



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**DERİN ÖTEKTİK ÇÖZELTİLER KULLANILARAK KIRMIZI
PANCAR (*Beta vulgaris*)’DAN BETALAINLERİN ELDESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Beyza KABA

Danışman
Prof. Dr. İlkey KOCA

SAMSUN
2023

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



**DERİN ÖTEKTİK ÇÖZELTİLER KULLANILARAK KIRMIZI
PANCAR (*Beta vulgaris*)’DAN BETALAINLERİN ELDESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Beyza KABA

Danışman
Prof. Dr. İlkay KOCA

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.MUH.1904.22.019 proje numarası ile desteklenmiştir.

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Beyza KABA tarafından, Prof. Dr. İlkey KOCA danışmanlığında hazırlanan “DERİN ÖTEKTİK ÇÖZELTİLER KULLANILARAK KIRMIZI PANCAR (*Beta vulgaris*)’DAN BETALAINLERİN ELDESİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 3.8.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. İlkey KOCA Ondokuz Mayıs Üniversitesi Gıda Teknolojisi Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Belkıs TEKGÜLER Ondokuz Mayıs Üniversitesi Gıda Teknolojisi Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Remzi OTAĞ Giresun Üniversitesi Gıda Teknolojisi Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

04/08/2023
Beyza KABA

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: DERİN ÖTEKTİK ÇÖZELTİLER KULLANILARAK KIRMIZI PANCAR (*Beta vulgaris*)'DAN BETALAINLERİN ELDESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 20/06/2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 14

Tek kaynak oranı : % 4 çıkmıştır.

04/08/2023
Prof. Dr. İlkay KOCA

ÖZET

DERİN ÖTEKTİK ÇÖZELTİLER KULLANILARAK KIRMIZI PANCAR (*Beta vulgaris*)'DAN BETALAINLERİN ELDESİ

Beyza KABA
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Haziran/2023
Danışman: Prof. Dr. İlkey KOCA

Derin ötektik çözücüler (DES'ler), kararlılıkları ve biyouyumlulukları nedeniyle kabul edirliliği yüksek olan yeni nesil yeşil çözücülerdir. Bu çalışmada kolin klorür-alkoller, kolin klorür-organik asitler, kolin klorür-şekerler, organik asitler-kolin klorür ve organik asitler-şekerlerden oluşan 10 farklı DES ve geleneksel çözücülerle kırmızı pancar betalainlerinin ekstraksiyonu amaçlanmıştır. Farklı çözücülerle ekstrakte edilen betalain verimleri birbiriyle karşılaştırılmıştır. En etkili çözücü ve ekstraksiyon koşullarını belirlemek için yapılan çalışmanın ilk aşamasında kolin klorür:glikoz (1:2)'un en etkili DES olduğu belirlenmiştir. DES'lerin HBA (Hidrojen Bağlı Alıcıları) ve HBD (Hidrojen Bağlı Donörleri) profil yapılarına göre elektrik iletkenliği, pH ve vizkozite sonuçları birbirlerinden çok farklı bulunmuş ve bu farklılık betalain verimi üzerine de etkili olmuştur. En yüksek verimin sağlandığı kolin klorür:glikoz (DES 5) ile yanıt yüzey metodolojisi ve merkezi kompozit tasarımı ile ekstraksiyon koşulları optimize edilmiştir. Optimizasyonda bağımsız değişken olarak molar oran (HBA=1: HBD=0.41, 0.75, 1.25, 1.75, 2.09), su içeriği (8.18, 15, 25, 35 ve 41.82%) ve sıcaklık (19.77, 30, 45, 60 ve 70.23°C) kullanılmıştır. Betalain ekstraksiyonunda optimum koşulların kolin klorür:glikoz molar oranı 1:0.75, su içeriği %30.83 ve sıcaklık 30°C olduğu kaydedilmiştir. Bu koşullarda betalain, betasiyanin ve betaksantin için yanıtlar sırasıyla 1192.17 ± 23.63 mg/kg, 738.83 ± 17.87 mg/kg, 453.34 ± 5.93 mg/kg bulunmuştur. Optimum koşullarda elde edilen ekstraktlarda biyoyararlılık analizi ve stabilite testleri yapılmıştır. Biyoerişebilirlik değerleri betasiyanin, betaksantin ve betalain için sırasıyla %44.67, 75.02 ve 56.21 olarak saptanmıştır. Optimum koşulda elde edilen ekstraktlar oda sıcaklığında (20°C), karanlık ve ışıktaki ayrıca buzdolabında (4°C) depolanarak depolama stabilitesi test edilmiştir. Işıktaki 9 gün depolama sonunda toplam betalainde %84.90 kayıp belirlenirken, karanlıkta %59.47 belirlenmiştir. Bu çalışma, DES bazlı çözücülerin kırmızı pancar betalainlerinin ekstraksiyonunda geleneksel çözücülere göre daha yüksek verim sağladığını göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Kırmızı pancar, Betalain, Yeşil kimya, Derin ötektik çözücü, Optimizasyon

