlı örnekler için, 15-25-35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozundaki peroksit değeri değişiminin 0. dereceden kinetik modeli izlediği belirlenmiştir. Bu bağlamda, 0. dereceden reaksiyon kinetiği temelinde 15-25-35 ve 45 °C için sırasıyla 112,38 gün, 78,79 gün, 56,52 gün, 41,41 gün olarak hesaplanan raf ömrü; analitik sonuçlara göre ise sırasıyla 105 gün, 60 gün, 60 gün, 45 gün olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.57. PE/EVOH/PE / Peroksit değeri değişimi için, sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiği

Şekil 4.58’de görüldüğü üzere PE/EVOH/PE ambalajlı örnekler için, 15-25-35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozundaki %serbest yağ asitliği değişiminin 0. dereceden kinetik modeli izlediği belirlenmiştir. Bu bağlamda, 0. dereceden reaksiyon kinetiği temelinde 15-25-35 ve 45 °C için sırasıyla 207,08 gün, 102,08 gün, 52,68 gün, 28,34 gün olarak hesaplanan raf ömrü; analitik sonuçlara göre ise sırasıyla depolama süresi 120 gün olduğu için raf ömrü halen devam etmekte, 90 gün, 45 gün, 30 gün olarak belirlenmiştir.

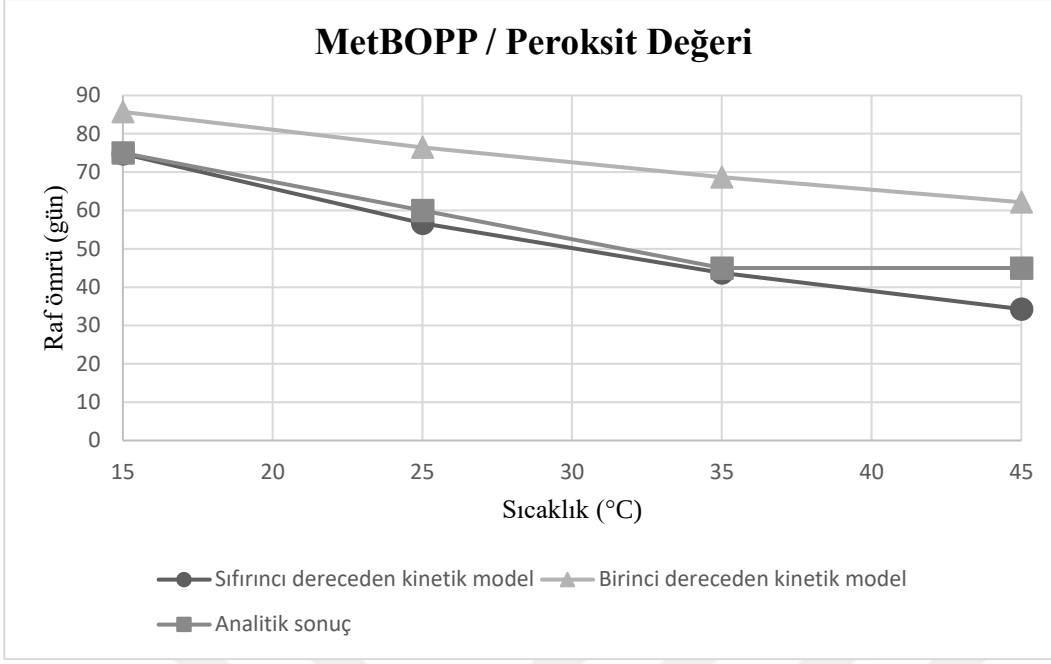


Şekil 4.58. PE/EVOH/PE / %Serbest yağ asitliği değeri değişimi için, sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiği

Tablo 4.24. MetBOPP örneğine ait peroksit değeri, %serbest yağ asitliği değeri açısından sıfıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü değerleri

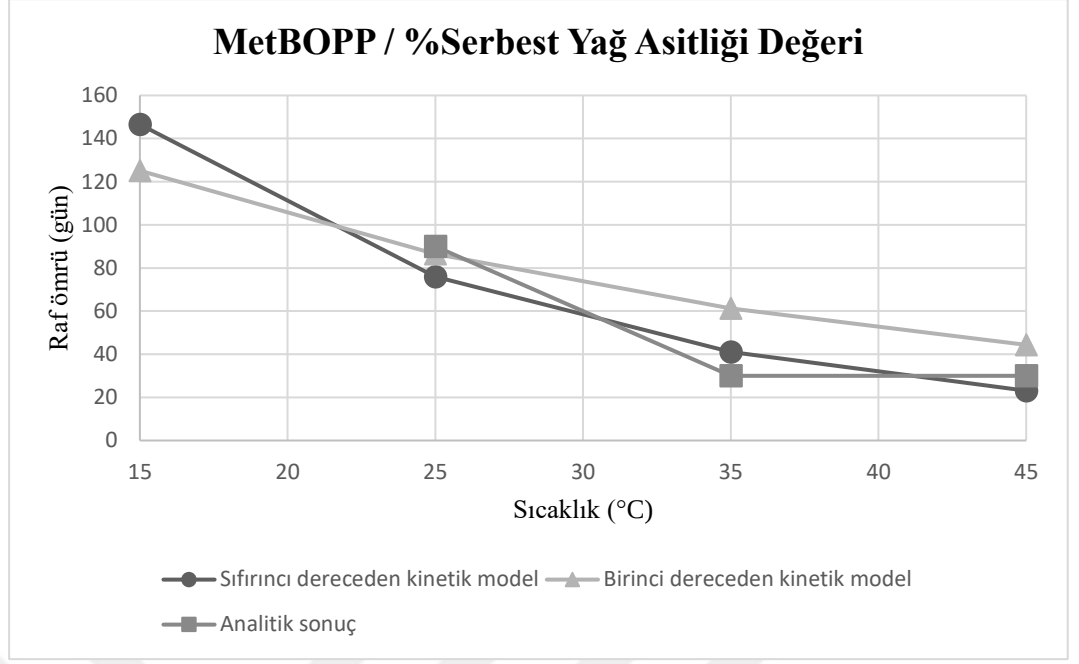
		Sıcaklık (°C)	Raf ömrü (gün)
Peroksit değeri	Sıfıncı dereceden kinetik model	15	74,78
		25	56,66
		35	43,70
		45	34,27
	Birinci dereceden kinetik model	15	85,71
		25	76,45
		35	68,70
		45	62,15
	Analitik sonuç	15	75,00
		25	60,00
		35	45,00
		45	45,00
%Serbest yağ asitliği değeri	Sıfıncı dereceden kinetik model	15	146,54
		25	75,95
		35	41,08
		45	23,10
	Birinci dereceden kinetik model	15	125,09
		25	86,50
		35	61,26
		45	44,34
	Analitik sonuç	15	Raf ömrü devam etmekte
		25	90,00
		35	30,00
		45	30,00

Şekil 4.59’da görüldüğü üzere MetBOPP ambalajlı örnekler için, 15-25-35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozundaki peroksit değeri değişiminin 0. dereceden kinetik modeli izlediği belirlenmiştir. Bu bağlamda, 0. dereceden reaksiyon kinetiği temelinde 15-25-35 ve 45 °C için sırasıyla 74,78 gün, 56,66 gün, 43,70 gün, 34,27 gün olarak hesaplanan raf ömrü; analitik sonuçlara göre ise sırasıyla 75 gün, 60 gün, 45 gün, 45 gün olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.59. MetBOPP / Peroksit değeri değişimi için, sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiği

Şekil 4.60'ta görüldüğü üzere MetBOPP ambalajlı örnekler için, 15-25-35 ve 45 °C'de depolanan Antep fıstığı tozundaki %serbest yağ asitliği değişiminin 0. dereceden kinetik modeli izlediği belirlenmiştir. Bu bağlamda, 0. dereceden reaksiyon kinetiği temelinde 15-25-35 ve 45 °C için sırasıyla 146,54 gün, 75,95 gün, 41,08 gün, 23,10 gün olarak hesaplanan raf ömrü; analitik sonuçlara göre ise sırasıyla depolama süresi 120 gün olduğu için raf ömrü halen devam etmekte, 90 gün, 30 gün, 30 gün olarak belirlenmiştir.

