



**ENKAPSÜLE EDİLMİŞ AMARANT MİKRO
YEŞİLLİKLERİ EKSTRESİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ
YOĞURDUN ANTIOKSİDAN, MİKROBİYOLOJİK,
FİZİKOKİMYASAL VE DUYUSAL ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Zeynep ÖZEN
Beslenme ve Diyetetik Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Esen TAŞĞIN

İkinci Danışman
Prof. Dr. Hayrunnisa NADAROĞLU

Yüksek Lisans Tezi-2025



SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Graduate School of Health Sciences

**ENKAPSÜLE EDİLMİŞ AMARANT MİKRO
YEŞİLLİKLERİ EKSTRESİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ
YOĞURDUN ANTİOKSİDAN, MİKROBİYOLOJİK,
FİZİKOKİMYASAL VE DUYUSAL ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Zeynep ÖZEN

**Beslenme ve Diyetetik Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Esen TAŞĞIN
İkinci Danışman
Prof. Dr. Hayrunnisa NADAROĞLU**

**ERZURUM
2025**

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
TEŞEKKÜR	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Enkapsülasyonun Tanımı.....	3
2.2. Enkapsülasyon Çeşitleri.....	6
2.2.1. Mikroenkapsülasyon	7
2.2.2. Nanoenkapsülasyon	8
2.2.3. Makroenkapsülasyon	10
2.3. Enkapsülasyon Yöntemleri	10
2.3.1. Emülsifikasyon Tekniği.....	11
2.3.2. Koaservasyon.....	13
2.3.3. Sprey Kurutma.....	14
2.3.4. Sprey Soğutma.....	16
2.3.5. Akışkan Yataklı Kaplama	16
2.3.6. Ekstrüzyon	17
2.4. Mikro Yeşilliklerin Tanımı	17
2.5. Mikro Yeşilliklerin Farklı Türleri.....	19
2.5.1. Amarant	21

2.6. Mikro Yeşilliklerin Yetiştirilmesi.....	25
2.7. Mikro Yeşillikler, Filizler, Bebek Yeşillikler ve Olgun Bitkilerin Karşılaştırılması	28
3. MATERYAL VE METOT.....	31
3.1. Materyal	31
3.1.1. Kullanılan Kimyasal Madde ve Malzemeler	31
3.1.2. Kullanılan Cihazlar	31
3.2. Amarant Mikro Yeşilliklerinin Üretilmesi	32
3.3. Amarant Mikro Yeşilliklerinin Ekstresinin Hazırlanması	33
3.4. Nanokapsüllerin Hazırlanması.....	33
3.5. Nanokapsüllerin Karakterizasyonu.....	34
3.5.1. Fourier Dönüştürümlü Kızılötesi Spektrofotometre (FTIR) Analizi	34
3.5.2. X-Işını Difraksiyon (Kırınım) Spektroskopisi (XRD) Analizi	35
3.6. Yoğurt Örneklerinin Hazırlanması	36
3.7. Antioksidan Aktivite Analizleri.....	37
3.7.1. KUPRAK Tayini.....	37
3.7.2. FRAP (Demir İndirgeyici Antioksidan Güç) Tayini	37
3.7.3. DPPH• (2,2-difenil-1- pikril-hidrazil) Serbest Radikali Giderme Aktivitesi Tayini	38
3.8. Mikrobiyolojik analizler	38
3.9. pH ve Asitlik Analizleri	39
3.10. Kolorimetrik Analizler.....	39
3.11. Duyusal Analizler	39
3.12. İstatiksel Analizler	40
4. BULGULAR.....	41

4.1. Yoğurt Örneklerinin pH ve Asitlik Analizi Sonuçları	41
4.2. Yoğurt Örneklerinin Antioksidan Analiz Sonuçları	43
4.2.1. Kuprak Tayini Sonuçları.....	43
4.2.2. FRAP Tayini Sonuçları.....	47
4.2.3. DPPH• Radikal Süpürücü Aktivite Tayini Sonuçları	51
4.3. Amarant Mikro Yeşillik Özütü Kapsüllerinin FTIR Analizi Sonuçları	55
4.4. Amarant Mikro Yeşillik Özütü Kapsüllerinin XRD Analizi Sonuçları.....	57
4.5. Yoğurt Örneklerindeki Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları	58
4.6. Yoğurt Örneklerindeki Kolorimetrik Analiz Sonuçları	58
4.7. Yoğurt Örneklerindeki Duyusal Analiz Sonuçları.....	59
5. TARTIŞMA.....	61
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR	75
EKLER	92
EK-1. Etik Bildirim ve İntihal Beyan Formu.....	92
EK-2. Etik Kurul Onay Formu	93
EK-3. Duyusal Değerlendirme Formu	94

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalıŐmayı, değerli bilgi ve katkıları ile yöneten, tezimin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen hocalarım Sayın Prof. Dr. Esen TAŞĞIN ve Sayın Prof. Dr. Hayrunnisa NADAROĞLU'na en derin saygı ve Őükranlarımı sunarım.

Laboratuvar çalıŐmalarında çok desteğini gördüğüm Dr. Aynur BABAGİL'e,
XRD ve FTIR analizleri için yardım aldığımız Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü (DAYTAM)'ne,

Eğitimim boyunca 2210-A Genel Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında burs desteği sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Bilim İnsanı Destek Programı Başkanlığı (BİDEB)'na,

ÇalıŐmalarım sırasında ilgi ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarıma, yoğun eğitim dönemim boyunca sabırla beni destekleyen eşime ve aileme teşekkür ederim.

Zeynep ÖZEN

ÖZET

Enkapsüle Edilmiş Amaranat Mikro Yeşillikleri Ekstresi ile Zenginleştirilmiş Yoğurdun Antioksidan, Mikrobiyolojik, Fizikokimyasal ve Duyusal Özelliklerinin Araştırılması

Amaç: Bu çalışmanın amacı, amarant mikro yeşilliklerinin enkapsüle edilmesiyle içerdikleri biyoaktif bileşiklerin, çevresel faktörlere karşı stabilitesinin sağlanması, terapötik yararlarından faydalanılması ve biyoyararlanımının artırılmasıdır. Aynı zamanda elde edilen kapsüllerin yoğurda ilave edilmesiyle fonksiyonel besin geliştirilmesi, yoğurdun tüketiminin ve besin değerinin artırılması amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot: Amaranat mikro yeşilliği ekstraktı, sığır jelatini ve Arap zamkı kullanılarak enkapsüle edilmiştir. Oluşturulan kapsüller FTIR ve XRD analizleriyle karakterize edilmiştir. Kapsüller %0.1 ve %0.5 oranında yoğurda ilave edilerek örneklerin pH, asitlik, antioksidan (Kuprak, FRAP, DPPH•), mikrobiyolojik (*E.coli* ve *S.aureus*), kolorimetrik ve duyusal analizleri yapılmıştır.

Bulgular: Yapılan pH ve asitlik analizleri sonucunda depolama süresi arttıkça bütün örneklerde pH değerinin azaldığı asitliğin arttığı görülmüştür. Antioksidan aktivite sonuçlarına göre en yüksek antioksidan aktiviteyi bütün haftalarda kapsül ilaveli yoğurt örneklerinin sergilediği saptanmıştır. Kuprak tayininin 3 ve 4. haftalardaki sonuçlarına göre %0.5 oranında kapsül ilaveli yoğurt örnekleri kontrol yoğurda kıyasla 2-3 kat daha fazla antioksidan aktivite göstermiştir. Mikrobiyolojik analizlere göre yoğurt örneklerinde *E.coli* ve *S.aureus* varlığı tespit edilmemiştir. Kolorimetrik analiz sonuçlarına göre, kapsül ilavesinin yoğurttaki beyazlığı ve yeşilliği etkilemediği ancak sarılığı etkilediği saptanmıştır. Duyusal analiz sonuçlarına göre, %0.1 oranında kapsül ilaveli yoğurt örneği kontrol yoğurda kıyasla tat parametresi açısından daha yüksek puan almış ve daha çok beğenilmiştir.

Sonuç: Araştırma sonucunda, amarant mikro yeşillik ekstraktının kapsüllenecek yoğurda ilave edilmesi ile amarant mikro yeşilliklerinin içerdiği biyoaktif bileşenlerin çevresel koşullara karşı stabilliğinin korunması sağlanmış ve böylece sağlığa yararlı etkilerinden faydalanılmıştır. Ayrıca yoğurdun besin değeri artırılarak antioksidan aktivitesi yüksek, mikrobiyolojik olarak güvenli ve panelistler tarafından genel olarak kabul görmüş fonksiyonel bir besin elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Amaranat mikro yeşilliği, antioksidan, enkapsülasyon, fonksiyonel besin, yoğurt

ABSTRACT

Investigation of Antioxidant, Microbiological, Physicochemical and Sensory Properties of Yogurt Enriched with Encapsulated Amaranth Microgreens Extract

Aim: The aim of this study is to ensure the stability of the bioactive compounds contained in amaranth microgreens against environmental factors, to benefit from their therapeutic benefits and to increase their bioavailability by encapsulating them. At the same time, it is aimed to develop functional food by adding the obtained capsules to yogurt, to increase the consumption and nutritional value of yogurt.

Material and Method: Amaranth microgreens extract was encapsulated using bovine gelatin and gum arabic. The capsules were characterized by FTIR and XRD analyses. The capsules were added to yogurt at 0.1% and 0.5% and pH, acidity, antioxidant (Kuprak, FRAP, DPPH•), microbiological (E.coli and S.aureus), colorimetric and sensory analyses of the samples were performed.

Results: As a result of the pH and acidity analyses, it was observed that as the storage period increased, the pH value decreased and the acidity increased in all samples. According to the antioxidant activity results, it was determined that the yogurt samples with added capsules exhibited the highest antioxidant activity in all weeks. According to the results of the 3rd and 4th weeks of the flake determination, the yogurt samples with 0.5% added capsules showed 2-3 times more antioxidant activity compared to the control yogurt. According to the microbiological analyses, the presence of E. coli and S. aureus was not detected in the yogurt samples. According to the colorimetric analysis results, it was determined that the addition of capsules did not affect the whiteness and greenness of the yogurt, but affected the yellowness. According to the sensory analysis results, the yogurt sample with 0.1% added capsules received higher scores in terms of taste parameters compared to the control yogurt and was liked more.

Conclusion: As a result of the research, by adding amaranth microgreen extract to yogurt by encapsulating it, the stability of the bioactive components contained in amaranth microgreens against environmental conditions was maintained and thus their beneficial effects on health were utilized. In addition, by increasing the nutritional value of yogurt, a functional food with high antioxidant activity, microbiological safety and generally accepted by the panelists was obtained.

Key Words: Amaranth microgreens, antioxidant, encapsulation, functional food, yogurt

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	: Derece santigrat
µg/mL	: Mililitredeki mikrogram
dk	: Dakika
DPPH•	: 2,2-difenil-1- pikril-hidrazil
FeCl₃	: Demir (III) klorür
FRAP	: Demir (Fe ³⁺) iyonu indirgeyici antioksidan gücü
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrofotometre
g	: gram
HCL	: Hidrojen klorür
HDL	: Yüksek yoğunluklu lipoprotein
KUPRAK	: Bakır (II) iyonu indirgeme esaslı antioksidan kapasite
LDL	: Düşük yoğunluklu lipoprotein
MHA	: Mueller hinton agar
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
mM	: Milimolar
NaOH	: Sodyum hidroksit
nm	: Nanometre
o/w	: Su içinde yağ emülsiyonu (oil/water)
PET	: Polietilen tereftalat
PUFA	: Çoklu doymamış yağ asitleri
rpm	: Dakikada devir sayısı
UHT	: Ultra yüksek sıcaklık
w/o	: yağ içinde su emülsiyonu (water/oil)

- w/v** : Ağırlık/hacim (weight/volume)
XRD : X-ışını difraksiyon (kırınım) spektroskopisi
 θ : Kırınım açısı



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Mikrokapsüllerin farklı türleri.....	7
Şekil 2.2. Nanokapsüllerin ve nanokürelerin şematik yapısı.....	9
Şekil 2.3. Nanokapsülasyon tekniklerinde aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya yaklaşımlar	11
Şekil 2.4. Mikro yeşilliklerin yapısı	18
Şekil 2.5. Mikro yeşilliklerin farklı yetiştirme ortamları.....	25
Şekil 2.6. Mikro yeşillikler köklerinin hemen üzerinden kesilerek tüketilmekte ya da yetiştirildiği kaplarda veya tepsilerde hasat edilmeden de satılabilmektedir	26
Şekil 3.1. Amaranat mikro yeşilliklerinin büyütülmesi	33
Şekil 3.2. Kompleks koaservasyon yöntemiyle enkapsülasyon	34
Şekil 3.3. FT-IR spektrofotometresi (Bruker Vertex 70v) cihazı.....	35
Şekil 3.4. X-ışını kırınımlı difraktometre (Malvern Panalytical EMPYREAN) cihazı..	36
Şekil 3.5. Analizler için hazırlanan yoğurt örnekleri.....	36
Şekil 3.6. Panelistler için hazırlanan yoğurt örnekleri.....	40
Şekil 4.1. Yoğurt örneklerinin depolama süresince pH değerindeki değişim grafiği.....	42
Şekil 4.2. Yoğurt örneklerinin depolama süresince titrasyon asitliği (% laktik asit) değerindeki değişim grafiği	43
Şekil 4.3. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 1. hafta Kuprak tayini sonuçları.....	44
Şekil 4.4. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 2. hafta Kuprak tayini sonuçları.....	45

Şekil 4.5. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 3. hafta Kuprak tayini sonuçları.....	46
Şekil 4.6. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 4. hafta Kuprak tayini sonuçları.....	47
Şekil 4.7. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 1. hafta FRAP tayini sonuçları.....	48
Şekil 4.8. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 2. hafta FRAP tayini sonuçları.....	49
Şekil 4.9. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 3. hafta FRAP tayini sonuçları.....	50
Şekil 4.10. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 4. hafta FRAP tayini sonuçları.....	50
Şekil 4.11. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 1. hafta DPPH tayini sonuçları.....	52
Şekil 4.12. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 2. hafta DPPH tayini sonuçları.....	53
Şekil 4.13. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 3. hafta DPPH tayini sonuçları.....	54
Şekil 4.14. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 4. hafta DPPH tayini sonuçları.....	55
Şekil 4.15. Amarant mikro yeşillik özütü kapsüllerinin FTIR analizi sonuçları	56
Şekil 4.16. Amarant mikro yeşillik özütü kapsüllerinin XRD analizi sonuçları	57

TABLULAR DİZİNİ

<u>Tablo No</u>	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Polifenollere uygulanan kapsülleme teknolojisinin avantajları ve dezavantajları	4
Tablo 2.2. Mikro yeşilliklerin farklı türleri	19
Tablo 2.3. Amaranın besin içeriği	22
Tablo 2.4. Amarant ve diğer tahıl tanelerinin bazı besin bileşenleri (100 g örnek).....	23
Tablo 2.5. Filizler, mikro yeşillikler, bebek yeşillikler ve olgun bitkilerin karşılaştırılması	29
Tablo 2.6. Bitki büyüme aşamasının bitkisel besin ve mineral içeriğine etkileri	30
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan cihazlar	31
Tablo 4.1. Yoğurt örneklerinin depolama süresince pH ve titrasyon asitliği değerleri .	41
Tablo 4.2. Yoğurt örneklerinin depolama süresince kolorimetrik değerleri	58
Tablo 4.3. Yoğurt örneklerinin duyu analizi sonuçları	59

1. GİRİŞ

Kentleşme, sanayileşme, ekonomik büyüme ve küreselleşmeyle birlikte meydana gelen beslenme ve yaşam tarzındaki hızlı değişiklikler toplum sağlığını ve beslenme durumunu önemli ölçüde etkilemektedir. Beslenme ve yaşam tarzındaki bu değişiklikler nedeniyle kronik hastalıklar, sakatlıklar ve erken ölümler insanlar arasında giderek yaygınlaşmaktadır (Corzo ve ark, 2020). Sağlıklı beslenmenin hastalıkların önlenmesi ve yaşam boyunca iyilik halinin sürdürülmesi üzerinde belirleyici bir faktör olması toplumu sağlıklı beslenmeye yöneltmektedir. Sağlıklı beslenmeye artan ilgiyle birlikte taze, nutrasötik ve fonksiyonel besinlere eğilim de artmaktadır (Corzo ve ark, 2020; Gul ve ark, 2016). Artan bu eğilim doğrultusunda biyoaktif bileşikler fonksiyonel gıda ürünlerinin ve yeni takviyelerin tasarımında sağlığa faydalı bir terapötik ajan olarak ortaya çıkmıştır. Biyoaktif bileşiklerin stabilitesi gıda sistemlerine uygun bir şekilde dahil edilmeleri için kritik bir öneme sahiptir. Örneğin vitaminler, mineraller, polifenoller, fitosteroller ve probiyotikler gibi sağlığı teşvik eden biyoaktif bileşikler ışığa, suya, ısıya ve oksijene duyarlıdır. Bu faktörler, besinlerin biyoyararlanımını ve raf ömrünü sınırlamaktadır. Ayrıca biyoaktif bileşiklerin ağızdan alındıktan sonra gastrointestinal sistemde geçirdiği süreçlerde kimyasal yapılarının değişmesiyle stabiliteleri bozulmaktadır. Bu nedenle koruyucu bir matrise gömülerek çeşitli bileşiklerin korunmasını sağlayan kapsülleme yöntemi bu sorunların üstesinden gelmekle birlikte besinin reolojik ve duyuşal özellikleri gibi fiziksel özelliklerini değiştirmemektedir (Đorđević ve ark, 2015).

Baklagiller, tahıllar, psödo-tahıllar, sebzeler, bitkiler ve yağlı tohumlar gibi birçok ürünün tohumlarından üretilen mikro yeşillikler; canlı renkleri, hassas yapıları, güçlü aromaları ve yüksek vitamin, mineral ve fitokimyasal içerikleri sayesinde giderek artan bir popüleriteye sahiptir (Kyriacou ve ark, 2016). Özellikle zengin vitamin, mineral ve

fitokimyasal içeriklerinden dolayı ilaç ve gıda sanayisinde dikkate değer bir öneme sahip olduğu bildirilmektedir (Bhaswant ve ark, 2023). Örneğin amarant mikro yeşillikleri; fenolik bileşikler, flavonoidler, tokoferoller ve betalain gibi yüksek antioksidan ve radikal süpürücü özelliklere sahip bileşikler içermektedir. Ayrıca Çin gül turpu, opal fesleğen ve biberteresi mikro yeşillikleriyle karşılaştırıldıklarında genel yeme kalitesinin yüksek olduğu öne sürülmektedir (Xiao ve ark, 2015).

Fermente bir süt ürünü olarak yoğurt, *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*'un faaliyetleri sonucu elde edilmektedir (Organization, 2011). Aynı zamanda yoğurt mükemmel bir protein, kalsiyum, fosfor, magnezyum, çinko, riboflavin, niasin, folat ve B12 vitamini kaynağıdır. Diğer taraftan fermente süt ürünleri dünyada en çok tüketilen besinler arasında yer almasından dolayı yoğurt gibi fermente süt ürünlerinin zenginleştirilmesi günlük beslenmede besin öğelerinin alımını iyileştirmenin iyi bir yolu olduğu bildirilmektedir (Gahruie ve ark, 2015). Bu amaçla yapılan bir tez çalışmasında, enkapsüle edilmiş kakao kabuğu fenolikleri ile zenginleştirilmiş ayranın raf ömrü boyunca biyoaktif bileşenlerin korunumu ve biyoyararlanımı araştırılmıştır. Kakao kabuğu atığı ekstraktının içerdiği çeşitli biyoaktif bileşenlerin nanolipozomal sistemlerle enkapsüle edilmesi bu bileşenlerin olumsuz çevre koşullarından korunmasını ve biyoyararlanımını artırmıştır. Ayrıca enkapsüle edilmiş kakao kabuğu atığı ekstraktındaki biyoaktif bileşenlerde raf ömrü boyunca enkapsüle edilmeyenlere kıyasla in vitro sindirim öncesi ve sonrasında daha az bozulma olmuştur (Altın, 2016).

Bu tez çalışmasında enkapsüle edilmiş amarant mikro yeşilliklerinin ekstraktı ile zenginleştirilmiş yoğurdun fizikokimyasal, mikrobiyolojik, antioksidan ve duyuşal özelliklerinin araştırılması amaçlanmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Enkapsülasyonun Tanımı

Enkapsülasyon, aktif bir malzemenin inert bir malzemedan oluşan bir matris içerisine kapsüllenmesi olarak tanımlanmaktadır. Kapsüllenecek malzeme aktif malzeme veya çekirdek olarak bilinmektedir. Etkin maddeyi kapsüllemek için kullanılan malzemeye ise kapsül, membran, kaplama malzemesi, duvar, taşıyıcı malzeme veya kabuk adı verilmektedir (Timilsena ve ark, 2020).

Kapsülleme teknolojisi gıda endüstrisinde özellikle fonksiyonel besin üretimi ve besin işleme alanlarında özel ürünler tasarlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu teknoloji aktif materyali hedeflenen bölgeye kontrollü bir oranda ve etkili bir şekilde iletme, tasarlanan gıda ürünlerine yeni fonksiyonel özellikler katma ve kararsız biyoaktif bileşenlere koruma sağlama yeteneği nedeniyle endüstriyel alanda giderek artan bir ilgiye sahiptir (El-Kader & Abu Hashish, 2020; Timilsena ve ark, 2020).

Enkapsülasyon teknolojisi biyoaktif bileşikleri (polifenoller, antioksidanlar, mikrobeyinler ve enzimler) ısı, ışık, nem, pH, oksijen veya diğer olumsuz şartlara karşı korumada bariyer görevi üstlenmektedir. Böylece bileşikler, yapılarında olumsuz değışikliğe neden olacak bozulma parametrelerine karşı korunmaktadır (Tablo 2.1) (Rahaiee ve ark, 2020). Bu amaçla fenoliklerin nano enkapsülasyonu gıda, farmasötik, zirai kimya ve kozmetik sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Son araştırmalar, probiyotiklerin etkinliğini arttırmaya, işlenmiş besinlerin işlevselliğini ve sağlığa yönelik yararlarını arttırmaya ve çeşitli enzimlerin, koenzimlerin, terapötik ajanların veya biyoaktif peptitlerin hedefe yönelik dağıtımına odaklanmaktadır (Timilsena ve ark, 2020). Hedefe yönelik dağıtım, sürekli ve kontrollü salınım terapötik ajanların, biyoaktif bileşenlerin ve yapay tatlandırıcıların kapsüllenmesiyle sağlanmıştır. Biyoaktif bileşenlerin sıcaklık, nem, oksijen, radyasyon, ışık ve olumsuz pH koşulları

gibi çevresel stres faktörlerinden korunması ve aktif bileşenlerin gıda matrislerinden istenen oranda, doğru zamanda ve doğru yerde salınmasının kontrol edilmesi temel amaçlar arasında yer almaktadır. Ayrıca kapsülleme teknolojisindeki son trendler; bir besin maddesinin biyoyararlılığının artırılmasını, toksisite ve maliyetin azaltılması açısından ürün kullanımını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Sonuç olarak araştırmalar ürünün raf ömrünü uzatmayı ve genel kabul edilebilirliğini arttırmayı hedeflemektedir (Timilsena ve ark, 2020)

Tablo 2.1. Polifenollere uygulanan kapsülleme teknolojisinin avantajları ve dezavantajları

Avantajlar
Polifenollerin dış ortama (su ve oksijen) olan reaktivitesini azaltarak tepkimeye girebilecek bileşenlerini ayırmak ve artırılmış stabiliteyle polifenollerin bozulmadan korumak
Polifenollerin buharlaşmasını ve dış ortama aktarımını azaltmak
Polifenollerin fiziksel özelliklerini değiştirerek kullanımını kolaylaştırmak
Zaman içinde polifenollerin salınımını kontrol ederek istenen dokulara ulaşmak
Polifenollerin istenmeyen buruk ve acı tatlarının hafifletilmesi/maskelenmesi
Polifenollerin kan dolaşımındaki yarı ömrünü ve biyoyararlanımını iyileştirmek.
Polifenollerin etkinliğini artırmak
Dezavantajlar
Bazı kapsülleme yöntemleri, her laboratuvarında bulunmayan özel/pahalı ekipman gerektirmektedir.
Bazı kapsülleme yöntemleri, ekipman bilgisine sahip kabiliyetli teknisyenler gerektirmektedir.
Bazı kapsülleme yöntemlerinde organik çözücülerin kullanılması sebebiyle çevre dostu olmayabilmektedir.

Farklı tür ve özelliklerdeki katı, sıvı veya gazları kapsüllemek için birçok kapsülleme materyali kullanılabilir. Kabuk matrislerinin işlevsel ve yapısal yönleriyle birlikte çekirdekle uyumluluğu gıda endüstrisinde kapsülleme materyali olarak

genel kabul edilebilirliği açısından birincil öneme sahiptir. Aynı zamanda bir kapsülleme malzemesinin seçiminde; ara yüzey özellikleri, znrlk, jelleşme kapasitesi, mali koşullar ve bulunabilirlik gibi fonksiyonel ve ekonomik özellikler dikkate alınması gereken önemli faktörlerden bazılarıdır. Benzer şekilde, kabuk malzemenin nihai ürüne sağlaması gereken işlevsellik dikkate alınması gereken en önemli faktördür (Timilsena ve ark, 2020; Tutun & Yurdakul, 2022)

Gıda endüstrisinde kapsülleme materyali olarak en çok kullanılanlar arasında amiloz, amilopektin, nişasta ve türevleri, maltodekstrinler, dekstrinler, selüloz ve polidektroz ile bunların türevleri olan polisakkaritler yer almaktadır. Bitki ztleri ile zamkları, pektinler ve galaktomannanlar ise daha nadir kullanılmaktadır (de Vos ve ark, 2010). Ayrıca aljinat, karajenan, dekstran, ksantan, kitosan ve gellan gibi polisakkaritlerden de faydalanılmaktadır. Doğal ve modifiye edilmiş polisakkaritlerin yanı sıra lipitler ve proteinler de kapsülleme için kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan proteinler peynir altı suyu proteinleri, kazein, glüten ve jelatindir. Gıda uygulamalarında kullanılan lipit malzemeler ise yağ asitleri, gliseridler, mumlar (karnauba, kandelya, balmumu), fosfolipitler ve parafindir (Tutun & Yurdakul, 2022).

Aljinatlar non-toksik ve ucuz olmalarından dolayı tercih edilmelerine rağmen enkapsülasyon verimlerinin oldukça düşük olduğu bildirilmektedir. Dolayısıyla aljinatlar, kitosan ya da nişastayla kombine edilerek evre koşullarına daha dirençli hale getirilmektedir (Krasaekoopt & Watcharapoka, 2014). Diğer taraftan bazı et ürünlerinin üretiminde kullanılmak üzere probiyotiklerin enkapsllenmesi amacıyla çoğunlukla buğday proteinleri, Arap zankı ve aljinat kullanılmaktadır (Barbosa ve ark, 2015; Prez-Chabela ve ark, 2013).