ABSTRACT

EXTRACTING BETALAINS FROM RED BEETROOT (*Beta vulgaris*) BY USING DEEP EUTECTIC SOLUTIONS

Beyza KABA
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Food Engineering
Master, June/2022
Supervisor: Prof. Dr. İlkyay KOCA

Deep eutectic solvents (DESs) are high-acceptance new generation green solvents due to their stability and biocompatibility. This study aims to extract red beet betalains using 10 different DESs consisting of choline chloride-alcohols, choline chloride-organic acids, choline chloride-sugars, organic acids-choline chloride, and organic acids-sugars, as well as traditional solvents. The betalain yields extracted with different solvents were compared. In the first stage of the study to determine the most effective solvent and extraction conditions, choline chloride:glucose (1:2) was found to be the most effective DES. The electrical conductivity, pH, and viscosity results of DESs varied significantly based on their hydrogen bond acceptor (HBA) and hydrogen bond donor (HBD) profiles, and this variation also influenced the betalain yield. Using choline chloride:glucose (DES 5) that provided the highest yield, extraction conditions were optimized using response surface methodology and central composite design. As independent variables, molar ratio (HBA=1:HBD=0.41, 0.75, 1.25, 1.75, 2.09), water content (8.18, 15, 25, 35, and 41.82%), and temperature (19.77, 30, 45, 60, and 70.23°C) were used in the optimization. The optimal conditions for betalain extraction were determined as choline chloride:glucose molar ratio of 1:0.75, water content of 30.83%, and temperature of 30°C. The respective responses for betalain, betacyanin, and betaxanthin under these conditions were 1192.17 ± 23.63 mg/kg, 738.83 ± 17.87 mg/kg, and 453.34 ± 5.93 mg/kg. Bioaccessibility analysis and stability tests were conducted on the extracts obtained under optimal conditions. The bioaccessibility values for betacyanin, betaxanthin, and betalain were determined as 44.67%, 75.02%, and 56.21%, respectively. The extracts obtained under optimal conditions were subjected to storage stability tests at room temperature (20°C), in the dark, and in the refrigerator (4°C). After 9 days of storage in light, a loss of 84.90% was determined in total betalain, while in the dark, it was determined as 59.47%. This study demonstrated that DES-based solvents provide higher efficiency in the extraction of red beet betalains compared to traditional solvents.

Keywords: Red beet, Betalain, Green chemistry, Deep eutectic solvent, Optimization

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Tüm çalışma sürecim boyunca bana sürekli ilham ve motivasyon veren, rehberliği, derin bilgisi ve saat kaç olursa olsun özverili desteğiyle tezimin her adımında yol gösteren çok kıymetli hocam Prof. Dr. İlkey KOCA'ya;

İhtiyacım olduğunda her türlü yardımda elinden gelen gayreti gösteren başta sevgili hocam Dr. Öğr. Üyesi Belkıs TEKGÜLER olmak üzere tüm Gıda Mühendisliği Bölüm Öğretim Üyelerine;

Tecrübelerinden yararlanmış olduğum, farklı laboratuvarlar içerisinde bulunan cihazları kullanmam konusunda yardımcı olan Arş. Gör. Ayşegül BEŞİR'e;

Hiçbir desteklerini esirgmeden yardımcı olan Gıda Mühendisliği Bölümü'nden arkadaşlarım Dr. Oscar ZANNOU, Dr. Ali PASHAZADEH, laboratuvar çalışması yardımları için Celal Onur DEMİR, Elmir YAGUBLU ve o süreçte yanımda olan tüm arkadaşlarıma;

Her koşulda yanımda olan, sonsuz fedakarlıklarıyla maddi/manevi desteğini her zaman yanımda hissettiren annem Fatma KABA, babam Hasan KABA ve dayım Hakkı BASMACI'ya çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, PYO. MUH.1904.22.019 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi olarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

