



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI DUVAR MATERYALLERİ İLE
ENKAPSÜLE EDİLEN SÜS ELMASI (*Malus
floribunda*) ANTOSİYANİNLERİNİN MEYVELİ
YOĞURTTA KULLANILABİLİRLİĞİ VE
DEPOLAMA STABİLİTESİNİN BELİRLENMESİ

Mehmet Akif KAYHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Akif KAYHAN tarafından hazırlanan “Farklı duvar materyalleri ile enkapsüle edilen süs elması (*malus floribunda*) antosiyaninlerinin meyveli yoğurta kullanılabilirliği ve depolama stabilitesinin belirlenmesi” adlı tez çalışması 06/10/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mehmet AKBULUT

Danışman

Prof. Dr. Mehmet AKBULUT

Üye

Doç. Dr. Hacer ÇOKLAR

Üye

Doç. Dr. Ayhan DURAN

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sait GEZGİN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Mehmet Akif KAYHAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI DUVAR MATERYALLERİ İLE ENKAPSÜLE EDİLEN SÜS ELMASI
(*Malus floribunda*) ANTOSİYANİNLERİNİN MEYVELİ YOĞURTTA
KULLANILABİLİRLİĞİ VE DEPOLAMA STABİLİTESİNİN BELİRLENMESİ

Mehmet Akif KAYHAN

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mehmet AKBULUT

2022, 44 sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Mehmet AKBULUT
Doç. Dr. Hacer ÇOKLAR
Doç. Dr. Ayhan DURAN**

Bu çalışmada, süs elması (*Malus floribunda*) suyu antosiyaninlerinin farklı duvar malzemeleri ile enkapsüle edilerek meyveli yoğurttaki kullanılabilirliğinin ve depolama stabilitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Süs elma antosiyaninlerini kapsüllemek için 3 farklı duvar malzemesi kullanıldı: maltodekstrin (MD), arap zımmı (GA) ve kayısı zımmı (KG). Daha sonra, enkapsüle edilmiş süs elma antosiyaninlerinin yoğurttaki stabilitesini belirlemek için numuneler +4 °C'de 13 gün saklanmış ve toplam antosiyanin ve fenolik madde içeriği, antioksidan aktivitesi ve viskozitesi depolamanın belirli periyotlarında numuneler alınarak belirlenmiştir. Depolama sırasında antosiyanin bozunmasının birinci derece reaksiyon kinetiğine göre geliştiği belirlenmiş ve buna göre hız sabiti (k) ve yarı ömür süresi hesaplanmıştır.

Enkapsüle edilen süs elması antosiyaninlerinde, toplam monomerik antosiyanin miktarı en fazla maltodekstrin ile enkapsüle edilmiş olanlarda bulunmuş olup, 1,76 mg/kg kadardır. Bu değeri sırasıyla diğer duvar materyalleri olan; gam arabik (1,61mg/kg) ve kayısı gamı (1,37mg/kg) izlemiştir. Enkapsüle edilerek yoğurttaki kullanılan süs elması antosiyaninlerinin depolama ile reaksiyon hız sabitleri sırası ile Kayısı gamı için 0.0263 gün⁻¹, maltodekstrin için 0.0243 gün⁻¹ ve gam arabik için ise 0.0173 gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır. En uzun yarı ömür süresi 40.058 gün olarak GA ile enkapsüle edilen ve yoğurttaki kullanılan süs elması antosiyaninlerinde hesaplanmıştır. Bunu sırası ile MD ve KG ile enkapsüle edilen süs elması antosiyaninleri izlemiştir. Örnekler kıyaslandığında kayısı gamı duvar materyali kullanılan örnekte, antioksidan aktivite en yüksek bulunmuştur. Bunu gam arabik ve maltodekstrin izlemiştir. Duvar materyali ile enkapsüle edilen yoğurt örnekleri incelendiğinde en yüksek L* değeri (parlaklık) maltodekstrin ve gam arabik ile enkapsüle edilen örneklerde belirlenmiş olup, aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bunları daha düşük L değerine sahip kayısı gamı takip etmiştir. a değeri olan yeşillik-kırmızılık parametresine bakıldığında ise en yüksek a değerini 5,60 ile kayısı gamı vermiştir. Bu değeri 4,24 ile maltodekstrin ve 4,11 değeri ile gam arabik takip etmiştir. En yüksek pH değeri, gam arabik kullanılan örnekte pH 3.58 olarak ölçülmüştür. Bu değeri pH 3,57 ile kayısı gamı, pH 3.50 ile maltodekstrin izlemiştir.

Anahtar Kelimeler: *Malus floribunda*, monomerik antosiyanin, antioksidan aktivite, enkapsülasyon, stabilite

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF USABILITY AND STORAGE STABILITY IN FRUIT YOGHURT OF CRAB APPLE (*Malus floribunda*) ANTHOCYANINS ENCAPSULATED BY DIFFERENT WALL MATERIALS

Mehmet Akif KAYHAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN FOOD ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Mehmet AKBULUT

2022, 44 Pages

Jury

Prof. Dr. Mehmet AKBULUT
Assoc. Prof. Dr. Hacer ÇOKLAR
Assoc. Prof. Dr. Ayhan DURAN

In this study, it was aimed to determine the usability in yogurt with fruit by encapsulating them with different wall materials and storage stability of crab apple (*Malus floribunda*) juice anthocyanins.

To encapsulate the crab apple anthocyanins, 3 different wall materials were used: maltodextrin (MD), gum arabic (GA) and apricot gum (KG). Then, to determine the stability of encapsulated crab apple anthocyanins in yogurt, the samples were stored at +4 °C for 13 days and the total anthocyanin and phenolic substance content, antioxidant activity and viscosity were determined by taking samples at certain periods of storage. It was determined that the anthocyanin degradation during storage developed in accordance with the first-degree reaction kinetics, and the rate constant (k) and half-life time were calculated accordingly.

In encapsulated crab apple anthocyanins, the total amount of monomeric anthocyanins was found the highest in those encapsulated with maltodextrin, and it was 1.76 mg/kg. This value was followed by wall materials such as gum arabic (1.61mg/kg) and apricot gum (1.37mg/kg), respectively. The reaction rate constants of the decomposition of crab apple anthocyanins, which are encapsulated and used in yoghurt during storage, were calculated as 0.0263 day⁻¹ for Apricot gum, 0.0243 day⁻¹ for maltodextrin and 0.0173 day⁻¹ for gum arabic, respectively. The longest half-life was calculated as 40.058 days for crab apple anthocyanins encapsulated with GA. This was followed by crab apple anthocyanins encapsulated by MD and KG, respectively. When the samples were compared, the antioxidant activity was highest in the sample using apricot gum wall material. This was followed by gum arabic and maltodextrin. When the yoghurt samples encapsulated with the wall material were examined, the highest L* value (brightness) was determined in the samples encapsulated with maltodextrin and gum arabic, and the difference between them was found to be statistically insignificant. These were followed by the apricot gum with lower L* value. Considering the green-redness parameter, which is a* value, the apricot gum gave the highest a value of 5.60. This value was followed by maltodextrin with 4.24 and gum arabic with 4.11. The highest pH value was measured as pH 3.58 in the sample using gum arabic. This value was followed by apricot gum with pH 3.57 and maltodextrin with pH 3.50.

Keywords: *Malus floribunda*, monomeric anthocyanin, antioxidant activity, encapsulation, stability.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın planlanması ve yürütülmesinde bana yol gösteren ve her daim desteğini hissettiğim danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet AKBULUT'a;

Bu süreçte gösterdikleri destek ve yardımlardan dolayı Doç. Dr. Hacer ÇOKLAR'a,

Meyve sebze laboratuvarında çalışmalarına yardımcı olan yüksek lisans ve doktora öğrencisi arkadaşlarıma,

Çalışmamın her aşamasında her türlü fedakarlığı gösteren anne ve babama, her konuda destek olan kardeşlerime ve eşime

Sonsuz teşekkür ederim.

Mehmet Akif KAYHAN
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1. Materyal.....	11
3.2. Analiz Yöntemleri	11
3.2.1. pH ve titrasyon asitliği.....	11
3.2.2. Renk tayini.....	12
3.2.3. Antioksidan aktivite (DPPH).....	12
3.2.4. Toplam fenolik madde.....	13
3.2.5. Toplam monomerik antosiyanin analizi	13
3.2.6. Kinetik parametreler	13
3.2.6.1.Reaksiyon hız sabitinin (k) hesaplanması	13
3.2.6.2. Yarılanma süresinin ($t_{1/2}$) hesaplanması	14
3.2.7. İstatiksel analiz	14
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	15
4.1. Toplam Monomerik Antosiyaninlerin Depolama ve Farklı Duvar Materyallerine Bağlı Olarak Değişimi	15
4.2. Depolama ile elde edilen kinetik parametreler	17
4.2.1. Reaksiyon hız sabiti (k)	17
4.2.2. Yarı ömür süresi ($t_{1/2}$)	20
4.3. Depolama ve Farklı Duvar Materyallerine Bağlı Olarak Toplam Fenolik Madde Miktarında ve Antioksidan Aktivitedeki Değişim	21
4.4. Depolama ve Duvar Materyallerine Bağlı Olarak Renk Parametrelerindeki Değişim (L^* , a^* , b^* , C ve h)	24
4.5. Depolama Süresi ve Duvar Materyallerine Bağlı Olarak pH ve Titrasyonun Değişimi	27
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	29
5.1 Sonuçlar	29
5.2 Öneriler.....	30

KAYNAKLAR..... 32

ÖZGEÇMİŞ..... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

k	: Reaksiyon hız sabiti
$t_{1/2}$: Yarılanma süresi
E_a	: Aktivasyon enerjisi
Q_{10}	: Sıcaklık katsayısı
T	: Sıcaklık (Kelvin)

Kısaltmalar

MD	: Maltodekstrin
GA	: Gam arabik
KG	: Kayısı gamı
Dak	: Dakika

1. GİRİŞ

Gıda ürünlerinin renklendirilmesi, yüzyıllardır gıda üreten fabrikalarda önemli bir zorlu bileşen olmuştur. Bu, bireylerin ve tüketicilerin zihniyetinden kaynaklanmaktadır. Tüketiciler, özellikle meyve ve sebzeler olmak üzere herhangi bir gıda ürünü veya hammaddesi için seçim yaparken kalite parametresi olarak çoğunlukla rengi kullanmışlardır. Eski günlerde, araştırmacılar, bazılarının insan sağlığı için yüksek risk taşıyan toksik maddelerin taşıyıcıları olduğunu keşfedene kadar, gıda boyaları olarak sentetik boyalar kullanılmıştır. Meyve ve sebzelerde antosiyaninler en doğal olarak oluşan pigmentlerdir. Antosiyaninler, meyve ve sebzelerde kırmızı, mor ve mavi renkten sorumlu olan doğal pigmentli flavonoidlerdir (Novotny ve ark., 2012). Dia ve ark., siyanidin, delphinidin, malvidin, pelargonidin, peonidin ve petunidin doğada iyi bilinen ve sık görülen antosiyaninlerdir (Dia ve ark., 2015).

Bitkilerin meyve ve çiçeklerinin renginden sorumlu olan antosiyaninler, tozlaşma için böceklerin çekilmesine ve meyveleri için insan dahil tüm hayvanların bitkilere yönelmesine yardımcı olur (Kong ve ark., 2003).

Antosiyaninler ayrıca sağlığa faydalı özellikleriyle de bilinir. Bu yararlanıcılar antidiyabetik, antioksidan ve antikanser etkileridir (Dia ve ark., 2015).

Antosiyaninlerin sağlığı teşvik eden diğer faydaları arasında oksidatif stresin giderilmesi, kardiyovasküler hastalıkların önlenmesi, anti-inflamatuar aktivite, obezitenin önlenmesi, göz görüşünün iyileştirilmesi ve antimikrobiyal aktivite yer alır (Fang ve Bhandari, 2010)

Farklı pH ortamlarında kırmızıdan maviye kadar geniş bir renk yelpazesi sergileyen antosiyaninlerin karakteristik özellikleri ve bolca olumlu sağlık özellikleri, onu sadece gıda sektöründe değil aynı zamanda tekstil, kozmetik ve ilaç sektöründe de en baskın doğal renklendiricilerden biri haline getirmiştir. Antosiyanin kaynaklarından bazıları elma, kiraz, incir, patlıcan, nar, şeftali, kıızılcık, üzüm vb.'dir (Delgado-Vargas ve ark., 2000)

Kırca ve ark. (2006)'ı siyah havuç antosiyaninlerini meyve suları ve nektarlarında doğal renklendirici olarak kullanmıştır. Wrolstad ve ark. (2005)'ı, gıda maddelerinin antosiyaninlerinin renk kalitesinin ve besin özelliklerinin, işleme ve depolama sırasında antosiyaninlerin bozunmasından büyük ölçüde etkilenebileceğini bildirmiştir. Bazı küçük varyasyonlarla birlikte toplam renk stabilizasyonu, ancak

antosiyenin yapılarına bağlı sinnamoil asit orijinininden daha fazla aromatik asit kalıntısı olduğunda başarılı olabilir (Brouillard ve ark., 2003).