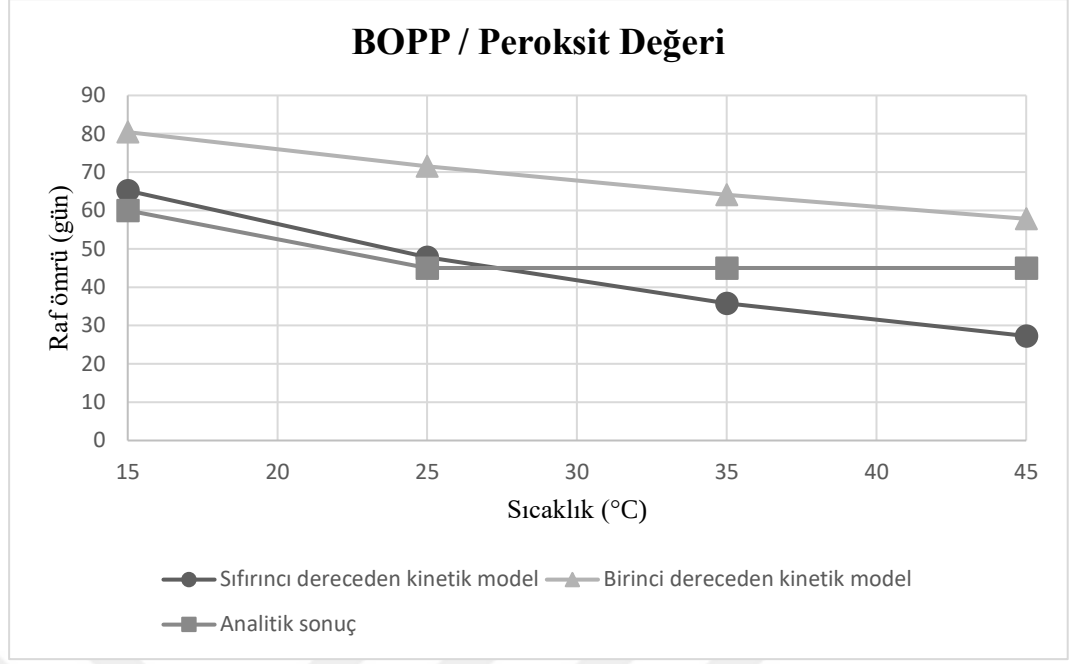


Şekil 4.60. MetBOPP / %Serbest yağ asidi değeri değişimi için, sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiği

Tablo 4.25. BOPP örneğine ait peroksit değeri, %serbest yağ asitliği değeri açısından sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü değerleri

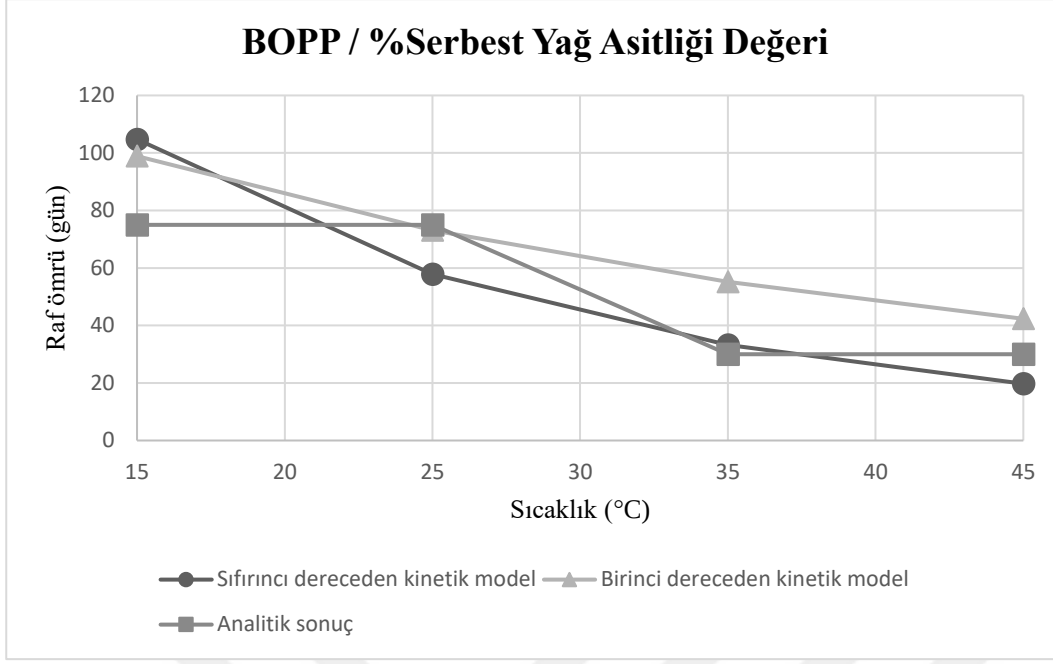
		Sıcaklık (°C)	Raf ömrü (gün)
Peroksit değeri	Sıfırıncı dereceden kinetik model	15	65,17
		25	47,80
		35	35,77
		45	27,26
	Birinci dereceden kinetik model	15	80,43
		25	71,52
		35	64,09
		45	57,82
	Analitik sonuç	15	60,00
		25	45,00
		35	45,00
		45	45,00
%Serbest yağ asitliği değeri	Sıfırıncı dereceden kinetik model	15	104,75
		25	57,85
		35	33,20
		45	19,74
	Birinci dereceden kinetik model	15	98,89
		25	73,12
		35	55,14
		45	42,32
	Analitik sonuç	15	75,00
		25	75,00
		35	30,00
		45	30,00

Şekil 4.61’de görüldüğü üzere BOPP ambalajlı örnekler için, 15-25-35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozundaki peroksit değeri değişiminin 0. dereceden kinetik modeli izlediği belirlenmiştir. Bu bağlamda, 0. dereceden reaksiyon kinetiği temelinde 15-25-35 ve 45 °C için sırasıyla 65,17 gün, 47,80 gün, 35,77 gün, 27,26 gün olarak hesaplanan raf ömrü; analitik sonuçlara göre ise sırasıyla 60 gün, 45 gün, 45 gün, 45 gün olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.61. BOPP / Peroksit değeri değişimi için, sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiği

Şekil 4.62’de görüldüğü üzere BOPP ambalajlı örnekler için, 15-25-35 ve 45 °C’de depolanan Antep fıstığı tozundaki %serbest yağ asitliği değişiminin 0. dereceden kinetik modeli izlediği belirlenmiştir. Bu bağlamda, 0. dereceden reaksiyon kinetiği temelinde, 15-25-35 ve 45 °C için sırasıyla 104,75 gün, 57,85 gün, 33,20 gün, 19,74 gün olarak hesaplanan raf ömrü; analitik sonuçlara göre ise sırasıyla 75 gün, 75 gün, 30 gün, 30 gün olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.62. BOPP / %Serbest yağ asitliği değeri değişimi için, sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik model ve analitik sonuçlara göre raf ömrü grafiği

Maskan vd. (1999), Antep fıstığının çeşitli depolama koşullarında stabilitesini incelediği çalışmada, Antep fıstığı örnekleri, MAP (%2 hava+%98 CO₂) ve atmosferik koşullarda 10, 20 ve 30 °C’de ve kontrol örneği olarak ise ortam koşullarında (açıkta), 15 ay boyunca depolamış ve peroksit değerindeki değişimi incelemiştir. MAP ve atmosferik koşullarda depolanan örneklerin aktivasyon enerjileri sırasıyla 13,39 kcal/mol ve 8,33 kcal/mol olarak hesaplanmıştır. Peroksit değerindeki değişimin, birinci dereceden kinetik modeli izlediği belirtilmiştir. MAP örneklerinin k reaksiyon hız sabiti değerleri 10, 20 ve 30 °C’de sırasıyla 0,0375-0,123 ve 0,179 olarak, atmosferik koşullarda depolanan örneklerde 0,0686-0,130 ve 0,182 ve ortam koşullarında depolanan örnekte ise 0,254 olduğu belirlenmiştir.

Hosseini et al. (2014), ceviz örneklerinde oksidatif stabiliteyi takip ettiği çalışmada, ceviz örneklerini 62-72 ve 82 °C’de depolayarak peroksit değerindeki değişimi belirlemiştir. Aynı zamanda çalışmada, 20-30 °C’de depolanan ceviz örneklerinin de aktivasyon enerjisini hesaplamışlardır. 20,88-29,92 °C’de (%35-45 bağıl nemde) depolanan ceviz örneklerinde, oksidasyon ürünlerinin oluşması için gerekli aktivasyon enerjisinin 74,01-79,57 kJ/molK olduğu belirtilmiştir. Ek olarak, artan sıcaklıkla birlikte, k reaksiyon hız sabitinin değerlerinin de arttığı

gözlenmiştir. Reaksiyon değişimlerinin, birinci dereceden kinetik modeli izlediği belirtilmiştir.

Tavakolipour et al. (2016), farklı depolama koşullarında Antep fıstığı tozunun lipid oksidasyon kinetiğini çalışmıştır. Bu çalışmada, örnekler 15, 25, 35 ve 40 °C’de ve %11, %33, %73 ve %87 bağıl nemde depolanarak, peroksit değerindeki değişim incelenmiştir. Çalışmada lipid oksidasyonundaki değişikliklerin, sıfırıncı dereceden reaksiyon kinetik modelini izlediği belirtilmiştir. Sabit bağıl nemde, sıcaklık arttıkça k reaksiyon hız sabiti değerinin arttığı gözlenmiş; en düşük ve en yüksek k değeri ise 0,0290 ve 0,4797 olarak hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi ise, 15-25-35 ve 40 °C için, %11 bağıl nemde 35,39 kJ/mol, %33 bağıl nemde 48,21 kJ/mol, %73 bağıl nemde 40,87 kJ/mol ve %87 bağıl nemde ise 35,73 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Sabit bağıl nemde, artan sıcaklıkla beraber, $t_{1/2}$ (gün) de azaldığı gözlenmiştir.

Shafiei et al. (2020), çiğ ve kavrulmuş fındıklarda oksidatif indekslerin hızlandırılmış raf ömrü testi ile tahminini çalışmıştır. Bu çalışmaya göre, 55-65 ve 75 °C’de depolanan örneklerde peroksit değeri, p-anisidin değeri ve TOTOX değeri incelenmiş ve oksidasyon reaksiyonunun sıfırıncı dereceden kinetik modeli izlediği belirtilmiştir. Aynı zamanda, sıcaklık arttıkça k reaksiyon hız sabiti değerinin arttığı belirlenmiştir. Peroksit, p-anisidin değerlerinde aktivasyon enerjisi çiğ fındıkta daha yüksek iken; TOTOX değerlerinde kavrulmuş fındıkta aktivasyon enerjisi daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Çiğ fındıkta peroksit değeri, p-anisidin değeri ve TOTOX değeri için hesaplanan aktivasyon enerjisi sırasıyla, 78,76 kJ/molK, 67,18 kJ/molK ve 86,12 kJ/molK iken; kavrulmuş fındıkta ise sırasıyla, 53,36 kJ/molK, 74,83 kJ/molK ve 57,11 kJ/molK olduğu belirtilmiştir.

Reaksiyon kinetiği ve raf ömrü sonuçlarını incelediğimizde, diğer analiz sonuçlarımızla uyumlu olarak, Antep fıstığı tozunun ambalajsız bir şekilde depolanmasının ve yüksek depolama sıcaklıklarının ürünün kalite özelliklerini ve raf ömrünü olumsuz etkilediği görülmektedir. Raf ömrünün uzatılması ve kalite parametrelerinin korunabilmesi için, depolama sıcaklığının ve kullanılan ambalaj malzemesinin önemli faktörler olduğu açıktır.

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sürdürülebilir kalkınma kapsamında, geri dönüştürülebilir ambalaj malzemelerinin ve farklı depolama sıcaklıklarının Antep fıstığı tozunun kalite özelliklerindeki değişimine etkisini gözlemlemek ve Antep fıstığını tozunun ihracat potansiyelini arttırmak amacıyla gerçekleştirilen bu tez çalışmasında; açıkta (kontrol) depolamaya göre, her üç ambalaj malzemesinin de ürünün kalite özelliklerini ve raf ömrünü daha iyi koruduğu gözlenmiştir.

- ✓ Ambalaj malzemelerinin su buharı geçirgenliğinin düşük sıcaklıkta (15 °C) depolamada, örneklerdeki nem kazanımı açısından az da olsa etkili olduğu belirlenmiştir. Depolama sıcaklığının yükselmesiyle (25 ve 35 °C) nem kazanımı tüm ambalajlı örneklerde ve kontrol örneğinde azalmış; kontrol örneği ve ambalajlı örnekler arasındaki farklılıklar ise azalmıştır. 45 °C’de depolanan örneklerin tamamında nem kaybı olduğu ve örnekler arasındaki farklılıkların oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Her üç ambalaj malzemesinin de kontrol örneğine göre su aktivitesi değişiminde koruyucu özellik gösterdiği, 45 °C depolamada ise değişiminin minimum miktarlarda kaldığı belirlenmiştir.
- ✓ Toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değerinin, ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerde kontrol örneğine göre çok daha iyi muhafaza edildiği açık bir şekilde görülmüştür. Depolama sonunda ise, farklı OTR değerlerine sahip ambalaj malzemeleri arasında en düşük OTR değerine sahip PE/EVOH/PE ($OTR_{PE/EVOH/PE} \leq 1 \text{ cc/m}^2\text{gün-atm}$) ambalaj malzemesi her depolama sıcaklığında en yüksek toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değerini sağlamıştır.
- ✓ Renk kriterleri açısından depolama sıcaklığının oldukça önemli bir parametre olduğu, sıcaklığın yükselmesiyle tüm örneklerin L^* ve b^* değerlerinin azalırken, a^* ve BI (kahverengileşme indeksi) değerlerinin arttığı görülmüştür. 15 ve 25 °C’de depolanan örneklerde renk kriterlerindeki bu değişimlerin daha düşük olduğu belirlenmiştir. 35 ve 45 °C’de depolanan kontrol örneğinde ise renk kriterlerindeki değişimin ambalajlanmış örneklere kıyasla daha fazla olduğu ve en az değişimin ise, OTR değeri en düşük olan PE/EVOH/PE ambalajlı örneklerde olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, daha yüksek sıcaklıklarda depolamada Antep fıstığı tozunun renk kriterlerinin