Çeşitli kapsülleme yöntemleri ve kabuk matrislerinin kombinasyonları kullanılarak omega-3 yağları, oleoresinler, aromalar, antioksidanlar, vitaminler, fenolik

bileşikler, probiyotik mikroorganizmalar, yapay tatlandırıcılar, enzimler, asitleştiriciler, renklendiriciler, mayalama maddeleri ve minerallerin kapsüllendiği bildirilmektedir. Ayrıca bir çalışmada meyve olgunlaşmasında işlenmesini kolaylaştırmak amacıyla dahil etme kompleksleştirme yöntemi kullanılarak etilen gazını bir a-siklodekstrin matrisi içinde kapsüllendiği bildirilmektedir (Ho ve ark, 2011).

Kapsülleme işleminin en önemli noktaları arasında kapsüllenmiş aktif bileşenin stabilitesi bulunmaktadır. Aktif bileşenin stabilitesi büyük oranda kabuk matrisinin işlevselliğine, yapısına, işleme şartlarına ve çekirdek-kabuk etkileşimlerine bağlanmaktadır. Ayrıca kapsülleme teknolojisinin başarısının, aktif bileşenlerin kimyasal bozunmaya, biyolojik işlevsellik kaybına, eksik veya erken salınımına sebep olabilecek çeşitli kimyasal, çevresel ve fiziksel faktörlere karşı duyarlılığının anlaşılmasına yönelik doğru yaklaşımlarla da ilişkilendirilmektedir (Timilsena ve ark, 2020). Yapılan bir çalışmada, kabuk malzemeleri olarak chia tohumu sakızı, chia tohumu protein izolatu ve protein-sakız kompleksi koaservatu kullanılarak hazırlanan chia tohumu yağı mikrokapsüllerinin salınım ve sindirim davranışları incelenmiştir. Sonuç olarak, protein-sakız kompleks koaservasyon bazlı matris PUFA açısından zengin yağın stabilitesini arttırmakla birlikte oral veya gastrik fazda erken salınımı yavaşlattığı, böylelikle çekirdeği olumsuz etkilerden koruyarak bağırsak fazına bozulmadan ilettiği bildirilmektedir (Timilsena ve ark, 2017). Diğer taraftan, chia tohumu yağının püskürtülerek kurutulmuş mikrokapsül içindeki dağılımını inceleyen başka bir çalışmada mikrokapsül matrislerinin bileşimi ve doğasının çekirdek stabilitesi, dağılımı ve salınımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gösterilmektedir (Timilsena ve ark, 2019).

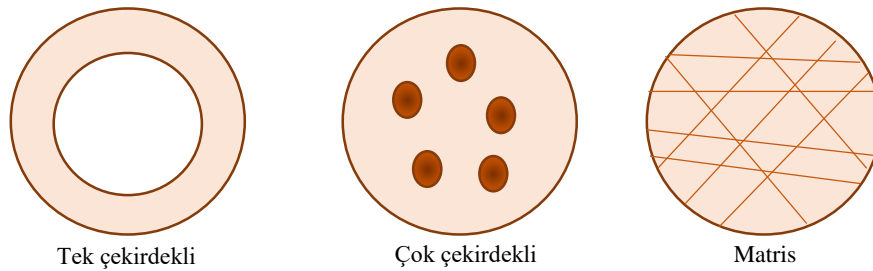
2.2. Enkapsülasyon Çeşitleri

Kapsüllenmiş parçacıklar genel olarak nanokapsüller (<1 µm), mikrokapsüller (1-1000 µm) ve makrokapsüller (>1000 µm) olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Aynı

zamanda sütteki kazein miselleri (<100 nm), virüsler (10–300 nm) ve mitokondri (500–10.000 nm) gibi doğal olarak oluşan nanokapsüller de bulunmaktadır.

2.2.1. Mikroenkapsülasyon

Mikroenkapsülasyon, aktif bir bileşimin belirli bir materyal içine kapsülendiği gelişmiş bir gıda işleme teknolojisidir. Mikroenkapsüllerin çapları teorik olarak 0,01- 1000 µm aralığında iken kaplama malzemesinin kalınlığı 0,5-150 µm aralığındadır (Cheng ve ark, 2009). Mikroenkapsüller genellikle küre şeklinde olup iç kısımları çekirdek, dolgu materyali veya iç faz olarak adlandırılırken dış kısımları kabuk, kaplama materyali veya duvar olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde kaplama materyali olarak çoğunlukla nişasta ve türevleri, proteinler, lipitler, zamlar veya bunların kombinasyonları kullanılmaktadır. Ayrıca mikroenkapsüller tek çekirdekli, çok çekirdekli ve matris tipi olarak üç temel kategoriye ayrılmakla birlikte Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi farklı türde mikroenkapsüller de elde edilebilmektedir (Dubey ve ark, 2009). Tek çekirdekli mikroenkapsüllerin, kapsül içinde yalnızca tek bir oyuk bölmeye sahip olduğu bildirilirken çok çekirdekli mikroenkapsüllerin kapsül içinde birçok farklı boyutta bölmelere sahip olduğu bildirilmektedir. Matris tipi mikroenkapsüller ise duvar materyalinin matrisine gömülü aktif bileşenler içermektedir (Dubey ve ark, 2009; Tutun & Yurdakul, 2022).



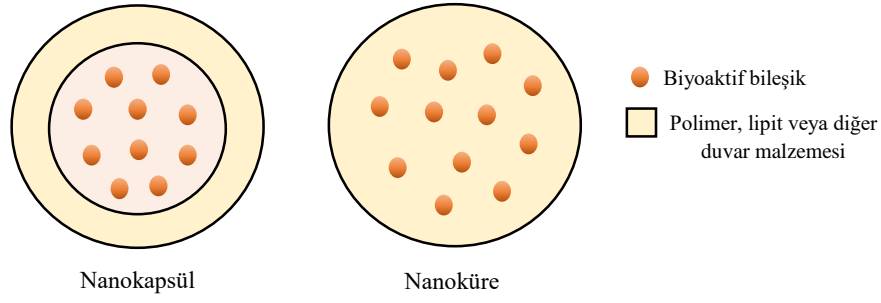
Şekil 2.1. Mikroenkapsüllerin farklı türleri

Mikroenkapsülleme yöntemleri arasında püskürtmeyle kurutma, sprey soğutma, koaservasyon, akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon, emülsiyon ve siklodekstrin katılımı yöntemleri bulunmaktadır. Bu teknoloji besin bileşenlerinin stabilizasyonu, korunması ve

yavaş salınımı için kullanılmaktadır. Mikrokapsülasyon yöntemiyle aktif bileşenler ısıya, ışığa, oksijene, lipid oksidasyonuna ve neme karşı korunarak raf ömürleri iyileştirilebilmektedir (Choudhury ve ark, 2021; Tutun & Yurdakul, 2022). Aynı zamanda bu yöntem farmakolojik preparatlarda da kullanılmaktadır. Enzim, vitamin, pestisit ve ilaç gibi birçok farklı etken madde; poli (metakrilat), poli (etilen glikol), poli (stiren), poli (laktit), poli (laktit-ko-glikolid), selüloz gibi çeşitli polimerik ve polimerik olmayan malzemelerden yapılan mikrokapsüller veya mikro balonlar içinde başarıyla kapsüllenmektedir. Dolayısıyla kozmetik ve farmakolojik ürünlerde mikrokapsülleme teknolojisine giderek artan bir ilgi bulunmaktadır (Dubey ve ark, 2009).

2.2.2. Nanoenkapsülasyon

Nanokapsülasyon, nano ölçekte biyoaktif paketlemeyi ifade eden aktif maddeleri minyatür olarak kapsülleyen bir teknolojidir (Lopez-Rubio ve ark, 2006). Bu teknoloji, boyutları 10 ila 1000 nm arasında değişen aktif maddenin çekirdek içinde çözünür halde bulunduğu veya yüzeye bağlanmış halde bulunduğu koloidal boyutlu parçacıklardır. Hazırlama tekniklerine göre nanokapsül ve nanoküre olarak iki gruba ayrılmaktadırlar. Nanoküreler biyoaktif bileşiğin küre içinde fiziksel olarak homojen dağıldığı matris sistemleri iken nanokapsüller, biyoaktif bileşiğin polimer bir membranla çevrelenmiş bir boşlukla sınırlandırıldığı veziküler sistemlerdir (Atak ve ark, 2017). Şekil 2.2.'de nanokapsüllerin ve nanokürelerin şematik yapısı gösterilmektedir (Tutun & Yurdakul, 2022).



Şekil 2.2. Nanokapsüllerin ve nanokürelerin şematik yapısı

Nanokapsülasyonun amacı, kullanılacak biyoaktif bileşikleri (nutrasötikler, polifenoller, antioksidanlar, mikro besinler ve enzimler) kapsül içerisinde çevresel koşullardan korumak ve bu bileşiklerin hedeflenen bölgelerde kontrollü salınımını sağlamaktır. Biyoaktif bir bileşiğin vücuttaki çeşitli bölgelere dağılımı ve biyoyararlanımı parçacık boyutundan doğrudan etkilenmektedir. Bu doğrultuda nanokapsülleme, mikrokapsüllemeye göre daha büyük oranda ve hassas bir şekilde biyoaktif bileşiklerin hedefe yönelik dağılımını ve kontrollü salınımını iyileştirmekte ve ayrıca biyoyararlanımını artırmaktadır (Ezhilarasi ve ark, 2013; Tutun & Yurdakul, 2022). Aynı zamanda hücre içi alıma bakıldığında nanokapsüllerin mikrokapsüllere göre daha avantajlı olduğu belirtilmektedir. Bu yönde Caco-2 hücreleriyle yapılan bir çalışmada, 100 nm boyutundaki nanokapsüllerin 10 µm boyutundaki mikrokapsüllere oranla altı kat daha fazla hücre içine alındığı gösterilmektedir (Desai ve ark, 1997).

Nanokapsülleme teknolojisi gıda endüstrisinde hızla gelişmekle birlikte beslenme ve gıda bilimleri alanında kullanılarak katma değerli gıda ürünleri üretilebilmektedir (Matalanis ve ark, 2011). Yapılan çalışmalar, gıda güvenliğinin desteklenmesi, besin maddelerinin dağıtımına ilişkin ilkelerin tasarlanması ve halk sağlığının iyileştirilmesi gibi gıda endüstrisinin farklı yönlerinde nanokapsülleme teknolojisinin kullanılmasına odaklanmaktadır (Huang ve ark, 2010; Sozer & Kokini, 2009).

Hidrofobik doğasından dolayı bazı biyoaktif bileşiklerin sıvı bazlı bir sisteme eklenmesi, katı bazlı bir sisteme eklenmesine oranla daha zor olmaktadır (Matalanis ve ark, 2011; Sagalowicz & Leser, 2010). Bu sebeple, katı halde kullanılan işlemlerin aksine yüklerin sıvı bir sistemde stabilize edilmesi gerekmektedir. Püskürterek kurutulmuş katı tozlar, kaplama malzemesinin entegrasyonunu ve stabilitesini bozarak besinlerin yığın fazında serbest kalmasına sebep olacağı için sıvı gıda ürünü ile doğrudan karıştırılmamaktadır (Sagalowicz & Leser, 2010). Dolayısıyla nutrasötiklerin sıvı bir matris içinde kapsülasyonu doğru ve planlı kapsülleme stratejileri gerektirmektedir.

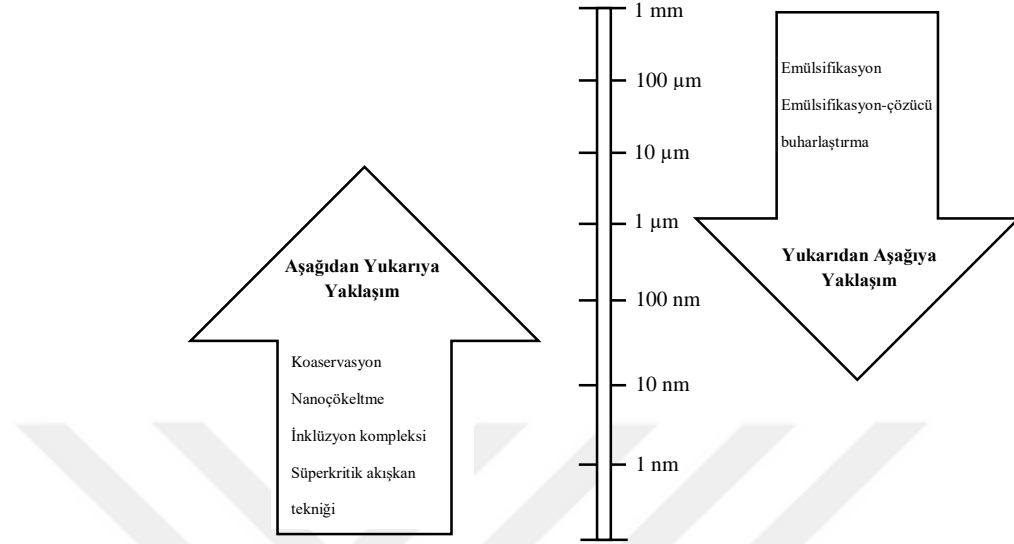
2.2.3. Makroenkapsülasyon

Makroenkapsülasyon, difüzyon çemberinde büyük bir kütle içinde çekirdek materyallerinin kapsülasyonu olarak tanımlanmaktadır (Qi ve ark, 2004). Bu yöntem, zararlı atıkları azaltmak için kullanılmaktadır. Zararlı atıklar su ve havayı geçirmeyen kaplama materyali içinde hapsedilmektedir. Diğer taraftan stabilize maddenin nem, donma ve kuruma gibi etmenlerle zamanla bozulduğu ve kirleticilerin ayrılarak sızıntı suyuna karıştığı görülmektedir. Dolayısıyla kütle bütünlüğünün korunmadığı durumlarda makroenkapsülasyon tek başına yeterli olmamaktadır (Tutun & Yurdakul, 2022).

2.3. Enkapsülasyon Yöntemleri

Enkapsülasyon teknikleri, nanokapsüllerin geliştirilmesi için aşağıdan yukarıya veya yukarıdan aşağıya yaklaşımları kullanmaktadır. Aşağıdan yukarıya yaklaşımda malzemeler sıcaklık, pH, iyonik güç ve konsantrasyon gibi birçok faktörden etkilenen moleküllerin birbirini organize etmesi ve birleşmesiyle oluşturulmaktadır. Yukarıdan aşağıya yaklaşımda, geliştirilmekte olan nanokapsüllerin yapı şekillendirmeye ve boyut küçültmeye olanak tanıyan hassas araçların uygulanmasını içermektedir. Aşağıdan yukarıya yaklaşımda koaservasyon, nanoçökeltme, süperkritik akışkan tekniği ve dahil etme kompleksi kullanılmaktadır. Yukarıdan aşağıya yaklaşımda ise emülsifikasyon-

çözücü buharlaştırma, emülsifikasyon gibi teknikler kullanılmaktadır (Şekil 2.3) (Ezhilarasi ve ark, 2013).



Şekil 2.3. Nanokapsülasyon tekniklerinde aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya yaklaşımlar

Bu enkapsülasyon teknikleri, çeşitli lipofilik ve hidrofilik biyoaktif bileşiklerin kapsüllemesi için kullanılabilir. Hem lipofilik hem de hidrofilik biyoaktif bileşiklerin kapsüllemesi için koaservasyon, emülsifikasyon ve süperkritik akışkan tekniği kullanılmaktadır. Öte yandan nanoçökeltme, emülsifikasyon-çözücü buharlaştırma ve inklüzyon kompleksi oluşturma teknikleri genellikle lipofilik bileşikler için kullanılmaktadır (Ezhilarasi ve ark, 2013).

2.3.1. Emülsifikasyon Tekniği

Emülsifikasyon tekniği kullanılarak çekirdek, kaplama malzemesini içeren bir organik çözücü içinde dağılarak kapsüllemektedir. Bu teknik, çoğunlukla sulu çözeltilerde biyoaktif bileşiklerin kapsüllemesi için nanoemülsiyon üretimiyle uygulanmaktadır. Nanoemülsiyonlar, damlacık boyutlarının 50- 1000 nm arasında değiştiği biri diğerinin içinde dağılmış halde birbiriyle karışmayan iki sıvıdan oluşan

koloidal dispersiyonlardır. Oluşan dispersiyon daha sonra emülsiyon stabilizatörünün eklendiği su veya yağ içerisinde emülsifiye edilmektedir. Ardından organik çözücü buharlaştırılarak çevresinde kompakt bir polimer tabakasının oluşmasıyla kapsülleme gerçekleşmektedir. İlgili prosedürlerin çok basit olması sebebiyle bu yöntem sıklıkla kullanılmaktadır. Yağda çözünebilen biyoaktif bileşenlerin veya nutrasötiklerin yüksek konsantrasyonunu çok çeşitli besin maddelerine kapsüllemek için büyük bir potansiyel sunmaktadırlar. β -karoten, diyet yağları ve bitki sterollerini gibi lipofilik aktif maddeleri kapsüllemek için su içinde yağ emülsiyonu (o/w) kullanılırken polifenoller gibi hidrofilik aktif maddeleri kapsüllemek için yağ içinde su emülsiyonu (w/o) kullanılmaktadır. Nanoemülsiyonlar doğrudan sıvı halde kullanılabilirken birlikte emülsifikasyondan sonra dondurarak kurutma ve sprey kurutma gibi kurutma teknikleri yoluyla toz halinde de kullanılabilirler. Aynı zamanda nanoemülsiyonlar oldukça küçük emülsiyon damlacık boyutlarından dolayı yüksek kinetik stabilite göstermektedirler. Nanoemülsiyonların yüksek kinetik stabilitesi, ürünün yüzey yağ içeriğinin tutulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte nanoemülsiyonların oluşması için genellikle bileşenlerin kimyasal potansiyelinden veya mekanik cihazlardan enerji girdisine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla nanoemülsiyon oluşumu genellikle yüksek basınçlı veya yüksek hızlı homojenleştiriciler, yüksek kesmeli karıştırma, mikroakışkanlaştırıcı ve ultrasonikatör gibi yüksek enerjili emülsifikasyon teknikleri kullanılarak elde edilmektedir. Bu teknikler en küçük damlacık boyutlarını üretmek için homojen akışa sahip olmakla birlikte mevcut enerjiyi en kısa sürede sağlamaktadır (Choudhury ve ark., 2021; Ezhilarasi ve ark., 2013). Bu yöntem, mikroorganizmaların ve enzimlerin kapsüllemesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Probiyotiklerin emülsifikasyon tekniğiyle aljinat-kitosan içinde kapsüllendiği bir çalışmada, simüle edilmiş

gastrointestinal koşullarda probiyotiklerin daha iyi direnç gösterdiği bildirilmektedir (Song ve ark., 2013).

2.3.2. Koaservasyon

Koaservasyon tekniği, bir polielektrolit karışımının veya tek bir polielektrolitin bir çözeltiden faz ayrılmasıyla oluşan koaservat fazının aktif bileşenin etrafında birikmesini içermektedir. Burada çekirdek malzeme ve kaplama malzemesi karışmayan bir çözelti oluşturacak şekilde karıştırılmaktadır. Ardından, polimer açısından zengin fazdan oluşan küçük sıvı damlacıkları olan koaservatları oluşturmak için pH, sıcaklık veya iyon kuvveti değiştirilerek faz ayrımı gerçekleştirilmektedir. Daha sonra bu koaservatlar çekirdek malzemeyi çevreleyerek mikrokapsülleri oluşturmaktadır. İki sulu ortam arasındaki elektrostatik etkileşim, iyonik jelleşmeden yani sıvıdan jele geçişten sorumludur ve böylece koaservat oluşumuna yol açmaktadır. Bu teknik esas olarak hidrofilik moleküllerin kapsüllenmesi için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bir hidrokolloid kabuk, temel olarak koaservatın sağlamlığını arttırmak için transglutaminaz veya glutaraldehit gibi uygun bir enzimatik veya kimyasal çapraz bağlayıcı kullanılarak çapraz bağlanabilmektedir. (Choudhury ve ark., 2021; Ezhilarasi ve ark., 2013).

Koaservasyon işlemi, kullanılan polimer tipinin sayısına göre basit koaservasyon veya kompleks koaservasyon olarak adlandırılmaktadır. Basit koaservasyon, yalnızca bir polimerik materyali (sodyum aljinat) içermektedir. Bu yöntemde, sodyum aljinat suda eritilmekte ve çoğunlukla bir yağ olan kapsüllenecek aktif bileşik buna karıştırılmaktadır. Daha sonra oluşan emülsiyon, damlalar şeklinde kalsiyum klorür gibi jel oluşturucu bir ortama salınmaktadır. Sonuç olarak sodyum aljinat ve kalsiyum klorür arasındaki bu iyonik etkileşim, çözünmeyen polimerler olan kalsiyum aljinatın oluşumuna yol açmaktadır. Bu yöntemin kapsüllemeye başarılı kullanımını gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Ocak ve ark., 2011; Wang ve ark., 2008). Kompleks koaservasyon ise

jelatin ve aljinat gibi birden fazla polimeri içermektedir. Aljinat, negatif yükler elde etmek için bazik pH'da suda çözündürülürken jelatin, pozitif yükler elde etmek için ayrı olarak asidik pH'da suda çözündürülmektedir. Kapsüllenecek aktif materyal aljinat çözeltisine karıştırılarak uygun şekilde homojenleştirilmektedir. Daha sonra aljinat fazı jelatin fazıyla yoğun bir şekilde karıştırılarak jelatin ve aljinat arasında kimyasal reaksiyon başlayana kadar sıcaklık yükseltilmektedir. Sonuç olarak aktif materyal, çevresinde polianyonik-polikasyonik çözünmeyen polimerin oluşmasıyla kapsüllenmektedir. Keten tohumu yağının stabilizasyonu ve kapsüllenmesi amacıyla karmaşık koaservasyon yöntemini kullanan bir çalışmada, zıt yüklü iki polimer (jelatin ve arap zankı) kullanılmış ve bu kaplama materyallerinin çekirdek etrafında birikmesi pH değiştirilerek sağlanmıştır. Bununla birlikte, bu yöntem belirli elektrolit ve koloidal çözeltilerle ve belirli bir pH aralığında çalıştığı için kullanımı sınırlıdır (Liu ve ark., 2010). Zencefil esansiyel yağının, peynir altı suyu protein izolatu/arap zankı ve arap zankı/kitosan kompleks koaservatları kullanılarak kapsüllendiği başka bir çalışmada, mikrokapsüllerin zencefil esansiyel yağının stabilitesini ve özelliklerini korumaya izin verdiği gösterilmektedir. Aynı zamanda kapsüllemeye kaplama materyali olarak arap zankı/kitosan kompleksinin en iyi potansiyele sahip olduğu bildirilmektedir (Tavares & Noreña, 2020).

2.3.3. Sprey Kurutma

Sprey kurutma, duvar malzeme ile çekirdek malzemesinin karışımı olan bir besleme çözeltisinin atomize edilerek bir oda içinde sis halinde oluşturulduğu ve burada buharı toza dönüştürmek için sıcak havanın uygulandığı bir yöntemdir. Çalışma koşulları ve besleme çözeltisinin özellikleri gibi birçok faktöre bağlı olarak farklı parçacık boyutlarında tozlar üretilebilmektedir. Sprey kurutma yönteminde aktif bileşen, kurutulmuş tozun içinde sıkışıp kalmaktadır. Birçok farklı materyal türü için

kullanılabilmesi, ekonomik olması, esnek olması, çeşitli kapsülleyici malzemeler için kullanılabilmesi ve kolaylıkla ölçeklendirilebilmesi gibi birçok avantajı bulunmaktadır (Choudhury ve ark., 2021). Birçok çalışma bu tekniğin kapsüllemede başarılı bir şekilde uygulandığını göstermektedir. Fonksiyonel yoğurt üretmeyi amaçlayan bir çalışmada kaplama materyali olarak maltodekstrin ve modifiye nişasta karışımı kullanılarak sprey kurutma yoluyla timokinon içeren *Nigella sativa* tohumu yağı mikrokapsüllenmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışmada mikrokapsüllenen *N. sativa* yağının 4 haftalık depolama sürecinden sonra en yüksek timokinon içeriğine sahip olduğu gösterilmektedir. Ayrıca yapılan kimyasal ve duyu analizler sonucunda, *N. sativa* tohumu yağı mikrokapsüllerinin, uygun kimyasal ve duyu özellikleri ve yüksek timokinon stabilitesinden dolayı fonksiyonel yoğurt üretiminde kullanılabileceğini göstermektedir (Abedi ve ark., 2016). Sprey kurutma kullanılarak yapılan başka bir çalışmada ise farklı oranlarda arap zıncığı ve sorgum nişastası içeren Hindistan cevizi mikrokapsüllerinin 60 günlük depolamadan sonra yüksek oranda antioksidan aktivite, yüksek fenolik ve flavanoid içeriği ve aynı zamanda *Escherichia coli* ve *Bacillus cereus*'a karşı antibakteriyel etki gösterdiği bildirilmektedir (Arshad ve ark., 2018).

Sprey kurutma yöntemi, enkapsülasyonda en sık kullanılan yöntemlerden biri olmakla birlikte bu yöntemin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu yöntemde çoğunlukla çözücü olarak su kullanıldığından sadece suda çözünen veya suda dağılabilen kapsülleme ajanları kullanılabilir. Diğer taraftan bu yöntem daha önce üretilmiş bir esansiyel yağ emülsiyonunun kullanılmasını gerektirmektedir. Bu durum da sürece yeni bir adım eklemekte ve damlacık boyutunu azaltmak için yüksek enerjili tekniklerin (mikroakışkanlaştırma, ultrasonikasyon ve yüksek basınçlı homojenizasyon) kullanılmasını gerektirmektedir. Sonuç olarak bu süreç esansiyel yağların oksidasyonuna, daha yüksek formülasyon maliyetlerine ve mikrokapsülleme işlemi sırasında dikkate

alınması gereken başka önemli faktörlere sebep olabilmektedir (Altay ve ark., 2024). Benzer şekilde, omega-3 yağ asitlerinin sprey kurutma yoluyla kapsüllendiği bir çalışmada, mikrokapsüllenmiş tozun oldukça gözenekli yapıda parçacıklara sahip olduğunu ve dolayısıyla oksidasyona yatkın hale gelerek raf ömrünün kısaldığını göstermektedir (Fang ve ark., 2006). Dolayısıyla aynı yöntem tek çeşit malzemenin kapsüllenmesinde verimli olabilmekte, başka çeşitli malzemelerin kapsüllenmesinde ise dezavantajları olabilmektedir.

2.3.4. Sprey Soğutma

Sprey soğutma yönteminde, sprey kurutmadan farklı olarak çalışma sırasında soğuk hava kullanılmaktadır. Bu yöntemde, çekirdek ve kaplama malzemesi karışımı, soğuk havanın aktığı bir odanın içinde sis oluşturacak şekilde atomize edilmektedir. Haznedeki düşük sıcaklık, mikro damlacıkların katılaşmasına yol açarak mikrokapsüllenmiş tozun oluşmasını sağlamaktadır. Düşük işletim maliyeti, solventsiz çalışılması ve yüksek ısı uygulamasının olmaması bu yöntemin avantajları arasında bulunmaktadır. Aynı zamanda lipid türevi bileşiklerin kaplama materyali olarak kullanımı bu yöntemle kapsüllenmiş toz ürünlere yüksek nem direnci sağlaması açısından suda çözünür amorf polisakkaritlere dayalı sistemlere kıyasla daha fazla avantaj sağlamaktadır (Mehmet, 2018). Diğer taraftan bu yöntemin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Yapılan bazı çalışmalar, sprey soğutma yöntemi kullanılarak oluşturulan mikrokapsüllerin çok stabil olmadığını ve depolama sırasında aktif bileşenin dışarı atılmasına neden olduğunu göstermektedir (Atak ve ark., 2017; Choudhury ve ark., 2021).