Antosiyeninlerin düşük stabilitesi ve ilgili renkleri, enkapsülasyon yoluyla stabilitelelerini iyileştirmek için bir fikir ortaya atılmıştır. Çeşitli literatür çalışmalarında farklı antosiyenin kaynakları kapsüllenmiş ve renklendirici olarak kullanılmıştır (Fang ve Bhandari, 2010; Robert ve ark., 2010; Tonon ve ark., 2010; Jiménez-Aguilar ve ark., 2011).

Bu çalışmanın amacı, süs elması meyve antosiyeninlerinin maltodekstrin, kayısı gamı, gam arabik ve bunların kombinasyonları duvar materyalleri ile enkapsüle edilerek, antosiyeninlerin farklı duvar materyalleri ve farklı depolama sürelerinde stabilitesinin belirlenmesidir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Mısırlılar MÖ 400'e kadar şekerleme ve şaraplarda renklendirici maddeler kullanmışlardır. 1800'lerin sonlarında, renklendiricilerin düşük kaliteli gıdaların renklendirilmesi ve bazen de maskelenmesi için kullanıldığını gören gıda endüstrilerinde sentetik renklendiricilerin kullanımı hız kazanmıştır. 1900'lerin başında gıda endüstrisinde sentetik renklendiricilerin kullanımını kontrol etmek için toksik madde taşıyan sentetik renklendiricilerin kullanımı ile ilgili ceza yaptırımı çağrısında bulunulmuştur. Son yirmi yıldır tüketiciler, gıdalarının kaynağı ve içeriği konusunda daha bilinçli olup, tamamen doğal kaynaklardan elde edilen gıdaları tercih etmektedir. Tüketicilerin bu tutumu, gıda üretimindeki son gelişmelerde doğal renk katkı maddelerinin kullanımını arttırmıştır. Yasama organındaki tüketici koruma yasasının varlığı, tüketici taleplerini karşılamak için gıda endüstrisinde onaylanmış renklerin kalitesini ve istikrarını iyileştirmeye çalışan renk tedarikçilerini elinde tutmadır (Downham ve Collins, 2000).

Bilim insanları, mevcut olanları geliştirmek için yeni teknolojiler keşfetmeye devam etmektedirler. Doğal pigmentler, tüketicilerin ilgisini çekecek şekilde endüstride gıda ürünlerinin renklendirilmesinde kullanılacak tek renklendirici malzeme haline geldiğinden, bilimsel araştırmacılar doğal pigmentlerin kararsızlık sorunlarıyla mücadelede yardımcı olmak için 'enkapsülasyon' adı verilen yeni bir teknoloji ortaya çıkarmışlardır. Günümüzde enkapsülasyon teknolojisi, gıda sektöründeki büyük şirketlerde en yaygın kullanılan teknolojilerden biri haline gelmiştir.

Speranza ve ark. (2017)'ı enkapsülasyonu, aktif bir maddenin (lipit, aroma, antosiyanin, vitamin vb.) farklı boyutlarda (mikro, makro, nano) kapsüller üretmek için bir koruyucu malzeme (duvar malzemesi) içine alınarak dış etkenlerden korunması işlemi olarak tanımlamışlardır. Augustin ve Hemar, (2009) tarafından bildirildiği üzere, renk katkı maddeleri, vitaminler, proteinler, aromatik malzemeler, lipitler ve yağlar vb. gibi neredeyse tüm mevcut gıda bileşenlerinin enkapsülasyonda aktif çekirdek malzemeler olarak kullanıldığını görmektedir.

Doğal renklendirici olarak antosiyaninlere karşı artan ilgi, geniş renk yelpazesi ve sağlık yararlarından kaynaklanmaktadır. Antosiyaninlerin gıda, kozmetik ve ilaç endüstrisinde geniş kullanım potansiyeli olmasına rağmen, düşük ekstraksiyon verimleri ve göreceli kararsızlıkları nedeniyle uygulamaları sınırlı kalmıştır (Castañeda-Ovando ve ark., 2009). Doğada, antosiyaninler son derece kararsızdır ve enzimler, pH, sıcaklık, ışık, oksijen, metal iyonları gibi dış faktörler tarafından kolayca bozunmaya eğilimlidirler (Wu ve ark., 2018). Bu sorun, insan diyetine eklendiğinde antosiyaninlerin sağlığı geliştirici etkilerine rağmen, gıda üreticilerini antosiyaninleri gıda formülasyonuna dahil etmekten alıkoymuştur. Antosiyaninlerin kararsızlık sorununu gidermek için araştırmacılar tarafından farklı meyve ve sebzelerden elde edilen antosiyaninlerine enkapsülasyon uygulanmıştır (Rein, 2005, Bilek ve ark., 2017).

Gilaburu (*Viburnum opulus* L.) meyvelerinin biyolojik özellikleri, meyvede bulunan antosiyaninlere atfedilmektedir. Yapılan bir araştırmada meyvelerin su ve etanol ekstraktları 2, 37 ve 75 °C'de ışıksız ortamda 7 gün süreyle depolanmış, pH değeri 3 ve 7'de antosiyanin stabilitesi araştırılmıştır. 75 °C depolama sıcaklığı ve pH = 7 altındaki sulu ekstrakt, sabit oran (0.3488 h^{-1}) ve yarı ömür (1.98 saat) ile antosiyaninlerin en düşük stabilitesini göstermiştir. Toplam antosiyanin içeriği ve saklama süresinin, 0.9298 ile 0.9971 arasında değişen katsayı belirleyicileri (R^2) ile iyi bir korelasyona sahip olduğu bulunmuştur. Sonuçlar, tüm koşullar altında depolama sırasında antosiyanin bozunmasının birinci derece reaksiyonuna uyduğunu göstermiştir (Moldovan ve ark., 2012).

Bir başka araştırmada, roselle ekstraktının antioksidan özellikleri, antosiyanin içeriği (farklı pH ortamlarında), renk değişimleri ve ısı stabilitesi incelenmiştir. Roselle ekstraktının iyi bir antioksidan ve antosiyanin kaynağı olduğu belirlenmiştir. Asidik bir ortamda antosiyaninler, ısıya karşı belirli bir düzeyde direnç ve iyi bir renk stabilitesi göstermişlerdir. Bununla birlikte düşük asidik bir ortamda, hızlı bir antosiyanin bozunma hızı ve önemli renk değişiklikleri gözlenmiştir. Antosiyaninlerin aktivasyon enerjileri, düşük asidik ve asidik ortamlarda sırasıyla 31.4–74,9 ve 55.8–95,7 kJ/mol arasında değişmektedir. Çalışmada asidik ortamda roselle antosiyaninlerinin iyi bir fonksiyonel bileşen ve renk kaynağı olabileceği ancak bununla birlikte, düşük asidik bir ortamda ısıyla muamele edildiğinde kaliteleri ve görünümlerinin etkileneceği bildirilmiştir (Wu ve ark., 2018).

Kızılcık (*Cornus mas* L.) meyvesi zengin antosiyanin içeriği ile bilinmektedir. 2, 25 ve 75 °C depolama sıcaklıklarında, sodyum benzoat ve potasyum sorbat içeren pH'sı 3.02 olan kıızılcık ekstraktında antosiyaninlerin stabilitesi araştırılmıştır. En yüksek stabilitenin herhangi bir koruyucu eklenmeden 2 °C'lik depolama sıcaklığında muhafaza edilen ekstraktın olduğu ve ayrıca hız sabiti ve yarı ömür değerlerinin, sırasıyla $0.48 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$ ve 1443.8 h olduğu tespit edilmiştir. 75 °C depolama sıcaklığında herhangi bir koruyucu olmayan antosiyanin ekstraktında, hız sabiti $82.76 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Kızılcık meyvesi antosiyaninlerinin incelenen tüm depolama koşulları altında bozunması, kinetik birinci derece reaksiyon ile uyumludur. Koruyucular, antosiyaninlerin sulu çözeltideki stabilitesi üzerinde düşük bir etkiye sahiptir (Moldovan ve David, 2014).

Çekirdek materyalinin yanında, duvar materyali enkapsülasyon en önemli diğer unsurdur. Doğal pigmentlerin enkapsülasyonunda duvar malzemesinin seçimi üzerinde yoğun olarak araştırma yapılan konulardandır. Gam arabik ve maltodekstrin, antosiyaninlerin enkapsülasyonunda duvar malzemeleri olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Antosiyaninlerin kaynağına bağlı olarak, duvar malzemelerinin başka alternatifleri de denenmiştir.

Selim ve ark. (2008)'ı duvar malzemesi olarak Maltodextrin D.E. 10, Maltodextrin D.E. 20 ve gam arabik'in enkapsüle edilmiş roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) antosiyaninlerinin stabilitesi üzerindeki etkisini araştırmışlar ve maltodekstrin DE20'nin, roselle antosiyaninlerinin raf ömrünü uzatmak için en etkili duvar malzemesi olduğunu bulmuşlardır. Benzer başka bir çalışmada, *Hibiscus sabdariffa* L.'den elde edilen antosiyaninlerin 105 gün boyunca 4, 25 ve 37 °C'de depolama sırasındaki kinetik bozulmalarını ve renk stabilitelerini belirlemek için, duvar materyali olarak maltodekstrin, gam arabik, maltodekstrin ve gam arabik kombinasyonu ve çözünen nişasta kullanılmıştır. Sonuçlar en yüksek enkapsülasyon verimliliğinin, duvar malzemesi olarak maltodekstrin ve gam arabik kombinasyonu ile depolama sıcaklığı 4 °C'nin altındaki enkapsülasyonlarda olduğunu göstermektedir. Aynı saklama koşulunun a^* ve b^* değerleri üzerinde çok az etkisi olmuştur ve ayrıca tüm depolama sıcaklıkları altında bozulma hızının azaldığını göstermiştir (Idham ve ark., 2012).

Mahdavi ve ark. (2016)'ı zengin bir antosiyanin kaynağı olan *Berberis vulgaris* ekstraktını duvar materyali olarak maltodekstrin ve gam arabik (MD + GA),

maltodekstrin ve jelatin (MD + GE) ve maltodekstrin (MD) olacak şekilde enkapsüle etmişlerdir. Enkapsülasyondan sonra, duvar malzemesi olarak MD + GA içeren kapsüllerin, *Berberis vulgaris* antosiyaninlerin enkapsülasyonunda en iyi duvar malzemesi olduğu tespit edilmiştir.

Antosiyaninler üzerine yapılan farklı bir çalışmada, farklı duvar malzemeleri (gam arabic (AG), maltodextrin DE 7 ve 20) ile safran yaprağı ekstraktı enkapsüle edilmiş ve dondurularak kurutulmuş antosiyanininin stabilitesi ve rengi analiz edilmiştir. 10 haftalık depolama sonunda, gam arabığın en etkili duvar malzemesi olduğunu ve depolama sırasında antosiyaninin stabilitesini artırdığını göstermiştir (Khazaei ve ark., 2014).