korunmasında ambalajın etkisi daha fazla olmuştur. Özellikle 35 °C'ye kadar olan depolama sıcaklıklarında OTR değeri düşük olan ambalaj malzemesi daha etkili olurken, 45 °C'de depolanan örneklerin tamamında ise renklerin kabul edilemez olduğu belirlenmiştir

- ✓ Peroksit değeri, %serbest yağ asitliği değeri, p-anisidin değeri ve TOTOX değerleri incelendiğinde ise, açıkta (kontrol) depolama yapılan örneklerde, depolama sonunda elde edilen değerlerin, ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerin neredeyse iki katı olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, Antep fıstığı tozunda oksidasyonun yavaşlatılabilmesi için kesinlikle ambalajlı bir şekilde depolanması gerektiği açık bir şekilde görülmüştür.
- ✓ 0. ve 1. dereceden reaksiyon kinetiği temelinde peroksit ve %serbest yağ asitliği sınır değeri dikkate alınarak hesaplanan raf ömrü değerleri, analitik sonuçlarımıza göre belirlemiş olduğumuz raf ömrü sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kontrol örneği ve tüm ambalaj malzemeleri için peroksit ve %serbest yağ asitliği değeri değişimine göre reaksiyon kinetiğinin 0. dereceden kinetik modeli izlediği belirlenmiştir.
- ✓ Antep fıstığı tozunun depolama süresince reaksiyon kinetiği ve raf ömrü tahminlemesi değerlendirildiğinde ise, kontrol örneği ve ambalaj malzemesi ile depolanan örnekler için; sıcaklık arttıkça raf ömrünün azaldığı ve k değerinin arttığı, ancak her depolama sıcaklığında, k değerinin en fazla kontrol örneğinde olduğu görülmüştür. Aynı şekilde, her depolama sıcaklığında, en düşük raf ömrü kontrol örneğinde, en yüksek raf ömrü ise PE/EVOH/PE ambalaj malzemesi ile depolanan örneklerde hesaplanmıştır. Bu durumda, analiz sonuçlarımızla uyumlu olarak, ambalajsız bir şekilde depolama yapmanın raf ömrünü olumsuz etkilediği açık bir şekilde görülmüştür.

Depolama sıcaklığının artması, her analiz sonucu için Antep fıstığı tozunun raf ömrünü ve kalite özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, Antep fıstığı tozunun kalite özelliklerini daha iyi muhafaza edebilmesi için 15 °C depolama sıcaklığında depolanması tavsiye edilmektedir. Analiz sonuçları dikkate alındığında, ambalaj malzemesinin koruyucu özelliğinden dolayı Antep fıstığı tozunun ambalajlı bir şekilde depolanması gerektiği açık bir şekilde görülmektedir. Ancak ambalaj malzemeleri kendi aralarında değerlendirildiğinde, en düşük OTR

değerine sahip olmasından dolayı PE/EVOH/PE ambalaj malzemesinin kalite özelliklerini daha iyi koruduğu ve daha uzun bir raf ömrü sağladığı görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmanın sonucunda, Antep fıstığı tozunun, 15 °C’de PE/EVOH/PE ambalaj malzemesi kullanılarak depolanması önerilmektedir. Önerilen depolama sıcaklığı ve ambalaj malzemesi, ihracat potansiyelinin artırılması ve sürdürülebilir kalkınma kapsamında endüstriyel olarak başarılı bir şekilde kullanılabilir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

Achilias, D.S., Roupakias, C., Megalokonomos, P., Lappas, A.A. and Antonakou, E.V., 2007, Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP), *Journal of Hazardous Materials*, 149:536–542p.

Ahamed, A., Veksha, A., Giannis, A. and Lisak G., 2021, Flexible packaging plastic waste – environmental implications, management solutions, and the way forward, *Current Opinion in Chemical Engineering*, 32:1-8p.

Ahmed, M., Pickova, J., Ahmad, T., Liaquat, M., Farid, A. and Jahangir, M., 2016, Oxidation of lipids foods, *Sarhad Journal of Agriculture*, 32(20):230-238p.

Altundaş, E. ve Mutlu, A., 2007, Antepfıstığı (*Pistacia vera L.*) kabuklu ve iç meyvesinin bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(1):19-25s.

Anonim, 2023, “Antep fıstığı ile ilgili saptamalar”, <https://rekoltedunyasi.com/arastirma/antepfistigi-ile-ilgili-saptamalar/>, (Erişim tarihi: 18 Haziran 2023).

AOAC, 2000, *Official methods of analysis of AOAC international*, 17th ed. Gaithersburg, MD: AOAC International.

AOCS, 2017, *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*, American Oil Chemists’ Society, Free Fatty Acids in Crude and Refined Fats and Oils, 7th Edition, Ca 5a-40.

AOCS, 2017, *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*, American Oil Chemists’ Society, Oil Stability Index, 7th Edition, Cd 12b-92.

AOCS, 2017, *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*, American Oil Chemists’ Society, p-Anisidine Value, 7th Edition, Cd 18-90.

AOCS, 2017, *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*, American Oil Chemists’ Society, Peroxide Value, Acetic Acid, Isooctane Method, 7th Edition, Cd 8b-90.

Arena, E., Ballistreri, G. and Fallico, B., 2013, Effect of postharvest storage temperatures on the quality parameters of pistachio nuts, *Czech Journal Food Science*, 31(5): 467–473p.