2.3.5. Akışkan Yataklı Kaplama

Akışkan yataklı kaplama yönteminde, kaplama materyali akışkanlaştırılmış çekirdek materyalinin üzerine püskürtülmektedir. Çekirdek materyali, üzerine bir kaplama materyalinin püskürtüldüğü havanın uygulanmasıyla akışkanlaştırılmaktadır.

Üstten püskürtme, alttan püskürtme ve teğetsel püskürtme gibi farklı akışkan yataklı kaplama yöntemleri bulunmaktadır. Bu kapsülleme yönteminde, kaplama verimliliği, kaplama materyalinin besleme hızı, giriş hava sıcaklığı ve hızı, nozulun atomizasyon basıncı gibi çeşitli parametrelere bağlanmaktadır. Bu yöntemle sprey kurutulmuş beta karoten emülsiyonunun kapsüllendiği bir çalışmada, hidroksipropil selülozun besleme hızı ve sıcaklığının, kaplama materyalinin film oluşturma yeteneğini ve beta karotenin depolama sırasında stabilitesini etkilediği gösterilmektedir (Coronel-Aguilera & San Martín-González, 2015).

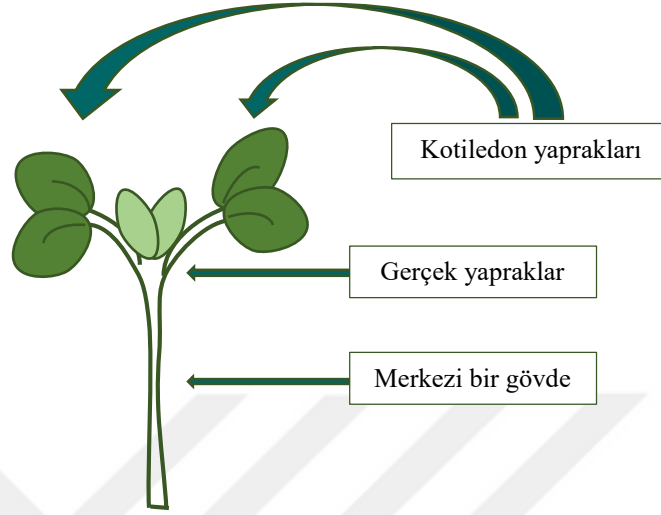
2.3.6. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon tekniği, yüksek yoğunluklu mikrokapsüllerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntemin kullanılabilmesi için çekirdek ve kaplama materyalinin birbirine karışmaması gerekmektedir. Bu yöntemde, çekirdek ve kaplama materyali, kaplama materyali çekirdeğin etrafını saracak şekilde geçirilmektedir. Aynı zamanda bu malzemeler ortak merkezli nozullardan geçirilmektedir. Sonuç olarak kaplama materyaliyle çevrelenen çekirdeği içeren damlacıklar oluşmaktadır. Ardından uygun bir jelleştirme banyosu kullanılarak ya da soğutma yoluyla katılaştırma yapılmaktadır. Burada damlacıklar kompleksin oluşumu nedeniyle düşmekte ve katılaşmaktadır. Bu teknik kullanılarak oluşturulan kapsüllerin boyutu, diğer herhangi bir teknik kullanılarak oluşturulan kapsül boyutlarından nispeten daha büyük olmakla birlikte bu yöntem, sınırlı kaplama materyalleriyle kullanılmaktadır (Choudhury ve ark., 2021).

2.4. Mikro Yeşilliklerin Tanımı

Mikro yeşillikler, yabani türler de dahil olmak üzere bitkilerin, tahılların ve sebzelerin tohumlarından üretilen yumuşak, olgunlaşmamış yeşillikler olarak tanımlanmaktadır (Kyriacou ve ark., 2016). Boyutları 2-8 cm arasında değişen bu

yeşillikler Şekil 2.4’de gösterildiği gibi üç kısımdan oluşmaktadır (Bhaswant ve ark., 2023; Choe ve ark., 2018).



Şekil 2.4. Mikro yeşilliklerin yapısı

Mikro yeşillik fikri ilk olarak Kaliforniya’nın San Francisco şehrinde 80’lerin sonunda ortaya çıkmıştır. O zamandan beri dünyanın en iyi restoranlarında ve lüks marketlerinde artan bir popülerite göstermiştir. Popüleriteleri canlı renklerinden, hassas yapılarından, garnitür olarak lezzet artırıcı özelliklerinden ve yüksek vitamin, mineral ve fitokimyasal içeriklerinden kaynaklanmaktadır (Kyriacou ve ark., 2016). Özellikle mikro yeşilliklerin vitamin, mineral ve biyoaktif bileşikler (askorbik asit, tokoferol, karotenoidler, folat, tokotrienoller, filokinonlar, antosiyaninler, glukosinolatlar vb.) açısından zengin olması nedeniyle bu yeşillikler ilaç ve gıda endüstrisinde dikkate değer bir önem taşımaktadır (Bhaswant ve ark., 2023). Genellikle salatalarda, çorbalarda, sandviçlerde, tatlılarda ve içeceklerde; tat, renk, doku ve lezzeti geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Aynı zamanda özel yemekleri, salataları ve içecekleri süslemek için yenilebilir bir garnitür olarak da kullanılabilir (Işık ve ark., 2022).

2.5. Mikro Yeşilliklerin Farklı Türleri

Baklagiller, tahıllar, psödo-tahıllar, sebzeler, otlar ve yağlı tohumlar gibi birçok ürünün tohumundan mikro yeşillik yetiştirilebilmekle birlikte en çok tüketilen türler arasında *Brassicaceae*, *Amaranthaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae*, *Amaryllidaceae* ve *Apiaceae* familyalarına ait ürünler bulunmaktadır (Bhaswant ve ark., 2023). Mikro yeşilliklerin farklı türleri Tablo 2.2’de verilmiştir (Ebert, 2022).

Tablo 2.2. Mikro yeşilliklerin farklı türleri

Ürün Grubu	Familya	Tür	Ortak ad
Baklagiller	<i>Fabaceae</i>	<i>Arachis hypogaea</i>	Yer fıstığı
		<i>Cicer arietinum</i>	Nohut
		<i>Glycine max</i>	Soya fasulyesi
		<i>Lens culinaris</i>	Mercimek
		<i>Medicago sativa</i>	Alfalfa
		<i>Trifolium repens</i>	Yonca
		<i>Vigna angularis</i>	Adzuki fasulyesi
		<i>Vigna mungo</i>	Siyah mercimek
		<i>Vigna radiata</i>	Maş fasulyesi
		<i>Vigna unguiculata</i>	Börülce
Tahıllar	<i>Poaceae</i>	<i>Hordeum vulgare</i>	Arpa
		<i>Zea mays</i>	Mısır
		<i>Avena sativa</i>	Yulaf
		<i>Oryza sativa</i>	Pirinç
		<i>Secale cereale</i>	Çavdar
		<i>Triticum aestivum</i>	Buğday
Psödötahıllar	<i>Amaranthaceae</i>	<i>Amaranthus sp.</i>	Amarant
		<i>Chenopodium quinoa</i>	Kinoa
	<i>Polygonaceae</i>	<i>Fagopyrum esculentum</i>	Karabuğday
Yağlı tohumlar	<i>Asteraceae</i>	<i>Helianthus annuus</i>	Ayçiçeği
	<i>Betulaceae</i>	<i>Corylus avellana</i>	Fındık
	<i>Linaceae</i>	<i>Linum usitatissimum</i>	Keten tohumu
	<i>Pedaliaceae</i>	<i>Sesamum indicum</i>	Susam
	<i>Rosaceae</i>	<i>Prunus amygdalus</i>	Badem

Tablo 2.2. (Devamı)

Ürün Grubu	Familya	Tür	Ortak ad	
Sebzeler ve otlar	<i>Amaranthaceae</i>	<i>Beta vulgaris</i>	Kocabaş	
		<i>Spinacia oleraceae</i>	Ispanak	
	<i>Amaryllidaceae</i>	<i>Allium cepa</i>	Soğan	
		<i>Allium fistulosum</i>	Taze soğan	
		<i>Allium porrum</i>	Pırasa	
		<i>Allium schoenoprasum</i>	Frenksoğanı	
		<i>Apium graveolens</i>	Kereviz	
	<i>Apiaceae</i>	<i>Coriandrum sativum</i>	Kişniş	
		<i>Daucus carota subsp. sativus</i>	Havuç	
		<i>Foeniculum vulgare</i>	Rezene	
		<i>Petroselinum crispum</i>	Maydanoz	
		<i>Lactuca sativa</i>	Marul	
		<i>Brassicaceae</i>	<i>Brassica juncea</i>	Mor hardal
			<i>Brassica oleraceae, var. alboglabra</i>	Çin lahanası
	<i>Brassica oleraceae var. capitata</i>		(Kırmızı) Lahana	
	<i>Brassica oleraceae var. gongylodes</i>		Mor alabaş	
	<i>Brassica oleraceae var. italica</i>			
	<i>Brassica rapa var. chinensis</i>		Brokoli	
	<i>Brassica rapa var. niposinica</i>		Çin lahanası	
	<i>Brassica rapa var. rapa</i>		Mizuna	
	<i>Brassica rapa var. rosularis</i>		Şalgam	
	<i>Eruca sativa</i>		Düz lahanası, tatsoi	
	<i>Lepidium bonariense</i>		Arugula, roka	
	<i>Nasturtium officinale</i>		Maca	
	<i>Raphanus raphanistrum subsp. sativus</i>		Su teresi	
	<i>Trigonella foenum-graecum</i>		Japon turbu	
	<i>Fabaceae</i>		<i>Pisum sativum</i>	Çemenotu
			<i>Pisum sativum var. saccharatum</i>	Bahçe bezelyesi
		<i>Melissa officinalis</i>	Sultani bezelye	
		<i>Ocimum basilicum</i>		
	<i>Lamiaceae</i>	<i>Perilla frutescens</i>	Limon otu	
			Tatlı fesleğen	
			Mor perilla	

Öte yandan yenilebilir sebzelerin bütün tohumlarından mikro yeşillik yetiştirilmesi mümkün değildir. Örneğin *Solanaceae* familyasına ait biber, patlıcan, domates, patates gibi bitkilerin fide aşamasında anti-besin maddeleri içermesinden dolayı mikro yeşillik olarak tüketilmemesi gerektiği belirtilmektedir (Di Gioia ve ark., 2017).

2.5.1. Amaranat

Amarant (*Amaranthus* spp.) ifadesi *Amaranthaceae* familyasından yaklaşık 60-70 bitki türünü içeren *Amaranthus* cinsi bitkiler için kullanılmaktadır. Bunlardan yaklaşık 10 tanesi tahıl, sebze veya süs bitkisi olarak kullanılırken bunların dışındakiler yem bitkisi veya yabancı ot olarak değerlendirilmektedir. Amaranat yetiştiriciliğinin M.Ö. 6700 yıllarına kadar uzandığı, Amerikan yerlilerinin, Azteklerin, İnkaların ve Mayaların ana yiyeceğini oluşturduğu bildirilmektedir. Anavatanı Amerika kıtası olan amarantın Çin, Hindistan, Rusya, Güneydoğu Asya, Meksika, ABD ve Güney Amerika And dağları yaylalarında ticari olarak üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde ise tarım amaçlı bir yetiştiriciliği yapılmamakta ilkbahar yağmurlarından sonra bağlarda, tarlalarda ve bahçelerde kendiliğinden yetişmektedir (Ergun ve ark., 2014).

Amarantın yaprakları taze olarak toplanıp haşlama, buğulama, kızartma veya kaynatma gibi farklı şekillerde kullanılarak salatalarda, makarnalarda veya çorbalarda tüketilmektedir. Tohumu ise bazı ürünlere doğrudan eklendiği gibi un olarak eriştelere, ekmeklerde, bisküvilerde, kreplerde veya diğer fırın ürünlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca tohumu mısır gibi patlatılarak da tüketilmektedir. ABD’de özellikle sağlıklı gıdaların üretiminde kullanılan amarant glutene karşı alerjisi olan kişiler için glutensiz gıdaların hazırlanmasında tercih edilmektedir (Ergun ve ark., 2014; Kılınççeker & Büyük, 2019).

Zengin besin içeriğinden dolayı tüketicilerin amaranta olan ilgisi son zamanlarda giderek artmaktadır. Tablo 2.3 incelendiğinde amarantın kalsiyum, fosfor ve magnezyum

açısından zengin olduğu, önemli seviyede yağ ve diyet lifi içerdiği ancak nişasta içeriğinin düşük olduğu anlaşılmaktadır (Caselato-Sousa & Amaya-Farfán, 2012).

Tablo 2.3. Amarantın besin içeriği

Besin Bileşimi	Amarant (100 g)
Su (g)	11.9
Enerji (kkal)	371
Protein (g)	13.56
Toplam lipid (g)	7.02
Kül (g)	2.88
Karbonhidrat (g)	65.25
Diyet lifi (g)	6.7
Toplam şeker (g)	1.69
Nişasta (g)	57.27
Kalsiyum (mg)	159
Demir (mg)	7.61
Magnezyum (mg)	248
Fosfor (mg)	557
Potasyum (mg)	508
Çinko (mg)	2.87
Manganez (g)	3.333
Askorbik asit (mg)	4.2
Tiamin (mg)	0.116
Riboflavin (mg)	0.200
Niasin (mg)	0.923
α -tokoferol (mg)	1.19
Yağ asidi (Toplam doymuş) (g)	1.459
Yağ asidi (Tekli doymamış) (g)	1.685
Yağ asidi (Çoklu doymamış) (g)	2.275
Fitosterol (mg)	24

Bununla birlikte, amarant Tablo 2.4.'te gösterildiği gibi birçok tahıla kıyasla daha yüksek oranda protein, lizin, kalsiyum, demir ve fosfor içerirken daha düşük oranda

karbonhidrat içermektedir (Anu Rastogi & Sudhir Shukla, 2012; Caselato-Sousa & Amaya-Farfán, 2012).

Tablo 2.4. Amarant ve diğer tahıl tanelerinin bazı besin bileşenleri (100 g örnek)

Bileşen	Amarant	Mısır	Çavdar	Karabuğday	Pirinç
Protein (%)	13-14.5	9	13	12	7
Lizin (%)	0.85	0.25	0.40	0.58	0.35
Karbonhidrat (g)	63-65.25	74	73	72	71
Kalsiyum (mg)	159- 162	20	38	33	41
Demir (mg)	7.61- 10	1.8	2.6	2.8	3.3
Fosfor (mg)	455- 557	256	376	282	372

Amaranttaki karbonhidratın büyük çoğunluğunu oluşturan nişasta diğer tahıllardaki nişastalara göre daha fazla amilopektin (%93.6- 95.2) içermektedir. Nişasta tanelerinin oldukça küçük yapılarından dolayı su bağlama kapasitesi ve şişme kabiliyeti yüksekken düşük sıcaklıkta jelleşme özelliği göstermektedir. Bu özellik gıda endüstrisinde ürünün donmaya, çözülmeye ve mekanik strese karşı dayanım gücünü artırmaktadır (Boz, 2013; Pal ve ark., 2002).

Proteininin sindirilebilirliği %90 civarında olan amarantın protein kalitesi de diğer tahıl kaynaklarına göre daha yüksektir. Bununla birlikte, amarant diğer tahılların yeterli miktarda içermediği lizin ve triptofan aminoasitlerini yüksek oranda içermektedir (Arendt & Zannini, 2013; Becker ve ark., 1981). Yaprakları ve yenilebilir yeşil kısımları da tohumu gibi protein (%15- 24 /kuru madde) açısından zengindir (Mlakar ve ark., 2010).

Amarantın lipid içeriği tür ve genotipe bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte %1,9 ile %9,7 arasında değişmektedir. %26 oleik asit, %47 linoleik asit ve %19 palmitik yağ asitleri içeren amarant yağının yüksek oranda squalen ve tokotrienol içeriği sayesinde kanda LDL kolesterolü düşürebileceği bildirilmektedir (Boz, 2013; Caselato-Sousa & Amaya-Farfán, 2012; Sanz-Penella ve ark., 2013). Kolesterol biyosentezinde bir ara ürün

olan squalen, içerdiği çoklu doymamış yağ asitleri sayesinde cilt yüzeyini nemlendirici ve yumuşatıcı özelliklerinin yanı sıra antitümör ve antioksidan özellikleriyle de büyük önem taşımaktadır. *Amaranthus tricolor* %6.1, *Amaranthus hypochondriacus* %3.6, *Amaranthus caudatus*'un farklı türleri %2.2- 7.5 ve *Amaranthus cruentus* %2.26- 5.67 arasında değişen oranlarda squalen içermektedir (Venskutonis & Kraujalis, 2013).

Amarant yapraklarının diğer yeşil yapraklı sebzelere kıyasla daha yüksek oranda antioksidan içerdiği belirtilmektedir. Provitamin A ve demir için iyi bir kaynak olduğu ifade edilen amarantın tohum ve yapraklarının p-kumarik asit, siringik asit ve gallik asit gibi fenolik bileşikleri ve flavonoidleri içerdiği bildirilmektedir. Ancak amarant çeşitlerindeki fenolik madde içeriği iklim, genotip ve çevresel faktörler gibi birçok etkene göre değişiklik göstermektedir (Kraujalis ve ark., 2013; Paško ve ark., 2008).

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda amarantın antikanser, antidiyabetik, antitümör ve antialerjik özelliklerinin yanı sıra hipertansiyonu önleyici ve kolesterolü düşürücü etkisinin olduğu belirtilmektedir (Caselato-Sousa & Amaya-Farfán, 2012; Kehinde ve ark., 2023). Yapılan bir çalışmada amarantın, HDL kolesterolde bir değişiklik göstermezken LDL kolesterolde düşürücü etki göstererek toplam kolesterolde azalmaya sebep olduğu bildirilmektedir (Cazarin ve ark., 2012). Diğer taraftan amarantın antidiyabetik etkisini araştıran bir çalışmada *A. caudatus*'un α -amiloz inhibisyonu yoluyla nişasta sindiriminde azalma sağlayarak glikoz absorpsiyonunu sınırladığı belirtilmektedir (Conforti ve ark., 2005). Bununla birlikte *A. mantegazzianus* tohumlarından izole edilen proteinlerin dört farklı tümör hücresinde değişen oranlarda antiproliferatif etki göstermesinden dolayı kanser riskinin azaltılmasında fonksiyonel gıda bileşeni olarak kullanılması önerilmektedir (Barrio & Añón, 2010).

2.6. Mikro Yeşilliklerin Yetiştirilmesi

Mikro yeşillikler ticari olarak uzman üreticiler tarafından kapalı alanlarda (seralar, dikey tarım) ileri teknolojik yöntemler kullanılarak üretilmektedir gibi tüketicilerin kendileri tarafından daha küçük alanlarda ve daha basit yöntemler kullanılarak da üretilmektedir (Şekil 2.5) (Ebert, 2022).



Şekil 2.5. Mikro yeşilliklerin farklı yetiştirme ortamları

Mikro yeşillik üretiminde tohumun çimlenmesini takip eden süreçte ilk olarak kotiledon meydana gelmekte daha sonra ilerleyen süreçte gerçek yapraklar oluşmaktadır. Böylelikle ortalama yükseklikleri 2.5-7.6 cm ulaşan mikro yeşillikler, köklerinin hemen

üzerinden kesilerek tüketilmekte ya da yetiştirildiği kaplarda veya tepsilerde hasat edilmeden de satılabilmektedir (Şekil 2.6) (Işık ve ark., 2022). Mikro yeşilliklerin ev tipi üretiminde tüketiciler az miktarlarda yayvan plastik kaplarda veya saksılarda ticari üretime göre çok daha kolay bir şekilde mikro yeşillik üretebilmektedir. Bu yeşilliklerin ticari üretiminde ise ya toprak bazlı bir yetiştirme sisteminde ya da toprağın bir substrat ile yer değiştirildiği veya bitkilerin sıvı bir kültürde büyütüldüğü ve gereksinim duyduğu tüm elementleri içeren bir besin çözeltisiyle beslendiği topraksız yetiştirme sistemlerinde gerçekleştirilmektedir. Ticari veya profesyonel olmayan düzeyde mikro yeşillik üretimi için en yaygın olarak kullanılan yetiştirme substratları, tek tek veya karışım halinde kullanılabilen turba, perlit ve vermikülittir. Mikro yeşilliklerin üretimi için özel olarak geliştirilmiş substratlar arasında ise doğal (Hindistan cevizi lifi, jüt lifi, pamuk lifi, yosun lifi ve kağıt hamuru) veya sentetik (polietilen tereftalat – PET aracılığıyla üretilmiş) olabilen lifli malzemelerden oluşan keçeler bulunmaktadır (Di Gioia ve ark., 2017).



Şekil 2.6. Mikro yeşillikler köklerinin hemen üzerinden kesilerek tüketilmekte ya da yetiştirildiği kaplarda veya tepsilerde hasat edilmeden de satılabilmektedir

Mikro yeşillik üretiminde tür seçimi, yetiştirme ortamı, tohum ekim oranı, aydınlatma ve gübreleme gibi birçok faktöre dikkat edilmesi gerekmektedir.

Tür seçimi, yetiştirilecek ürünün tüketici tarafından kabul edilebilir lezzete ve yüksek albeniyeye sahip olması yönünden kritik önem arz etmektedir (Renna ve ark., 2017; Xiao ve ark., 2015).

Mikro yeşilliklerin üretimi için kullanılan yetiştirme ortamları, üretimin sürdürülebilirliğini ve ürünün kalitesini etkilemektedir. Kaliteli bir ürün yetiştirmek için ideal yetiştirme ortamının toplam hacmin %20- 30'unun havalandırma seviyesine, %55-70'inin su tutma kapasitesine ve %85'inden fazlasının gözenekli yapıya sahip özellikleri taşınması gerektiği bildirilmektedir (Kyriacou ve ark., 2016). Diğer taraftan seçilen yetiştirme ortamının mikrobiyal bulaşmadan korunması ve patojen mikroorganizma içermemesi gerekmektedir (Renna ve ark., 2017).

Mikro yeşilliklerin gelişmesinde tohum ekim oranı, birim alandan elde edilecek verim açısından önem taşımaktadır. Tohum yoğunluğunun artması; hastalık riskinde artış, uzun gövde oluşumu ve sürgün kuru ağırlığında azalma gibi çeşitli sorunlara sebep olacağından uygun miktarlarda tohumlamanın yapılması gerekmektedir (Işık ve ark., 2022).

Gübre uygulaması, mikro yeşilliklerin gelişimini önemli ölçüde etkilemektedir. Yapılan bir çalışmaya göre belirli konsantrasyonlarda hazırlanan gübrelerin ekim öncesi ve sonrasında mikro yeşilliklere uygulanması bu yeşilliklerin taze ağırlıklarında %21- %144 oranlarında artış sağlamaktadır (Murphy ve ark., 2010).

Mikro yeşillikler genellikle çeşitli aydınlatma sistemleri kullanılarak kapalı ortamlarda yetiştirilmektedirler. Işığın dalga boyu, atım sıklığı, şiddeti, türü ve kaynak tipi mikro yeşilliklerin gelişimini ve fitokimyasalların oluşumuna etki etmektedir. Örneğin brokoli mikro yeşilliklerine mavi LED ışığının kısa süreli uygulanması sürgün dokusunda, glukosinolatlarda, karotenoidlerde, çeşitli mikro ve makro elementlerde %29.3-%65.1 aralığında değişen oranlarda artış sağlamaktadır (Kopsell & Sams, 2013).

2.7. Mikro Yeşillikler, Filizler, Bebek Yeşillikler ve Olgun Bitkilerin Karşılaştırılması

Filizler, mikro yeşillikler, bebek yeşillikler ve olgun bitkiler Tablo 2.5.'te gösterildiği gibi çeşitli faktörler açısından benzerlikler ve farklılıklar göstermektedirler (Bhaswant ve ark., 2023). Örneğin mikro yeşilliklerin gelişimi için ışık kaynağı gerekirken filizlerin gelişimi için ışık kaynağı gerekmemektedir. Mikro yeşillikler kökleri kesilerek hasat edilirken filizler kökleriyle tüketilmektedirler. Bununla birlikte, mikro yeşillikler filizlere göre daha olgun ürünler olup boyları genellikle 2.5-7.6 cm arasında değişmektedir (Xiao ve ark., 2012). Öte yandan, bebek yeşillikleri mikro yeşilliklere göre daha olgun ürünler olup çoğunlukla 10 cm uzunluğunda hasat edilmektedirler. Ayrıca mikro yeşillikler, bebek yeşilliklerin aksine yetiştirildiği kapların veya tepsilerin içerisinde kesilmeden hasat edilip satılabilmektedirler. Diğer taraftan, bebek yeşillikleri ve olgun bitkiler yetiştirme süresi, büyüme ortamı, ışık gereksinimi ve zirai ilaçların kullanımı açısından benzerlik göstermektedirler. Farklı olarak bebek yeşillikleri çiğ olarak tüketilebilirken olgun bitkilerin tüketilmeden önce genellikle pişirilmesi gerekmektedir (Di Bella ve ark., 2020).

Ek olarak, filizlere ve bebek yeşilliklerine göre mikro yeşilliklerin besin değerleri ve lezzeti daha fazla talep görmektedir (Renna ve ark., 2017). Yapılan bir çalışmada, iki familyaya (*Asteraceae* ve *Brassicaceae*) ait üç türde test edilen mikro yeşilliklerin olgun muadillerine göre daha yüksek α -tokoferol (brokoli mikro yeşillikleri) ve karotenoid (hindiba ve marul) içerdiği belirtilmektedir (Paradiso ve ark., 2018). Tablo 2.6.'da ise bitki büyüme aşamasının bitkisel besin ve mineral içeriğine etkileri gösterilmektedir (Kyriacou ve ark., 2016).