Bir araştırmada toz haline getirilmiş açai suyunun, 1. günden 120. güne kadar antosiyanin stabilitesi ve antioksidan aktiviteleri analiz edilmiştir. Meyve suyu, duvar malzemesi olarak maltodekstrin 10DE, maltodekstrin 20DE, gam arabik ve tapyoka nişastası kullanılarak enkapsüle edilmiş ve püskürtülerek kurutulmuştur. Enkapsüle edilmiş numunelerin 25 ve 35°C sıcaklıklarda 0,328 ve 0,529 su aktivitesi değerlerinde depolama boyunca antosiyanin stabilitesi üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi olmamıştır. Ayrıca sonuçlar 120 günlük depolama süresince antosiyaninlerin stabilitesini her koşulda en iyi koruyan duvar malzemesinin Maltodextrin 10DE'nin en verimli olduğunu göstermiştir (Tonon ve ark., 2010)

Enkapsüle edilmiş antosiyaninlerin gıda endüstrisinde renklendirici ve fonksiyonel bileşen olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada yaban mersini ekstraktı duvar malzemeleri olarak maltodekstrinin üç farklı dekstroz eşdeğeri (DE) kullanılarak ve dondurularak kurutma yoluyla enkapsüle edilmiştir. Dondurularak kurutulmuş özütün enkapsüle edilmiş antosiyaninlerle karşılaştırıldığında, dondurularak kurutulmuş enkapsüle edilmiş antosiyaninlerin raf ömrünün daha iyi olduğunu kanıtlanmış olur, 70, 80 ve 90 °C'nin altındaki depolama sırasında antosiyanin bozunmasını yavaşlatmıştır (Celli ve ark., 2016).

Tao ve ark. (2017)'ı duvar malzemeleri olarak gam arabik, maltodekstrin, peynir altı suyu proteini izolatu ve β -siklodekstrin kullanarak yaban mersini antosiyaninlerini dondurularak kurutma yöntemiyle enkapsüle etmişlerdir. Kullanılan duvar malzemeleri arasında en yüksek enkapsülasyon verimini peynir altı suyu proteini izolatu sağlamıştır.

Optimum formülasyonlara göre, enkapsülasyon etkinliği (EE) ve enkapsülasyon verimliliği (EP) değerleri sırasıyla %82 ve %96'nın üzerinde bulunmuştur. Farklı formülasyonlardaki enkapsüle edilmiş antosiyaninler arasında, cam geçiş sıcaklığı, parçacık boyutu ve kütle yoğunluğundaki farklılıklara rağmen, enkapsüle edilmiş tüm numunelerde renk özelliği, nem içeriği, kristallik ve su aktivitesi açısından benzerlikler görülmüştür.

β -karotenin enkapsüle edilmesi sırasında iki duvar malzemesi, badem zıkkı ve gam arabik kullanılmıştır. İki duvar malzemesi işlevselliğini değerlendirmek için, iki malzemedeki enkapsüle edilmiş β -karoten tozları kekte renklendirici olarak kullanıldı. Duvar malzemesi olarak gam arabik ile dondurularak kurutulmuş tozların kinetik bozunması ve yüzey rengi değişimleri, % 10, 45 ve 80 bağıl nemde 70 günlük depolama sırasında incelenmiştir. β -karotenin bozunması birinci dereceden kinetik reaksiyona uygundur. Sonuçlar, badem zıkkı β -karoten bozulmasını en iyi şekilde koruduğunu ve ayrıca keke gam arabikten daha homojen renk sağladığını göstermiştir (Mahfoudhi ve Hamdi, 2015).

Jiménez-Aguilar ve ark. (2011)'ı, yaban mersini antosiyaninlerini, duvar malzemesi olarak meskit ağacı gamı ile enkapsüle etmek için püskürtülerek kurutma yöntemini kullanmışlardır. Numunelerin püskürtülerek kurutulması 8.5, 9.1 ve 9.6 mL dakikada 1 besleme hızlarında ve 140 ve 160 °C'de giriş sıcaklıklarında yapılmıştır. 4 hafta boyunca 4 °C'de karanlıkta saklanan 9.1 mL dakikada 1 besleme hızı ve 140 °C giriş sıcaklığına sahip numunelerin antioksidan aktivite (%15), antosiyaninler (%7) ve fenoliklerde (%10) daha düşük bozunma sağladığı bulundu. Toplam renk farkı (ΔE) 5 ve L, C ve h için nihai değerler sırasıyla 39.87, 47.83 ve 28.59 olarak bulunmuştur.

Pitalua ve ark. (2010)'ı, örneklerin 5 farklı su aktivitesinde (0.110, 0.326, 0.521, 0.748 ve 0.898 aw) 45 gün süreyle depolandığında duvar materyali olarak gam arabik ile kapsüllenmiş pancar suyunun antioksidan aktivitesini incelemiştir. 0.110, 0.326 ve 0.521 su aktivitelerinde saklanan numuneler redoks potansiyeli, betalain konsantrasyonu, antioksidan aktivite ve renk bakımından önemli farklılıklar göstermemiştir. Ancak, 0.748 ve 0.898 su aktivitelerinde depolanan numunelerde önemli farklılıklar görülmüştür. 0.748 ve 0.898'de, betalainlerin bozunması ilerledikçe, antioksidan aktivite artmıştır. Depolama sırasında ürün stabilitesinin su adsorpsiyonundan etkilendiği tespit edilmiştir.

Robert ve ark. (2010), püskürtme kurutma ile nar (*Punica granatum*) suyunun polifenollerini ve antosiyaninlerini enkapsüle ederken duvar materyali olarak maltodekstrin ve soya fasulyesi protein izolatını kullanmışlardır. 60 °C'de 56 gün boyunca depolanan nar suyundan elde edilen biyoaktif bileşiklerin kapsüllenmiş tozlarının stabilitesi araştırıldı. Polifenollerin enkapsülasyon etkinliği, duvar malzemesi olarak soya fasulyesi protein izolatında önemli ölçüde daha yüksektir. Stabilite açısından, soya fasulyesi protein izolatının antosiyaninlere etkisi gibi, maltodekstrin de polifenollere daha iyi koruma sağlamıştır. Duvar materyali olarak maltodekstrinli polifenollerin yanı sıra, nardan elde edilen biyoaktif bileşiklerin tüm mikrokapsülleri, yoğurda eklendiğinde, kapsüllenmemiş biyoaktif bileşiklere benzer stabilite sağlamıştır.

Bakowska Barczak ve Kolodziejczyk, 2011 püskürtme kurutma kullanarak, siyah frenk üzümü (*Ribes nigrum* L.) polifenollerini farklı dekstroz eşdeğerindeki maltodekstrin (DE 11, 18 ve 21) ve inülin ile enkapsüle edilmiştir. 12 ay boyunca 8 ve 25 °C'de saklanan kapsüllenmiş numunelerin stabilitesini değerlendirmişlerdir. DE 11 maltodekstrinli mikrokapsüller mükemmel kurutma verimi vermiştir ve depolama sırasında polifenollerini DE 18 ve 21 maltodekstrinlerinden daha iyi korumuştur. Mikrokapsüllenmiş tozlar, depolamadan önce ve depolamadan sonra yine önemli antioksidan aktivite göstermiştir.

Antosiyaninler açısından zengin birkaç meyve özü, genellikle gıda endüstrilerinde gıda renklendiricisi olarak kullanılmaktadır. Doğal pigmentlerin hızlı kaybı ve zayıf stabilitesi büyük bir zorluk olmaktadır. Depolama sırasında ferulik asit ve rutin kopigment olarak böğürtlen antosiyaninleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Yaban mersini antosiyaninin parçalanmasını, ışık altında farklı sıcaklıklarda depolama sırasında birinci dereceden kinetiği izlemiştir. Antosiyanin stabilitesi, yüksek sıcaklıklardan çok ışıktan etkilenmiştir. Kopigment ilavesi, antosiyanin kayıplarını önemli ölçüde azaltmış ve ayrıca püskürtülerek kurutulmuş tozların yarı ömürlerini kopigment içermeyen tozlara göre arttırmıştır. Tozun etkili stabilizasyonunun, kopigmentlerin antioksidatif özelliklerine ve antosiyaninlerin hidrasyon kontrolüne bağlanabileceğini varsayılmaktadır. Antosiyaninlerin bozunması renk değişiklikleri ile ilişkili olmayıp, depolama sırasında polimerlerin ve renkli türevlerin oluşumuna neden olabilmektedir (Weber ve ark., 2017).

Syamaladevi ve ark. (2012), duvar malzemesi olarak gam arabik ile kırmızı ahududu tozlarını kapsüllemek için püskürterek kurutma kullanmıştır. Püskürterek kurutmadan önce, ahududu püresi, yüksek basınçlı homojenleştiricilerle veya homojenleştirici olmadan muamele edilmiştir. Kurutulmuş örneklerin fizikokimyasal özellik analizi yapılmıştır. Basınçlı homojenleştirici ile üretilen numunelerin, basınçlı homojenleştirici ile muamele edilmeyen numunelere göre daha küçük medyan partikül boyutu tespit edilmiştir. Eşit su aktivitelerinde, kapsüllenmiş tozların su içerikleri ve cam geçiş sıcaklıkları önemsiz bulunmuştur. Püresi yüksek basınçlı homojenizasyona tabi tutulmamış kapsüllenmiş ahududu numunelerinin daha büyük partikül boyutu, daha yüksek suda çözünürlük indeksi ve higroskopiklik üretmiştir. Yüksek basınçlı homojenizasyondan geçen kapsüllenmiş tozlar, düşük L^* , a^* ve b^* değerleriyle daha yüksek antosiyanin konsantrasyonu göstermiştir.

Mahdavi ve ark. (2016), diken üzümü antosiyaninlerini enkapsüle ederken maltodekstrin ve jelatin (MD+GE), gam arabik ve maltodekstrin (GA+MD) ve maltodekstrin (MD) kombinasyonlarını üç duvar malzemesi olarak uygulamışlardır. Enkapsüle edilmiş numunelerin stabilitesi, 90 gün boyunca ışık aydınlatması altında farklı sıcaklıklarda (4, 25, 35 ve 42 °C) ve bağıl nemlerde (%20, 30, 40 ve %50) incelenmiştir. Enkapsüle edilmemiş antosiyanin numunelerinin yanı sıra, saklama sırasında enkapsüle edilmiş numunelerin yarı ömürlerinde ($t_{1/2}$) kayda değer bir artış olmuştur. Duvar malzemesi olarak GA+MD kombinasyonu, tüm depolama sıcaklıklarında daha yüksek kapsülleme verimliliği ve daha düşük bozunma oranı ile kızamağın antosiyaninlerini en iyi şekilde korumuştur. Enkapsüle edilmiş antosiyaninler, sentetik renklendiricilerin yerine kullanılmıştır. Kontrol numunesi dahil olmak üzere jölenin higroskopikliği, kül içeriği, nem içeriği, asitliği ve dokusu önemsiz bulunmuştur, ancak renkli jölenin çözünürlüğü ve sinerezisi önemli ölçüde azalmıştır.

Mohd Nawi ve ark. (2015), mikrodalga destekli kurutma yöntemi ile farklı duvar malzemeleri ile enkapsüle edilmiş mor tatlı patatesin antosiyaninlerinin fizikokimyasal özelliklerini nasıl etkilediğini araştırmıştır. Mor tatlı patates tozlarının antosiyaninleri, morfoloji, higroskopiklik, su aktivitesi, renk, çözünme süresi ve nem içeriği açısından toz karakterizasyon yöntemiyle analiz edilmiştir. Mor tatlı patatesin antosiyaninlerini enkapsüle etmek için Gam arabik (GA), maltodekstrin (MD), Gam arabik ve maltodekstrin (GA+MD) kombinasyonu duvar malzemeleri olarak kullanılmıştır.

GA+MD'li numuneler ile, en düşük su aktivitesi ve nem içeriği değerleri ile en kaliteli toz üretilmiştir. Kapsüllenmiş tozlarda L, a*, b*, C ve H ilk olanlara göre değişiklikler olmuştur.