Beyza KABA

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Kırmızı Pancar	5
2.1.1. Kırmızı Pancar Hakkında Genel Bilgi	5
2.1.2. Kırmızı Pancar Çeşitleri.....	7
2.1.3. Kırmızı Pancarın Üretimi	7
2.1.4. Kırmızı Pancarın Bileşimi	8
2.1.4.1. Kırmızı Pancarın Biyoaktif Bileşenleri	11
2.1.4.1.1. Betalainler	13
2.1.5. Sağlık Üzerine Etkileri.....	26
2.1.6. Kırmızı Pancarın Değerlendirilmesine İlişkin Çalışmalar	29
2.2. Derin Ötektik Çözücüler	34
2.2.1. Derin Ötektik Çözücüler Hakkında Genel Bilgi.....	34
2.2.2. DES'lerin Uygulama Alanı	37
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	42
3.1. Materyal	42
3.2. Yöntemler	43
3.2.1. Kırmızı Pancar Yumrularının Özelliklerinin Belirlenmesi	43
3.2.1.1. Renk analizi	43
3.2.1.2. Kuru Madde Tayini	43
3.2.1.3. Suda Çözünür Katı Madde Miktarının Belirlenmesi.....	43
3.2.1.4. pH Tayini.....	43
3.2.1.5. Titrasyon Asitliği Tayini	43
3.2.2. DES Hazırlığı	44
3.2.3. DES'lerin Fizikokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi	45
3.2.3.1. Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	45
3.2.3.2. pH Tayini.....	45
3.2.3.3. Fourier Dönüştürülmüş Kızılötesi (FTIR) Analizi.....	45
3.2.3.4. İletkenlik.....	46
3.2.3.5. Su Aktivitesi	46
3.2.3.6. Yoğunluk Ölçümü.....	46
3.2.4. DES'ler ile Ekstraksiyon.....	46
3.2.5. Betalain İçeriğinin Belirlenmesi	47
3.2.6. Yanıt Yüzey Metodolojisi Deney Tasarımı.....	48
3.2.7. Stabilitate Testleri.....	49
3.2.8. Bozunma Kinetik Analizi.....	49
3.2.9. Betalainlerin Biyoyararlıklarının Belirlenmesi.....	50
3.2.10. İstatistiksel Analiz.....	50
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	52
4.1. Kırmızı Pancar'ın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	52
4.2. DES'lerin Özellikleri	53
4.2.1. FTIR Spektrumları.....	53
4.2.2. Vizkozite ve pH.....	55

4.2.3. İletkenlik	57
4.2.4. Su Aktivitesi	58
4.2.5. Yoğunluk.....	59
4.3. DES'lerle Kırmızı Pancardan Betalain Ekstraksiyonu	59
4.4. Yanıt Yüzey Yöntemi ile Betalain Ekstraksiyonunun Optimizasyonu	62
4.4.1. Modelin Doğrulanması	63
4.5. RSM'nin Çoklu Yanıtı	67
4.6. Optimum DES'in Özellikleri	69
4.7. Optimum Koşullarda Elde Edilen Betalain Ekstraktının Pigment İçeriği Üzerine Depolamanın Etkisi	71
4.8. Kırmızı Pancar Betalainlerinin Biyoerişebilirliği	74
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	76
KAYNAKLAR	78
ÖZ GEÇMİŞ	97