Tablo 2.5. Filizler, mikro yeşillikler, bebek yeşillikler ve olgun bitkilerin karşılaştırılması

Koşullar	Filizler	Mikro yeşillikler	Bebek yeşillikleri	Olgun bitkiler
Yetiştirme süresi	3-10 gün	7-21 gün	20-40 gün	Birkaç ay
Yetiştirildiği ortam	Toprak gerektirmez yalnızca suda veya nemde yetişir.	Topraklı veya topraksız	Topraklı arazilerde yetiştirilebilir veya yetiştirilmeyebilir. Büyümek için ortam gerektirir.	Topraklı arazilerde yetiştirilir. Büyümek için ortam gerektirir.
Işık gereksinimi	Işık kaynağı gerektirmez.	Işık kaynağı gerektirir.	Işık kaynağı gerektirir.	Işık kaynağı gerektirir.
Kök görünümü	Kök kılları olmayan çok küçük kökler	Kök kılları olan küçük kökler	Kök kılları olan kökler	Olgun kök sistemi
Zirai kimyasalların kullanımı	Kimyasalların kullanılması gerekmez.	Kimyasalların kullanılması gerekmez.	Kimyasalların kullanılması gerekir.	Kimyasalların kullanılması gerekir.
Nem/su kullanımı	Az miktarda suda ve hatta çok az nem içeriğinde yetiştirilebilir.	Az miktarda su gereklidir.	Büyük miktarda su gereklidir.	Bol su gereklidir.
Arazi alanı	Büyük ölçekli üretim için de çok küçük bir alan gereklidir.	Büyük ölçekli üretim için de çok küçük bir alan gereklidir.	Büyümleri için geniş bir alana ihtiyaç duyarlar.	Dönümlerce serbest ve açık alan arazilerde yetiştirilir.
Hasat zamanında bitki büyüme seviyesi	Sadece çimlenmiş tohumlarla kotiledonların kısmi gelişimi.	Bir veya iki gerçek yapraklı kotiledonların tam gelişimi.	Gerçek yapraklara sahip genç bitkinin tam gelişimi.	Meyve veya sebze verebilen olgun bitkinin tam gelişimi.
Hasat türü	Hasat yok. Tamamen yenilebilir.	Hasat kökleri alınarak yapılır.	Kökleri kesilerek çıkarılır.	Hasat, kökler elle veya mekanik olarak kesilerek yapılır.

Tablo 2.6. Bitki büyüme aşamasının bitkisel besin ve mineral içeriğine etkileri

Türler	Büyüme koşulları	Değerlendirmeler	Bitki büyüme aşamasının bitkisel besin ve mineral içeriğine etkileri	Referans	
Marul (<i>Lactuca sativa L. var. capitata</i>)	Sera	Marul yeşilliklerinin tamamen marulların karşılaştırılması.	mikro ve büyümüş marulların karşılaştırılması.	Marul mikro yeşilliklerinin olgun muadillerine göre daha yüksek oranda Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Se ve Mo içerdiği; daha düşük oranda NO ₃ ⁻ içeriği bildirilmektedir.	(Pinto ve ark., 2015)
Amaranth (<i>Amaranthus tricolor (four lines)</i>)	Sera	Filizlerin yeşilliklerin tamamen amaranth'ın karşılaştırılması.	mikro ve büyümüş amaranth'ın karşılaştırılması.	Olgun amarantın, filizlerinden ve mikro yeşilliklerinden daha yüksek oranda protein, Fe, C vitamini, β-karoten, violaxanthin ve lutein içerdiği bildirilmektedir. Öte yandan filizlerin, mikro yeşilliklere kıyasla daha yüksek oranda protein, Fe ve Zn içeriğine sahip olduğu bildirilirken mikro yeşilliklerin filizlere kıyasla daha yüksek α-karoten, β-karoten, violaxanthin, lutein ve neoxanthin içeriğine sahip olduğu bildirilmektedir.	(Ebert ve ark., 2015)
Brokoli (<i>B. oleracea L. var. botrytis</i>)	Büyüme odası	Filizlerin yeşilliklerin karşılaştırılması	ve mikro büyümüş marulların karşılaştırılması.	Çimlenmeden sonraki 3. günden 7. güne kadar filiz büyümesiyle glukorafanın içeriğinin ve sülfarafan oluşumunun azaldığı bildirilmektedir.	(Guo ve ark., 2014)
Kırmızı Lahana (<i>B. oleracea var. capitata</i>) Kırmızı ve mor hardal (<i>B. juncea Czern.</i>) Mizuna (<i>B. rapa L. var. nipposinica</i>) Mor alabaş (<i>B. oleracea L. var. gongylodes L.</i>)	Sera	Mikro yeşilliklerin tamamen Brassica türlerinin karşılaştırılması	ve mikro büyümüş marulların karşılaştırılması.	Mikro yeşilliklerin daha karmaşık bir polifenol profiline sahip olduğu ve olgun bitki muadillerine kıyasla daha geniş çeşitlilikte polifenol bileşikleri içerdiği bildirilmektedir.	(Sun ve ark., 2013)

3. MATERYAL VE METOT

Bu tez deneysel bir çalışma olup, araştırmaların deneysel uygulamaları Atatürk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Sağlık Bilimleri Fakültesi ve DAYTAM'da bulunan laboratuvarlarda 2023 yılı ağustos ayı ile 2024 yılı eylül ayları arasında yapılmıştır. Çalışmada kullanılan malzemeler ve cihazlar (Tablo 3.1) aşağıda verilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan Kimyasal Madde ve Malzemeler

Çalışmada kullanılan malzemeler; UHT inek sütü, liyofilize yoğurt mayası, yenilebilir sığır jelatini, Arap zımkı yerel marketlerden satın alınmıştır. Amarant tohumu, bitki tohumları satan online bir firmadan temin edilmiştir. Fenilfitalein, Kuprak, Ferröz, $CuCl_2$, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH•), Mueller Hinton Agar (MHA) besiyeri, %2 Klorheksidin (CHX), etanolik neocuproine, HCl, NaOH, amonyum asetat (CH_3COONH_4), potasyum ferri siyanür ($K_3Fe(CN)_6$), sodyum dihidrojen fosfat (NaH_2PO_4), triklorasetik asit (TCA), $FeCl_3$, tetrasiklin isimli kimyasallar Sigma firmasından temin edilmiştir.

3.1.2. Kullanılan Cihazlar

Çalışmada kullanılan cihazlar Tablo 3.1'de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan cihazlar

Cihazlar	Marka
Biyogüvenlik kabini	Esco Labculture class 2 type
Spektrofotometre	Thermoscientific, 1530-800381C
pH metre	Crison Basic 20
Hassas terazi	Kern ABS
Magnetik karıştırıcı	Wise Stir MSH-20D, Stuart SB162

Tablo 3.1. (Devamı)

Cihazlar	Marka
Su banyosu	Selecta precistern
Vorteks	Heidolph
Saf su cihazı	GFL 2004
Blender	İsolab, 602.21.001
Santrifüj	J.P. Selecta Centrofriger-BL
Otomatik pipet	Gilson Pipetman G Multichannel P8X10G
Derin dondurucu	Bosch
Buzdolabı	Bosch KAN62V70NE-Ever Med Medical refrigeration
Etüv	Memmert UN 55
XRD	Malvern Panalytical Empyrean
FTIR spektrofotometresi	Bruker VERTEX 70v model (DAYTAM)

Çalışmanın yapılması için Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun onayı alınmış olup onay formu Ek-2'de sunulmuştur.

3.2. Amaranat Mikro Yeşilliklerinin Üretilmesi

Amarant mikro yeşillik tohumları internet üzerinden temin edildikten sonra uygun bir kap içerisinde verimli bir toprağa ekilerek suyla nemlendirilmiştir. Karanlıkta üzeri kapatılarak 1-2 gün çimlenmeye bırakılmıştır. Çimlendikten sonra üzeri açılarak ve günde iki kere sulanarak güneşli bir yerde bekletilmiştir. Bir veya iki gerçek yapraklı kotiledonların tam gelişimiyle mikro yeşillikler makasla hasat edilmiştir (Şekil 3.1). Daha sonra çalışılmak üzere -20 °C'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.1. Amarant mikro yeşilliklerinin büyütülmesi

3.3. Amarant Mikro Yeşilliklerinin Ekstresinin Hazırlanması

Amarant mikro yeşillikleri temizlenip yıkandıktan sonra hassas terazide 25 g tartılıp üzerine 475 ml distile su eklenerek blenderdan geçirilmiştir. Ardından karışım 24 saat boyunca 500 rpm'de magnetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Sonrasında mikro yeşillik ekstraksiyonu süzgeç kâğıdı ile süzülerek elde edilmiştir.

3.4. Nanokapsüllerin Hazırlanması

Amarant mikro yeşillik ekstraksiyonu, kaplama materyali olarak jelatin ve arap zankı kullanılarak Yüksel-Bilsel ve Şahin-Yeşilçubuk'un yaptığı çalışma (Yüksel-Bilsel & Şahin-Yeşilçubuk, 2019) revize edilerek kompleks koaservasyon yöntemiyle kapsüllenmiştir. İlk başta 50°C de 300 rpm'de jelatin çözeltisi (%2, w/v, 25 ml) ve arap zankı çözeltisi (%2, w/v, 25 ml) hazırlanmıştır. Kapsüllenecek olan materyal öncelikle 25 ml ölçülerek 1:1 oranında jelatin çözeltisine eklenmiştir. Ardından bu karışım 15 dakika boyunca 600 rpm'de karıştırılarak homojenize edildikten sonra 1 saat boyunca arap zankı çözeltisi 50 °C ve 900 rpm'de jelatin/amarant mikro yeşillik karışımına damla damla eklenmiştir (Şekil 3.2). Sonrasında 0,1 M asetik asit kullanılarak karışımın pH'sı 4'e ayarlanmıştır. Ardından karışım 20 dakika buz banyosunda bekletildikten sonra +4 °C de 24 saat saklanmıştır. 24 saatin sonunda solüsyon santrifüj edilerek ileride hazırlanacak yoğurtlara ilave edilmek için -18 °C de bekletilmiştir.



Şekil 3.2. Kompleks koaservasyon yöntemiyle enkapsülasyon

3.5. Nanokapsüllerin Karakterizasyonu

3.5.1. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometre (FTIR) Analizi

FTIR, matematiksel Fourier dönüşümü yöntemi ile ışığın kızılötesi yoğunluğuna karşı dalga sayısını ölçen kimyasal analitik bir yöntemdir. Bu metot, atomlar arasındaki bağların titreşim hareketleriyle kızılötesi radyasyonunu absorbe ettikten sonra spektral piklerin ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır. Ayrıca her fonksiyonel grup kendine özgü spektruma sahiptir. Organik maddelerin sergilediği piklerde 2000 cm^{-1} bölgesine denk gelen parça daha detaylı bilgiler sergilediği için parmak izi bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Dolayısıyla parmak izi bölgesindeki spektrumlar daha da genişletilerek madde hakkında daha ayrıntılı bilgiye ulaşılmaktadır (Büyüksırt & Kuleaşan, 2014; Kılıç & Karahan, 2010). Ayrıca bu yöntem, makromoleküllerin yapısal analizi, mikrobiyal hücrelerin tanımlanması, organik maddelerin kantitatif ve kalitatif analizi, stereokimyasal özelliklerinin bulunması, yapılarının aydınlatılması ve saflık kontrolü gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Büyüksırt & Kuleaşan, 2014).

Amarant mikro yeşilliği özütüyle hazırlanan kapsül örneklerinin FTIR analizi için ölçümler Bruker Vertex 70v cihazı (Şekil 3.3) ile 300-4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. FT-IR spektrofotometresi (Bruker Vertex 70v) cihazı

3.5.2. X-Işını Difraksiyon (Kırınım) Spektroskopisi (XRD) Analizi

XRD analizi, bir maddenin karakteristiği olan kırınım desenine dayanmaktadır. Kırınım, üzerine düşen elektromanyetik radyasyonun dalga boyuyla uyumlu farklı geometrik varyasyonlar içeren periyodik yapılara çarpmasıyla gözlenmektedir. Bununla birlikte XRD, her bir kristal fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, aynı düzeydeki dalga boyuna sahip X-ışını dalgalarını karakteristik bir düzen içerisinde kırmasına dayanmaktadır. Her bir kristal faz, X-ışınlarıyla etkileştiğinde kendi yapısına özgü bir X-ışını kırınım deseni oluşmakta ve oluşan kırınım desenleri parmak izi gibi o kristali tanımlamaktadır (Ateş, 2018). Bu doğrultuda XRD analizleri, çekirdek materyalinin, kaplama materyallerinin ve en yüksek enkapsülasyon etkinliğine sahip nanokapsülün malzeme yapısının amorf veya kristal olduğunun belirlenmesinde kullanılmaktadır (Vyas ve ark., 2010).

Amarant mikro yeşilliği özütüyle hazırlanan kapsül örneklerinin XRD ölçümleri, X-ışını kırınım difraktometre (Malvern Panalytical EMPYREAN) cihazı (Şekil 3.4) kullanılarak yapılmıştır. Numunelere ait veriler, tarama adımı 0.02° (2θ) ve adım başına 0.1 saniyelik tarama hızı ile 5° - 90° kırınım açıları arasında toplanmıştır. Ölçümlerde $\text{Cu-K}\alpha$ kaynağı ışın radyasyonu kullanılmıştır.



Şekil 3.4. X-ışını kırınımlı difraktometre (Malvern Panalytical EMPYREAN) cihazı

3.6. Yoğurt Örneklerinin Hazırlanması

%1,5 süt yağı içeren kutu sütler 90°C'ye ısıtılmıştır ve inkübasyon için 45°C'ye soğutulmuştur. Probiyotik içeren liyofilize yoğurt mayası 45°C'deki 300 mL süte eklenerek aktif hale getirilmiştir. Ardından bu karışım süte ilave edilip karıştırılarak 150 mL'lik steril kavanozlara doldurulmuştur ve 45°C'de fermantasyon için inkübe edilmiştir. İnkübasyondan sonra yoğurt numuneleri 4°C'ye soğütularak gece boyunca saklanmıştır. Bir grup kontrol yoğurdu olarak ayrılıp diğer iki grup kapsülle %0,1 ve %0,5 oranlarında karıştırılmıştır (Şekil 3.5). Örnekler 1, 2, 3 ve 4. haftalarda yapılacak analizler için 4°C'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.5. Analizler için hazırlanan yoğurt örnekleri

3.7. Antioksidan Aktivite Analizleri

Yoğurt örneklerindeki antioksidan aktivite KUPRAK tayini, demir (Fe³⁺) iyonu indirgeyici antioksidan gücü (FRAP) tayini ve DPPH• serbest radikali giderme aktivitesi tayini yöntemleri kullanılarak yapılmıştır.

3.7.1. KUPRAK Tayini

Tüm yoğurt örneklerinin Kuprak tayini, Apak ve ark. (2004) geliştirdiği metodun modifikasyonuna göre Kuprak yöntemi kullanılarak uygulanmıştır (Apak ve ark., 2004). Yoğurt örneklerinin 30 ve 50 µg/mL konsantrasyonları deney tüplerine alınmıştır. Daha sonra her tüpe sırasıyla 0.25 mL 0.01 M bakır (II) klorür (CuCl₂) çözeltisi, 0.25 mL 7.5x10⁻³ M etanolik neokuprin çözeltisi ve 0.25 mL 1 M amonyum asetat (CH₃COONH₄) tampon çözeltisi eklenmiştir. Ardından oda sıcaklığında 30 dk inkübe edildikten sonra yoğurt örneklerinin absorbans değişimi, Beckman Coulter DU 730 UV-VIS Spectrophotometer kullanılarak deiyonize suya karşı 450 nm'de okunmuştur. Absorbans değerlerinin yüksek olması bakır indirgeme kapasitesinin yüksek olduğunu göstermektedir (Bursal ve ark., 2013).

3.7.2. FRAP (Demir İndirgeyici Antioksidan Güç) Tayini

Yoğurt örneklerinin FRAP tayini Oyaizu metoduna göre yapılmıştır (Oyaizu, 1986). Yoğurt örnekleri 30 ve 50 µg/mL konsantrasyonlarında deney tüplerine ilave edilmiş ve hacimleri deiyonize su ile 1 mL'ye tamamlanmıştır. Ardından her tüpe 2.5 mL 0.2 M fosfat tamponu (pH 6.6) ve 2.5 mL %1'lik potasyum ferrisiyanür [K₃Fe(CN)₆] eklenmiş ve karışım 20 dakika 50 °C'de inkübe edilmiştir. Sonrasında karışıma 2.5 mL %10'luk triklorasetik asit (TCA) ilave edilmiş ve farklı deney tüplerine karışımların üst fazından 2.5 mL alınmıştır. Ardından çözeltilerin üzerine 2.5 mL deiyonize su ve 0.5 mL %0.1'lik FeCl₃ ilave edildikten sonra absorbans değerleri spektrofotometrede saf sudan oluşan köre karşı 562 nm'de ölçülmüştür (Celik ve ark., 2014).

3.7.3. DPPH• (2,2-difenil-1- pikril-hidrazil) Serbest Radikali Giderme Aktivitesi Tayini

Yoğurt örneklerinin DPPH• serbest radikal giderme aktivitesi Blois yönteminin bir modifikasyonuna göre uygulanmıştır (Blois, 1958). 1mM'lık DPPH• çözeltisi serbest radikal olarak kullanılmıştır. Deney tüplerine 30 ve 50 µg/mL konsantrasyonlarda yoğurt örnekleri aktarılmış ve hacimleri saf etanol ile 3 mL'ye tamamlanmıştır. Ardından her numuneye DPPH• çözeltisinden 1 mL eklenmiş ve oda sıcaklığında karanlık ortamda 30 dk inkübasyona bırakılmıştır. Sonrasında etanolden oluşan köre karşı spektrofotometrede 517 nm'de absorbans değerleri ölçülmüştür. 3 mL etanol ve 1 mL DPPH• çözeltisi kontrol numunesi olarak kullanılmıştır. DPPH• radikalinin yoğurt örnekleriyle reaksiyonu sonucu radikale hidrojen atomu bağlanması ile ortamdaki DPPH• radikali temizlenmekte ve ortamın absorbansı düşmektedir. Dolayısıyla absorbans değerleri ne kadar düşükse antioksidanın serbest radikal giderme aktivitesi o kadar yüksek olmaktadır (Albayrak ve ark., 2010; Celik ve ark., 2014).

3.8. Mikrobiyolojik analizler

Yoğurt örneklerinin antimikrobiyal analizi Mueller Hinton Agar (MHA) plakalarında agar kuyu difüzyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Test organizmaları (*Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli*) brotha ekilmiş ve bulanıklığı 0,5 McFarland standardına ayarlamak için 37 °C'de bir gece inkübe edilmiştir. MHA plakasına, standardize edilmiş mikrobiyal kültür inokule edilmiştir. Steril mantar delici (6 mm) yardımıyla besiyerine 6 mm'lik altı kuyu açılmıştır. Her kuyu, 50 µl ekstre ile doldurulmuş ve bakteriler (*S. aureus* ve *E. coli*) için pozitif kontrol (tetrasiklin) kullanılmıştır. Daha sonra plakalar oda sıcaklığında yaklaşık 30 dakika difüze olmasına izin verilmiş ve 37°C'de 18-24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyondan sonra, plakalar test edilen bileşiklerin antimikrobiyal aktivitesine karşılık gelen kuyunun etrafında berrak bir

bölgenin oluşumu açısından inhibisyon bölgesi (ZOI) gözlenmiş ve mm olarak ölçülmüştür.

3.9. pH ve Asitlik Analizleri

Yoğurt numunelerinin pH'sı, 2 noktalı kalibrasyon yapıldıktan sonra Crison Basic 20 pH metre kullanılarak belirlenmiştir. Yoğurt numunelerinin titre edilebilir asitliği (TA), 10 g numunenin aynı hacimde damıtılmış su ile karıştırılması ve indikatör olarak fenilftalein kullanılarak 0,1 M NaOH ile titre edilmesiyle belirlenmiştir. TA, titrasyonda tüketilen NaOH hacmi (mL) olarak ifade edilmiş olup aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$TA\% = [V(\text{mL NaOH}) \times 0.9] / m$$

3.10. Kolorimetrik Analizler

Renk parametreleri bir renk ölçer (PCE XXM-20, PCE cihazı) kullanılarak ölçülmüş ve sonuçlar aydınlatıcı D 65'te L*, a* ve b* değerleri ile CIELAB renk sistemi kullanılarak ifade edilmiştir. L* değeri besinin siyahlığını (0) ve beyazlığını (100), a* değeri yeşilliğini (negatif) ve kırmızılığını (pozitif), b* değeri maviliğini (negatif) ve sarılığını (pozitif) temsil etmektedir.

3.11. Duyusal Analizler

Yoğurt örneklerinin duyusal değerlendirmesi renk, koku, kıvam, tat ve genel kabul edilebilirlik açısından 1'den 10'a kadar (çok kötüden çok iyiye) duyusal değerlendirme ölçeğiyle yapılmıştır.

Yoğurt numuneleri 3 örnek olarak hazırlanmıştır.

K: Kontrol yoğurdu

1 nolu Örnek: %0.5 oranında kapsülle karıştırılmış örnek

2 nolu Örnek: %0.1 oranında kapsülle karıştırılmış örnek

Duyusal analiz için Atatürk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi'nde görev

yapan akademik ve idari personel ile lisans ve yüksek lisans öğrencileri içinden rasgele 10 panelist (18-55 yaş aralığında) seçilmiştir. Panelistler; duyuşal test için ayırabilecekleri zamanları olan, konuya ilgili, hevesli, gönüllü ve duyuşal değerlendirmeye psikolojik olarak hazır olan, sigara kullanmayan sağlıklı (soğuk algnlığı bile olmayan) kişiler arasından seçilmiştir (Sigara içenler içmeyenlere göre daha az duyarlıdır). Ayrıca panelistler için yaş sınırı 18–55 arasında tutulmuştur (55 yaşından sonra bazı duyuşal yanıt reaksiyonları azalmaktadır bu nedenle panelistin yaşı 65'ten fazla olmamalı). Hazırlanan yoğurt numuneleri pet bardaklarda kodlanmış olarak panelistlere sunulmuştur (Şekil 3.6). Ardından panelistlerin, verilen yoğurt örneklerini Ek-3'teki formu (Durmuş, 2015) doldurarak duyuşal açıdan değerlendirmeleri istenmiştir.



Şekil 3.6. Panelistler için hazırlanan yoğurt örnekleri

3.12. İstatiksel Analizler

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin istatiksel analizi GraphPad Prism 5.00 Software (GraphPad Software, La Jolla, CA) istatistik programı kullanılarak değerlendirilmiş ve two-way ANOVA testi yapılarak p değerleri belirlenmiştir. Önem seviyesi $p > 0.05 = ns$ önemsiz, $*p < 0.05$ önemli, $**p < 0.01$ çok önemli, $***p < 0.001$ yüksek derecede önemli olarak değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Yoğurt Örneklerinin pH ve Asitlik Analizi Sonuçları

Yoğurt örneklerinin depolama süresince pH ve titrasyon asitliği değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

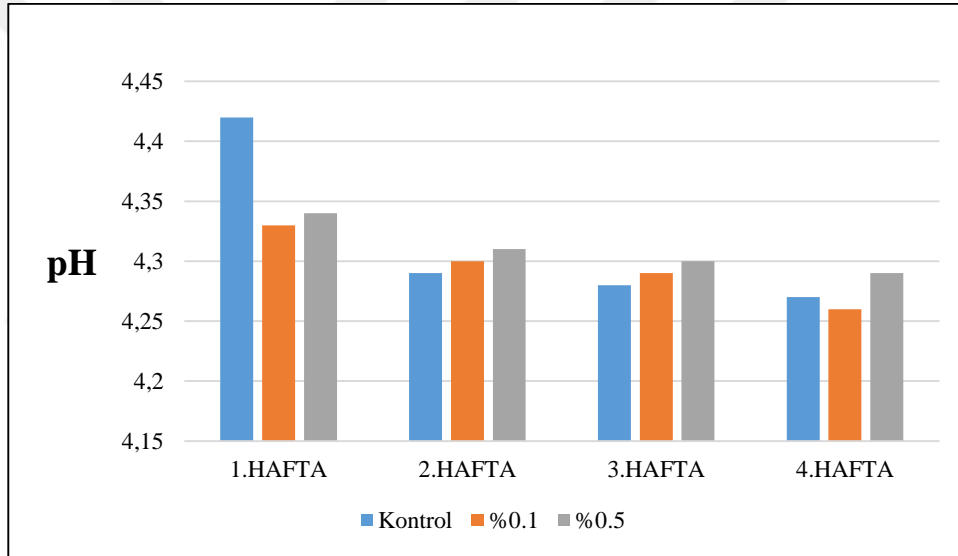
Tablo 4.1. Yoğurt örneklerinin depolama süresince pH ve titrasyon asitliği değerleri

Örnekler	Depolama Süresi (Hafta)	pH	Titrasyon Asitliği (% laktik asit)
Kontrol	1	4.42	0.72
	2	4.29	0.89
	3	4.28	0.97
	4	4.27	1.01
%0.1	1	4.33	0.81
	2	4.30	0.86
	3	4.29	0.91
	4	4.26	1.03
%0.5	1	4.34	0.79
	2	4.31	0.85
	3	4.30	0.87
	4	4.29	0.94

Tablo 4.1 incelendiğinde, kontrol yoğurdun pH değeri ilk hafta 4.42 olarak son hafta 4.27 olarak ölçülmüştür. Bu sonuca göre kontrol yoğurdunun pH değerinin zamanla azaldığı görülmüştür ($p < 0.05$). İlk haftadaki yoğurt örneklerinin pH değerleri sırasıyla kontrol > %0.5 > %0.1 şeklindedir. Bu sıralamaya göre ilk hafta yoğurt örneklerinden en yüksek pH değeri kontrol yoğurdu (4.42) en düşük değeri ise %0.1 oranında kapsül içeren

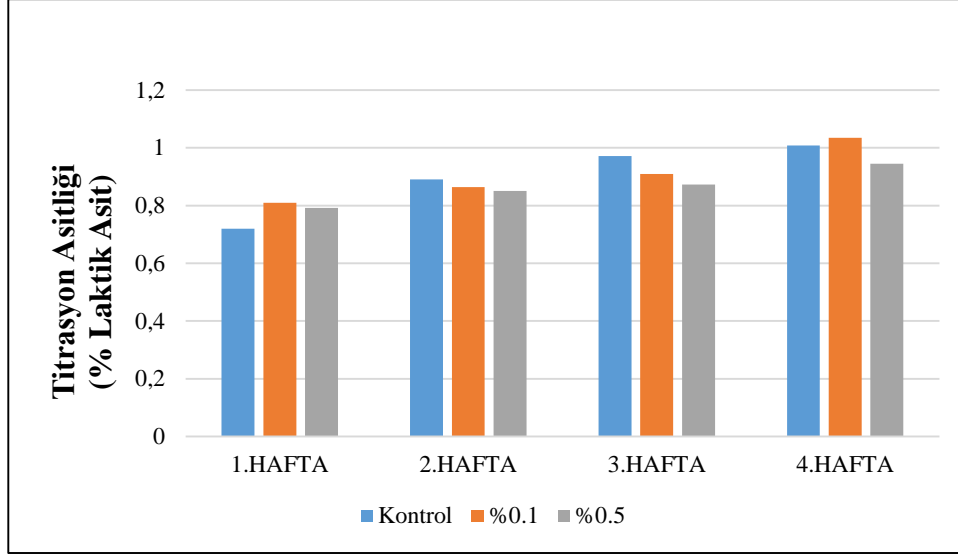
yoğurt (4.33) göstermiştir. Diğer taraftan son hafta %0.1 oranında kapsül içeren yoğurdun pH değeri 4.26 iken %0.5 oranında kapsül içeren yoğurdun pH'sı 4.29 olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.1'de verilen grafik incelendiğinde depolama süreci uzadıkça tüm yoğurt örneklerinin pH değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Kontrol yoğurdun 2.haftadaki pH değeri 1.haftayla kıyaslandığında anlamlı olarak azaldığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Bununla birlikte 2, 3 ve 4. haftalardaki depolama süresinde kapsül içeren yoğurtlarla kontrol yoğurdu karşılaştırıldığında kapsül ilavesinin pH'yı artırdığı gözlemlenmiştir. 4.haftadaki yoğurt örneklerinin pH değerleri sırasıyla %0.5>%0.1>kontrol şeklindedir. Bu sonuçlara göre kapsül ilavesi pH'yı kontrollü bir şekilde düşürmektedir.