Laokuldilok ve Kanha. (2017), siyah pirinç antosiyaninlerini enkapsüle için duvar malzemesi olarak farklı dekstroz eşdeğerinde (DE 10, 20 ve 30) maltodekstrin kullanmışlardır. Enkapsüle edilmiş numuneler 140, 160 ve 180 °C giriş sıcaklıklarında püskürterek kurutmuşlardır. Artan giriş sıcaklıklarının etkisi, kapsülleme verimliliğini arttırmış ve kapsüllerin yüzey antosiyanin içeriğini, toplam antosiyanin içeriğini ve antioksidan aktivitelerini azaltmıştır. Duvar malzemesi olarak maltodekstrin DE 20 içeren numuneler, duvar malzemesi olarak maltodekstrin DE 10'a sahip numunelere kıyasla daha yüksek ve/veya benzer toplam antosiyanin içeriği ve antioksidan aktivite değerleri sağlamıştır. Sonuçlar ayrıca artan giriş sıcaklıklarının ve dekstroz eşdeğerinin L*, a*, b* ve Chroma'yı azalttığını ancak h değerini artırdığını göstermiştir. Püskürtme ile kurutulmuş numunelerin dondurularak kurutulmuş numunelerden daha parlak olduğu gözlenmiştir. Ayrıca püskürtülerek kurutulan numunelerin stabilitesinin dondurularak kurutulmuş numunelerden çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Süs elmaları (*Malus floribunda*) Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampüsünde peyzaj düzenlemesi amacıyla yetiştirilmiş ağaçlardan 2021 yılında hasat edilmiştir. Katı meyve suyu sıkacağına sıkılarak elde edilen süs elması suyu kaba filtreden geçirildikten sonra 90 °C’de enzim inaktivasyonuna tabi tutulmuş ve daha sonrasında santrifüjden geçirilmiştir. Süs elması suyu briks değeri 20 olacak şekilde ayrı ayrı maltodekstrin, gam arabik ve kayısı gamı Daihan Marka WiseTis HG-15D model homojenizatörde 10000 devir/dak. Da 30 dakika süre ile homojenize edilmiş ve -30 oC’de 48 saat dondurulduktan sonra LaboGene Marka SCANVAC CoolSafe model bir liyofilizatörde enkapsüle edilmiştir. Elde edilen enkapsüle süs elması antosiyaninleri yoğurda % 4 oranında ilave edilmiştir ve +4 °C’de 13 gün boyunca depolanmıştır. Depolamanın 0., 3., 6., 9., ve 13. günlerinde örnekler alınarak analizlere tabi tutulmuştur.

Araştırmada kullanılan yoğurtların standart özellikte olmaları için aynı üretim tarihli ve aynı parti seri numarasına sahip Dost marka 900 g kovalarda süzme yoğurt örnekleri tercih edilmiştir. Yoğurt örneklerine kayısı gamı, gam arabik ve maltodekstrin ile enkapsüle edilmiş süs elması antosiyaninleri ilave edilmiş olup, homojen karışım elde etmek için örnekler blender ile çekilmiştir.

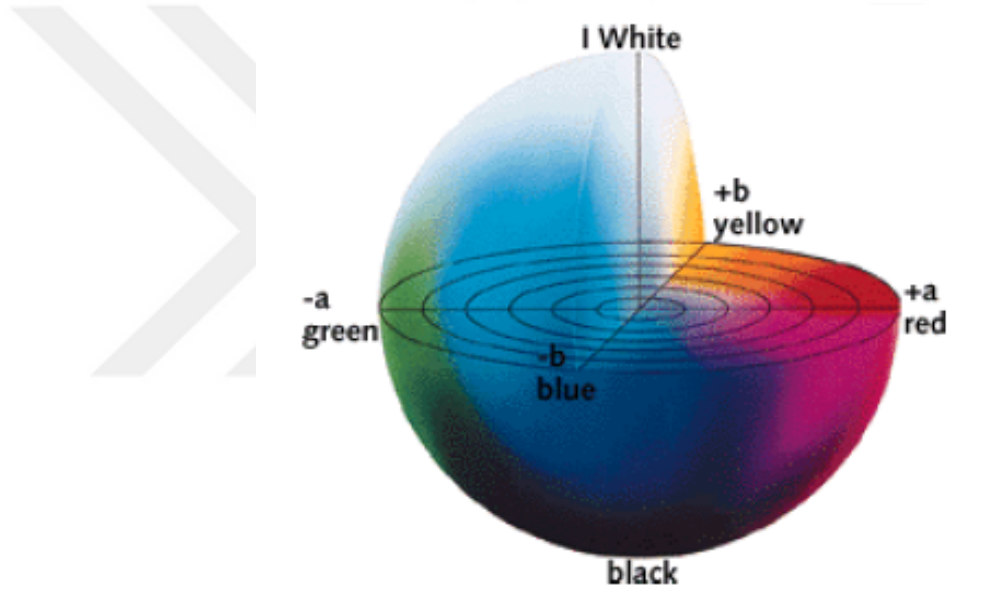
3.2. Analiz Yöntemleri

3.2.1. pH ve titrasyon asitliği

Saf su ile seyreltilen yoğurt örnekleri pH metre yardımıyla pH’sı 8.1 oluncaya kadar 0.1 NaOH ile titre etmek suretiyle belirlenmiştir. Sonuçlar laktik asit cinsinden g/L olarak verilmiştir. Örneklerinin pH’sı doğrudan cam elektrotlu pH metre (WTW Marka masa üstü) kullanılarak ölçülmüştür (Cemeroglu ve ark., 2013).

3.5.2. Renk tayini

Yoğurt örneklerinin L^* , a^* , b^* , h ve C^* değerleri Konika Minolta CM-5 model kolorimetre (Konika-Minolta, Osaka, Japan) ile ölçülmüştür. Şekil 3.1.'de verilen CIELAB renk skalasına göre L^* parlaklığı ($L^*=0$, siyah; $L^*=100$, beyaz), $+a^*$ kırmızılığı, $-a^*$ yeşilliği ve $+b^*$ değeri sarılığı, $-b^*$ maviliği ifade eder. L^* değerinde 50 griliği ifade etmekte olup, 100'e doğru artan örneklerde beyazlık, 0'a doğru azalma ise siyahlığın artışı ifade etmektedir. $+a^*$ değeri arttıkça örneklerde kırmızılık artarken, $-a^*$ değeri artarken yeşillik artmaktadır. Aynı durum b^* değeri içinde geçerli olup $+b^*$ değeri arttıkça örneklerde sarılık, $-b^*$ değeri arttıkça ise mavilik artış göstermektedir. h (hue) değeri renk tonunu ve C^* değeri (Chroma) ise renk doygunluğunu göstermektedir.



Şekil 3.1. CEILAB renk skalası

3.2.3. Antioksidan aktivite (DPPH)

Antioksidan aktivite analizi öncesinde yoğurtlar metanol ile ekstrakte edilmiş ve ekstraktlarda DDPH metodu ile antioksidan aktivite analizi yapılmıştır. (Brand-Williams ve ark., 1995). Ekstraktardan 100 μ l alınmış ve üzerine 3900 μ l DPPH (6×10^{-5} M) metanolik çözeltisinden ilave edilmiştir. Oda sıcaklığında karanlık bir ortamda 30 dakika inkübasyondan sonra spektrofotometrede (U-1800, Hitachi, Japan) 515 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunmuştur. Sonuçlar mmol trolox eşdeğeri (TE) / kg olarak verilmiştir.

3.2.4. Toplam fenolik madde

Toplam fenolik madde miktarı fenolik bileşiklerin folin reaktifiyle alkali ortamda renkli kompleks oluşturması esasına dayanan kolorimetrik Folin-Ciocalteu metodu kullanılarak belirlenmiştir (Singleton ve Rossi, 1965). Metanol ile ekstrakte edilmiş yoğurt örnekleri (0.5 ml) ile folin çözeltisi (2.5 ml; 0.2N) karıştırıldıktan sonra Na₂CO₃ çözeltisi (2 ml; 75g/L) ilave edilip, reaksiyonun tamamlanması için 2 saat bekletilmiştir. Ardından 765 nm’de spektrofotometrik değerler okunmuş ve sonuçlar gallik asit eşdeğeri/kg olarak verilmiştir.

3.2.5. Toplam monomerik antosiyanin analizi

Toplam monomerik antosiyanin miktarı pH diferansiyel metoduyla belirlenmiştir ve sonuçlar mg siyanidin-3-galaktozit eşdeğeri/L olarak verilmiştir. Örnekler potasyum klorit ve sodyum asetatla seyreltilmiş ve 515 ve 700 nm dalga boyundaki absorbans değeri ölçülmüştür (Giusti ve Wrolstad, 2003).

3.2.6. Kinetik parametreler

3.2.6.1.Reaksiyon hız sabitinin (k) hesaplanması

Reaksiyon hız sabitinin hesaplanması için her bir sıcaklıktaki süreler “x” eksenine, ısıtma süresince belirli aralıklarla alınan örneklerin antosiyanin değerlerinin doğal logaritması ise “y” eksenine yerleştirilmiş ve bu şekilde yarı logaritmik bir grafiğin doğrusal eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen bu grafiğin denkleminin eğimi reaksiyon hız sabiti (k) olarak alınmıştır. Birinci derece reaksiyon kinetik formülü Eşitlik 3.4’te verilmiştir.

$$\ln C = -k.t + \ln C_0$$

(3.4)

C_0 : Antosiyaninlerin başlangıçtaki konsantrasyonu

C : t süre sonunda kalan antosiyanin konsantrasyonu

k : Reaksiyon hız sabiti (dak^{-1})

t : süre (dak)

3.2.6.2. Yarılanma süresinin ($t_{1/2}$) hesaplanması

Yarılanma süresi ($t_{1/2}$) araştırma konusu bileşiğin veya herhangi bir kalite kriterinin %50'sinin parçalanması için gereken süredir. Birinci derece reaksiyonlar için yarılanma süresinin hesaplanmasında denklem 3.7 kullanılmıştır.

$$t_{1/2} = \ln 2/k \quad (3.1)$$

3.2.7. İstatiksel analiz

Araştırmada duvar materyali ve depolamanın yoğurdun pH, asitlik, reflektans renk, antioksidan aktivite, toplam fenolik madde, monomerik antosiyanin miktarları üzerindeki etkilerini belirlemek için veriler varyans analizine tabi tutulmuştur. Ortalamalar arasındaki farkların karşılaştırılması için Tukey Karşılaştırma Testi kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Toplam Monomerik Antosiyaninlerin Depolama ve Farklı Duvar Materyallerine Bağlı Olarak Değişimi

Çeşitli duvar materyalleri (maltodekstrin, gam arabik ve kayısı gamı) kullanılarak enkapsüle edilen ve edilmeyen süs elması antosiyaninleri ile renklendirilen yoğurtların antosiyanin miktarları Çizelge 4.1’de, varyans analizi sonuçları ise Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2’ye göre duvar materyali çeşidinin toplam monomerik antosiyanin miktarı için önemli olduğu görülmüştür. Enkapsüle edilen süs elması antosiyaninlerinde, toplam monomerik antosiyanin miktarı en fazla maltodekstrin ile enkapsüle edilmiş olanlarda bulunmuş olup, 1,76 mg/kg kadardır. Bu değeri sırasıyla diğer duvar materyalleri olan; gam arabik (1,61mg/kg) ve kayısı gamı (1,37mg/kg) izlemiştir. Herhangi bir duvar materyali kullanılmayan süs elması konsantresinde ise bu değer 1,57 mg/kg olarak bulunmuştur. Sonuç olarak toplam monomerik antosiyanin miktarı en fazla maltodekstrin ile enkapsüle edilmiş süs elması antosiyaninlerinde, en az ise kayısı gamı ile enkapsüle edilmiş süs elması antosiyaninlerinde bulunmuştur.

Çalışmamızda depolama süresinin toplam monomerik antosiyanin miktarı üzerine etkileri araştırılmış olup yapılan çalışmalarda depolama süresinin monomerik antosiyanin miktarına etkisi önemli bulunmuştur. Yapılan çalışmalarda enkapsüle edilen ve edilmeyen numuneler 0. gün, 3. gün, 6. gün, 9. gün ve 13. gün olarak depolama gerçekleştirilmiş ve sonuçlar araştırılmıştır. Toplam monomerik antosiyanin miktarı en fazla 0. Günde 1,84 mg/kg ölçülmüştür. Bunu sırasıyla 3. gün (1,71 mg/kg), 6. gün (1,53mg/kg), 9.gün (1,46mg/kg) ve 13. gün (1,35 mg/kg) izlemiştir.

Çizelge 4.1. Yoğurt örneklerinin monomerik antosiyanin miktarı.