Aviara, N.A., 2020, Moisture sorption isotherms and isotherm model performance evaluation for food and agricultural products, *Sorption in 2020s*, 1-33p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Aydın, Ç., 2013, Uygulanan farklı işlem parametrelerinin iç antep fıstığı türevlerinin kalitesi üzerine etkisi ve optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Azzi, A., Battini, D., Persona, A. and Sgarbossa, F., 2012, Packaging design: General framework and research agenda, *Packaging Technology and Science*, 25:435–456p.
- Bakkalbaşı, E., Menteş Yılmaz, Ö., Javidipour, I. And Artık, N., 2012, Effects of packaging materials, storage conditions and variety on oxidative stability of shelled walnuts, *LWT-Food Science and Technology*, 46:203-209p.
- Barden, L. and Decker, E.A., 2016, Lipid oxidation in low-moisture food: a review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56:2467–2482p.
- Barreca, D., Lagana, G., Leuzzi, U., Smeriglio, A., Trombetta, D. and Bellocco, E., 2016, Evaluation of the nutraceutical, antioxidant and cytoprotective properties of ripe pistachio (*Pistacia vera* L., variety Bronte) hulls, *Food Chemistry*, 196:493-502p.
- Bellomo, M.G. and Fallico, B., 2007, Anthocyanins, chlorophylls and xanthophylls in pistachio nuts (*Pistacia vera*) of different geographic origin, *Journal of Food Composition and Analysis*, 20:352–359p.
- Bellomo, M.G., Fallico, B. and Muratore, G., 2009, Stability of pigments and oil in pistachio kernels during storage, *International Journal of Food Science and Technology* 44:2358–2364p.
- Berkane, I., Cabanes, A., Horodytska, O., Aracil, I. And Fullana, A., 2023, The delamination of metalized multilayer flexible packaging using a microperforation technique, *Resources, Conservation & Recycling*, 189:1-8p.
- Brouwer, M.T., Thoden van Velzen, E., Augustinus, A., Soethoudt, H., De Meester, S. and Ragaert, K., 2018, Predictive model for the Dutch post-consumer plastic packaging recycling system and implications for the circular economy, *Waste Management*, 71:62–85p.
- Bulca, S., 2014, Çörek otunun bileşenleri ve bu yağın ve diğer bazı uçucu yağların antioksidan olarak gıda teknolojisinde kullanımı, *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(2):29-36s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Bulló, M., Juanola-Falgarona, M., Hernández-Alonso, P. and Salas-Salvadó, J., 2014, Nutrition attributes and health effects of pistachio nuts, *British Journal of Nutrition*, 113:79–93p.

Calligaris, S., Manzocco, L., Anese, M. and Nicoli, M.C., 2016, Shelf-life assessment of food undergoing oxidation—a review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56(11):1903-1912p.

Calligaris, S., Manzocco, L., Kravina, G. and Nicoli, M.C., 2007, Shelf-life modeling of bakery products by using oxidation indices, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(5):2004-2009p.

Cao, J., Deng, L., Zhu, X-M., Fan, Y., Hu, J-N., Li, J. and Deng, Z-Y., 2014, Novel approach to evaluate the oxidation state of vegetable oils using characteristic oxidation indicators, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 62:12545–12552p.

Casarejos, F., Bastos, C.R., Rufin, C. and Frota, M.N., 2018, Rethinking packaging production and consumption vis-a-vis circular economy: A case study of compostable cassava starch-based material, *Journal of Cleaner Production*, 201:1019-1028p.

CEFLEX, 2020, Designing for a Circular Economy, Recyclability of polyolefin-based flexible packaging, Phase 1.

Cheyrier, V., 2012, Phenolic compounds: from plants to foods, *Phytochemistry Reviews*, 11:153–177p.

Ciemniewska-Zytkiewicz, H., Ratusz, K., Brys', J., Reder, M. and Koczon, P., 2014, Determination of the oxidative stability of hazelnut oils by PDSC and Rancimat methods, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 118:875–881p.

Codex Alimentarius International Food Standards, 2021, Standard for named vegetable oils, CXS 210-1999, Amended in 2021.

Croguennec, T., Schuck, P. and Brulé, G., 2016, Enzymatic Browning, *Handbook of Food Science and Technology 1: Food Alteration and Food Quality*, First Edition, 170-171p.

Çağlarmak, N. and C. Batkan, A., 2005, Nutrients and biochemistry of nuts in different consumption types in Turkey, *Journal of Food Processing and Preservation*, 29:407–423p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Çağlar, A., Tomar, O., Vatansever, H. ve Ekmekçi, E., 2017, Antepfıstığı (*Pistacia vera L.*) ve insan sağlığı üzerine etkileri, Akademik Gıda, 15(4):436-447s.

Çınar, B., 2012, Türk Antepfıstığı çeşitlerinin vitamin, mineral madde, yağ ve yağ asitleri bileşimi üzerinde araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Dahlbo, H., Poliakova, V., Mylläri, V., Sahimaa, O. and Anderson, R., 2018, Recycling potential of post-consumer plastic packaging waste in Finland, Waste Management 71:52–61p.

Demetrious, A. and Crossin, E., 2019, Life cycle assessment of paper and plastic packaging waste in landfill, incineration, and gasification-pyrolysis, Journal of Material Cycles and Waste Management, 21:850–860p.

Dilkes-Hoffman, L.S., Pratt, S., Laycock, B., Ashworth, P. and Lant, P.A., 2019, Public attitudes towards plastics, Resources, Conservation & Recycling, 147:227–235p.

Dini, A., Falahati-Pour, S.K. and Hashemipour H., 2023, Oxidation kinetic studies of virgin and solvent extracted pistachio oil under Rancimat test conditions, Journal of Food Measurement and Characterization, 17:653–663p.

Dini. A., Falahati-Pour, S.K., Behmaram, K. and Sedaghat, N., 2019, The kinetics of colour degradation, chlorophylls and xanthophylls loss in pistachio nuts during roasting process, Food Quality and Safety, XX, 1–13p.

Esmaili, M., Goli, S.A.H., Shirvani, A. and Shakerardakani, A., 2018, Improving storage stability of pistachio oil packaged in different containers by using rosemary (*Rosmarinus officinalis L.*) and peppermint (*Mentha piperita*) essential oils, European Journal of Lipid Science and Technology, 120(4):1-10p.

FAOSTAT, “Countries by commodity”, https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity, (Erişim tarihi: 05 Nisan 2023).

Faraca, G. and Astrup, T., 2019, Plastic waste from recycling centres: Characterisation and evaluation of plastic recyclability, Waste Management, 95:388–398p.

FPA, 2023, “Leading the way in innovation advantages of flexible packaging”, <https://www.flexpack.org/advantages/>, (Erişim tarihi: 25 Ağustos 2023)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Frega, N., Mozzon, M. and Lercker, G., 1999, Effects of free fatty acids on oxidative stability of vegetable oil, *JAOCS*, 76(3):325-329p.

Gamlı, Ö.F. ve Hayoğlu, İ., 2013, Curve fitting parameters of color variables of Pistachio nut cream during storage period, *GIDA*, 38(2):71-78s.

Gentile, C., Tesoriere, L., Butera, D., Fazzari, M., Monastero, M., Allegra, M. and Livrea, M. A., 2007, Antioxidant activity of sicilian pistachio (*Pistacia vera* L. Var. Bronte) nut extract and its bioactive components, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55:643-648p.

Gheysarbigi, S. Mirdehghan, S.H. and Ghasemnezhad, M., 2020, The inhibitory effect of nitric oxide on enzymatic browning reaction of in-package fresh pistachios (*Pistachio vera* L.), *Postharvest Biology and Technology*, 159:1-7p.

Goula, A.M., Karapantsios, T.D., Achilias, D.S. and Adamopoulos K.G., 2008, Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp, *Journal of Food Engineering*, 85:73-83p.

Greenspan, L., 1976, Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions, *Journal of Research of the National Bureau of Standards, A Physics and Chemistry*, 81A:89-96p.

Güler, B. ve Karaca, H., 2021, Ambalajlama Tekniği ve Depolama Koşullarının Ceviz İçi Kalitesi Üzerine Etkisi, *Akademik Gıda*, 19(1):59-73s.