Şekil 4.1. Yoğurt örneklerinin depolama süresince pH değerindeki değişim grafiği

Yoğurt örneklerinin 4 haftalık depolama süreci boyunca titrasyon asitliğindeki değişim grafiği Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.1 ile 4.2 birlikte incelendiğinde, sonuçların birbirini desteklediği görülmektedir. Depolama sürecinde tüm yoğurt örneklerinin pH değeri azalırken titrasyon asitliği (%laktik asit) artmaktadır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).



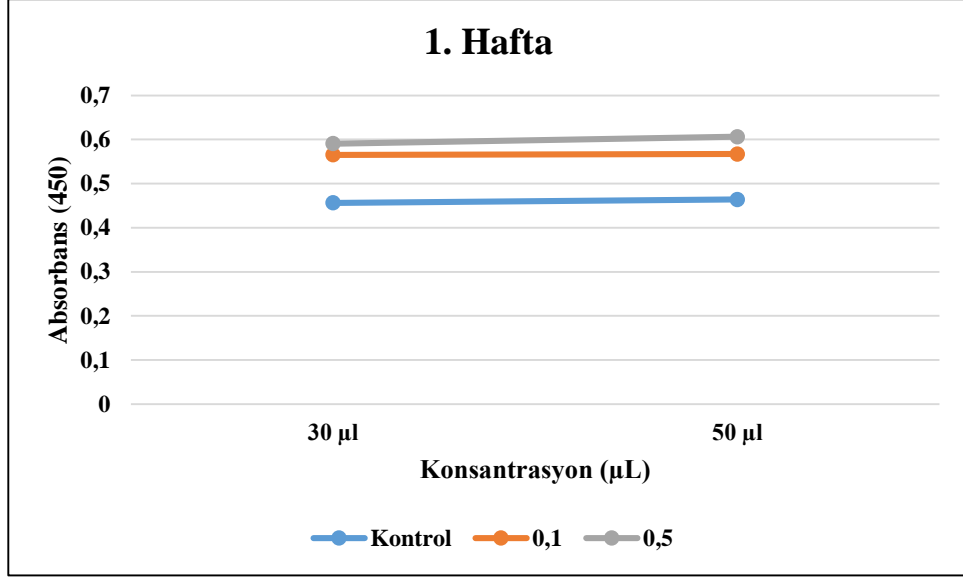
Şekil 4.2. Yoğurt örneklerinin depolama süresince titrasyon asitliği (% laktik asit) değerindeki değişim grafiği

Şekil 4.2 incelendiğinde ilk hafta en düşük asitliği kontrol yoğurdu gösterirken en yüksek asitliği %0.1 oranında kapsül içeren yoğurt örneği göstermiştir. Bununla birlikte, 2.haftadaki yoğurt örneklerinin titrasyon asitliği 1.haftaya göre artarak sırasıyla kontrol>%0.1>%0.5 şeklinde olmuştur. 2 ve 3.haftalardaki kapsül ilaveli yoğurt örneklerinin %laktik asit cinsinden titrasyon asitliği değerleri incelendiğinde ise 1.haftanın aksine %0.1 ve %0.5 oranında kapsül ilaveli yoğurtların kontrol yoğurduna kıyasla daha düşük asitlik gösterdiği belirlenmiştir.

4.2. Yoğurt Örneklerinin Antioksidan Analiz Sonuçları

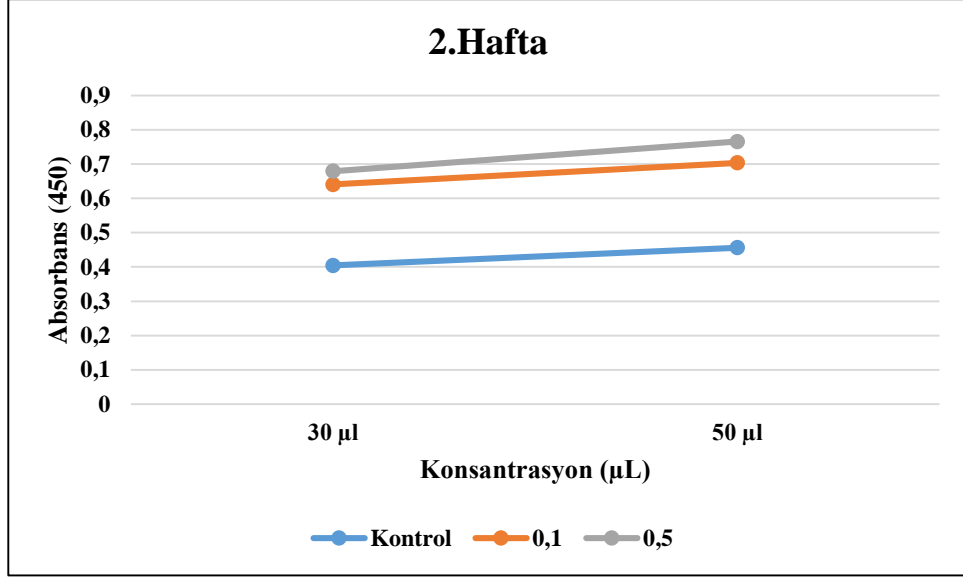
4.2.1. Kuprak Tayini Sonuçları

Yoğurt örneklerinin 1, 2, 3 ve 4. haftadaki depolama sürecindeki antioksidan aktivitesi Kuprak metoduna göre belirlenmiştir. Yoğurt örneklerinin antioksidan aktivitelerinin ölçümü maddelerin 30 ve 50 µg/mL konsantrasyonlarındaki çözeltileri kullanılarak yapılmıştır. Absorbans değerindeki artış bakır indirgeme kapasitesindeki artışı göstermektedir. Sonuçlar Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5. ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



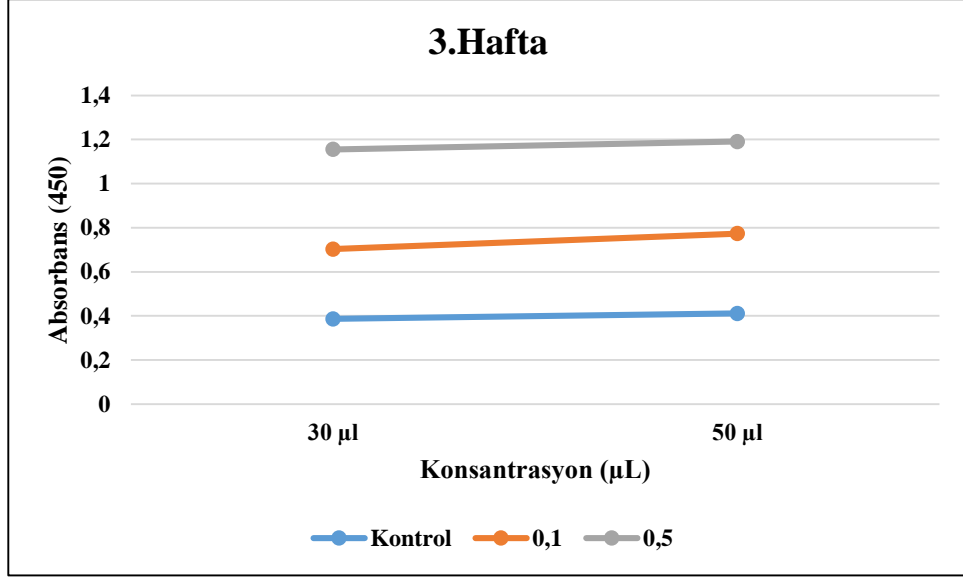
Şekil 4.3. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 1. hafta Kuprak tayini sonuçları

Yoğurt örneklerinin 1.haftadaki Kuprak tayini sonuçları Şekil 4.3'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek absorbans değerini her iki konsantrasyonda da %0.5 oranında kapsül içeren yoğurt örneği göstermiştir. Buradan çıkarılan sonuç kapsül ilaveli yoğurt örneklerinin kontrol yoğurduna kıyasla daha fazla bakır indirgeme kapasitesine sahip olduğudur. Şekil 4.3'e göre antioksidan aktivite sıralaması %0.5>%0.1>kontrol şeklindedir.



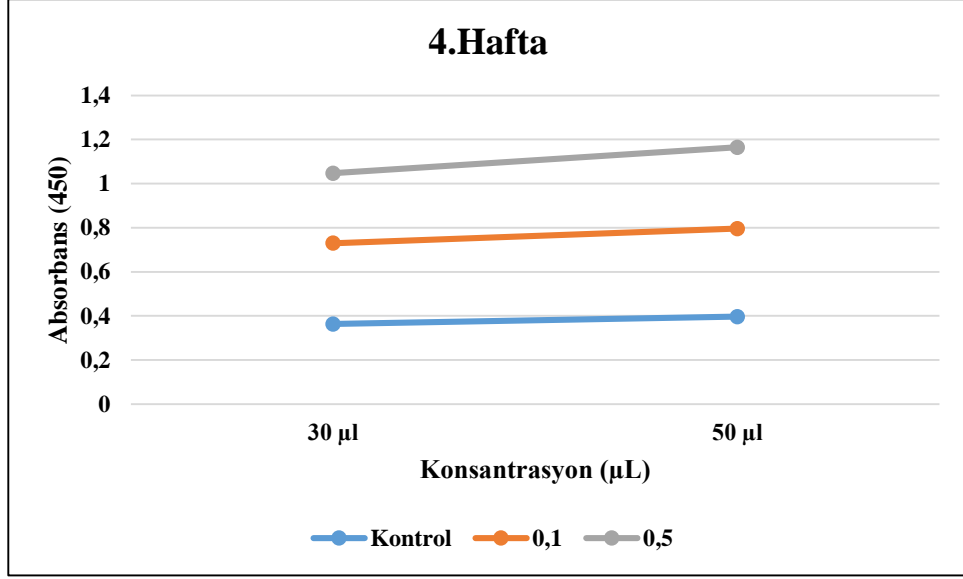
Şekil 4.4. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 2. hafta Kuprak tayini sonuçları

Yoğurt örneklerinin 2.haftadaki Kuprak tayini sonuçları Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde her iki konsantrasyonda da en yüksek absorbans değeri ilk haftada olduğu gibi %0.5 oranında kapsül içeren yoğurt örneğinde gözlemlenmiştir. Aynı zamanda 2.haftadaki absorbans değerleri 1.haftadaki absorbans değerleriyle karşılaştırıldığında kontrol yoğurdun absorbans değerinin düştüğü ancak kapsül ilaveli yoğurt örneklerinin absorbans değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). Buradan kapsül yapısının amarant mikro yeşillikleri özütündeki fenolik bileşikleri koruduğu ve zaman içerisinde kontrollü salınım göstererek antioksidan düzeylerini artırdığı sonucuna varılmaktadır.



Şekil 4.5. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 3. hafta Kuprak tayini sonuçları

Yoğurt örneklerinin 3.haftadaki bakır indirgeme kapasiteleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Grafiğe göre yoğurt örneklerinin bakır indirgeme kapasiteleri sırasıyla %0.5>%0.1>kontrol şeklinde belirlenmiştir. %0.5 oranında kapsül içeren yoğurdun bakır indirgeme kapasitesinin kontrol yoğurduna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek olduğu gözlemlenmiştir ($p<0.05$). Bu sonuçlara göre kapsül ilavesinin yoğurttaki antioksidan aktiviteyi artırdığı görülmektedir.

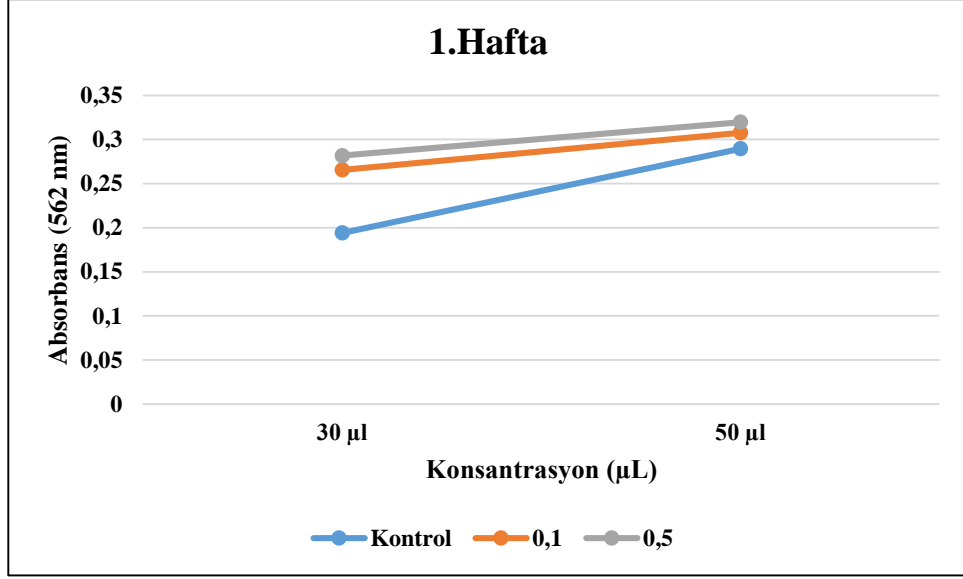


Şekil 4.6. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 4. hafta Kuprak tayini sonuçları

Yoğurt örneklerinin 4.haftadaki bakır indirgeme kapasiteleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde diğer haftalarla benzer sonuçlar elde edilmiştir.

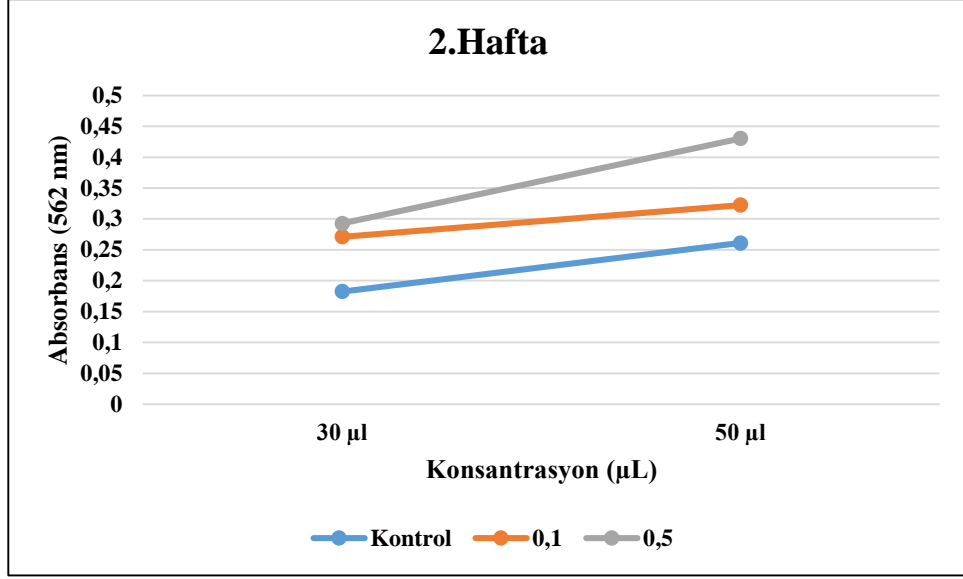
4.2.2. FRAP Tayini Sonuçları

FRAP metodu fenoliklerin Fe^{+3} 'ü Fe^{+2} 'ye indirgeme kabiliyetine dayanan bir yöntemdir. FRAP tayininde örneklerin konsantrasyonu arttıkça fenoliklerin indirgeme kapasitesi de artmaktadır. Yoğurt örneklerinin indirgeme kapasitesi, 4 haftalık depolama sürecinde çözeltilerin farklı konsantrasyonlarında (30 ve 50 µg/mL) ve 562 nm'de absorbans değerleri ölçülerek belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.



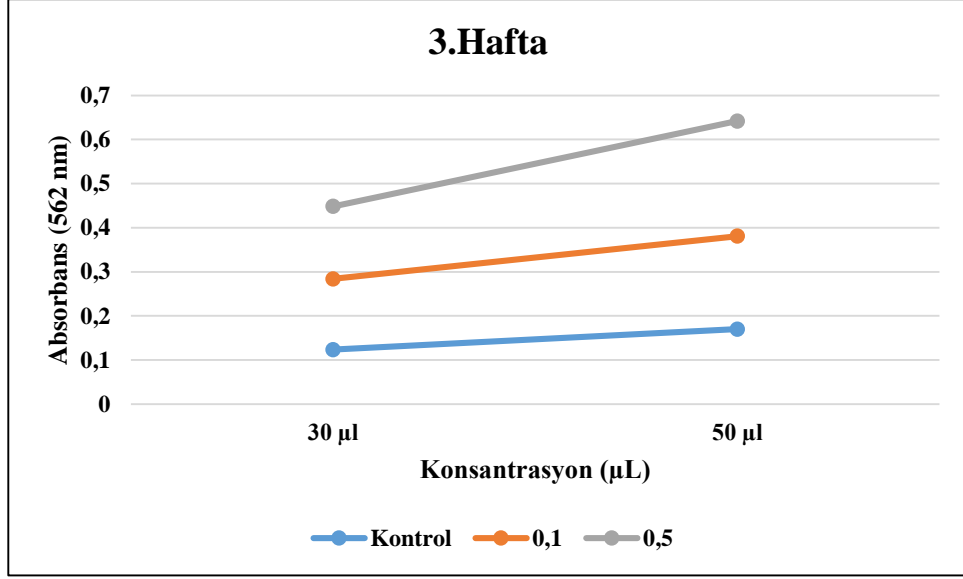
Şekil 4.7. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 1. hafta FRAP tayini sonuçları

Yoğurt örneklerinin 1.haftadaki FRAP tayini sonuçları incelendiğinde en düşük absorbans değeri her iki konsantrasyonda da kontrol yoğurdunda saptanmıştır (Şekil 4.7). %0.1 ve %0.5 oranında kapsül içeren yoğurt örneklerinin absorbans değerlerinin birbirine yakın olduğu ve kontrol yoğurdunun absorbans değerinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu verilere göre yoğurda kapsül ilave edilmesi, fenoliklerin Fe^{+3} 'ü Fe^{+2} 'ye indirgeme kapasitelerini artırmaktadır.



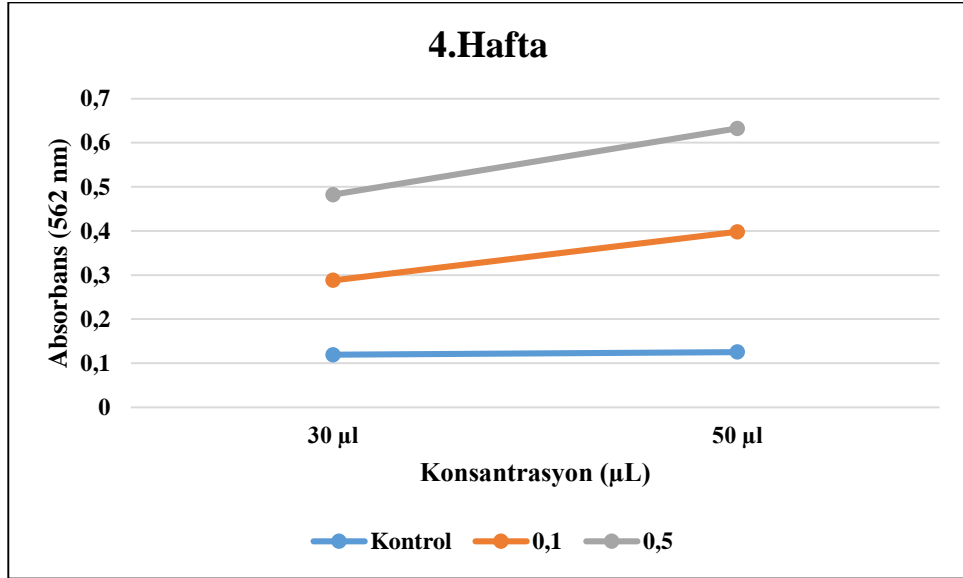
Şekil 4.8. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 2. hafta FRAP tayini sonuçları

Yoğurt örneklerinin 2.haftadaki absorbans değerleri incelendiğinde, her iki konsantrasyonda da en yüksek absorbans değeri %0.5 oranında kapsül ilave edilen yoğurt örneğinde gözlemlenmiştir (Şekil 4.8). Aynı zamanda konsantrasyonun artmasıyla %0.5 kapsül ilaveli yoğurdun absorbans değerinin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, 2.haftadaki absorbans değerleri 1.haftadaki absorbans değerleriyle karşılaştırıldığında kontrol yoğurdun absorbans değerinin düştüğü ancak kapsül ilaveli yoğurt örneklerinin absorbans değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.7 ve 4.8). Bu sonuçlar Kuprak tayini analizi bulgularıyla uyumludur.



Şekil 4.9. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 3. hafta FRAP tayini sonuçları

Yoğurt örneklerinin 3.haftadaki absorbans değerleri incelendiğinde, en yüksek absorbans değerine her iki konsantrasyonda da %0.5 oranında kapsül içeren yoğurt örneğinin sahip olduğu gözlemlenmektedir. Her iki konsantrasyon için indirgeme kapasiteleri sırasıyla %0.5>%0.1>kontrol şeklindedir (Şekil 4.9).



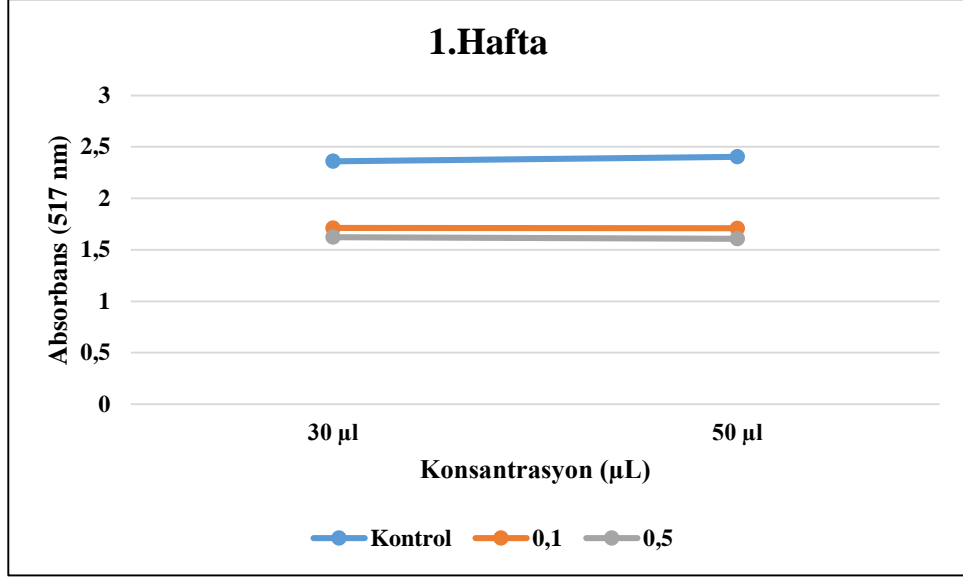
Şekil 4.10. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 4. hafta FRAP tayini sonuçları

FRAP tayinine göre yoğurt örneklerinin 4.haftadaki indirgeme kapasiteleri incelendiğinde, %0.1 ve %0.5 oranında kapsül içeren yoğurt örneklerinin konsantrasyonlarının arttıkça indirgeme kapasitelerinin arttığı görülmektedir (Şekil 4.10).

4 haftalık depolama süreci boyunca her iki konsantrasyonda da en yüksek absorbans değeri %0.5 oranında kapsül içeren yoğurt örneğinde gözlenmiştir (Şekil 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10). FRAP tayini sonuçları ile Kuprak tayini sonuçları birbirini desteklemektedir.

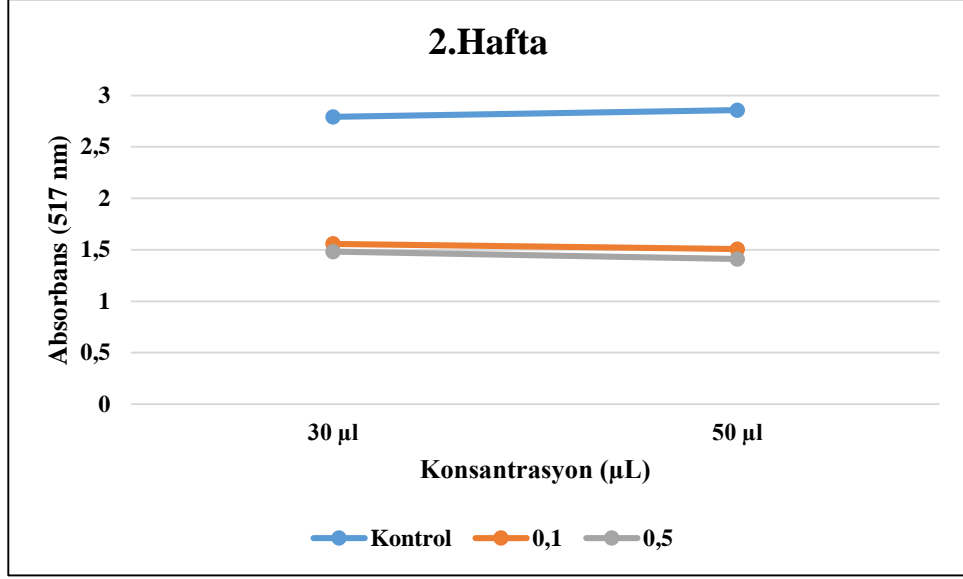
4.2.3. DPPH• Radikal Süpürücü Aktivite Tayini Sonuçları

Yoğurt örneklerinin DPPH• radikal giderme aktivitesi, 4 haftalık depolama sürecinde çözeltilerin farklı konsantrasyonlarında (30 ve 50 µg/mL) ve 517 nm’de absorbans değerleri ölçülerek belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te gösterilmiştir.



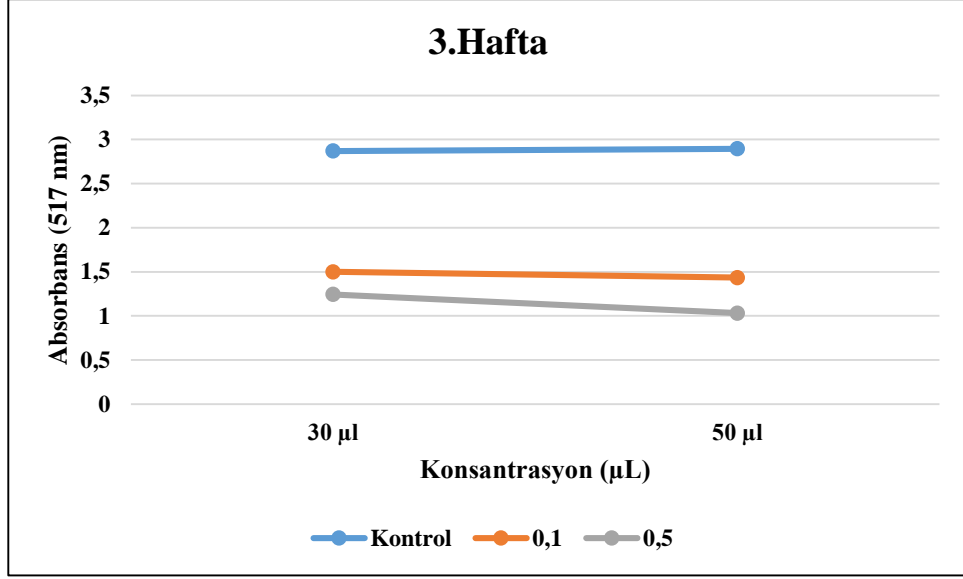
Şekil 4.11. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 1. hafta DPPH tayini sonuçları

Yoğurt örneklerinin 1.haftadaki DPPH• radikali giderme aktiviteleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde her iki konsantrasyonda da %0.1 ve %0.5 oranında kapsül içeren yoğurt örneklerinin arasında önemli bir fark bulunmamakla birlikte kontrol yoğurduna kıyasla yüksek radikal giderme aktivitesi gösterdikleri belirlenmiştir. Bu veriden kapsül ilavesinin yoğurdun radikal giderme aktivitesini artırdığı sonucuna varılmaktadır.