Örnek	N	Monomerik antosiyanin miktarı (mg/kg)
Duvar materyali (A)		
Maltodekstrin	10	1,76±0,23a
Gam arabik	10	1,61±0,18ab
Kayısı gamı	10	1,37±0,21c
Konsantre	10	1,57±0,25b
Depolama periyodu (B)		
0	8	1,84±0,18a
3	8	1,71±0,19ab
6	8	1,53±0,20bc
9	8	1,46±0,18c
13	8	1,35±0,20c
A X B		
Maltodekstrin-0. Gün	2	2,05±0,04
Maltodekstrin-3.gün	2	1,87±0,05
Maltodekstrin-6.gün	2	1,77±0,06
Maltodekstrin-9.gün	2	1,64±0,03
Maltodekstrin-13.gün	2	1,48±0,33
Gam arabik-0.gün	2	1,82±0,10
Gam arabik-3.gün	2	1,69±0,32
Gam arabik-6.gün	2	1,55±0,00
Gam arabik-9.gün	2	1,54±0,05
Gam arabik-13.gün	2	1,45±0,03
Kayısı gamı-0.gün	2	1,61±0,03
Kayısı gamı-3.gün	2	1,53±0,09
Kayısı gamı-6.gün	2	1,31±0,15
Kayısı gamı x 9.gün	2	1,25±0,25
Kayısı gamı-13.gün	2	1,17±0,06
Konsantre-0.gün	2	1,88±0,08
Konsantre-3.gün	2	1,77±0,12
Konsantre-6.gün	2	1,48±0,17
Konsantre-9.gün	2	1,42±0,06
Konsantre-13.gün	2	1,30±0,17

Ayrıca toplam monomerik antosiyanin miktarının araştırılmasında, duvar materyallerini farklı intereksiyonlarda kullanarak etkisi araştırılmıştır. Duvar materyali ve depolama süresinin ikili interaksiyonunun antosiyanin üzerindeki etkisi önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.2. Toplam monomerik antosiyanin miktarına ait varyans analizi tablosu

Varyasyon kaynağı	Toplam Monomerik Antosiyanin Miktarı		
	SD	KO	F
Duvar Materyali	3	0,257706	12,71*
Depolama Süresi	4	0,266061	13,12*
İnteraksiyon	12	0,004908	0,24
Hata	19	0,020283	

*p<0.01

Dickinson (2003) yaptığı bir çalışmada farklı duvar materyallerinin ve kombinasyonlarının enkapsülasyon etkinliğini incelemiştir. Çalışmanın sonucunda GA'nın tek başına kullanımı ile bulunan enkapsülasyon etkinliğinin, GA ve maltodekstrinin bire bir oranda kullanımına kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak GA'nın emülsifiye ve stabilize edici özelliklerinin oldukça iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sebepten GA enkapsülasyon teknolojisinde oldukça yaygın kullanılan bir duvar materyali olarak kabul edilmektedir.

İdham ve ark. (2012)'ı tarafından yapılan çalışmada benzer bir çalışmada MD, GA, MD+GA ve çözünebilir nişasta ile kerkede (*Hibiscus sabdariffa*) antosiyaninlerini enkapsüle etmişlerdir. Sonuç olarak en yüksek enkapsülasyon etkinliği %99.87 ile MD:GA kombinasyonu ve %98.04 ile GA'da tespit edilmiştir.

4.2. Depolama ile elde edilen kinetik parametreler

4.2.1. Reaksiyon hız sabiti (*k*)

Çeşitli duvar materyalleri (maltodekstrin, gam arabik ve kayısı gamı) kullanılarak enkapsüle edilen ve edilmeyen süs elması antosiyaninlerin yoğurtta renklendirici olarak kullanıldıktan sonra depolama sırasındaki değişimine ait kinetik parametreler Çizelge 4.3'te verilmektedir.

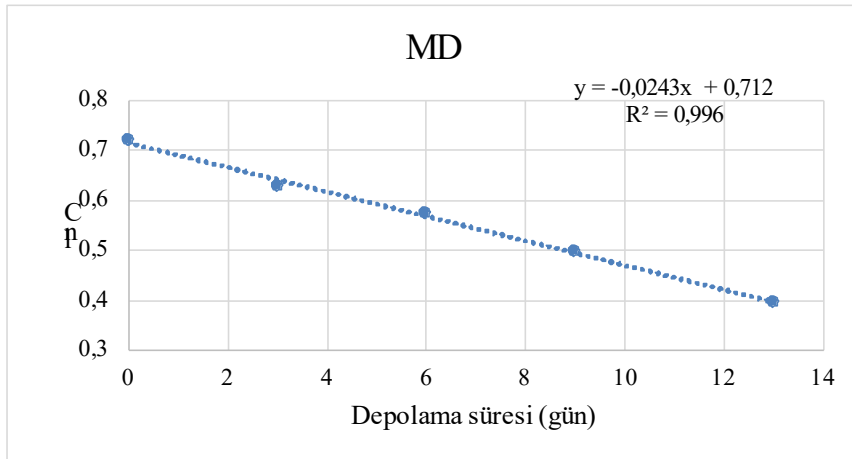
Çizelge 4.3'e bakıldığında yoğurtta tüm enkapsüle edilen ve edilmeyen süs elması antosiyaninlerinin depolama sırasında parçalanma reaksiyonlarının birinci derece reaksiyona uygun gerçekleştiği görülmektedir. Süs elması antosiyaninlerinin depolama sırasındaki değişimleri her üç kinetik modele (0., 1. ve 2.) göre değerlendirilmiş ve en yüksek doğrulama katsayısı (R^2) değeri 1. derece kinetik modelde elde edilmiştir (Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4.)

Enkapsüle edilerek yoğurtta kullanılan süs elması antosiyaninlerinin depolama ile reaksiyon hız sabitleri sırası ile kayısı gamı için 0.0263 gün^{-1} , maltodekstrin için 0.0243 gün^{-1} ve gam arabik için ise 0.0173 gün^{-1} olarak hesaplanmıştır. Reaksiyon hız sabiti en yüksek olan enkapsüle edilmeden yoğurda ilave edilen süs elması antosiyaninlerinin parçalanma hızının yani depolama stabilitesinin diğer tüm enkapsüle edilen örneklere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Her üç duvar materyali ile enkapsüle edilen süs elması antosiyaninlerinin enkapsüle edilmeyen örneklere göre antosiyaninlerin stabilitelerini arttırdığı ortaya çıkarılmıştır. En yüksek stabiliteyi gam arabik ile enkapsüle edilen süs elması antosiyaninlerinin gösterdiği belirlenmiş olup bunu sırasıyla MD ve KG izlemiştir.

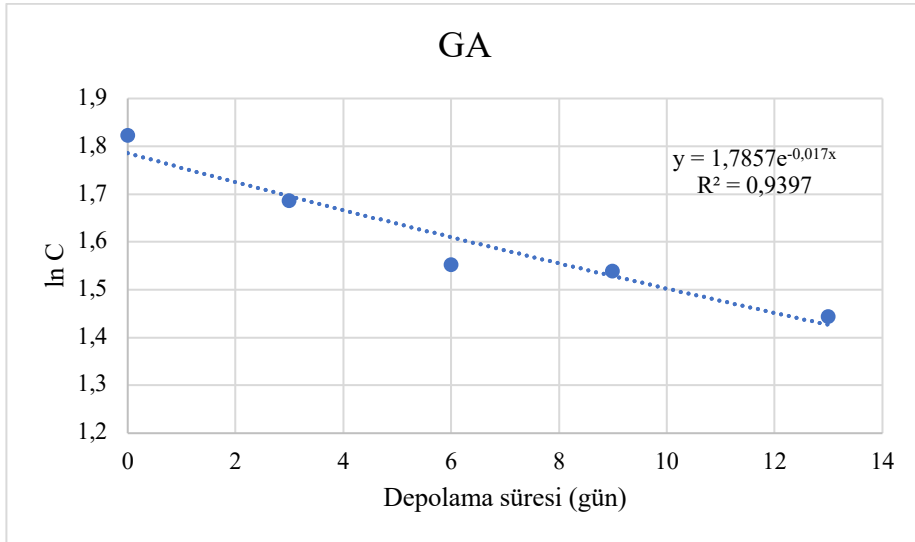
Çizelge 4.3. Depolama sırasında toplam monomerik antosiyanin değerlerine ait Kinetik parametreler

Duvar Materyali	Kinetik parametreler		
	$-k \text{ (gün}^{-1}\text{)}$	R^2	$t_{1/2}$
Kontrol (K)	-	-	-
Maltodekstrin (MD)	0.0243	0.9960	28.519
Gam Arabik (GA)	0.0173	0.9385	40.058
Kayısı Gamı (KG)	0.0263	0.9543	26.350
Elma Suyu (ES)	0.0293	0.9484	23.652

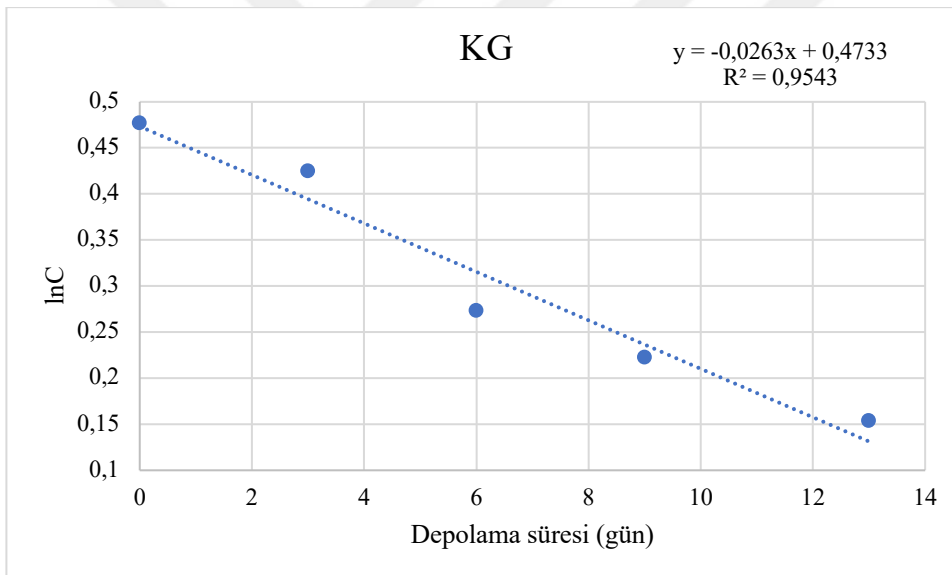
$t_{1/2}$: yarı ömür süresi; k : reaksiyon hız sabiti; R^2 : Doğrulama katsayısı



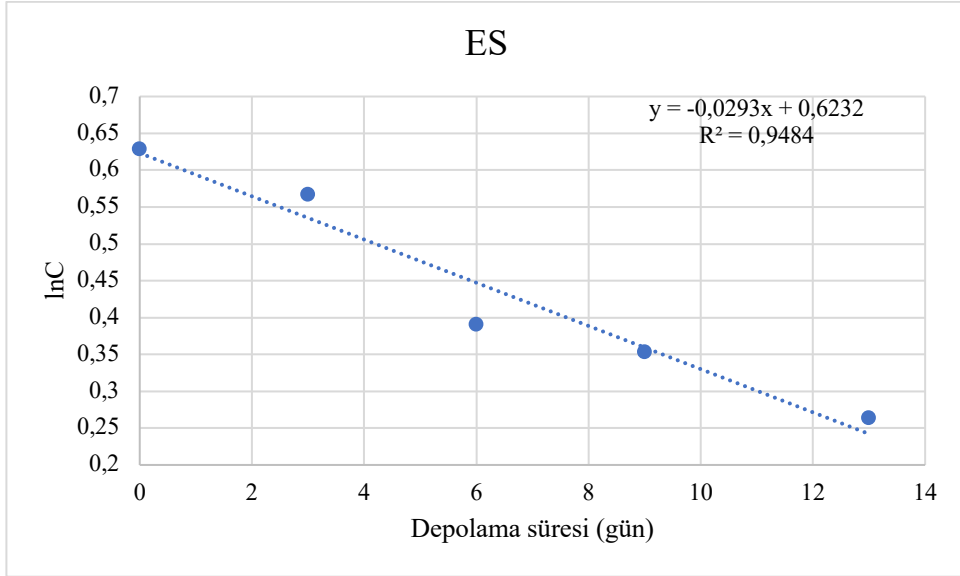
Şekil 4.1. Maltodekstrin (MD) ile enkapsüle edilen süs elması antosiyaninlerinin yoğurtta depolama sırasındaki değişimi.



Şekil 4.2. Gam arabik (GA) ile enkapsüle edilen süs elması antosiyaninlerinin yoğurttta depolama sırasındaki değişimi.



Şekil 4.3. Kayısı gamı (KG) ile enkapsüle edilen süs elması antosiyaninlerinin yoğurttta depolama sırasındaki değişimi.