Gülmez, Ö. and Şahin S., 2019, Evaluation of oxidative stability in hazelnut oil treated with several antioxidants: Kinetics and thermodynamics studies, *Food Science and Technology*, 111:478-483p.

Halvorsen, B.L., Carlsen, M.H., Phillips, K.M., Bøhn, S.K., Holte, K., Jacobs Jr, D.R. and Blomhoff, R., 2006, Content of redox-active compounds (i.e., antioxidants) in food consumed in the United States, *American Society for Nutrition*, 84:95–135p.

Hannay, F., 2002, Rigid plastics packaging-Materials, processes and applications, *Rapra Review Reports*, 13(7):3p.

Hashemi, M., Dastjerdi, A.M., Mirdehghan, S.H., Shakerardekani, A. and Golding, J.B., 2021, Incorporation of zataria multiflora boiss essential oil into gum arabic edible coating to maintain the quality properties of fresh in-hull pistachio (*Pistacia vera* L.), *Food Packaging and Shelf Life*, 30:1-10p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

He, P., Chen, L., Shao, L., Zhang, H. and Lü, F., 2019, Municipal solid waste (MSW) landfill: A source of microplastics -Evidence of microplastics in landfill leachate, *Water Research*, 159:38-45p.

He, Z., Nam, S. and Klasson, K.T., 2023, Oxidative stability of cottonseed butter products under accelerated storage conditions, *Molecules*, 28(1599):9-13p.

Heldman, D.R., 2011, Food preservation process design, Academic Press.

Hopewell, J., Dvorak, R. and Kosior, E., 2009, Plastics recycling: challenges and Opportunities, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364:2115–2126p.

Hori, K., Koh, F.H. and Tsumura, K., 2019, A metabolomics approach using LC TOF-MS to evaluate oxidation levels of edible oils, *Food Analytical Methods*, 12:1799–1804p.

Horodytska, O., Valdés, F.J. and Fullana, A., 2018, Plastic flexible films waste management – A state of art review, *Waste Management*, 77:413–425p.

Hosseini, H., Ghorbani, M., Sadeghi Mahoonak, A. and Maghsoudlou, Y., 2014, Monitoring hydroperoxides formation as a measure of predicting walnut oxidative stability, *Acta Alimentaria*, 43(3):412–418p.

Hosseini, F-S., Akhavan, H-R., Maghsoudi, H., Hajimohammadi-Farimani, R. and Balvardi, M., 2019, Effects of a rotational UV-C irradiation system and packaging on the shelf life of fresh pistachio, *Journal Science Food Agriculture*, 99: 5229–5238p.

Kaiser, K., Schmid, M. and Schlummer, M., 2018, Recycling of Polymer-Based Multilayer Packaging: A Review, *Recycling*, 3(1):1-22p.

Kaiser, K.M.A., 2020, Recycling of multilayer packaging using a reversible crosslinking adhesive, *Journal of Applied Polymer Science*, 137:1-12p.

Karel, M., 1982, Quantitative analysis and simulation of food quality losses during processing and storage, *Computer Aided Techniques in Food Technology*, Saguy, I. (Ed.), Marcel-Dekker INC, 118-119p.

Kashaninejad, M., 2011, *Pistachio (Pistacia vera L.)*, Woodhead Publishing Limited, 218-243p.

Khoshnoudi-Nia, S. and Sedaghat, N., 2019, Effect of active edible coating and temperature on quality properties of roasted pistachio nuts during storage, *Journal of Food Processing and Preservation*, 1-10p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Kleinhans, K., Hallemans, M., Huysveld, S., Thomassen, G., Ragaert, K., Van Geem, K.M., Roosen, M., Mys, N., Dewulf, J. and De Meester, S., 2021, Development and application of a predictive modelling approach for household packaging waste flows in sorting facilities, *Waste Management*, 120:290–302p.

Koyuncu, İ., 2018, Urfa fıstığından (*Pistacia vera* L.) elde edilen çeşitli ekstraktların antikanser özelliklerinin incelenmesi, *Harran Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi (Journal of Harran University Medical Faculty)*, 15(2):72-75s.

Küçüköner, E. and Yurt B., 2003, Some chemical characteristics of *Pistacia vera* varieties produced in Turkey, *European Food Research and Technology*, 217:308-310p.

Labuza, T.P., 1973, Effects of dehydration and storage, *Food Technology*, 27(1):20-26p.

Labuza, T.P., 1984, Application of chemical kinetics to deterioration of foods, *Journal of Chemical Education*, 61(4):348-358p.

Laguerre, M., Lecomte, J. and Villeneuve, P., 2007, Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges, *Progress in Lipid Research*, 46:244–282p.

Larrain, M., Passel, S.V., Thomassen, G., Gorp, B.V., Nhu, T.T., Huysveld, S., Van Geem, K.M., De Meester, S. and Billen, P., 2021, Techno-economic assessment of mechanical recycling of challenging post-consumer plastic packaging waste, *Resources, Conservation & Recycling*, 170:1-13p.

Lase, I. S., Bashirgonbadi, A., Van Rhijn, F., Dewulf, J., Ragaert, K., Delva, L., Roosen, M., Brandsma, M., Langen, M. and De Meester, S., 2022, Material flow analysis and recycling performance of an improved mechanical recycling process for post-consumer flexible plastics, *Waste Management*, 153:249–263p.

Leissner, S. and Ryan-Fogarty, Y., 2019, Challenges and opportunities for reduction of single use plastics in healthcare: A case study of single use infant formula bottles in two Irish maternity hospitals, *Resources, Conservation & Recycling*, 151:1-8p.

Leufven, A., Sedaghat, N. and Habibi, M.B., 2007, Influence of different packaging systems on stability of raw dried pistachio nuts at various conditions, *İran Halk ve Gıda Endüstrisi Dergisi*, 27-36p.

Licciardello, F. and Piergiovanni, L., 2021, Packaging and food sustainability, *The Interaction of Food Industry and Environment*, 191-222p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Lopez, G., Artetxe, M., Amutio, M., Alvarez, J., Bilbao, J. and Olazar, M., 2018, Recent advances in the gasification of waste plastics. A critical overview, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82:576–596p.

Luijsterburg, B. and Goossens, H., 2014, Assessment of plastic packaging waste: Material origin, methods, properties, Resources, Conservation and Recycling, 85:88– 97p.

Makower, B. and Dehority G.L., 1943, Equilibrium moisture content of dehydrated vegetables, *Industrial and Engineering Chemistry*, 35(2):193-197p.

Mandalari, G., Barreca, D., Gervasi, T., Roussell, M.A., Klein, B., Feeney, M.J. and Carughi, A., 2022, Pistachio nuts (*Pistacia vera L.*): production, nutrients, bioactives and novel health effects, *Plants*, 11(18):3-21p.

Maskan, M. and Karataş, Ş., 1999, Storage stability of whole-split pistachio nuts (*Pistachia vera L.*) at various conditions, *Food Chemistry* 66:227-233p.

Mateos, R., Uceda, M., Aguilera, M.P., Escuderos, M.E. and Maza, G.B., 2006, Relationship of Rancimat method values at varying temperatures for virgin olive oils, *European Food Research and Technology*, 223:246–252p.

Mexis, S.F., Badeka, A.V., Riganakos, K.A., Karakostas, K.X. and Kontominas, M.G., 2009, Effect of packaging and storage conditions on quality of shelled walnuts, *Food Control*, 20:743–751p.