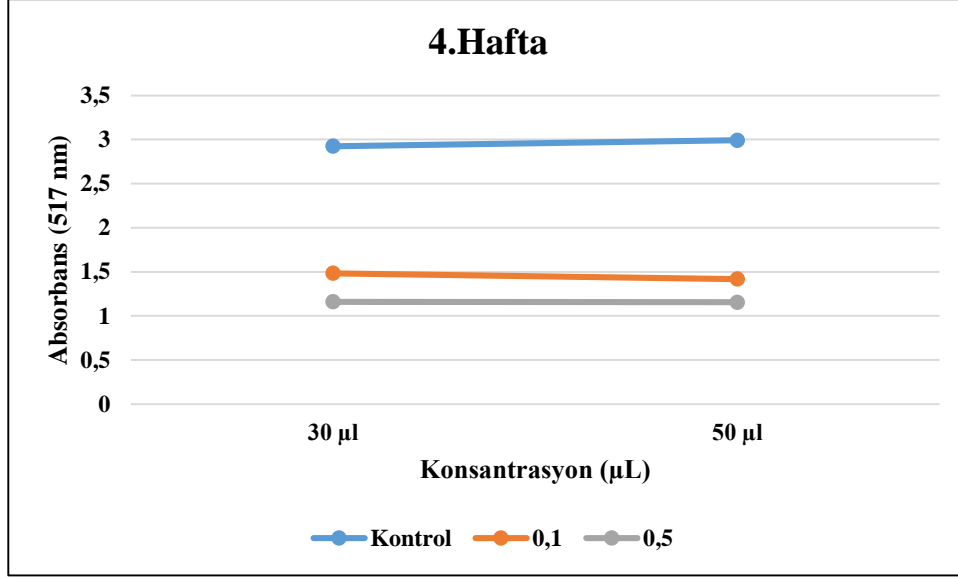
Şekil 4.12. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 2. hafta DPPH tayini sonuçları

Şekil 4.12'deki DPPH• radikali giderme aktivitesi sonuçları incelendiğinde, kontrol yoğurdun absorbans değerinde 2.haftada 1.haftaya kıyasla artış gözlemlenirken kapsül ilaveli yoğurt örneklerinde azalma gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, 2.haftada en yüksek radikal giderme aktivitesi %0.5 oranında kapsül içeren yoğurtta gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 3. hafta DPPH tayini sonuçları

Şekil 4.13'te gösterildiği gibi, her iki konsantrasyonda da en düşük DPPH• radikali giderme aktivitesi kontrol yoğurdunda saptanmıştır. %0.1 ve %0.5 oranından kapsül içeren yoğurt örnekleri ise birbirine yakın aktivite göstermekle birlikte %0.5 oranında kapsül içeren yoğurt örneği kontrol yoğurduna kıyasla yüksek aktivite göstermiştir. Bu bulgular Kuprak ve FRAP tayini sonuçlarını desteklemektedir.



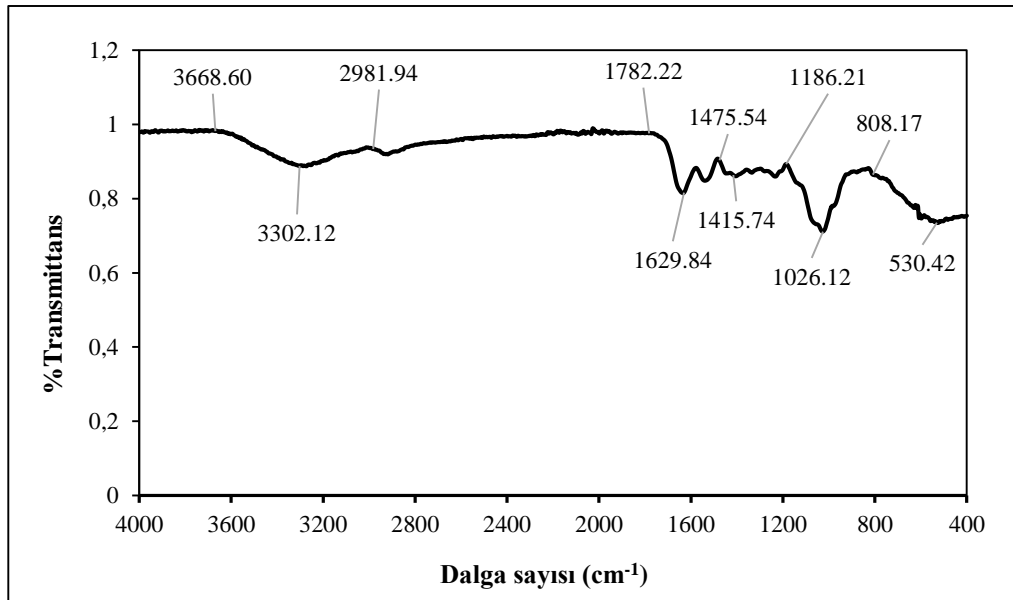
Şekil 4.14. Yoğurt örneklerinin farklı konsantrasyonlardaki (30 ve 50 µg/mL) 4. hafta DPPH tayini sonuçları

Yoğurt örneklerinin 4.haftadaki DPPH• radikal giderme aktiviteleri Şekil 4.14'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, en yüksek aktivite %0.5 oranında kapsül ilave edilen yoğurt örneğinde saptanırken en düşük aktivite kontrol yoğurt örneğinde saptanmıştır.

4.3. Amarant Mikro Yeşillik Özütü Kapsüllerinin FTIR Analizi Sonuçları

Şekil 4.15'te verilen kapsüllerin FTIR analiz sonuçları incelendiğinde, spektrumda yer alan 3668.60 ve 3302.12 cm^{-1} 'de bulunan geniş bant OH ve NH gruplarındaki gerilmeleri göstermektedir. OH titreşimleri amarant mikro yeşillikleri özütünün içerdiği polifenoller, flavanoidler ve diğer antioksidan aktiviteye sahip hidroksil grubu içeren bileşiklerle ilişkilidir. Ayrıca sığır jelatini ve arap zamkı, hidrojen bağları aracılığıyla su tutma kapasitesini artırmaktadır. Bu bağlamda piklerin genişliği hidrojen bağlarının varlığına işaret etmektedir. Bununla birlikte, sığır jelatini kolajen protein türevi olduğu için NH titreşimleri jelatin yapısındaki amin gruplarından kaynaklanmaktadır. 2981.94 cm^{-1} 'deki CH titreşimleri, jelatin ve arap zamkında bulunan alifatik hidrokarbon zincirlerinden kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda özütün içerdiği yağ asitleri veya diğer organik bileşikler de bu piki etkilemektedir. 1782.22 cm^{-1} 'deki C=O gerilmeleri,

jelatindeki protein yapısındaki amid I grubundan kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu pik, arap zamkındaki karbonhidrat yapıların esterleşmiş kısımlarından da kaynaklanabilmektedir. Sonuç olarak bu pik enkapsülasyon sırasında jelatin ve arap zamkı arasındaki etkileşimleri göstermektedir. 1629.84 cm^{-1} deki C=C titreşimleri, amarant özütündeki aromatik polifenollerden kaynaklanabilmektedir. Bu pik, özütün biyolojik aktif bileşenlerini yansıtmaktadır. 1475.54 ve 1415.74 cm^{-1} deki CH_2 ve CH_3 bükülme titreşimleri, jelatin ve arap zamkının alifatik kısımlarından gelmektedir. Aynı zamanda özütte bulunana organik bileşikler de bu piklere katkıda bulunabilmektedir. 1026.12 cm^{-1} deki C-O gerilmeleri, arap zamkının yapısındaki polisakkaritlerin glikozidik bağlarını yansıtmaktadır. Jelatin ve arap zamkı arasındaki etkileşimler ile enkapsülasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca özütün içerdiği fenolik bileşiklerin C-OH bağları da bu pikte etkili olmaktadır. 530.42 cm^{-1} deki ağır atomlar arası titreşimler (metal-oksijen bağları), özütte doğal olarak bulunan eser metaller varsa onların varlığını gösterebilmektedir (Cengiz ve ark., 2018; Çağlar, 2022).

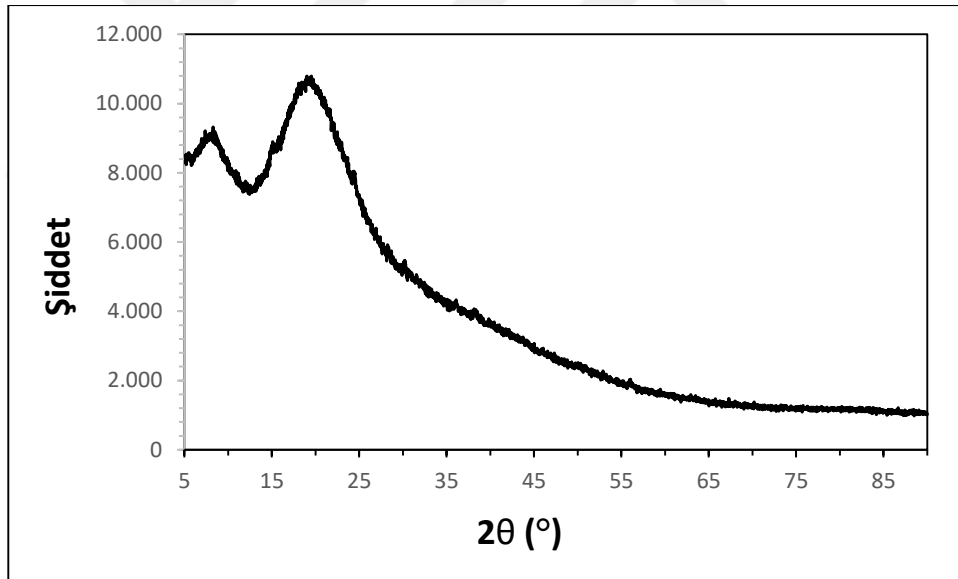


Şekil 4.15. Amarant mikro yeşillik özütü kapsüllerinin FTIR analizi sonuçları

Sonuç olarak, amarant mikro yeşillik özütünün antioksidan özellikleri FTIR analiziyle desteklenmiştir. Polifenoller ve flavonoidler gibi biyolojik aktif bileşenlerin varlığı spektrumdaki O-H, C=C ve C-O pikleriyle belirginleşmiştir. Ayrıca jelatin ve arap zıncığı arasındaki hidrojen bağları kapsül stabilitesine katkıda bulunmaktadır. Spektrumdaki amid (C=O) ve polisakkarit (C-O) pikleri enkapsülasyon materyalinin kimyasal özelliklerini ortaya koymaktadır. FTIR spektrumu, enkapsülasyon işleminin başarılı olduğunu göstermektedir. Jelatin, arap zıncığı ve özüt bileşenleri arasında fizikokimyasal etkileşimler sağlanmıştır.

4.4. Amarant Mikro Yeşillik Özütü Kapsüllerinin XRD Analizi Sonuçları

Amarant mikro yeşillik özütü kapsüllerinin XRD analizi sonuçları Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. Amarant mikro yeşillik özütü kapsüllerinin XRD analizi sonuçları

Grafik incelendiğinde keskin zirveler yerine geniş ve düşük şiddetli (özellikle 10° – 35°) bir dağılım görülmüştür. Bu, amarant mikro yeşillik özütündeki amorf yapıya işaret etmektedir. 10° – 30° aralığında bulunan geniş tepe, organik bileşiklerin veya biyopolimerlerin tipik XRD desenine uygun olduğunu göstermiştir. Bu tür bir yayılım,

karbonhidratlar, proteinler ve diğ er biyolojik makro bileşiklerle ilişkilendirilebilmektedir (Çağlar, 2022).

4.5. Yoğurt Örneklerindeki Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Görünür büyümeyi engellemek için gerekli olan en düşük antibakteriyel veya antifungal ajan konsantrasyonu (MIC) ve minimum bakteri öldürücü konsantrasyon (MBC) etkisini belirlemede *E. coli* ve *S. aureus* suşları kullanılmıştır. Ancak bu mikroorganizmalarda CLSI standartlarına göre test edilen konsantrasyonlarda herhangi bir etki gözlemlenmemiştir.

4.6. Yoğurt Örneklerindeki Kolorimetrik Analiz Sonuçları

Yapılan çalışmada yoğurt örneklerinin renk değişimi 3.10'da anlatıldığı gibi, 4 haftalık depolama süreci boyunca L*, a* ve b* niteliklerine göre değerlendirilmiştir ve analiz sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Yoğurt örneklerinin depolama süresince kolorimetrik değerleri

Parametreler	Örnek türü	Depolama süresi (hafta)			
		1	2	3	4
L-değeri	Kontrol	52.45	55.1725	57.2175	61.3575
	%0.1	51.9475	55.765	52.7	57.785
	%0.5	52.925	55.3625	54.6675	59.9225
a-değeri	Kontrol	-9.0225	-17.88	-23.795	-34.4075
	%0.1	-6.6575	-17.74	-12.6225	-24.5725
	%0.5	-8.0125	-17.0525	-16.825	-30.63
b-değeri	Kontrol	9.9825	3.8425	1.06	1.41
	%0.1	1.9425	-1.0775	1.045	0.5675
	%0.5	-1.8175	-1.0175	-0.0675	0.5075

Tablo 4.2'deki sonuçlar incelendiğinde 4 haftalık depolama süreci boyunca L-değeri ve a-değeri için gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmazken ($p>0.05$), b-değeri için kontrol ve %0.5 oranında kapsül içeren yoğurt örneği arasında anlamlı bir fark

bulunmaktadır ($p < 0.05$). Bu doğrultuda aralarında anlamlı bir fark olmamakla birlikte, kontrol yoğurdun ve %0.5 oranında kapsül ilave edilen yoğurt örneklerinin L^* değerleri incelendiğinde beyazlığın zamanla arttığı gözlemlenirken, a^* değerlerinin zamanla azaldığı yani yeşilliğin arttığı gözlemlenmektedir. Öte yandan 1.haftadaki b^* değerleri incelendiğinde kontrol yoğurdun renginin sarımsı olduğu, %0.5 oranında kapsül içeren yoğurdun ise mavimsi olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, kapsül ilavesinin yoğurttaki beyazlığı ve yeşilliği etkilemediğini ancak sarılığı etkilediğini göstermektedir.

4.7. Yoğurt Örneklerindeki Duyusal Analiz Sonuçları

Yapılan çalışmada 3.11’de anlatıldığı gibi panelistlerin yoğurt örneklerini renk, koku, kıvam, tat ve genel kabul edilebilirlik açısından 1’den 10’a kadar (çok kötüden çok iyiye) puanlayarak duyusal olarak değerlendirilmesi istenmiştir. Duyusal analiz sonucundaki yoğurt örneklerinin ‘Koku’, ‘Tat-Aroma’, ‘Kıvam’, ‘Renk’ ve ‘Genel kabul edilebilirlik’ parametrelerindeki ortalama puanları Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3. Yoğurt örneklerinin duyusal analiz sonuçları

Duyusal analiz	Kontrol	%0.1	%0.5	p değeri
Koku	7.8	7.3	7.6	0.527*
Tat-Aroma	7.4	7.8	7.6	0.858*
Kıvam	5.7	4.5	4.5	0.385*
Renk	8.4	8.0	7.9	0.780*
Genel kabul edilebilirlik	7.4	7.0	7.1	0.837*

* $p > 0.05$

Tablo 4.3 incelendiğinde koku parametresi açısından kontrol yoğurdun ortalama puanı 7.8 iken %0.5 oranında kapsül içeren yoğurdun ortalama puanı 7.6 dır. Buradan kapsül ilavesinin yoğurttaki kokuyu önemli ölçüde etkilemediği anlaşılmaktadır. Yoğurt

örnekleri tat parametresi açısından değerlendirildiğinde %0.1 oranında kapsül içeren yoğurt örneğinin kontrol yoğurdun ortalama puanından 0.4 puan fazla olduğu görülmektedir. Diğer taraftan kıvam parametresinin diğer parametrelere kıyasla daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedeninin, yoğurt örneklerinin UHT sütle hazırlanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yoğurt örneklerinin renk parametreleri incelendiğinde %0.1 ve %0.5 oranında kapsül ilaveli yoğurtların renginin iyi olduğu ancak kontrol yoğurdunun ortalama puanından sırasıyla 0.4 ve 0.5 puan düşük olduğu görülmektedir. Benzer şekilde yoğurt örnekleri genel kabul edilebilirlik açısından değerlendirildiğinde %0.1 ve %0.5 oranında kapsül ilaveli yoğurtların genel kabul edilebilirliğinin iyi olduğu ancak kontrol yoğurdunun ortalama puanından sırasıyla 0.4 ve 0.3 puan düşük olduğu görülmektedir.

5. TARTIŞMA

Enkapsülasyon teknolojisinin gıda endüstrisinde kullanımı son yıllarda fonksiyonel besinlere olan ilginin artmasıyla birlikte giderek artmaktadır (Đorđević ve ark., 2015). Besin ve besin bileşenlerinden çoğunlukla antioksidanlar, vitaminler, mineraller, proteinler, yağ asitleri, enzimler, probiyotikler ve prebiyotikler, organik asitler, esansiyel yağlar, karotenoidler, aroma vericiler, koruyucular, renklendiriciler, tatlandırıcılar enkapsüle edilmektedir (Nazzaro ve ark., 2012). Kapsüllenen bu bileşenler nem, pH, sıcaklık gibi çevresel faktörlerden etkilenmediği için daha uzun süre muhafaza edilebilmektedir (Tutun & Yurdakul, 2022). Kapsülleme teknolojisinde biyoaktif bileşenlerin besinlere eklenmesi, besinlere eklenen bileşenlerin ise çevresel faktörlere, işleme koşullarına veya gastrointestinal koşullara karşı korunması, kötü tat, renk ve kokuların maskelenmesi, oksidatif reaksiyonların kontrol edilmesi ve fonksiyonel besinlerin geliştirilmesi hedeflenmektedir (Burgain ve ark., 2011).

Mikro yeşillik fikri ilk olarak Kaliforniya'nın San Francisco şehrinde 80'lerin sonunda ortaya çıkmıştır. O zamandan beri dünyanın en iyi restoranlarında ve lüks marketlerinde artan bir popülerite göstermiştir. Popüleriteleri canlı renklerinden, hassas yapılarından, garnitür olarak lezzet artırıcı özelliklerinden ve yüksek vitamin, mineral ve fitokimyasal içeriklerinden kaynaklanmaktadır (Kyriacou ve ark., 2016). Özellikle mikro yeşilliklerin vitamin, mineral ve biyoaktif bileşikler (askorbik asit, tokoferol, karotenoidler, folat, tokotrienoller, filokinonlar, antosiyaninler, glukosinolatlar vb.) açısından zengin olması nedeniyle bu yeşillikler ilaç ve gıda endüstrisinde dikkate değer bir önem taşımaktadır (Bhaswant ve ark., 2023). Genellikle salatalarda, çorbalarda, sandviçlerde, tatlılarda ve içeceklerde; tat, renk, doku ve lezzeti geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Aynı zamanda özel yemekleri, salataları ve içecekleri süslemek için yenilebilir bir garnitür olarak da kullanılabilir (Işık ve ark., 2022).

Zengin besin içeriğinden dolayı tüketicilerin amaranta olan ilgisi son zamanlarda giderek artmaktadır. Amarantın kalsiyum, fosfor ve magnezyum açısından zengin olduğu, önemli seviyede yağ ve diyet lifi içerdiği ancak nişasta içeriğinin düşük olduğu bildirilmektedir (Caselato-Sousa & Amaya-Farfán, 2012). Bununla birlikte, amarant birçok tahıla kıyasla daha yüksek oranda protein, lizin, kalsiyum, demir ve fosfor içerirken daha düşük oranda karbonhidrat içermektedir (Anu Rastogi & Sudhir Shukla, 2012; Caselato-Sousa & Amaya-Farfán, 2012). Amarant yapraklarının diğer yeşil yapraklı sebzelere kıyasla daha yüksek oranda antioksidan içerdiği belirtilmektedir. Provitamin A ve demir için iyi bir kaynak olduğu ifade edilen amarantın tohum ve yapraklarının p-kumarik asit, siringik asit ve gallik asit gibi fenolik bileşikleri ve flavonoidleri içerdiği bildirilmektedir (Kraujalis ve ark., 2013; Paško ve ark., 2008). Öte yandan başka bir çalışmada olgun amarantın, filizlerinden ve mikro yeşilliklerinden daha yüksek oranda protein, Fe, C vitamini, β -karoten, violaxanthin ve lutein içerdiği bildirilirken mikro yeşilliklerin filizlere kıyasla daha yüksek oranda α -karoten, β -karoten, violaxanthin, lutein ve neoxanthin içeriğine sahip olduğu bildirilmektedir (Ebert ve ark., 2015).

Araştırmamızda amarant mikro yeşilliklerinin sığır jelatini ve arap zamkı kullanılarak enkapsüle edilmesiyle çevresel faktörlere karşı stabilitesinin sağlanması, terapötik yararlarından faydalanılması ve biyoyararlanımının artırılması amaçlanmıştır. Aynı zamanda elde edilen kapsüller yoğurda ilave edilerek fonksiyonel besin geliştirilmesi, yoğurdun tüketiminin ve besin değerinin artırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmada; amarant mikro yeşillikleri sığır jelatini ve arap zamkı kullanılarak kapsüllenmiş, elde edilen kapsüller yoğurda ilave edilerek fonksiyonel yoğurt geliştirilmiştir. Sade yoğurt ve kapsül ilaveli yoğurt örnekleri hazırlanmış ve bütün

yoğurt örneklerinin kimyasal, antioksidan, mikrobiyolojik ve duysal analizleri yapılmıştır.

Literatürde mikro yeşilliklerin kapsüllendiği çalışmalar sınırlı olmakla birlikte birçok besin ve biyoaktif bileşimin farklı enkapsülasyon yöntemleriyle ve farklı kaplama materyalleriyle kapsüllendiği çalışmalar bulunmaktadır (Marcillo-Parra ve ark., 2021; Nair & Lekshmi, 2020).

Nair ve Lekshmi (2020) yaptıkları çalışmada, kaplama materyali olarak kalsiyum ve aljinat kullanarak iyonotropik jelleşme ve ardından liyofilizasyon yöntemleriyle *Vigna radiata* mikro yeşilliklerini kapsüllemişlerdir. Sonuç olarak, daha uzun raf ömrüne ve sürekli salım özelliğine sahip mikro kapsüllerin elde edildiği gösterilmektedir. Dolayısıyla bu teknoloji ile geliştirilen mikro kapsüllerin yapay takviyelerin yerini alarak sağlık riskini azaltabilecek doğal, biyolojik olarak parçalanabilir ve vitaminle zenginleştirilmiş besin takviyelerine dönüştürmek için uygulanabilir bir mekanizma olduğu bildirilmektedir (Nair & Lekshmi, 2020).

Yoğurt, besleyici ve terapötik özellikleri sebebiyle dünya genelinde tüketilen en popüler fermente süt ürünleri arasında bulunmaktadır. Bu fermente süt ürününün yüksek miktarda doğal besin bileşeni sağlaması, probiyotik suşlar ve diğer laktik asit bakterileri ile mikroflorayı iyileştirmesi sebebiyle insan sağlığında çok sayıda öneme sahip olduğu bildirilmektedir (Fazilah ve ark., 2018). Bununla birlikte, yoğurt kullanımının gıda patojenlerine karşı daha fazla tolerans sağladığı, laktoz ve temel minerallerin emilimini artırdığı ve bağışıklık sistemini iyileştirdiği bildirilmektedir (Meybodi ve ark., 2020). Aynı zamanda tüketiciler tarafından hoş olmayan çok ekşi bir tada ve taneli/kumlu bir dokuya sahip olduğu düşünülen yoğurdun duysal, reolojik ve fizikokimyasal özelliklerini iyileştirmek ve besinsel değerini artırmak için çeşitli simbiyotik veya biyoaktif aktivitelere sahip bileşenler eklenmektedir (Adinepour ve ark., 2022; Fazilah ve

ark., 2018; Yadav ve ark., 2018). Literatür incelendiğinde; emülsifikasyon yöntemiyle kapsüllenmiş hurma poleni ile zenginleştirilmiş yoğurt (El-Kholy ve ark., 2019), iyonik jelleşme ile kapsüllenmiş hibiskus özütü ilaveli yoğurt (de Moura ve ark., 2019), sprey kurutma yöntemiyle kapsüllenmiş üzüm çekirdeği özütü ilaveli yoğurt (Yadav ve ark., 2018), ekstrüzyon yöntemiyle kapsüllenmiş havuç atığı özütü ilaveli yoğurt (Šeregelj ve ark., 2021), kitosan kaplı lipozomlarda vişne özütü ile birleştirilmiş karıştırılmış tip yoğurt (Akgün ve ark., 2020), nano emülsiyon yöntemiyle kapsüllenmiş ısırgan otu özütü ilaveli Doogh (geleneksel İran yoğurt içeceği) (Amiri ve ark., 2021), kırmızı biber atıklarından kapsüllenmiş doğal biyoaktif bileşiklerle zenginleştirilmiş yoğurt (Šeregelj ve ark., 2019) ve nano kapsüllenmiş balık yağı ile zenginleştirilmiş yoğurt (Ghorbanzade ve ark., 2017) çalışmalarına rastlanmaktadır. Ancak amarant mikro yeşilliklerinin enkapsüle edilerek yoğurda ilave edildiği bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada enkapsüle edilmiş amarant mikro yeşillikleri ilave edilmiş yoğurt örnekleri geliştirilmiş ve çeşitli analizler yapılmıştır.

Yoğurdun pH değerinin depolama sırasında güvenliğini ve kalitesini değerlendirmek için belirleyici bir parametre olduğu belirtilmektedir. Ürün güvenliğini sağlamak, optimum tat ve dokuyu korumak için asitliğin ve pH'nın düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir (Kowaleski ve ark., 2020).