Şekil 4.4. Enkapsüle edilmeyen süs elması (ES) antosiyaninlerinin depolama sırasındaki değişimi

Idham ve ark. (2012), MD, GA, MD+GA ve çözünebilir nişasta ile kerkede (*Hibiscus sabdariffa*) antosiyaninlerini enkapsüle ettikleri çalışmalarında örneklerin farklı sıcaklıklarda (60, 80 ve 98 °C) ısıl stabilitesini araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda diğer örneklerle kıyaslandığında MD+GA kombinasyonunun 60 ve 80 °C’lerde daha yüksek hız sabiti değeri gösterdiği tespit edilmiştir.

4.2.2. Yarı ömür süresi ($t_{1/2}$)

Farklı duvar materyalleri (MD, GA ve KG) kullanılarak enkapsüle edilen ve edilmeyen (ES) süs elması antosiyaninlerin yoğurta renklendirici olarak kullanıldıktan sonra depolama sırasındaki değişimine ait yarı ömür süresi ($t_{1/2}$) Çizelge 4.3’de gösterilmektedir.

Yarı ömür süresi depolama sırasında süs elması antosiyaninlerinin parçalanma reaksiyonu 1.derece kinetik modele uyduğundan yarı ömür süresi hesaplamalarında 1.derece kinetik modelin yarı ömür süresi denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre en uzun yarı ömür süresi 40.058 gün olarak GA ile enkapsüle edilen ve yoğurta kullanılan süs elması antosiyaninlerinde hesaplanmıştır. Bunu sırası ile MD ve KG ile enkapsüle edilen süs elması antosiyaninleri izlemiştir (sırasıyla 28.519 gün ve 26.350 gün). Enkapsüle edilmeyen ve yoğurta kullanılmayan süs elması antosiyaninlerinin depolama sırasında yarı ömür süresi 23.652 gün olarak en düşük hesaplanmıştır. Bu

durum farklı duvar materyalleri ile enkapsüle edilen tüm örneklerdeki süs elması antosiyaninlerinin depolama stabilitesinin enkapsülasyon ile arttığını göstermiştir. En stabil süs elması antosiyanini ise GA ile enkapsüle edilen örneklerde belirlenmiş olup GA'in süs elması antosiyaninlerinin yoğurt matrisinde stabiliteyi artırmada tercih edilebileceği görülmektedir.

Fang ve Bhandari (2010) soyadan elde ettikleri ferritin ile antosiyaninleri enkapsüle etmiş ve 37 °C'de depolama stabilitesini araştırdıkları çalışmalarında antosiyaninlerin yarı ömür süresini 2.35 saat olarak belirlerken, ferritin ile enkapsüle edilmiş antosiyaninlerin yarı ömür süresini ise 4.252 saat olarak hesaplamışlardır.

4.3. Depolama ve Farklı Duvar Materyallerine Bağlı Olarak Toplam Fenolik Madde Miktarında ve Antioksidan Aktivitedeki Değişim

Farklı duvar materyalleri ile enkapsüle edilen süs elması antosiyaninlerinin farklı zaman aralıklarında depolanmasının toplam fenolik madde ve antioksidan aktiviteleri üzerine etkileri araştırılmış ve değerler Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

Yapılan çalışma sonuçlarına göre, kullanılan duvar materyalinin toplam fenolik madde miktarına etkisinin olduğu görülmüştür. Duvar malzemesi olmadan depolanan konsantre antosiyaninlerdeki toplam fenolik madde miktarı, duvar materyali kullanılanlara göre daha yüksek çıkmıştır. Maltodekstrin ve gam arabik duvar materyali kullanılan örneklerde toplam fenolik madde miktarı diğer duvar materyali olan kayısı gamından daha yüksek çıkmıştır.

Depolama süresinin toplam fenolik madde üzerine etkisi araştırıldığında ise artan depolama süresinde toplam fenolik madde miktarında azalma olduğu görülmüştür. En yüksek toplam fenolik madde miktarı 0. Gün örneklerinde bulunmuştur. Diğer üç farklı depolama sürelerindeki toplam fenolik madde miktarı değişimi i kendi aralarında daha az önemsiz bulunmuştur.

Antioksidan aktivite üzerine kullanılan duvar materyalleri; gam arabik, maltodekstrin ve kayısı gamının etkisi önemli bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge 4.4'te verilmiştir. Kayısı gamı duvar materyali kullanılan örnekte antioksidan aktivite en

yüksek olmuştur. Kayısı gamını gam arabik ve maltodekstrin izlemiştir ve bu duvar materyallerinin antioksidan aktiviteye etkileri arasındaki fark önemsiz görülmüştür.

Çizelge 4.4. Depolama sırasında antioksidan aktivite (DPPH) değerlerindeki değişime ait ortalama değerler

Örnek	N	Antioksidan Aktivite (mmol TE/kg)
Duvar materyali (A)		
Kontrol	10	0,05±0,02d
Maltodekstrin	10	0,86±0,08c
Gam arabik	10	0,91±0,12c
Kayısı gamı	10	0,91±0,12b
Konsantre	10	1,03±0,03a
Depolama periyodu (B)		
0	10	0,78±0,40
3	10	0,79±0,42
6	10	0,82±0,42
9	10	0,81±0,41
13	10	0,77±0,42
A X B		
Kontrol-0. gün	2	0,07±0,00
Kontrol-3.gün	2	0,04±0,02
Kontrol-6.gün	2	0,04±0,01
Kontrol-9.gün	2	0,05±0,00
Kontrol-13.gün	2	0,03±0,01
Maltodekstrin-0. gün	2	0,85±0,09
Maltodekstrin-3.gün	2	0,87±0,01
Maltodekstrin-6.gün	2	0,93±0,02
Maltodekstrin-9.gün	2	0,88±0,02
Maltodekstrin-13.gün	2	0,77±0,16
Gam arabik-0.gün	2	0,80±0,00
Gam arabik-3.gün	2	0,85±0,23
Gam arabik-6.gün	2	0,96±0,08
Gam arabik-9.gün	2	0,99±0,00
Gam arabik-13.gün	2	0,93±0,14
Kayısı gamı-0.gün	2	1,01±0,00
Kayısı gamı-3.gün	2	1,02±0,01
Kayısı gamı-6.gün	2	1,05±0,06
Kayısı gamı-9.gün	2	1,03±0,01
Kayısı gamı-13.gün	2	1,04±0,02
Konsantre-0.gün	2	1,19±0,02
Konsantre-3.gün	2	1,15±0,01
Konsantre-6.gün	2	1,13±0,01
Konsantre-9.gün	2	1,09±0,03
Konsantre-13.gün	2	1,09±0,02

Depolama sürelerinin antioksidan aktiviteye etkileri araştırıldığında, farklı depolama sürelerinde antioksidan aktivite değerlerinde bir farklılık oluşmamıştır. Depolama süresinin antioksidan aktivite açısından önemsiz olduğu görülmüştür.

Tablo 4.5. Depolama sırasında toplam fenolik madde değerlerindeki değişime ait ortalama değerler

Örnek	N	Toplam Fenolik Madde(mg/kg)
<i>Duvar materyali (A)</i>		
Kontrol	10	43,21±1,16d
Maltodekstrin	10	458,00±24,54b
Gam arabik	10	488,83±92,44b
Kayısı gamı	10	393,22±26,32c
Konsantre	10	587,80±86,30a
<i>Depolama periyodu (B)</i>		
0	10	430,96±225,55a
3	10	391,71±194,62ab
6	10	381,34±193,99ab
9	10	396,31±220,99ab
13	10	370,73±181,00b
<i>A X B</i>		
Kontrol-0. gün	2	43,79±0,11e
Kontrol-3.gün	2	43,90±0,08e
Kontrol-6.gün	2	43,20±1,07e
Kontrol-9.gün	2	41,41±1,53e
Kontrol-13.gün	2	43,75±0,05e
Maltodekstrin-0. gün	2	484,09±2,46bcd
Maltodekstrin-3.gün	2	473,75±6,01bcd
Maltodekstrin-6.gün	2	453,09±8,17bcd
Maltodekstrin-9.gün	2	443,86±16,89cd
Maltodekstrin-13.gün	2	435,18±40,97cd
Gam arabik-0.gün	2	624,01±16,43ab
Gam arabik-3.gün	2	542,49±70,22abcd
Gam arabik-6.gün	2	461,96±35,11bcd
Gam arabik-9.gün	2	406,62±14,97cd
Gam arabik-13.gün	2	409,07±16,22cd
Kayısı gamı-0.gün	2	382,08±1,95d
Kayısı gamı-3.gün	2	378,19±27,17d
Kayısı gamı-6.gün	2	383,85±45,66d
Kayısı gamı-9.gün	2	401,77±13,55cd
Kayısı gamı-13.gün	2	420,23±27,27cd
Konsantre-0.gün	2	620,85±26,71ab
Konsantre-3.gün	2	520,21±30,34abcd
Konsantre-6.gün	2	564,63±126,98abc
Konsantre-9.gün	2	687,89±109,97a
Konsantre-13.gün	2	545,43±33,85abcd

Çizelge 4.6. Toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değerlerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon kaynağı	SD	Toplam Fenolik Madde		Antioksidan Aktivite	
		KO	F	KO	F
Duvar Materyali	4	434250	248,14*	1,85561	384,73*
Depolama Süresi	4	5195	2,97**	0,00410	0,85
İnteraksiyon	16	5692	3,25*	0,00499	1,03
Hata	25	1750		0,00482	

*p<0.01

**p<0.05

4.4. Depolama ve Duvar Materyallerine Bağlı Olarak Renk Parametrelerindeki Değişim (L*, a*, b*, C ve h)

Depolama ve duvar materyallerine bağlı olarak renk parametrelerindeki değişim Çizelge 4.7’de verilmiştir. Tabloya göre kullanılan duvar materyallerinin renk parametrelerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Değerlendirilen örneklerdeki parlaklık parametresi incelendiğinde; duvar materyali kullanılmayan kontrol örneğinde L* değeri en yüksek olup en parlak örnek olmuştur. Duvar materyali ile enkapsüle edilen yoğurt örnekleri incelendiğinde en parlak olanlar maltodekstrin ve gam arabik ile enkapsüle edilenler olup kendi aralarındaki fark önemsiz kabul edilmiştir. Bunları daha düşük L* değerine sahip kayısı gamı takip etmiştir. a* değeri olan yeşillik-kırmızılık parametresine bakıldığında ise en yüksek a* değerini 5,60 ile kayısı gamı vermiştir. Bu değeri 4,24 ile maltodekstrin ve 4,11 değeri ile gam arabik takip etmiştir. Mavilik sarılık oranlarına bakıldığında b* renk değeri en yüksek 17,17 ile kayısı gamı vermiştir. Bu değeri gam arabik ve kontrol örneği takip etmiş olup, aralarındaki fark önemsiz kabul edilmiştir. En düşük b* değeri ise 9,11 ile maltodekstrin duvar materyali ile enkapsüle edilmiş örnek vermiştir. Doymuluk parametresi olan C değerine bakıldığında en doymun örneğin 18,07 değeri ile kayısı gamı vermiştir. Bunu 10,66 ile gam arabik, 10,06 değeri ile maltodekstrin duvar materyali kullanılan örnekler vermiştir. Kullanılan duvar materyalinin çeşiti h değeri için de önemli kabul edilmektedir. En yüksek h değeri duvar materyali içermeyen kontrol (97,89) örneğinde ölçülmüştür. Duvar materyallerinde en yüksek h değerini ise kayısı gamı (71,89) vermiştir. Çalışmada en düşük h değerini maltodekstrin ile enkapsüle edilen örnek (65,03) vermiştir.