Mohammadi, A., Rafiee, S., Emam-Djomeh, Z. and Keyhani, A., 2008, Kinetic models for colour changes in kiwifruit slices during hot air drying, *World Journal of Agricultural Sciences* 4(3):376-383p.

Moigradean, D., Poiana, M.A. and Gogoasa, I., 2012, Quality characteristics and oxidative stability of coconut oil during storage, *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 18 (4):272-276p.

Molamohammadi, M., Pakkish, Z., Akhavan, H-R. and Saffari, V.R., 2020, Effect of salicylic acid incorporated chitosan coating on shelf life extension of fresh in-hull pistachio fruit, *Food and Biproduct Technology*, 13:121-131p.

Naserifar, F., Sahiner, A. and K. Esmer, O., 2023, Effects of carbon dioxide concentration in modified atmosphere packaging on the shelf life and quality criteria of whole wheat bread during storage, *Packaging Technology and Science*, 2023:1-11p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Niaounakis, M., 2019, Flexible plastic packaging and Recycling, Plastics Design Library, 1-5p.

Nichenametla, S.N., Taruscio, T.G., Barney, D.L. and Exxon, J.H., 2007, A review of the effects and mechanisms of polyphenolics in cancer, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 46:161–183p.

Oğuz, A., 2008, Bazı çerez gıdaların antioksidan kapasiteleri, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.

Ozturk, I., Sagdic, O., Yalcin, H. and Dursun Capar, T., 2016, The effects of packaging type on the quality characteristics of fresh raw pistachios (*Pistacia vera* L.) during the storage, LWT-Food Science and Technology, 65:457-463p.

Öksüzler, F.T., 2015, The effects of roasting on oxidative stability of pistachio nut kernels at accelerated conditions, M. Sc. Thesis, University of Gaziantep Graduate School of Natural & Applied Sciences, Gaziantep, Turkey.

Özdikicierler, O., 2021, Chemometric discrimination of Turkish olive oils by variety and region using PCA and comparison of classification viability of SIMCA and PLS-DA, European Food Research and Technology, 247:157–168p.

Palipane, K.B. and Driscoll, R.H., 1992, Moisture sorption characteristics of in-shell macadamia nuts, Journal of Food Engineering, 18:63-76p.

Panda, A.K., Singh, R.K. and Mishra, D.K., 2010, Thermolysis of waste plastics to liquid fuel a suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products—a world prospective, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14:233–248p.

Parasido, V.M., Gomes, T., Nasti, R., Caponio, F. and Summo, C., 2010, Effects of free fatty acids on the oxidative processes in purified olive oil, Food Research International, 43:1389–1394p.

Pauer, E., Tacker, M., Gabriel, V. and Krauter, V., 2020, Sustainability of flexible multilayer packaging: Environmental impacts and recyclability of packaging for bacon in block, Cleaner Environmental Systems 1, 1-13p.

Pelvan, E. ve Demirtaş İ., 2018, Türkiye’de yetişen bittim (*Pistacia terebinthus* L.) ve fıstık (*Pistacia vera*) yağlarının yağ asidi, sterol, tokol kompozisyonları, toplam fenolik madde miktarları ve antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi, Gıda The Journal Of Food, 43(3):384-392s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Pereira de Abreu, D.A., Paseiro Losada, P., Maroto, J. and Cruz, J.M., 2010, Evaluation of the effectiveness of a new active packaging film containing natural antioxidants (from barley husks) that retard lipid damage in frozen Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), *Food Research International*, 43:1277–1282p.

Rabadán, A., Gallardo-Guerrero, L., Gandul-Rojas, B., Álvarez-Ortí, M. and Pardo, J. E., 2018, Effect of roasting conditions on pigment composition and some quality parameters of pistachio oil, *Food Chemistry*, 264:49–57p.

Raei, M. and Jafari, S.M., 2013, Influence of modified atmospheric conditions and different packaging materials on Pistachio (*Pistacia vera* L.) oil quality, *Latin American Applied Research*, 43:43–46p.

Rafsanjani, N. D., Daneshi, M. and Shakerardekani, A., 2018, effect of freezing and vacuum packaging on quality properties of Pistachio powder during storage, *Journal of Nuts*, 9(2):169–179p.

Ragaert, K., Delva, L. and Van Geem, K., 2017, Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste, *Waste Management*, 69:24–58p.

Raisi, M., Ghorbani, M., Mahoonak, A.S. and Kashaninejad, M., 2015, Effect of storage atmosphere and temperature on the oxidative stability of almond kernels during long term storage, *Journal of Stored Products Research*, 62:16–21p.

Robards, K., Prenzler P.D., Tucker, G., Swatsitang P. and Glover, W., 1999, Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits, *Food Chemistry*, 66:401–436p.

Saguy, I. and Karel, M., 1980, Modelling of quality deterioration during food processing and storage, *Food Technology*, 34(2):78–85p.

Shafiei, G., Ghorbani, M., Hosseini, H., Mahoonak, A.S., Maghsoudlou, Y. and Jafari, S.M., 2020, Estimation of oxidative indices in the raw and roasted hazelnuts by accelerated shelf-life testing, *Journal of Food Science Technology*, 57(7):2433–2442p.

Shakerardekani, A. and Karim, R., 2013, Effect of different types of plastic packaging films on the moisture and aflatoxin contents of pistachio nuts during storage, *Journal Food Science Technology*, 50(2):409–411p.

Shayanfar, S., Kashaninejad, M., Khomeiri, M., Djomeh, Z.E. and Mostofi, Y., 2011, Effect of MAP and different atmospheric conditions on the sensory attributes and shelf life characteristics of fresh pistachio nuts, *International Journal of Nuts and Related Sciences* 2(3):47–57p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Sheikhi, A., Mirdehghan, S.H., Ferguson, L., 2019, Extending storage potential of de-hulled fresh pistachios in passive-modified atmosphere, *Journal Science Food Agriculture*, 99:3426–3433p.

Singh, R. P., 1994, Scientific principles of shelf life evaluation, *Shelf Life Evaluation of Foods*, 3-26p.

Sonmezdag, A.H., Kelebek, H. and Selli, S., 2018, Effect of hulling methods and roasting treatment on phenolic compounds and physicochemical properties of cultivars ‘Ohadi’ and ‘Uzun’ pistachios (*Pistacia vera L.*), *Food Chemistry*, 1-30p.

T.C. Ekonomi Bakanlığı, 2017, “Antep fıstığı sektör raporları”, https://ticaret.gov.tr/data/5b8700a513b8761450e18d81/Antep_Fistigi.pdf, (Erişim tarihi: 05 Nisan 2023).

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022, “Tarım ürünleri piyasaları”, <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2022-Temmuz%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/1-ANTEPFISTI%C4%9EI%20T%C3%9CP%20TEMMUZ%202022.pdf>, (Erişim tarihi: 7 Mart 2023)

Tavakoli, J., Sedaghat, N. and Khaneghah, A.M., 2018, Effects of packaging and storage conditions on Iranian wild pistachio kernels and assessment of oxidative stability of edible extracted oil, *Journal of Food Processing and Preservation*, 1-10p.

Tavakolipour, H. and Kalbasi-Ashtari, A., 2007, Estimation of moisture sorption isotherms in kerman pistachio nuts, *Journal of Food Process Engineering*, 31:564–582p.