Šeregelj ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, kontrol yoğurdun pH değerinin 4.4 olarak belirlendiği ve depolama süresi boyunca pH değerinde artış olduğu gözlemlenmektedir (Šeregelj ve ark., 2021). Diğer taraftan Yadav ve ark. (2018) yaptığı çalışmada kontrol yoğurdunun pH'sının ilk gün 4.49 olarak ölçüldüğü 21. depolama günü 3.96 olarak ölçüldüğü görülmektedir. Aynı zamanda üzüm çekirdeği özütü kapsülleri ilave edilmiş yoğurdun pH'sının kontrol grubuyla benzer şekilde depolama süresi boyunca azalma gösterdiği belirtilmektedir (Yadav ve ark., 2018). Yadav ve ark. (2018)

yaptıkları çalışmanın sonuçları, yaptığımız çalışmanın bulgularıyla benzerlik göstermektedir. Depolama süreci boyunca laktik asit bakterilerinin laktozu laktik asite parçalamaları sonucu artan laktik asit miktarı pH'nın düşmesine sebep olmaktadır. Bununla birlikte, Najgebauer-Lejko ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada çay polifenolleriyle desteklenen yoğurt örneklerinin pH değerlerinin kontrol yoğurdu için belirlenen ortalama değerden 0.09-0.15 birim daha düşük olduğu bildirilmektedir (Najgebauer-Lejko ve ark., 2011).

Yoğurt örneklerinin tümünde titrasyon asitliği % laktik asit cinsinden %0.72 ile %1.03 arasında hesaplanmıştır. Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği'nde (Tebliğ No: 2022/44) yoğurdun en az kütlece % 0.6 en fazla % 1.5 oranında laktik asit içermesi istenmektedir. Bu çalışmada geliştirilen bütün yoğurt örnekleri istenilen oranı sağlamaktadır.

Hamed ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, ilk gün bütün yoğurt örneklerinin titrasyon asitliğinin laktik asit cinsinden %0.77-%0.82 aralığında olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte, depolama süresi boyunca asitliğin arttığı görülmektedir. Aynı zamanda en yüksek asitlik değerini serbest balık yağı ile güçlendirilmiş yoğurt örneğinde gözlemlenirken en düşük asitlik değerini balık yağı nanoemülsiyonu ile güçlendirilmiş yoğurt örneğinde gözlemlendiği belirtilmektedir. Bu sonuçlar nanoemülsiyon takviyesinin yoğurdun stabilitesini artırdığını göstermektedir. Bu durum, nanoemülsiyondaki yağ damlacıklarının yağ ve hava veya yağ ve oksijen arasındaki kimyasal tepkimeleri azaltabilen bir yüzey aktif madde tabakasıyla kaplı olduğu varsayımıyla yorumlanabilmektedir (Hamed ve ark., 2019). Benzer şekilde Zhong ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, sade yoğurt örneğinin serbest balık yağı ile zenginleştirilmiş yoğurt örneğine kıyasla daha yüksek asitlik gösterdiği, balık yağı/γ-orizanol nanoemülsiyonla güçlendirilmiş yoğurt örneğinin ise 21 günlük depolama süresi boyunca

sade yoğurt ve serbest balık yağı içeren yoğurttan daha iyi asitlik değerleri gösterdiği bildirilmektedir (Zhong ve ark., 2018).

Yoğurt örneklerinin antioksidan aktivite sonuçları incelendiğinde en yüksek antioksidan aktiviteyi kapsül ilaveli yoğurt örneklerinin sergilediği saptanmıştır. Kuprak tayininin 3 ve 4. haftalardaki sonuçlarına göre %0.5 oranında kapsül ilaveli yoğurt örnekleri kontrol yoğurda kıyasla 2-3 kat daha fazla antioksidan aktivite göstermiştir. Uygulanan antioksidan analiz sonuçlarına göre, enkapsülasyon yönteminin depolama süresi uzasa bile antioksidan aktiviteyi koruduğu belirlenmiştir.

Amiri ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, kaplama malzemesi olarak Tween 20 ve tere tohumu zankı kullanarak ısırğan özütü yüklü nano emülsiyon üretmişler ve bir İran geleneksel yoğurt içeceği olan Doogh'a ilave etmişlerdir. Doogh örneklerinin antioksidan kapasitesi 21 günlük depolama süreci boyunca DPPH ve FRAP analizleri ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak nanokapsüllenmiş özütle zenginleştirilmiş örneklerin diğer örneklere kıyasla daha yüksek antioksidan aktivite gösterdiği bildirilmektedir (Amiri ve ark., 2021).

Tavakoli ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, antimikrobiyal ve antioksidan özellikleriyle bilinen fenolik bileşikler ve oleuropein açısından zengin bir kaynak olan zeytin yaprağı özütünü etanol enjeksiyon yöntemiyle kapsülleyerek nanolipozomlar üretmişler ve bu nanolipozomlarla yüklü yoğurt örnekleri hazırlamışlardır. Hazırlanan yoğurt örneklerinin antioksidan aktiviteleri farklı depolama günlerinde DPPH tayini ile belirlenmiştir. Serbest ve kapsüllenmiş zeytin yaprağı özütü içeren yoğurt örneklerinin antioksidan aktivitesinin sade yoğurda göre önemli oranda yüksek olduğu saptanmaktadır. Aynı zamanda kapsüllenmiş özütle zenginleştirilmiş yoğurt örneklerinin serbest formdaki özütle zenginleştirilmiş yoğurt örnekleriyle benzer antioksidan aktivite gösterdiği, ancak depolamanın ilk günü kapsül ilaveli yoğurdun radikal temizleme

kapasitesinin serbest formdan biraz daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Bununla birlikte serbest özütle zenginleştirilmiş yoğurdun antioksidan aktivitesinin, zamanla fenolik bileşiklerin yıkımı ve fermentasyonla birlikte laktik asit bakterilerinin etkisi sebebiyle azalan bir eğilim göstermektedir. Nanolipozomal ağıdan fenolik bileşiklerin kontrollü salınımı sebebiyle nanolipozomal fenolikler içeren yoğurt örneklerinin antioksidan kapasitelerinin zaman içinde arttığı görülmektedir (Tavakoli ve ark., 2018). Bu sonuçlar yaptığımız antioksidan bulgularıyla uyumludur. Çalışmamızdaki Kuprak, FRAP ve DPPH tayini sonuçlarına göre depolama süresi arttıkça kontrol yoğurdun antioksidan aktivitesi azalmakta, kapsül ilaveli yoğurt örneklerinin ise antioksidan aktivitesi zamanla artmaktadır.

Yadav ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, sütün fermentasyonundan önce %1 oranında eklenen kapsüllenmiş ve kapsüllenmemiş üzüm çekirdeği özütüyle hazırlanan yoğurdun fizikokimyasal özellikleri, toplam fenolik içeriği ve antioksidan aktivitesi üzerine etkileri araştırılmaktadır. Kapsüllenmiş üzüm çekirdeği ile hazırlanmış yoğurdun antioksidan kapasitesinin DPPH analiz sonuçlarına göre kontrol yoğurda kıyasla dört kat arttığı gözlemlenmektedir. Kapsüllenmemiş özütle hazırlanan yoğurdun antioksidan kapasitesinin diğer iki yoğurt örneğine kıyasla daha yüksek olduğu ve depolama süresi boyunca kapsüllenmiş yoğurttan önemli ölçüde farklı olduğu saptanmaktadır. Bu durumun yoğurdun su özütünde bulunan serbest toplam fenolik içeriğinin yüksek olmasından kaynaklandığı varsayılmaktadır. Bununla birlikte kapsüllenmemiş özütle hazırlanan yoğurdun antioksidan aktivitesinin depolamanın 6.gününden sonra önemli ölçüde azaldığı ve depolama sürecinde benzer bir eğilim gösterdiği bildirilmektedir (Yadav ve ark., 2018).

Taksima ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, 4 haftalık depolama sırasında aljinat-kitosan damlacıklarında kapsüllenmiş astaksantin özelliğini incelemeyi ve bu

kapsüllerle hazırlanan yoğurt örneklerinin tüketici kabul edilebilirliğini ve duyuşal profilini değerlendirmeyi amaçlamaktadırlar. Çalışmanın antioksidan aktivite analizleri incelendiğinde kullanılan büt konsantrasyonlardaki aljinat-kitosan damlacıklarındaki astaksantin ilaveli yoğurt örneklerinin, 4 haftalık depolama süresi boyunca kontrol yoğurda kıyasla daha yüksek DPPH• radikal temizleme aktivitesi gösterdiği gözlemlenmektedir. Kontrol yoğurdun temizleme aktivitesinin %65.1'den %13.01'e düştüğü ve bunun da 4 haftalık depolama süresi sonunda %80'lik bir azalmaya denk geldiği bildirilmektedir. En yüksek antioksidan aktivitenin ise aljinattan (1.2g/100mL) ve kitosandan (1.0g/100mL) geliştirilen astaksantin ilaveli yoğurt örneklerinde görüldüğü ve depolama sonunda sadece %22.3 oranında azalma gözlemlendiği bildirilmektedir. 4 haftalık depolama süresi sonunda kontrol hariç büt örneklerin %50'den fazla DPPH• serbest radikal giderme aktivitesi gösterdiği gözlemlenmektedir. Sonuçlar, astaksantin bir radikali nötraleze edebilen eşleşmemiş bir elektronu soyutlayarak veya eşleşmemiş elektronlara elektron vererek birincil bir antioksidan işlevi gördüğünü doğrulamaktadır. Ferröz metal iyonu şelatlama aktivitesi sonuçlarına bakıldığında DPPH• serbest radikal giderme aktivitesine benzer bir eğilim gösterdiği gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, kontrol yoğurdu da dahil olmak üzere büt yoğurt örneklerinin başlangıç şelatlama aktivitesinin %40'tan daha az olduğu ve şelatlama aktivitesinin depolama süresinin sonuna kadar devam ettiği bildirilmektedir. Aljinattan (1.2g/100mL) ve kitosandan (1.0g/100mL) yapılan damlacıkların diğer kombinasyonlara kıyasla astaksantini korumakta uygun koşulu sağladığı belirtilmektedir (Taksima ve ark., 2015).

Amarant mikro yeşillik özütü kapsüllerinin XRD analizi sonuçlarına göre, amarant mikro yeşillik özütünün büyük ölçüde amorf bir yapıya sahip olduğu ve yüksek oranda organik bileşikler içerdiği saptanmıştır. Ayrıca FTIR spektrumu, enkapsülasyon işleminin başarılı olduğunu göstermiştir. Jelatin, Arap zankı ve özüt bileşenleri arasında

fizikokimyasal etkileşimler sağlanmıştır. Bununla birlikte, FTIR analiziyle amarant mikro yeşillik özütünün antioksidan özellikleri desteklenmiştir.

Šeregelj ve ark. (2019) kırmızıbiber atıklarıyla yaptıkları çalışmanın FTIR spektrum sonuçlarına göre 3394 cm^{-1} 'deki (OH grupları) ve 2922 cm^{-1} 'deki (C-H bağlı) bantlar karotenoidlerle ilişkili bantları gösterirken 1737 cm^{-1} 'deki (C=O) ve 1400 cm^{-1} (C-H bağlı) civarındaki bantlar zayıf bantları göstermektedir. Bununla birlikte, kapsüllemenin ardından kırmızıbiber atığı özütüyle ilgili bantlar peynir altı suyu proteini izolatu ve ayçiçeği yağından gelen bantlarla örtüşmektedir. Bu durum, kapsülleme için kullanılan taşıyıcı malzemelerin (peynir altı suyu proteini izolatu ve ayçiçeği yağı) iyi oranını göstermektedir. Bu da kırmızıbiber özütü bileşenleri etrafında yeterli bir koruma oluşumuna yol açmaktadır (Šeregelj ve ark., 2019).

Yoğurt örneklerinin mikrobiyolojik analizlerine göre, görünür büyümeyi engellemek için gerekli olan en düşük antibakteriyel veya antifungal ajan konsantrasyonu (MIC) ve minimum bakteri öldürücü konsantrasyon (MBC) için CLSI standartlarına göre test edilen konsantrasyonlarda *E.coli* ve *S.aureus* varlığı tespit edilmemiştir. Bu durumun yoğurdun antimikrobiyal özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yoğurttaki laktik asit bakterilerinin pH seviyesini düşürerek, hücre zarları boyunca proton transferini önleyerek ve disosiyasyon olmamış organik asitlerin metabolik inhibisyonunu sağlayarak antimikrobiyal aktivite gösterdiği belirtilmektedir (Keskin & Bozdoğan, 2019). Aynı zamanda ürettikleri bakteriyosinler, organik asitler, antifungal bileşikler ve çeşitli antagonist bileşikler sayesinde yoğurta patojen mikroorganizmaların gelişmesini önleyerek antimikrobiyal etkiler gösterdiği ve bu özellikleri sayesinde laktik asit bakterilerinin doğal koruyucu oldukları ve gıda biyokoruyucu ajan olarak iş gördükleri bildirilmektedir (Abd El-Gawad ve ark., 2014; Keskin & Bozdoğan; Öztürk, 2019).

Šeregelj ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, kullanımdan önce hazırlanan havuç atığı özütünün, kapsülün, aljinatın ve yoğurdun mikrobiyolojik profilleri test edilmiştir. Bu doğrultuda *Salmonella*'nın, *Listeria monocytogenes*'in, *Staphylococcus aureus*'un, *Enterobacteriaceae*'nin, mezofilik ve aerobik bakteriler ile maya ve küflerin varlığı standart yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, havuç atığı özütünün kapsülleme işlemi için güvenli olduğu ve ayrıca havuç atığı kapsüllerinde mikrobiyolojik kontaminasyonun tespit edilmediği bildirilmiştir. Bununla birlikte, kontrol yoğurdun tüketim için uygun bir mikrobiyolojik profile sahip olduğu belirtilmektedir (Šeregelj ve ark., 2021).

El-Kholy ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, hurma poleni ile farklı şekillerde zenginleştirilmiş yoğurt örneklerinde Lactobacilli sp. sayıları ile maya ve küflerin varlığı araştırılmıştır. Sonuç olarak 15 günlük depolama süreci boyunca örneklerde maya ve küf tespit edilmediği bildirilmiştir (El-Kholy ve ark., 2019).

Yoğurt örneklerinin kolorimetrik analiz sonuçları incelendiğinde, kapsül ilavesinin yoğurttaki beyazlığı ve yeşilliği etkilemediği ancak sarılığı etkilediği saptanmıştır.

Tan ve ark. (2018) yaptıkları çalışmanın renk analiz sonuçları incelendiğinde, kontrol yoğurdun ve tokotrienol kapsülleri eklenmiş yoğurt örneklerinin beyazlığında (L*) minimal değişim gözlemlenirken, yağ ilave edilmiş yoğurdun beyazlığında zamanla azalma gözlemlenmektedir. Kazein misel ve yağ kürecikleri gibi kolloidal parçacıklar, ışığı dağıtma yetenekleri sebebiyle yoğurttaki gözle görülebilir beyaz görünüme katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda, ışık saçan parçacıkların pH düşüşüyle birlikte yapısal değişikliklere uğramaları yoğurdun renginin pH değişimlerinden etkilenmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla yağ ilaveli yoğurta gözlemlenen renk farkı yoğurttaki asit miktarının artmasına bağlanmaktadır. Öte yandan hem tokotrienol ilave edilmiş yoğurt

hem de orijinal yoğurt örneklerinde gözlemlenen ihmal edilebilir değişikliklerle birlikte bir miktar sarılık görülürken doğrudan yağ ilaveli yoğurt örneklerinde daha yüksek bir sarılık görülmektedir. Buna bağlı olarak yoğurda doğrudan yağ ilavesi yerine tokotrienol mikrokapsüllerinin ilave edilmesi yoğurdun orijinal rengini korumada daha iyi olacağı öne sürülmektedir (Tan ve ark., 2018).

Yadav ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, kapsüllenmemiş ve kapsüllenmiş üzüm çekirdeği özütü ile zenginleştirilmiş yoğurt örneklerinin 3 haftalık depolama süreci boyunca renk değişimini değerlendirmektedir. Sonuç olarak kontrol yoğurdun L, a ve b değerlerinin kapsüllenmiş özütle hazırlanan yoğurda göre anlamlı bir fark olmadığı ($p>0.05$) ancak kapsüllenmemiş özütle hazırlanan yoğurda kıyasla anlamlı bir fark olduğu ($p<0.05$) bildirilmektedir. Bu sonuca göre, üzüm çekirdeği özütünün kapsüllemesi yoğurdun rengini koruyarak renk özelliklerinin kontrol yoğurda yaklaştığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, örneklerin a değeri ölçümleri incelendiğinde kapsüllenmemiş özüt ilaveli yoğurdun ($a=0.36$) kapsüllenmiş özütle zenginleştirilmiş yoğurda ($a=-0.58$) göre daha koyu ve daha kırmızı ($a>0$) olduğu görülmektedir. Aynı zamanda iki yoğurt örneğinin 21 günlük depolama süresince renk parametrelerine bakıldığında, kapsüllenmemiş özütü yoğurt örneğinin koyu kahverengi veya kırmızımsı rengini koruduğu gözlemlenmektedir (Yadav ve ark., 2018).

Taksima ve ark. (2015) yaptıkları çalışmanın duyu analizi sonuçları incelendiğinde astaksantin kapsülleri içeren yoğurt örneklerinin özellikle tat ve ağızda bıraktığı his açısından kontrol yoğurduna verilen puanlara kıyasla önemli ölçüde daha düşük puanlar aldığı görülmektedir. Tat kabul edilebilirliğindeki (5.70) ve ağız hissi kabul edilebilirliğindeki (5.81) azalmaların astaksantin verdiği acılık sebebiyle olduğu bildirilmektedir (Taksima ve ark., 2015).

Amiri ve ark. (2021) yaptıkları çalışmanın duyusal analizleri incelendiğinde panelistlerin Doogh örneklerinin renk ve görünüm göstergelerinde değişiklik tespit etmediğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, serbest ısırgan otu özütü ilave edilen Doogh örneklerinin diğer örneklere kıyasla tat karakteristiği açısından daha düşük puan aldığı görülmektedir. Bu durumun ısırgan otunun fitokimyasal bileşimine atfedilen acı, tuzlu ve büzücü duyusal profillerinden kaynaklandığı bildirilmektedir. Diğer taraftan nanoemülsiyonla zenginleştirilmiş Doogh örneklerinin serbest ısırgan otu özütü ilaveli örneklere kıyasla daha yüksek puan alması, nanokapsüllerin Doogh'taki ısırgan otu özütünün yoğun tadını nispeten maskeleyebildiğini ve bunun fonksiyonel bir madde olarak kullanımını kolaylaştırabileceğini göstermektedir (Amiri ve ark., 2021). Benzer şekilde Tavakoli ve ark. (2018) yaptıkları çalışmanın duyusal analiz sonuçlarına göre genel kabul edilebilirlik, tat ve renk açısından en yüksek puan kontrol yoğurduna verilirken en düşük puan serbest formdaki özüt içeren örneğe verilmiştir. Zeytin yaprağı özütünün tirozol, hidroksitirozol ve oleuropein dahil olmak üzere keskin bir tat uyandıran fenoliklerin varlığından dolayı acı bir tada sahip olduğu bildirilmektedir. Dolayısıyla bu bileşiğin serbest halde yoğurda eklenmesi, genel kabul edilebilirlik, tat ve renk özelliklerini azaltmaktadır. Ancak nanolipozom içeren örneklerin, zeytin yaprağı özütünün istenmeyen özelliklerini (tat ve renk) en aza indirme işlevi gösterdiği bildirilmektedir. Aynı zamanda elde edilen sonuçlara bakıldığında doku açısından en yüksek puanı nanolipozomlarla zenginleştirilmiş yoğurt örneklerinin aldığı görülmektedir. Buna göre formülasyondaki lesitin, yoğurt oluşumunda suyu başarıyla emerek yoğurdun dokusunun kalitesini artırdığı belirtilmektedir. Aksine, serbest zeytin yaprağı özütünün, yoğurdun sıvı içeriğini artırarak genel kalitesini düşürdüğü bildirilmektedir (Tavakoli ve ark., 2018).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında amarant mikro yeşilliği ekstraktı, sığır jelatini ve arap zankı kullanılarak enkapsüle edilmiştir. Oluşturulan kapsüller FTIR ve XRD analizleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Amarant mikro yeşillik özütü kapsüllerinin XRD analizi sonuçlarına göre, amarant mikro yeşillik özütünün büyük ölçüde amorf bir yapıya sahip olduğu ve yüksek oranda organik bileşikler içerdiği saptanmıştır. FTIR analizi bulgularına göre ise kapsüllerin başarılı bir şekilde oluşturulduğu belirlenmiştir.

Elde edilen kapsüllerle kapsül ilaveli 2 farklı yoğurt örneği geliştirilmiş ve kontrol olarak sade yoğurt kullanılmıştır. Geliştirilen bütün yoğurt örnekleri 4 hafta boyunca depolanmış ve örneklerin pH ve asitlik analizleri, antioksidan aktivite analizleri (Kuprak, FRAP, DPPH serbest radikali giderme aktivitesi analizi), mikrobiyolojik analizleri, kolorimetrik analizleri ve duyu analizleri yapılmıştır.

Yapılan pH ve asitlik analizleri sonucunda depolama süresi arttıkça bütün örneklerde pH değerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca kapsül ilaveli yoğurt örneklerinin pH değerlerinin kontrole göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, 4 haftalık depolama süresi boyunca pH azalırken asitliğin arttığı tespit edilmiştir.

Bütün antioksidan aktivite sonuçları incelendiğinde en yüksek antioksidan aktiviteyi kapsül ilaveli yoğurt örneklerinin sergilediği saptanmıştır. Ayrıca depolama süresi arttıkça kontrol yoğurdunda antioksidan aktivite azalırken kapsül ilaveli yoğurt örneklerinde artmıştır. Kuprak tayininin 3 ve 4. haftalardaki sonuçlarına göre %0.5 oranında kapsül ilaveli yoğurt örnekleri kontrol yoğurda kıyasla 2-3 kat daha fazla antioksidan aktivite göstermiştir. Uygulanan antioksidan analiz sonuçlarına göre, enkapsülasyon yönteminin depolama süresi uzasa bile antioksidan aktiviteyi koruduğu belirlenmiştir.

Yoğurt örneklerinin mikrobiyolojik analizlerine göre, görünür büyümeyi

engellemek için gerekli olan en düşük antibakteriyel veya antifungal ajan konsantrasyonu (MIC) ve minimum bakteri öldürücü konsantrasyon (MBC) için CLSI standartlarına göre test edilen konsantrasyonlarda *E.coli* ve *S.aureus* varlığı tespit edilmemiştir.

Yoğurt örneklerinin kolorimetrik analiz sonuçları incelendiğinde, kapsül ilavesinin yoğurttaki beyazlığı ve yeşilliği etkilemediği ancak sarılığı etkilediği saptanmıştır.

Yoğurt örneklerinin duyu analizi sonuçlarına göre, %0.1 oranında kapsül ilaveli yoğurt örneği kontrol yoğurda kıyasla tat parametresi açısından daha yüksek puan almış ve daha çok beğenilmiştir.

Araştırma sonucunda, amarant mikro yeşillik ekstraktının kapsüllenecek yoğurda ilave edilmesi ile amarant mikro yeşilliklerinin içerdiği biyoaktif bileşenlerin çevresel koşullara karşı stabilliğinin korunması sağlanmış ve böylece sağlığa yararlı etkilerinden faydalanılmıştır. Ayrıca yoğurdun besin değeri artırılarak antioksidan aktivitesi yüksek, mikrobiyolojik olarak güvenli ve panelistler tarafından genel olarak kabul görmüş fonksiyonel bir besin elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Abd El-Gawad, I., El-Sayed, E., El-Zeini, H., Hafez, S., & Saleh, F. (2014). Antibacterial activity of probiotic yoghurt and soy-yoghurt against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of Nutrition and Food Sciences*, 4, 1-6. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000303>
- Abedi, A. S., Rismanchi, M., Shahdoostkhany, M., Mohammadi, A., & Hosseini, H. (2016). Microencapsulation of Nigella sativa seeds oil containing thymoquinone by spray-drying for functional yogurt production. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(10), 2280-2289. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13208>
- Adinepour, F., Pouramin, S., Rashidinejad, A., & Jafari, S. M. (2022). Fortification/enrichment of milk and dairy products by encapsulated bioactive ingredients. *Food Research International*, 157, 111212. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111212>
- Akgün, D., Gültekin-Özgülven, M., Yücepete, A., Altin, G., Gibis, M., Weiss, J., & Özçelik, B. (2020). Stirred-type yoghurt incorporated with sour cherry extract in chitosan-coated liposomes. *Food Hydrocolloids*, 101, 105532. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105532>
- Albayrak, S., Sağdıç, O., & Aksoy, A. (2010). Bitkisel ürünlerin ve gıdaların antioksidan kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 26(4), 401-409. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/236232>
- Altay, Ö., Köprüalan, Ö., İlter, I., Koç, M., Ertekin, F. K., & Jafari, S. M. (2024). Spray drying encapsulation of essential oils; process efficiency, formulation strategies, and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(4), 1139-1157. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2113364>

- Altın, G. (2016). Fortification of Ayran (Drinking Yoghurt) With Encapsulated Cocoa Hull Waste Extract by Nano-Liposomal Systems, Shelf Life and Bioaccessibility Studies. <https://core.ac.uk/download/pdf/159403903.pdf>
- Amiri, Z. R., Nematı, A., Tirgarian, B., Dehghan, B., & Nasiri, H. (2021). Influence of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) extract-loaded nano-emulsion on the storage stability and antioxidant attributes of Doogh (Traditional Iranian yoghurt beverage). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 437-448. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00647-2>
- Anu Rastogi, A. R., & Sudhir Shukla, S. S. (2012). Amaranth: a new millennium crop of nutraceutical values.
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 7970-7981. <https://doi.org/10.1021/jf048741x>
- Arendt, E. K., & Zannini, E. (2013). *Cereal grains for the food and beverage industries*. Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857098924>
- Arshad, H., Ali, T. M., Abbas, T., & Hasnain, A. (2018). Effect of microencapsulation on antimicrobial and antioxidant activity of nutmeg oleoresin using mixtures of gum arabic, osa, and native sorghum starch. *Starch-Stärke*, 70(7-8), 1700320. <https://doi.org/10.1002/star.201700320>
- Atak, E., Yıldız, E., & Uslu, M. E. (2017). Fenolik bileşiklerin enkapsülasyonu. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2(24), 82-92. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/395643>

- Ateş, M. (2018). Nanoparçacıkların ölçme ve inceleme teknikleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11(1), 63-69. <https://doi.org/10.29067/muvu.372874>
- Barbosa, M. S., Todorov, S. D., Jurkiewicz, C. H., & Franco, B. D. (2015). Bacteriocin production by *Lactobacillus curvatus* MBSa2 entrapped in calcium alginate during ripening of salami for control of *Listeria monocytogenes*. *Food control*, 47, 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.07.005>
- Barrio, D. A., & Añón, M. C. (2010). Potential antitumor properties of a protein isolate obtained from the seeds of *Amaranthus mantegazzianus*. *European journal of nutrition*, 49, 73-82. <https://doi.org/10.1007/s00394-009-0051-9>
- Becker, R., Wheeler, E., Lorenz, K., Stafford, A., Grosjean, O., Betschart, A., & Saunders, R. (1981). A compositional study of amaranth grain. *Journal of food science*, 46(4), 1175-1180. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1981.tb03018.x>
- Bhaswant, M., Shanmugam, D. K., Miyazawa, T., Abe, C., & Miyazawa, T. (2023). Microgreens: a comprehensive review of bioactive molecules and health benefits. *Molecules*, 28(2), 867. <https://doi.org/10.3390/molecules28020867>
- Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1199-1200. <https://doi.org/10.1038/1811199a0>
- Boz, H. (2013). *Amaranthus* spp: kimyasal bileşimi ve fırın ürünlerinde kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(2), 147-154. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ziraatuludag/issue/16762/174291>
- Burgain, J., Gaiani, C., Linder, M., & Scher, J. (2011). Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. *Journal of Food Engineering*, 104(4), 467-483. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031>
- Bursal, E., Köksal, E., Gülçin, İ., Bilsel, G., & Gören, A. C. (2013). Antioxidant activity and polyphenol content of cherry stem (*Cerasus avium* L.) determined by LC-