Çizelge 4.7. Depolama sırasında toplam monomerik antosiyanin değerlerine ait renk parametreleri

Örnek	N	L*	a*	b*
Duvar materyali (A)				
Kontrol	10	93,81±0,77a	-1,30±0,07c	9,76±0,26b
Maltodekstrin	10	86,83±0,59b	4,24±0,29c	9,11±0,20c
Gam arabik	10	86,84±0,58b	4,11±0,27d	9,83±0,24b
Kayısı gamı	10	83,48±0,68c	5,60±0,29a	17,17±1,19a
Konsantre	10	86,17±0,61d	5,03±0,28b	9,58±0,28b
Depolama periyodu (B)				
0	10	86,71±3,54b	3,79±2,77a	10,50±2,68b
3	10	87,11±3,87b	3,71±2,75b	11,34±3,98a
6	10	87,73±3,77a	3,47±2,58c	11,18±3,28a
9	10	87,81±3,15a	3,44±2,53c	11,28±2,98a
13	10	87,77±3,80a	3,28±2,44d	11,25±3,20a
A X B				
Kontrol-0. gün	2	92,96±0,15b	-1,38±0,03ı	9,58±0,06de
Kontrol-3.gün	2	93,87±0,39ab	-1,35±0,05ı	9,49±0,24de
Kontrol-6.gün	2	94,46±0,14a	-1,31±0,04ı	9,91±0,04d
Kontrol-9.gün	2	93,34±1,29ab	-1,23±0,03ı	9,94±0,13d
Kontrol-13.gün	2	94,41±0,11a	-1,23±0,01ı	9,88±0,40d
Maltodekstrin-0. gün	2	85,80±0,04ef	4,63±0,00e	8,75±0,02e
Maltodekstrin-3.gün	2	86,82±0,16cde	4,43±0,00ef	9,12±0,01de
Maltodekstrin-6.gün	2	87,33±0,16cd	4,22±0,14fg	9,21±0,04de
Maltodekstrin-9.gün	2	86,93±0,14cde	4,08±0,06gh	9,21±0,01de
Maltodekstrin-13.gün	2	87,26±0,18cd	3,85±0,06h	9,29±0,01de
Gam arabik-0.gün	2	86,51±0,04cdef	4,56±0,02e	9,53±0,01de
Gam arabik-3.gün	2	86,28±0,07def	4,23±0,04fg	9,72±0,08de
Gam arabik-6.gün	2	86,43±0,08cdef	3,91±0,03h	9,75±0,06de
Gam arabik-9.gün	2	87,43±0,08cd	3,99±0,01gh	10,04±0,06d
Gam arabik-13.gün	2	87,59±0,06c	3,85±0,03h	10,12±0,06d
Kayısı gamı-0.gün	2	82,89±0,23ı	5,80±0,06a	15,54±0,37c
Kayısı gamı-3.gün	2	82,72±0,54ı	6,01±0,21a	18,85±0,95a
Kayısı gamı-6.gün	2	83,79±0,30hı	5,42±0,01b	17,39±0,52b
Kayısı gamı-9.gün	2	84,40±0,01gh	5,47±0,05b	16,81±0,17b
Kayısı gamı-13.gün	2	83,63±0,13hı	5,31±0,06bc	17,29±0,01b
Konsantre-0.gün	2	85,40±0,04fg	5,36±0,02b	9,12±0,06de
Konsantre-3.gün	2	85,87±0,08ef	5,22±0,06bc	9,53±0,05de
Konsantre-6.gün	2	86,66±0,16cdef	5,09±0,01cd	9,66±0,04de
Konsantre-9.gün	2	86,99±0,09cde	4,90±0,03d	9,91±0,06d
Konsantre-13.gün	2	85,95±0,03ef	4,60±0,04e	9,70±0,01de

Çeşitli duvar materyalleri kullanılarak enkapsüle edilen süs elması antosiyaninlerinin, farklı depolama sürelerinde oluşan renk değişimleri incelenmiştir. Depolama süresinin renk parametreleri açısından önemli olduğu görülmüştür. Çalışmada en yüksek parlaklık (L*) değerinin 6, 9 ve 13. günlerde olduğu tespit edilmiştir. 0 ve 3. Günlerde ise daha düşük L* değeri ölçülmüştür. Kırmızılık-yeşillik renk parametresi olan a* değerinde ise depolama süresi arttıkça *azaldığı görülmüştür. En yüksek a* değerini 0.gün, en düşük a* değerini ise 13.gün vermiştir. b* parametresinin ölçümünde (mavilik sarılık) ise 0.gündeki b* değeri en düşük değer

olmuştur. 3. 6. 9. ve 13. Günlerdeki değerler 0. günden yüksek olup, kendi aralarındaki fark önemsiz kabul edilmektedir. Farklı depolama sürelerinde doygunluk (C) parametresi ölçülmüştür. En düşük doygunluk derecesi 0.gün de bulunmuştur (11,46). Diğer günlerdeki doygunluk dereceleri daha yüksektir ve aralarındaki fark önemsiz bulunmuştur. Depolama süresi parametresi ölçülen h değeri için önemli bulunmuştur. En yüksek bulunun h değeri 13.depolama gününde 72,26 olarak bulunmuştur. Yapılan değerlendirmelerde en düşük h değeri en düşük depolama süresinde görülmüştür. 0. gün h değeri 70,76 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.8. L*, a* ve b* değerlerine ait varyans analizi tablosu.

Varyasyon kaynağı	L*			a*		b*	
	SD	KO	F	KO	F	KO	F
Duvar Materyali	4	146,272	1462,43*	76,7094	20477,67*	116,415	1814,62*
Depolama Süresi	4	2,435	24,34*	0,4421	118,01*	1,134	17,67*
İnteraksiyon	16	0,424	4,24*	0,0655	17,49*	0,545	8,49*
Hata	25	0,100		0,0037		0,064	

*p<0.01

Çizelge 4.9. C* ve h değerlerine ait varyans analizi tablosu.

Varyasyon kaynağı	C*			h	
	SD	KO	F	KO	F
Duvar Materyali	4	120,919	1884,65*	2041,66	28721,78*
Depolama Süresi	4	0,710	11,06*	17,41	244,96*
İnteraksiyon	16	0,537	8,37*	2,59	36,43*
Hata	25	0,064		0,07	

*p<0.01

Sanchez ve ark. (2015)'nin yaptığı çalışmada süs elması suyu antosiyaninlerinin ısıl degradasyonu araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda üç farklı sıcaklıkta (70-80-90 °C) tüm örneklerin C* (Chroma) değerinin yani renk doygunluğunun azaldığı görülmüş olup enkapsüle edilen örneklerin C* değerinin daha az değişim gösterdiği görülmüştür. Kiraz suyunun 38 °C'de depolanması ile renginde L* değerinin arttığı ve C* değerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

4.5. Depolama Süresi ve Duvar Materyallerine Bağlı Olarak pH ve Titrasyonun Değişimi

Farklı duvar materyalleri ile enkapsüle edilen süs elması antosiyaninlerinin farklı depolama sürelerindeki pH ve titrasyon asitliği değerleri araştırılmış ve varyans analiz sonuçları Tablo 4.10'da ve ortalama değerler ise Tablo 4.11'de verilmektedir. Çalışma sonuçlarında kullanılan duvar materyallerinin pH değeri üzerindeki etkisi istatistiki açıdan önemli olduğu görülmüştür ($p < 0.01$). En yüksek pH değeri gam arabik kullanılan örnekte pH 3.58 olarak ölçülmüştür. Bu değeri pH 3,57 ile kayısı gamı, pH 3.50 ile maltodekstrin izlemiştir.

Duvar materyali kullanılmayan kontrol örneğinde ise pH 3.53 ölçülmüştür. Depolama süresinin pH üzerine etkisi araştırıldığında ise uzayan depolama süresinde pH değerinin düştüğü görülmüştür. En yüksek pH değeri 0. gün de ölçülmüştür. 9 ve 13.gün depolamalarda ölçülen pH değerleri arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.10. Depoalam sırasında pH ve titrasyon asitliği değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon kaynağı	pH			Titrasyon Asitliği	
	SD	KO	F	KO	F
Duvar Materyali	4	0,022135	6,98*	0,611238	194,78*
Depolama Süresi	4	0,018945	5,97*	0,010261	3,27**
İnteraksiyon	16	0,005036	1,59	0,005438	1,73
Hata	25	0,003172		0,003138	

* $p < 0.01$

** $p < 0.05$

pH değerinde olduğu gibi duvar materyalinin titrasyon asitliğine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.01$). Kullanılan duvar materyalleri arasında kayısı gamı ile enkapsüle edilen örneklerin titrasyon asitliği (2,12) en yüksek bulunmuştur. Bunu sırasıyla gam arabik (2,05) ve maltodekstrin (1,98) takip etmektedir. Herhangi bir duvar materyali kullanılmayan kontrol örneğinin titrasyon asitliği (1,52) duvar materyalleri kullanılanlara göre daha düşük değerde ölçülmüştür.

Çizelge 4.11. Depolama sırasında pH ve Titrasyon asitliğindeki değişime ait ortalama değerler

Örnek	N	pH	Titrasyon asitliği (%)
Duvar materyali (A)			
Kontrol	10	3,53±0,05abc	1,52±0,03d
Maltodekstrin	10	3,50±0,08bc	1,98±0,05c
Gam arabik	10	3,58±0,10a	2,05±0,09bc
Kayıslı gamı	10	3,57±0,06ab	2,12±0,10ab
0,03Konsantre	10	3,47±0,06c	2,08±0,03a
Depolama periyodu (B)			
0	10	3,58±0,04a	1,91±0,22a
3	10	3,57±0,11a	1,97±0,25a
6	10	3,54±0,08ab	1,97±0,26a
9	10	3,48±0,04b	1,93±0,21a
13	10	3,49±0,07b	1,98±0,26a
A X B			
Kontrol-0. gün	2	3,59±0,06	1,49±0,06
Kontrol-3.gün	2	3,52±0,03	1,51±0,02
Kontrol-6.gün	2	3,57±0,02	1,52±0,04
Kontrol-9.gün	2	3,48±0,00	1,55±0,03
Kontrol-13.gün	2	3,50±0,01	1,53±0,03
Maltodekstrin-0. gün	2	3,59±0,03	1,96±0,04
Maltodekstrin-3.gün	2	3,56±0,15	2,01±0,10
Maltodekstrin-6.gün	2	3,46±0,01	1,99±0,02
Maltodekstrin-9.gün	2	3,46±0,06	1,95±0,03
Maltodekstrin-13.gün	2	3,46±0,06	2,00±0,03
Gam arabik-0.gün	2	3,60±0,02	1,98±0,02
Gam arabik-3.gün	2	3,75±0,01	2,13±0,02
Gam arabik-6.gün	2	3,57±0,06	2,11±0,17
Gam arabik-9.gün	2	3,51±0,01	2,00±0,00
Gam arabik-13.gün	2	3,50±0,01	2,01±0,09
Kayıslı gamı-0.gün	2	3,59±0,08	2,04±0,06
Kayıslı gamı-3.gün	2	3,55±0,06	2,06±0,02
Kayıslı gamı-6.gün	2	3,61±0,10	2,18±0,10
Kayıslı gamı-9.gün	2	3,52±0,01	2,06±0,00
Kayıslı gamı-13.gün	2	3,60±0,08	2,26±0,06
Konsantre-0.gün	2	3,53±0,01	2,06±0,02
Konsantre-3.gün	2	3,49±0,04	2,14±0,05
Konsantre-6.gün	2	3,47±0,08	2,07±0,01
Konsantre-9.gün	2	3,45±0,07	2,07±0,00
Konsantre-13.gün	2	3,42±0,01	2,08±0,02

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada süs elması suyu antosiyaninleri gam arabik, maltodekstrin ve kayısı gamı duvar materyalleri ile enkapsüle edilmiştir. Enkapsüle edilen antosiyaninlerin farklı depolama sürelerinde, farklı duvar materyalleri ile depolanarak stabiliteilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Süs elmalarından mekanik olarak sıkılarak elde edilen süs elması suyu MD, GA ve MD ile enkapsüle edilerek dondurarak kurutulmuş ve elde edilen toz ürün yoğurt içine ilave edilerek farklı depolama sürelerinde gözlenmiştir. Yapılan analizlerle farklı duvar materyalleri ile enkapsüle edilen süs elması suyunun enkapsülasyon etkinliği, farklı depolama sürelerinde antosiyanin kaybı ve renk değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Duvar materyali çeşitinin toplam monomerik antosiyanin miktarı en fazla maltodekstrin ile enkapsüle edilmiş süs elması antosiyaninlerinde, en az ise kayısı gamı ile enkapsüle edilmiş süs elması antosiyaninlerinde bulunmuştur. Toplam monomerik antosiyanin miktarı depolama süresi açısından araştırıldığında ise en fazla 0. günde, en az ise son gün olan 13.günde ölçülmüştür. Depolama süresi arttıkça toplam monomerik antosiyanin miktarında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Duvar malzemesi olmadan depolanan konsantre antosiyaninlerdeki toplam fenolik madde miktarı, duvar materyali kullanılanlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Maltodekstrin ve gam arabik duvar materyali kullanılan örneklerde toplam fenolik madde miktarı diğer duvar materyali olan kayısı gamından daha yüksek bulunmuştur. Depolama süresinin toplam fenolik madde üzerine etkisi araştırıldığında ise artan depolama süresinde toplam fenolik madde miktarında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma sonuçlarında renk parametrelerine bakıldığında en parlak örnek, duvar materyali kullanılmayan örnek olmuştur. En az parlaklığa sahip örnek ise kayısı gamı ile enkapsüle edilmiş örnek olarak bulunmuştur. Buna karşın en yüksek a değeri (yeşillik-kırmızılık) kayısı gamı ile enkapsüle edilmiş antosiyanin içeren yoğurtta ölçülmüştür. Mavilik sarılık parametresi olan b değerinde ise en yüksek değer kayısı gamı içeren örnekte, en düşük ise maltodekstrin duvar materyali ile enkapsüle edilmiş

örnekte tespit edilmiştir. Doygunluk parametresi olan C değerine bakıldığında en doymuş örneğin 18,07 değeri ile kayısı gamı olduğu görülmüştür. En yüksek h değeri duvar materyali içermeyen kontrol (97,89) örneğinde ölçülmüştür. Duvar materyallerinde en yüksek h değerini ise kayısı gamı (71,89) vermiştir. Çalışmada en düşük h değerini maltodekstrin (65,03) vermiştir.