SİMGELER VE KISALTMALAR

C ₀	: Başlangıç Betalain Konsantrasyonu
BCY	: Betasiyanin
BTX	: Betaksantin
BT	: Betalain
DES	: Derin Ötektik Çözücü
NADES	: Doğal Derin Ötektik Çözücü
Düz. R ²	: Düzeltilmiş Regresyon Katsayısı
EDTA	: Etilendiamin Tetraasetik Asit
FTIR	: Fourier Transform İnfrared Spektroskopisi
HDES	: Hidrofobik Derin Ötektik Çözeltileri
HBA	: Hidrojen Bağ Alıcısı
HBD	: Hidrojen Bağ Vericisi
KHz	: Kilohertz
kV	: Kilovolt
kJ	: Kilojoule
k.m.	: Kuru Madde
MHz	: Megahertz
MPa	: megapaskal
M	: Molar
ε	: Molar Absorbsiyon Katsayısı
R ²	: Regresyon Katsayısı
L*	: Aydınlık/Karanlık Değeri
a*	: Kırmızılık/Yeşillik Değeri
b*	: Sarılık/Mavilik Değeri
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
a _w	: Su Aktivitesi
FW	: Taze Ağırlık
ANOVA	: Tek Yönlü Varyans Analizi
t _{1/2}	: Yarılanma Ömrü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kırmızı pancarın genel görünüşü	5
Şekil 2.2. Kırmızı pancarın hasat edilmesi	6
Şekil 2.3. Kırmızı pancar çeşitlerinin görünüşü.....	7
Şekil 2.4. Kırmızı pancar yapraklarının görünüşü	9
Şekil 2.5. Kırmızı pancarın biyoaktif bileşenleri	12
Şekil 2.6. Betalainlerin Genel Yapısı (a) Betalamik Asit (b) Betasiyanin (c) Betaksantin	13
Şekil 2.7. Betalain biyosentez yolu	16
Şekil 2.8. Kırmızı pancarın çeşitli gıda ürünlerindeki uygulamaları	17
Şekil 2.9. Betalain kaynakları	17
Şekil 2.10. Betalain stabilitesini etkileyen faktörler	20
Şekil 2.11. Kırmızı pancarın biyoaktiviteleri	27
Şekil 2.12. DES'lerin özellikleri ve uygulamaları	36
Şekil 3.1. Kırmızı pancarın iç kesiti.....	42
Şekil 3.2. Pancarların pulp haline getirilmesi ve depolanmaya hazırlanması.....	42
Şekil 3.3. Kırmızı pancarların renk ölçümlerinin yapılması.....	43
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan DES'lerin görünüşleri	44
Şekil 3.5. Reometre cihazı.....	45
Şekil 3.6. FTIR Spektrumlarının Saptanması	45
Şekil 3.7. İletkenlik ölçüm cihazı.....	46
Şekil 3.8. Betalainin ekstraksiyonu	47
Şekil 3.9. Işık stabilitesi testinin uygulanışı	49
Şekil 4.1. DES'lerin ftir spektrumları; a) kolin klorür-alkoller, b) kolin klorür-asitler, c) kolin klorür-şekerler, d) asitler-kolin klorür ve e) asitler-şekerler	54
Şekil 4.2. Betasiyanin verimi üzerine a) su oranı ve molar oranın, b) sıcaklık ve su oranının etkisini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eşyükselti eğrisi	65
Şekil 4.3. Betaksantin verimi üzerine a) su oranı ve molar oranın, b) sıcaklık ve molar oranın etkisini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eşyükselti eğrisi.....	66
Şekil 4.4. Betalain verimi üzerine a) su oranı ve molar oranın, b) sıcaklık ve su oranın etkisini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eşyükselti eğrisi	66
Şekil 4.5. Optimum noktada DES ve ekstraktın FTIR spektrumu	70
Şekil 4.6. 4°C'deki ekstraktların 5.gün sonundaki görünüşleri.....	71
Şekil 4.7. Depolanan ekstraktların 3. ve 6.gün sonundaki görünüşleri.....	71
Şekil 4.8. Kolin klorür-glikoz bozunma kinetiği sonuçları	72

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Yıllara göre kırmızı pancar üretim miktarı	8
Tablo 2.2. Kırmızı pancarın genel bileşimi	8
Tablo 2.3. Kırmızı pancarın aminoasit kompozisyonu	9
Tablo 2.4. Kırmızı pancarın organik asit dağılımı	10
Tablo 2.5. Kırmızı pancarın mineral içeriği	10
Tablo 2.6. Kırmızı pancarın vitamin içeriği	11
Tablo 2.7. Kırmızı pancarın başlıca biyoaktif bileşikler	12
Tablo 2.8. Betalainlerin Genel Sınıflandırılması	14
Tablo 2.9. Yapay boya, betalainlerin avantajları ve dezavantajları	15
Tablo 2.10. Bazı yenebilir bitkilerin betalain içerikleri.....	18
Tablo 2.11. Farklı kaynaklardan ultrason-destekli betalain eldesi.....	23
Tablo 2.12. Farklı kaynaklardan mikrodalga-destekli betalain eldesi.....	24
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan başlıca çözücüler	44
Tablo 3.2. Bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlu değerleri.....	48
Tablo 4.1. Pancar pulunun fiziksel özellikleri	52
Tablo 4.2. Analizde kullanılan DES'lerin bazı fiziksel özellikleri	53
Tablo 4.3. Farklı DES'lerle elde edilen betalain ekstraksiyon verimi.....	60
Tablo 4.4. Kolin klorür-Glikoz Merkezi Kompozit Tasarım Sonucu	62
Tablo 4.5. Betasiyaninler, betaksantinler ve toplam betalainlerin ANOVA sonuçları	64
Tablo 4.6. Betasiyanin, betaksantin ve betalain için deneysel veriler yardımıyla elde edilen formüller	67
Tablo 4.7. Betasiyanin, betaksantin ve betalain için istenilirlik fonksiyonuna göre optimum şartlardaki	68
Tablo 4.8. Optimum koşullarda elde edilen DES'in özellikleri	70
Tablo 4.9. Oda sıcaklığında ve depolama süresinde DES ekstraktlarındaki %kayıp	72
Tablo 4.10. DES'lerle ekstrakte edilen betalainlerin ışık stabilitesine ait hız sabitleri ile yarılanma	74
Tablo 4.11. Kırmızı pancar betalainlerinin biyoerişebilirlikleri	75

1. GİRİŞ

Son yıllarda insanların çevreye yaptığı tahribat konusuna ilişkin farkındalığın artmasıyla birlikte bilimsel ve endüstriyel araştırma ve geliştirmede 'yeşil ekstraksiyon' konusundaki çalışmalar hız kazanmıştır. Hammaddelerin, çözücülerin ve enerjinin optimum kullanımını sunan ekstraksiyon proseslerinin keşfine ve tasarımına yol açmıştır (Radošević vd., 2015).