Tavakolipour, H., 2013, Postharvest operations of pistachio nuts, *Journal Food Science Technology*, 1-7p.

Tavakolipour, H., Mokhtarian, M. and Kalbasi-Ashtari, A., 2016, Lipid oxidation kinetics of Pistachio powder during different storage conditions, *Journal of Food Process Engineering*, 00:1-8p.

Tsantili, E., Konstantinidis, K., Christopoulos, M.V. and Roussos, P.A., 2011, Total phenolics and flavonoids and total antioxidant capacity in pistachio (*Pistacia vera L.*) nuts in relation to cultivars and storage conditions, *Scientia Horticulturae* 129:694–701p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Türk Gıda Kodeksi, 2012, Bitki Adı İle Anılan Yağlar Tebliği, TEBLİĞ NO: 2012/29, 12 Nisan 2012 Perşembe, Sayı: 28262.

TÜRKOMP, 2023, “Antep fıstığı, iç, kavlatılmamış, taze” <http://www.turkomp.gov.tr/food-antep-fistigi-ic-kavlatilmamis-taze-405>, (Erişim tarihi: 7 Mart 2023).

Türksever, C., 2023, Toz tatlı karışımlarında sürdürülebilir ambalajlama uygulamaları ve hızlandırılmış raf ömrü çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Vadoudi, K., Deckers, P., Demuytere, C. Askanian, H. and Verney, V., 2022, Comparing a material circularity indicator to life cycle assessment: The case of a three-layer plastic packaging, *Sustainable Production and Consumption*, 33:820–830p.

Velioglu, Y.S., Mazza, G. and Oomah, B.D., 1998, Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products, *Journal Agriculture Food Chemical*, 46:4113-4117p.

Vlasek, V., Langova, J. and Stencl, J., 2013, Effect of modified atmosphere packaging on stability of three kinds of bread, *Acta Universitatis Agriculture et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 6:1881–1887p.

Wang, D., Xiao, H., Lyu, X., Chen, H. and Wei, F., 2023, Lipid oxidation in food science and nutritional health: A comprehensive review, *Oil Crop Science*, 8(1):35-44p.

Yahyavi, F., Alizadeh-Khaledabad, M. and Azardmard-Damirchib, S., 2020, Oil quality of pistachios (*Pistacia vera L.*) grown in East Azarbaijan, Iran, *NFS Journal*, 18:12–18p.

Yan, M., Yang, Y., Shen, T., Grisdanurak, N., Pariatamby, A., Khalid, M., Hantoko, D. And Wibowo, H., 2023, Effect of operating parameters on monomer production from depolymerization of waste polyethylene terephthalate in supercritical ethanol, *Process Safety and Environmental Protection*, 169:212–219p.

Zhang, N., Li, Y., Wen, S., Sun, Y., Chen, J., Gao, Y., Sagymbek, A. and Yu, X., 2021, Analytical methods for determining the peroxide value of edible oils: A mini-review, *Food Chemistry*, 358:1-8p.

Zheng, J. and Suh, S., 2019, Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics, *Nature Climate Change*, 9:374–378p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Zheng, W. and Wang, S.Y., 2001, Antioxidant Activity and Phenolic Compounds in Selected Herbs, Journal Agriculture Food Chemisty, 49:5165-5170p.

Zhu, Z., Liu, W., Ye, S. and Batista, L., 2022, Packaging design for the circular economy: A systematic review, Sustainable Production and Consumption, 32:817–832p.



TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca değerli bilgilerini ve engin tecrübelerini benimle paylaşan, yüksek lisans sürecim boyunca desteğini esirgemeyen sevgili hocam Doç. Dr. Özlem ESMER'e hayatıma kattığı her şey için sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tüm hoşgörüsüyle her zaman bana destek olan değerli bilgilerini esirgemeyen sevgili hocalarım Doç. Dr. Onur ÖZDİKİCİLER ve Doç. Dr. Banu Koç'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın gerçekleşmesi için gerekli maddi desteği sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK 1002-A Hızlı Destek Modülü) birimine (Proje No: 222O259) teşekkür ederim.

Son olarak beni bu güne getiren ve maddi manevi desteğini hep hissettiğim canım aileme, tüm sabrıyla çalışmamın her aşamasında bana hep moral veren ve destekleyen sevgili eşim Berkay ER'e teşekkür ederim.

Betül ER

Gıda Mühendisi

EĞİTİM

Yüksek Lisans
Ege Üniversitesi
Gıda Mühendisliği
2021-2024

Lisans
Ege Üniversitesi
Gıda Mühendisliği
2012-2017

PROJELER

Tübitak 1002-A / Bursiyer

KONGRELER

Döngüsel Ekonomide Esnek
Ambalajları Yeri
5. Uluslararası Gıda, Tarım,
Veteriner Bilimleri Kongresi

Toz Puding Karışımlarının
Ambalajlanmasında
Sürdürülebilir Ambalaj
Malzemelerinin Kullanıma
Uygunluğunun Belirlenmesi
Sürdürülebilir Gıda Sistemleri
Kongresi

YABANCI DİL

İngilizce (B1)

HAKKINDA

- Lisans eğitimimi Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği bölümünde tamamladıktan sonra 2 sene boyunca Referans Catering firmasında gıda mühendisi olarak görev aldım. Bu süre boyunca üretim planlama ve kalite güvence departmanında aktif görev alarak iş tecrübesi edindim. 2021 yılında Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği bölümünde Gıdaların Ambalajlanması Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimime başladım ve sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir ambalajlar üzerine çalışmalarda bulundum. Yüksek lisans eğitimimde Tübitak 1002-A projesinde bursiyer olarak görev aldım. Şu anda, Keskinöğlü Tavukçuluk ve Damızlık İşlemleri San. Tic. A.Ş. şirketinde, Ar-Ge mühendisi olarak çalışmaktayım.

İŞ DENEYİMİ

- Keskinöğlü Tavukçuluk ve Damızlık İşlemleri San. Tic. A.Ş.**
Ar-Ge Mühendisi | Ekim 2023-Devam ediyor.

İleri İşlem Tesisi, Ar-Ge merkezinde Ambalaj Geliştirme mühendisi olarak görev almaktayım. Ambalaj geliştirme mühendisi olarak ileri işlenmiş piliç eti ürünlerinde kullanılan tüm ambalaj bilgilerinin güncel tutulması, ambalaj malzemelerinin gerekli standartlarının oluşturulması/güncellenmesi, ambalaj malzemelerinde maliyet iyileştirilmesi, güncel ürünlerin ve ambalaj malzemelerinin takip edilmesi, Arge merkezi projelerinin takibini yapmaktayım.

- Referans Catering**
Üretim ve Kalite Güvence Mühendisi | Ekim 2018 – Aralık 2019
Günde yaklaşık 20.000 kişilik üretim yapılan yemek fabrikasında üretim planlama, proje denetmeni ve TSE 8985, TSE 13075, ISO 9001, ISO 22000 kalite sistem yöneticisi olarak görev aldım.

- Referans Catering**
Proje Mühendisi | Mart 2018 – Eylül 2018
Bursa Çekirge Devlet Hastanesi Yemekhane Bölümünde Proje Mühendisi olarak görev aldım.

BİLGİSAYAR BECERİLERİ

MS Office, SPSS, Design Expert, Çözbim, SAP