Depolama süresinin renk parametreleri açısından önemli olduğu görülmüştür. Çalışmada en yüksek parlaklık (L) değerinin 6, 9 ve 13. günlerde olduğu tespit edilmiştir. 0 ve 3. günlerde ise daha düşük L değeri ölçülmüştür. Kırmızılık-yeşillik renk parametresi olan 'a' değerinde ise depolama süresi arttıkça a değerinin azaldığı görülmüştür. En yüksek a değerini 0.gün, en düşük a değerini ise 13.gün vermiştir. b parametresinin ölçümünde (mavilik sarılık) ise 0.gündeki b değeri en düşük değer olmuştur. 3. 6. 9. Ve 13. Günlerdeki değerler 0. Günden yüksek olup, kendi aralarındaki fark önemsiz kabul edilmektedir. Farklı depolama sürelerinde doymuşluk (C) parametresi ölçülmüştür. En düşük doymuşluk derecesi 0.gün de bulunmuştur. h değerinin depolama süresi arttıkça arttığı tespit edildi. Bundan dolayı en düşük h değeri depolama öncesi (0. günde) ölçülmüştür.

Analizlerin sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, duvar materyali olarak gam arabik kullanılan süs elması antosiyaninlerinin en iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu duvar materyalinin yoğurda etkisine bakılacak olursa pH değeri 3.58 olarak diğer duvar materyallerine kıyasla daha yüksek olup yoğurda istenilen düşük asitliği sağlamış, yüksek antioksidan özellikte olduğu görülmüş ve meyveli yoğurt için uygun ve istenilen renk değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca bağlı olarak meyveli yoğurt endüstrisine gam arabik ile kaplanmış enkapsüle süs elması antosiyaninlerinin yeni bir renk maddesi olarak kullanılabilme aday bir ürün olduğu sonucuna varılmıştır.

5.2 Öneriler

Gıdalarda kullanımı oldukça yaygın olan sentetik renklendiricilere alternatif olarak doğal renk maddeleri kullanılması, bu katkıların gıda sanayinde kullanımının kolaylaştırılması ve artırılması gerekmektedir. Son yıllarda bu konuda bilinçlenen tüketicilerin tercihleri de bu yönde eğilim göstermektedir.

Son yıllarda gıda endüstrisinde sentetik renklendiricilerin yerine doğal kaynaklı renklendiricilerin kullanımına yönelik artan bir talep vardır. Bu talebi karşılamak amacıyla tez çalışmamızda doğal bir renklendirici olan süs elması antosiyaninlerin gıdalarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre enkapsüle edilmiş süs elması antosiyaninlerinin, edilmeyenlere göre daha yüksek stabilite gösterdikleri belirlenmiştir. Bundan dolayı süs elması antosiyaninlerinin gıdalarda doğal renk maddesi olarak kullanılması durumunda enkapsüle edilerek kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Çalışmamızda süs elması meyvesinin suyundan elde ettiğimiz antosiyaninleri farklı duvar materyalleri ile enkapsüle ederek gıda endüstrisine yeni bir doğal renklendirici madde kazandırılması amaçlanmıştır. Birçok çalışma ile enkapsüle edilmiş süs elması antosiyaninlerinin çeşitli özellikleri tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasının sonuçlarına göre süs elması antosiyaninlerinin yoğurttaki stabilitesini en yüksek düzeyde sağlayan duvar materyalinin gam arabik olduğu belirlenmiş ve duvar materyali olarak kullanılabilirliği önerilmektedir.

Analizlerin sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, duvar materyali olarak gam arabik kullanılan süs elması antosiyaninlerinin yapılan 7 farklı analizden 6'sında en iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu sonuca bağlı olarak meyveli yoğurt endüstrisine gam arabik ile kaplanmış enkapsüle süs elması antosiyaninlerinin yeni bir renk maddesi olarak kullanılabilme aday bir ürün olduğuna karar verilmiş olup, ürünün kullanılabilir hale gelmesi için in vivo çalışmaları hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- Augustin, M. A. ve Hemar, Y., 2009, Nano-and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients, *Chemical society reviews*, 38 (4), 902-912.
- Bilek, S. E., Yılmaz, F. M. ve Özkan, G., 2017, The effects of industrial production on black carrot concentrate quality and encapsulation of anthocyanins in whey protein hydrogels, *Food and Bioproducts Processing*, 102, 72-80.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.-E. ve Berset, C., 1995, Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, *LWT-Food Science and Technology*, 28 (1), 25-30.
- Brouillard, R., Chassaing, S. ve Fougerousse, A., 2003, Why are grape/fresh wine anthocyanins so simple and why is it that red wine color lasts so long?, *Phytochemistry*, 64 (7), 1179-1186.
- Castañeda-Ovando, A., de Lourdes Pacheco-Hernández, M., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J. A. ve Galán-Vidal, C. A., 2009, Chemical studies of anthocyanins: A review, *Food chemistry*, 113 (4), 859-871.
- Celli, G. B., Dibazar, R., Ghanem, A. ve Brooks, M. S.-L., 2016, Degradation kinetics of anthocyanins in freeze-dried microencapsulates from lowbush blueberries (*Vaccinium angustifolium* Aiton) and prediction of shelf-life, *Drying Technology*, 34 (10), 1175-1184.
- Cemeroglu, A. P., Thomas, J. P., Zande, L. T. V., Nguyen, N. T., Wood, M. A., Kleis, L. ve Davis, A. T., 2013, Basal and bolus insulin requirements in children, adolescents, and young adults with type 1 diabetes mellitus on continuous subcutaneous insulin infusion (CSII): effects of age and puberty, *Endocrine Practice*, 19 (5), 805-811.
- Delgado-Vargas, F., Jiménez, A. ve Paredes-López, O., 2000, Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains—characteristics, biosynthesis, processing, and stability, *Critical reviews in food science and nutrition*, 40 (3), 173-289.
- Dia, V. P., Wang, Z., West, M., Singh, V., West, L. ve De Mejia, E. G., 2015, Processing method and corn cultivar affected anthocyanin concentration from dried distillers grains with solubles, *Journal of agricultural and food chemistry*, 63 (12), 3205-3218.
- Downham, A. ve Collins, P., 2000, Colouring our foods in the last and next millennium, *International Journal of Food Science & Technology*, 35 (1), 5-22.
- Fang, Z. ve Bhandari, B., 2010, Encapsulation of polyphenols—a review, *Trends in Food Science & Technology*, 21 (10), 510-523.

- Giusti, M. M. ve Wrolstad, R. E., 2003, Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems, *Biochemical engineering journal*, 14 (3), 217-225.
- Idham, Z., Muhamad, I. I. ve Sarmidi, M. R., 2012, DEGRADATION KINETICS AND COLOR STABILITY OF SPRAY-DRIED ENCAPSULATED ANTHOCYANINS FROM HIBISCUS SABDARIFFA L, *Journal of Food Process Engineering*, 35 (4), 522-542.
- Jiménez-Aguilar, D., Ortega-Regules, A., Lozada-Ramírez, J., Pérez-Pérez, M., Vernon-Carter, E. ve Welti-Chanes, J., 2011, Color and chemical stability of spray-dried blueberry extract using mesquite gum as wall material, *Journal of food composition and analysis*, 24 (6), 889-894.
- Khazaei, K. M., Jafari, S., Ghorbani, M. ve Kakhki, A. H., 2014, Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color, *Carbohydrate polymers*, 105, 57-62.
- Kong, J.-M., Chia, L.-S., Goh, N.-K., Chia, T.-F. ve Brouillard, R., 2003, Analysis and biological activities of anthocyanins, *Phytochemistry*, 64 (5), 923-933.
- Mahdavi, S. A., Jafari, S. M., Assadpoor, E. ve Dehnad, D., 2016, Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin, *International journal of biological macromolecules*, 85, 379-385.
- Mahfoudhi, N. ve Hamdi, S., 2015, Kinetic degradation and storage stability of β -carotene encapsulated by freeze-drying using almond gum and gum Arabic as wall materials, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39 (6), 896-906.
- Mohd Nawi, N., Muhamad, I. I. ve Mohd Marsin, A., 2015, The physicochemical properties of microwave-assisted encapsulated anthocyanins from Ipomoea batatas as affected by different wall materials, *Food science & nutrition*, 3 (2), 91-99.
- Moldovan, B., David, L., Chişbora, C. ve Cimpoi, C., 2012, Degradation Kinetics of Anthocyanins from European Cranberrybush (*Viburnum opulus* L.) Fruit Extracts. Effects of Temperature, pH and Storage Solven, *Molecules*, 17 (10), 11655-11666.
- Moldovan, B. ve David, L., 2014, Influence of temperature and preserving agents on the stability of cornelian cherries anthocyanins, *Molecules*, 19 (6), 8177-8188.
- Novotny, J. A., Clevidence, B. A. ve Kurilich, A. C., 2012, Anthocyanin kinetics are dependent on anthocyanin structure, *British journal of nutrition*, 107 (4), 504-509.
- Pitalua, E., Jimenez, M., Vernon-Carter, E. ve Beristain, C., 2010, Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material, *Food and Bioproducts Processing*, 88 (2-3), 253-258.
- Rein, M., 2005, Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins.

- Robert, P., Gorena, T., Romero, N., Sepulveda, E., Chavez, J. ve Saenz, C., 2010, Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying, *International Journal of Food Science & Technology*, 45 (7), 1386-1394.
- Sanchez, V., Baeza, R. ve Chirife, J., 2015, Comparison of monomeric anthocyanins and colour stability of fresh, concentrate and freeze-dried encapsulated cherry juice stored at 38 C, *Journal of Berry Research*, 5 (4), 243-251.
- Selim, K., Khalil, K., Abdel-Bary, M. ve Abdel-Azeim, N., 2008, Extraction, encapsulation and utilization of red pigments from roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as natural food colourants, *Alex J Food Sci Technol. Conf*, 7-20.
- Singleton, V. L. ve Rossi, J. A., 1965, Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents, *American journal of Enology and Viticulture*, 16 (3), 144-158.
- Speranza, B., Petruzzi, L., Bevilacqua, A., Gallo, M., Campaniello, D., Sinigaglia, M. ve Corbo, M. R., 2017, Encapsulation of active compounds in fruit and vegetable juice processing: current state and perspectives, *Journal of food science*, 82 (6), 1291-1301.
- Tao, Y., Wang, P., Wang, J., Wu, Y., Han, Y. ve Zhou, J., 2017, Combining various wall materials for encapsulation of blueberry anthocyanin extracts: Optimization by artificial neural network and genetic algorithm and a comprehensive analysis of anthocyanin powder properties, *Powder technology*, 311, 77-87.
- Tonon, R. V., Brabet, C. ve Hubinger, M. D., 2010, Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents, *Food research international*, 43 (3), 907-914.
- Weber, F., Boch, K. ve Schieber, A., 2017, Influence of copigmentation on the stability of spray dried anthocyanins from blackberry, *LWT*, 75, 72-77.
- Wrolstad, R. E., Durst, R. W. ve Lee, J., 2005, Tracking color and pigment changes in anthocyanin products, *Trends in Food Science & Technology*, 16 (9), 423-428.
- Wu, H.-Y., Yang, K.-M. ve Chiang, P.-Y., 2018, Roselle anthocyanins: Antioxidant properties and stability to heat and pH, *Molecules*, 23 (6), 1357.