- MS/MS. *Food Research International*, 51(1), 66-74.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.022>
- Büyüksırt, T., & Kuleaşan, H. (2014). Fourier dönüştümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve gıda analizlerinde kullanımı. *Gıda*, 39(4), 235-241.
<https://dergipark.org.tr/en/pub/gida/issue/6967/92893>
- Caselato-Sousa, V. M., & Amaya-Farfán, J. (2012). State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review. *Journal of Food Science*, 77(4), R93-R104.
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02645.x>
- Cazarin, C. B. B., Chang, Y. K., Depieri, M., Carneiro, E. M., de Souza, A. S., & Amaya-Farfán, J. (2012). Amaranth grain brings health benefits to young normolipidemic rats. *Food and Public Health*, 2(5), 178-183.
<https://doi.org/10.5923/j.fph.20120205.09>
- Celik, H., Kucukoglu, K., Nadaroglu, H., & Senol, M. (2014). Evaluation of antioxidant, antiradicalic and antimicrobial activities of kernel date (*Fructus dactylus*). *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 8(2), 993-1002.
- Cengiz, Ö. F., Erkale, İ., Özkayalar, S., Aksoy, S. A., & Boyacı, B. (2018). Nano çinko oksit takviyeli jelatin/arap zamkı ve kitosan/arap zamkından üretilen ve n-oktadekan içeren mikrokapsüllerin karakterizasyonu ve tekstil uygulaması. *Tekstil ve Mühendis*, 25(110), 86-95.
<https://doi.org/10.7216/1300759920182511003>
- Cheng, S. Y., Yuen, M. C. W., Kan, C. W., Cheuk, K. K. L., Chui, C. H., & Lam, K. H. (2009). Cosmetic textiles with biological benefits: Gelatin microcapsules containing Vitamin C. *International Journal of Molecular Medicine*, 24(4), 411-419. https://doi.org/10.3892/ijmm_00000247

- Choe, U., Yu, L. L., & Wang, T. T. (2018). The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century. *Journal of Agricultural And Food Chemistry*, 66(44), 11519-11530. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03096>
- Choudhury, N., Meghwal, M., & Das, K. (2021). Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers*, 2(4), 426-442. <https://doi.org/10.1002/fft2.94>
- Conforti, F., Statti, G., Loizzo, M. R., Sacchetti, G., Poli, F., & Menichini, F. (2005). In vitro antioxidant effect and inhibition of α -amylase of two varieties of *Amaranthus caudatus* seeds. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 28(6), 1098-1102. <https://doi.org/10.1248/bpb.28.1098>
- Coronel-Aguilera, C. P., & San Martín-González, M. F. (2015). Encapsulation of spray dried β -carotene emulsion by fluidized bed coating technology. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 187-193. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.036>
- Corzo, L., Fernández-Novoa, L., Carrera, I., Martínez, O., Rodríguez, S., Alejo, R., & Cacabelos, R. (2020). Nutrition, health, and disease: Role of selected marine and vegetal nutraceuticals. *Nutrients*, 12(3), 747. <https://doi.org/10.3390/nu12030747>
- Çağlar, Ş. (2022). *Kompleks Koaservasyon yöntemi ile Sığla (Liquidambar Orientalis Miller) yağının jelatin ve Arap Zamkı ile mikroenkapsülasyonu* (Tez No. 775862) [Y.lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- de Moura, S. C., Schettini, G. N., Garcia, A. O., Gallina, D. A., Alvim, I. D., & Hubinger, M. D. (2019). Stability of hibiscus extract encapsulated by ionic gelation incorporated in yogurt. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 1500-1515. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02308-9>

- de Vos, P., Faas, M. M., Spasojevic, M., & Sikkema, J. (2010). Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. *International Dairy Journal*, 20(4), 292-302. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.11.008>
- Desai, M. P., Labhassetwar, V., Walter, E., Levy, R. J., & Amidon, G. L. (1997). The mechanism of uptake of biodegradable microparticles in Caco-2 cells is size dependent. *Pharmaceutical Research*, 14, 1568-1573. <https://doi.org/10.1023/A:1012126301290>
- Di Bella, M. C., Niklas, A., Toscano, S., Picchi, V., Romano, D., Lo Scalzo, R., & Branca, F. (2020). Morphometric characteristics, polyphenols and ascorbic acid variation in Brassica oleracea L. novel foods: Sprouts, microgreens and baby leaves. *Agronomy*, 10(6), 782. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060782>
- Di Gioia, F., Mininni, C., & Santamaria, P. How to grow microgreens Cómo cultivar micro-hortalizas. 1. *Micro-ortaggi, agro-biodiversità e sicurezza alimentare*, 51.
- Di Gioia, F., Renna, M., & Santamaria, P. (2017). Sprouts, microgreens and “baby leaf” vegetables. *Minimally Processed Refrigerated Fruits And Vegetables*, 403-432. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7018-6_11
- Đorđević, V., Balanč, B., Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Trifković, K., Kalušević, A., Kostić, I., Komes, D., Bugarski, B., & Nedović, V. (2015). Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Food Engineering Reviews*, 7, 452-490. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9106-7>
- Dubey, R., Shami, T., & Rao, K. (2009). Microencapsulation technology and applications. *Defence Science Journal*, 59(1), 82-95.

- Durmuş, Y. (2015). *Glutensiz tarhana üretiminde hidrokolloid kullanımının kalite üzerine etkisi* (Tez No. 382875) [Y.lisans tezi, Ordu Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Ebert, A., Wu, T., & Yang, R. (2015). Amaranth sprouts and microgreens-a homestead vegetable production option to enhance food and nutrition security in the rural-urban continuum.
- Ebert, A. W. (2022). Sprouts and microgreens—novel food sources for healthy diets. *Plants*, 11(4), 571. <https://doi.org/10.3390/plants11040571>
- El-Kader, A., & Abu Hashish, H. (2020). Encapsulation techniques of food bioproduct. *Egyptian Journal of Chemistry*, 63(5), 1881-1909. https://journals.ekb.eg/article_53684.html
- El-Kholy, W. M., Soliman, T. N., & Darwish, A. M. G. (2019). Evaluation of date palm pollen (*Phoenix dactylifera* L.) encapsulation, impact on the nutritional and functional properties of fortified yoghurt. *PLoS One*, 14(10), e0222789. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222789>
- Ergun, M., Ozbay, N., Osmanoğlu, A., & Çalkır, A. (2014). Sebze ve tahıl olarak amarant (*Amarant* spp) bitkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 4(3), 21-28. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/417221>
- Ezhilarasi, P., Karthik, P., Chhanwal, N., & Anandharamakrishnan, C. (2013). Nanoencapsulation techniques for food bioactive components: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 628-647. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0944-0>
- Fang, X., Kikuchi, S., Shima, M., Kadata, M., Tsuno, T., & Adachi, S. (2006). Suppressive effect of alkyl ferulate on the oxidation of microencapsulated linoleic acid. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108(2), 97-102. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200500258>

- Fazilah, N. F., Ariff, A. B., Khayat, M. E., Rios-Solis, L., & Halim, M. (2018). Influence of probiotics, prebiotics, synbiotics and bioactive phytochemicals on the formulation of functional yogurt. *Journal of Functional Foods*, *48*, 387-399. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.07.039>
- Gahruie, H. H., Eskandari, M. H., Mesbahi, G., & Hanifpour, M. A. (2015). Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review. *Food Science and Human Wellness*, *4*(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.03.002>
- Ghorbanzade, T., Jafari, S. M., Akhavan, S., & Hadavi, R. (2017). Nano-encapsulation of fish oil in nano-liposomes and its application in fortification of yogurt. *Food Chemistry*, *216*, 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.022>
- Gul, K., Singh, A., & Jabeen, R. (2016). Nutraceuticals and functional foods: the foods for the future world. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *56*(16), 2617-2627. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.903384>
- Guo, L., Yang, R., Wang, Z., Guo, Q., & Gu, Z. (2014). Glucoraphanin, sulforaphane and myrosinase activity in germinating broccoli sprouts as affected by growth temperature and plant organs. *Journal of Functional Foods*, *9*, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.015>
- Hamed, S. F., Soliman, T. N., Hassan, L. K., & Abo-Elwafa, G. (2019). Preparation of functional yogurt fortified with fish oil-in-water nanoemulsion. *Egyptian Journal of Chemistry*, *62*(Special Issue (Part 1) Innovation in Chemistry), 301-314. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2019.18621.2149>
- Ho, B. T., Joyce, D. C., & Bhandari, B. R. (2011). Encapsulation of ethylene gas into α -cyclodextrin and characterisation of the inclusion complexes. *Food Chemistry*, *127*(2), 572-580. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.043>

- Huang, Q., Yu, H., & Ru, Q. (2010). Bioavailability and delivery of nutraceuticals using nanotechnology. *Journal of Food Science*, 75(1), R50-R57. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01457.x>
- Işık, S., Işık, H., Aytemiş, Z., Güner, S., Aksoy, A., Çetin, B., & Topalcengiz, Z. (2022). Mikroyeşillikler: besinsel içeriği, sağlık üzerine etkisi, üretimi ve gıda güvenliği. *Gıda*, 47(4), 630-649. <https://doi.org/10.15237/gida.GD22041>
- Kehinde, B. A., Rafiq, S., & Dar, B. (2023). Phytochemical composition, nutraceutical, and techno-functional attributes of attributes of amaranth (*Amaranthus cruentus*). *Nutri-Cereals: Nutraceutical and Techno-Functional Potential*. <https://doi.org/10.1201/9781003251279-12>
- Keskin, D., & Bozdoğan, B. Biologic preservation methods for used meats. *International Journal of Applied Biology and Environmental Science (IJABES)*, 2(2), 7-13. <https://doi.org/10.5505/ijabes.2020.87597>
- Keskin, D., & Bozdoğan, B. (2019). Etlerin korunmasında kullanılan kimyasal yöntemler. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 231-236. <https://doi.org/10.25308/aduziraat.552371>
- Kılıç, G. B., & Karahan, A. G. (2010). Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve laktik asit bakterilerinin tanısında kullanılması. *Gıda*, 35(6), 445-452. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/78517>
- Kılınççeker, O., & Büyük, G. (2019). Amaranth *amaranthus* spp'ın bazı özellikleri ve et ürünlerinde kullanımı. *Adyutayam Dergisi*, 7(2), 36-42. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1673158>
- Kopsell, D. A., & Sams, C. E. (2013). Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short-duration blue

- light from light emitting diodes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 138(1), 31-37. <https://doi.org/10.21273/JASHS.138.1.31>
- Kowaleski, J., Quast, L. B., Steffens, J., Lovato, F., dos Santos, L. R., da Silva, S. Z., de Souza, D. M., & Felicetti, M. A. (2020). Functional yogurt with strawberries and chia seeds. *Food Bioscience*, 37, 100726. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100726>
- Krasaekoopt, W., & Watcharapoka, S. (2014). Effect of addition of inulin and galactooligosaccharide on the survival of microencapsulated probiotics in alginate beads coated with chitosan in simulated digestive system, yogurt and fruit juice. *LWT-Food Science and Technology*, 57(2), 761-766. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.01.037>
- Kraujalis, P., Venskutonis, P. R., Kraujalienė, V., & Pukalskas, A. (2013). Antioxidant properties and preliminary evaluation of phytochemical composition of different anatomical parts of amaranth. *Plant foods for Human Nutrition*, 68, 322-328. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0375-8>
- Kyriacou, M. C., Roupael, Y., Di Gioia, F., Kyratzis, A., Serio, F., Renna, M., De Pascale, S., & Santamaria, P. (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.005>
- Liu, S., Low, N., & Nickerson, M. T. (2010). Entrapment of flaxseed oil within gelatin-gum arabic capsules. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87, 809-815. <https://doi.org/10.1007/s11746-010-1560-7>
- Lopez-Rubio, A., Gavara, R., & Lagaron, J. M. (2006). Bioactive packaging: turning foods into healthier foods through biomaterials. *Trends in Food Science & Technology*, 17(10), 567-575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.04.012>

- Marcillo-Parra, V., Tupuna-Yerovi, D. S., González, Z., & Ruales, J. (2021). Encapsulation of bioactive compounds from fruit and vegetable by-products for food application—A review. *Trends in Food Science & Technology*, *116*, 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.009>
- Matalanis, A., Jones, O. G., & McClements, D. J. (2011). Structured biopolymer-based delivery systems for encapsulation, protection, and release of lipophilic compounds. *Food Hydrocolloids*, *25*(8), 1865-1880. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.04.014>
- Mehmet, K. (2018). Sprey soğutma, enkapsülasyon, hidrojenize yağlar, vitaminler, enkapsülasyon etkinliği. *Food and Health*, *202*. <http://jfhs.scientificwebjournals.com/en/download/issue-full-file/35993#page=60>
- Meybodi, N. M., Mortazavian, A. M., Arab, M., & Nematollahi, A. (2020). Probiotic viability in yoghurt: A review of influential factors. *International Dairy Journal*, *109*, 104793. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104793>
- Mlakar, S. G., Turinek, M., Jakop, M., Bavec, M., & Bavec, F. (2010). Grain amaranth as an alternative and perspective crop in temperate climate. *Journal for Geography*, *5*(1), 135-145. <https://doi.org/10.18690/rg.5.1.4011>
- Murphy, C. J., Llorca, K. F., & Pill, W. G. (2010). Factors affecting the growth of microgreen table beet. *International Journal of Vegetable Science*, *16*(3), 253-266. <https://doi.org/10.1080/19315261003648241>
- Nair, B. R., & Lekshmi, G. (2020). Preparation, characterization and evaluation of a vitamin-enriched dietary supplement from *Vigna radiata* L. microgreens. *International Journal on Nutraceuticals, Functional Foods and Novel Foods*. <https://www.nutrafoods.eu/index.php/nutra/article/view/12/9>

- Najgebauer-Lejko, D., Sady, M., Grega, T., & Walczycka, M. (2011). The impact of tea supplementation on microflora, pH and antioxidant capacity of yoghurt. *International Dairy Journal*, 21(8), 568-574. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.03.003>
- Nazzaro, F., Orlando, P., Fratianni, F., & Coppola, R. (2012). Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 182-186. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.10.001>
- Ocak, B., Gülümser, G., & Baloğlu, E. (2011). Microencapsulation of Melaleuca alternifolia (tea tree) oil by using simple coacervation method. *Journal of Essential Oil Research*, 23(4), 58-65. <https://doi.org/10.1080/10412905.2011.9700470>
- Organization, F. A. A. (2011). *Milk and Milk Products*. Retrieved 20 Haziran from <https://www.fao.org/3/i2085e/i2085e00.pdf>
- Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics*, 44(6), 307-315. <https://doi.org/10.5264/eiyogakuzashi.44.307>
- Öztürk, E. (2019). *Farklı kaynaklardan izole edilen laktik asit bakterilerinin antimikrobiyal etkilerinin belirlenmesi* (Tez No. 533938) [Y.lisans tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Pal, J., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2002). Physicochemical properties of hydroxypropyl derivative from corn and amaranth starch. *Carbohydrate Polymers*, 48(1), 49-53. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00209-0](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00209-0)
- Paradiso, V. M., Castellino, M., Renna, M., Gattullo, C. E., Calasso, M., Terzano, R., Allegretta, I., Leoni, B., Caponio, F., & Santamaria, P. (2018). Nutritional

- characterization and shelf-life of packaged microgreens. *Food & function*, 9(11), 5629-5640. <https://doi.org/10.1039/C8FO01182F>
- Paško, P., Sajewicz, M., Gorinstein, S., & Zachwieja, Z. (2008). Analysis of selected phenolic acids and flavonoids in *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* seeds and sprouts by HPLC. *Acta Chromatographica*, 20(4), 661-672. <https://doi.org/10.1556/AChrom.20.2008.4.11>
- Pérez-Chabela, M. L., Lara-Labastida, R., Rodriguez-Huezo, E., & Totosaus, A. (2013). Effect of spray drying encapsulation of thermotolerant lactic acid bacteria on meat batters properties. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1505-1515. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0865-y>
- Pinto, E., Almeida, A. A., Aguiar, A. A., & Ferreira, I. M. (2015). Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. *Journal of Food Composition and Analysis*, 37, 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.06.018>
- Qi, M., Gu, Y., Sakata, N., Kim, D., Shirouzu, Y., Yamamoto, C., Hiura, A., Sumi, S., & Inoue, K. (2004). PVA hydrogel sheet macroencapsulation for the bioartificial pancreas. *Biomaterials*, 25(27), 5885-5892. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2004.01.050>
- Rahaiee, S., Assadpour, E., Esfanjani, A. F., Silva, A. S., & Jafari, S. M. (2020). Application of nano/microencapsulated phenolic compounds against cancer. *Advances in Colloid And Interface Science*, 279, 102153. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102153>
- Renna, M., Di Gioia, F., Leoni, B., Mininni, C., & Santamaria, P. (2017). Culinary assessment of self-produced microgreens as basic ingredients in sweet and savory

- dishes. *Journal of Culinary Science & Technology*, 15(2), 126-142.
<https://doi.org/10.1080/15428052.2016.1225534>
- Sagalowicz, L., & Leser, M. E. (2010). Delivery systems for liquid food products. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 15(1-2), 61-72.
<https://doi.org/10.1016/j.cocis.2009.12.003>
- Sanz-Penella, J. M., Wronkowska, M., Soral-Smietana, M., & Haros, M. (2013). Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 679-685.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.031>
- Šregelj, V., Pezo, L., Šovljanski, O., Lević, S., Nedović, V., Markov, S., Tomić, A., Čanadanović-Brunet, J., Vulić, J., & Šaponjac, V. T. (2021). New concept of fortified yogurt formulation with encapsulated carrot waste extract. *Lwt*, 138, 110732. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110732>
- Šregelj, V., Tumbas Šaponjac, V., Lević, S., Kalušević, A., Četković, G., Čanadanović-Brunet, J., Nedović, V., Stajčić, S., Vulić, J., & Vidaković, A. (2019). Application of encapsulated natural bioactive compounds from red pepper waste in yogurt. *Journal of Microencapsulation*, 36(8), 704-714.
<https://doi.org/10.1080/02652048.2019.1668488>
- Song, H., Yu, W., Gao, M., Liu, X., & Ma, X. (2013). Microencapsulated probiotics using emulsification technique coupled with internal or external gelation process. *Carbohydrate Polymers*, 96(1), 181-189.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.03.068>
- Sozer, N., & Kokini, J. L. (2009). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology*, 27(2), 82-89.
<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.10.010>

- Sun, J., Xiao, Z., Lin, L.-z., Lester, G. E., Wang, Q., Harnly, J. M., & Chen, P. (2013). Profiling polyphenols in five Brassica species microgreens by UHPLC-PDA-ESI/HRMS n. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*(46), 10960-10970. <https://doi.org/10.1021/jf401802n>
- Taksima, T., Limpawattana, M., & Klaypradit, W. (2015). Astaxanthin encapsulated in beads using ultrasonic atomizer and application in yogurt as evaluated by consumer sensory profile. *LWT-Food Science and Technology*, *62*(1), 431-437. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.011>
- Tan, P. Y., Tan, T. B., Chang, H. W., Tey, B. T., Chan, E. S., Lai, O. M., Baharin, B. S., Nehdi, I. A., & Tan, C. P. (2018). Effects of storage and yogurt matrix on the stability of tocotrienols encapsulated in chitosan-alginate microcapsules. *Food Chemistry*, *241*, 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.075>
- Tavakoli, H., Hosseini, O., Jafari, S. M., & Katouzian, I. (2018). Evaluation of physicochemical and antioxidant properties of yogurt enriched by olive leaf phenolics within nanoliposomes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *66*(35), 9231-9240. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02759>
- Tavares, L., & Noreña, C. P. Z. (2020). Encapsulation of ginger essential oil using complex coacervation method: Coacervate formation, rheological property, and physicochemical characterization. *Food and Bioprocess Technology*, *13*, 1405-1420. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02480-3>
- Timilsena, Y. P., Adhikari, R., Barrow, C. J., & Adhikari, B. (2017). Digestion behaviour of chia seed oil encapsulated in chia seed protein-gum complex coacervates. *Food Hydrocolloids*, *66*, 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.12.017>

- Timilsena, Y. P., Haque, M. A., & Adhikari, B. (2020). Encapsulation in the food industry: A brief historical overview to recent developments. *Food and Nutrition Sciences, 11*(6), 481-508. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.116035>
- Timilsena, Y. P., Vongsvivut, J., Tobin, M. J., Adhikari, R., Barrow, C., & Adhikari, B. (2019). Investigation of oil distribution in spray-dried chia seed oil microcapsules using synchrotron-FTIR microspectroscopy. *Food Chemistry, 275*, 457-466. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.043>
- Tutun, S., & Yurdakul, O. (2022). Enkapsülasyon ve gıda teknolojisinde kullanımı. *Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni, 13*(2), 99-119. <https://doi.org/10.38137/vftd.1096571>
- Vyas, A., Saraf, S., & Saraf, S. (2010). Encapsulation of cyclodextrin complexed simvastatin in chitosan nanocarriers: A novel technique for oral delivery. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry, 66*, 251-259. <https://doi.org/10.1007/s10847-009-9605-y>
- Venskutonis, P. R., & Kraujalis, P. (2013). Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: a review on composition, properties, and uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 12*(4), 381-412. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12021>
- Wang, J. C., Chen, S. H., & Xu, Z. C. (2008). Synthesis and properties research on the nanocapsulated capsaicin by simple coacervation method. *Journal of Dispersion Science and Technology, 29*(5), 687-695. <https://doi.org/10.1080/01932690701756651>
- Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., & Wang, Q. (2012). Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens.

Journal of agricultural and Food Chemistry, 60(31), 7644-7651.

<https://doi.org/10.1021/jf300459b>

Xiao, Z., Lester, G. E., Park, E., Saftner, R. A., Luo, Y., & Wang, Q. (2015). Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 140-148. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.021>


Yadav, K., Bajaj, R. K., Mandal, S., Saha, P., & Mann, B. (2018). Evaluation of total phenol content and antioxidant properties of encapsulated grape seed extract in yoghurt. *International Journal of Dairy Technology*, 71(1), 96-104. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12464>

Yüksel-Bilsel, A., & Şahin-Yeşilçubuk, N. (2019). Production of probiotic kefir fortified with encapsulated structured lipids and investigation of matrix effects by means of oxidation and in vitro digestion studies. *Food Chemistry*, 296, 17-22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.181>

Zhong, J., Yang, R., Cao, X., Liu, X., & Qin, X. (2018). Improved physicochemical properties of yogurt fortified with fish oil/ γ -oryzanol by nanoemulsion technology. *Molecules*, 23(1), 56. <https://doi.org/10.3390/molecules23010056>

EKLER

EK-1. Etik Bildirim ve İntihal Beyan Formu

	SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ Graduate School of Health Sciences	
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU¹		
Öğrencinin Adı ve Soyadı	Zeynep ÖZEN	
Öğrencinin Numarası		
Ana Bilim Dalı	Beslenme ve Diyetetik	
Öğrencinin Kayıtlı Olduğu Program Türü	Yüksek Lisans	
<p>Yukarıda bilgileri verilen tezin intihal tespit yazılımıyla (Turnitin) yapılan tarama sonucunda elde edilen benzerlik oranları aşağıdaki gibidir. Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi hâlde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.</p>		
Bölümler	Benzerlik Oranı	Maksimum Benzerlik Oranları
I. Giriş	% 3	% 3
II. Genel Bilgiler	% 10	% 6
III. Materyal ve Metod	% 18	% 21
IV. Bulgular	% 7	% 7
V. Tartışma	% 4	% 4
<p><i>Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'ten büyük olmaması gerekir.</i></p>		

EK-2. Etik Kurul Onay Formu



Atatürk Üniversitesi
Tıp Fakültesi

**GİRİŞİMSEL OLMAYAN
KLİNİK ARAŞTIRMALAR
ETİK KURULU**

Bölümü : Dekanlık
Servisi : Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu
Sayı : B.30.2.ATA.0.01.00/99
Konu : Etik Kurul Değişiklik Onayı Hk..

20.02.2024

Prof. Dr. Esen TAŞĞIN
Sağlık Bilimleri Fakültesi
Beslenme ve Diyetetik Bölümü
Öğretim Üyesi

İlgi: 05.02.2024 tarihli yazınız

İlgili yazınıza istinaden “Enkapsüle Edilmiş Amaranat Mikro Yeşillikleri Ekstresi ile Zenginleştirilmiş Yoğurdun Antioksidan, Mikrobiyolojik, Fizikokimyasal ve Duyusal Özelliklerinin Araştırılması” isimli bilimsel tez çalışmanızla ilgili değişiklikler etik kurulumuz tarafından uygun görülmüştür.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim

EK-3. Duyusal Değerlendirme Formu

DUYUSAL DEĞERLENDİRME FORMU

Panelistin Adı Soyadı:

Yaşı:

Tarih:

Eğitim durumu:

Farklı yoğurt örneklerini aşağıdaki kalite parametreleri açısından değerlendiriniz.

Açıklamalar:

- **Koku analizi:** Önce kontrol örneğini değerlendiriniz. Değerlendirmeler arasında, destile suyu kokladıktan sonra, diğer yoğurt örneklerinin koku analizini yapınız.
- **Tat analizi:** Önce kontrol örneğini değerlendiriniz. Tadım arasında, ağzınızı destile su ile çalkalayıp, çubuk kraker yiyerek ağzınızdaki yağ tadını gideriniz.
- **Kıvam analizi:** Önce kontrol örneğini değerlendiriniz. Yoğurt örneklerinin kıvamlarını ağzınıza alarak değerlendiriniz. Tadımlar arasında, ağzınızı destile su ile çalkalayınız. Gerekli görmeniz durumunda, çubuk kraker yiyebilirsiniz.
- **Renk analizi:** Önce kontrol örneğinin rengini değerlendirdikten sonra, diğer yoğurt örneklerinin renklerini kontrol örneğinin rengi ile kıyaslayınız.
- **Genel Kabul Edilebilirlik analizi:** Önce kontrol örneğinin kabul edilebilirliğini değerlendirdikten sonra, diğer yoğurt örneklerinin kabul edilebilirliklerini kontrol örneği ile kıyaslayınız.
- **Yoğurt örnekleri için yorumunuz:**

Kalite Parametreleri	Kontrol	Örnek 1	Örnek 2
Koku			
Tat-Aroma			
Kıvam			
Renk			
Genel Kabul Edilebilirlik			
Puan değerleri ile ilgili açıklamalar			9-10 Çok iyi 7-8 İyi 5-6 Orta 3-4 Kötü 1-2 Çok kötü
Düşünceleriniz			