Geleneksel ekstraksiyon teknikleri, organik çözücülerin kullanımına dayanmaktadır. Örneğin, endüstriyel fosfolipitler genellikle aseton, dietil eter ve kloroform gibi organik çözücülerle kimyasal olarak ekstrakte edilir. Kullanılan birçok çözücü sağlığa zararlı, çevre ve hedef üründe kirliliğe yol açabilmektedir (Jin vd., 2023). Ayrıca, ekstraksiyon sürecinde fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik bir takım değişimler olabilmektedir (Chemat ve Khan, 2011). Bu nedenle ekstraksiyonda hedeflenen bileşik üzerinde meydana gelebilecek olumsuz etkilerin en aza indirilmesi ve kullanılacak ekstraksiyon tekniğinin de çevre dostu olması önem taşımaktadır (Kutlu vd., 2017). Gıda, kimya ve ilaç endüstrisinde yaygın kullanılan geleneksel çözücüler yerine, yüksek ekstraksiyon verimine sahip ve sağlığa zararı olmayan çözücülerin kullanımı tavsiye edilmektedir (Kantar vd., 2021). Bu amaçla yeşil kimya, toksik etkileri bilinen ve geleneksel çözücülerin yerine çevreye duyarlı ve birçok kimyasal işleme proseslerinde yer alabilecek alternatif çözücülerin kullanımı teşvik etmektedir (Çalhan ve Ülger, 2018). Bu konuda, derin ötektik çözücüler (DES) olarak bilinen yeni çözücü sınıfı, umut verici bir araç olarak görülmektedir (Cunha ve Fernandes, 2018).

Derin ötektik çözücüler (DES), çoğunlukla hidrojen bağları aracılığı ile bağlanabilen bileşiklerin ikili veya üçlü karışımlarıdır (Gitti, 2019; El Achkar vd., 2021). Ötektik karışım, bir hidrojen bağı vericisi (HBD) ve bir hidrojen bağı alıcısı (HBA) tarafından oluşturulur (Li ve Row, 2016; Ruggeri vd., 2019). DES'lerin hazırlanması, geleneksel organik çözücülere göre daha kolaydır (Ruggeri vd., 2019). Genellikle toksik olmayan, çevre dostu ve biyolojik olarak parçalanabilen bileşiklerdir. Aynı zamanda düşük maliyetli ve basit olmaları (Cunha ve Fernandes, 2018), farklı organik ve inorganik türleri çözme yeteneğine sahip olmaları gibi çeşitli avantajları vardır. DES'ler geleneksel organik çözücülere göre yanıcı değildirler. Uçucu organik çözücüler olarak kabul edilmezler (Lynam vd., 2017; Zainal-Abidin

vd., 2021). Bu nedenle depolanmaları uygundur (Radošević vd., 2015). 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda genellikle sıvıdır. DES'ler geleneksel olarak kullanılan iyonik sıvılara benzer fiziko-kimyasal özellikler göstermektedirler (Zhang vd., 2012).

İyonik sıvılar, sıvı polimerler, süperkritik akışkanlar, biyokütle bazlı sıvılar ve derin ötektik çözücüler yeşil çözücülerin başlıcalarıdır (Wei vd., 2015). Ekstraksiyonda derin ötektik çözücülerin kullanılmasının en önemli nedeni, çözünme kabiliyetlerinin yüksek olması, başka bir deyişle moleküller arasında hidrojen bağı oluşumunu kolaylaştıran proton ve elektron alma/verme kabiliyetleri gösterebilmeleridir (Smith vd., 2014).

Derin ötektik çözücülerin çözücü amacıyla kullanılmasında dikkat edilmesi gereken bazı özellikler vardır. Bunlar; erime noktası, viskozite, camsı geçiş sıcaklığı, termal kararlılık ve polarite gibi özelliklerdir. DES'in oluşumunda yer alan bileşenler arasındaki hidrojen bağı viskozitenin yüksek olmasını sağlar. Ayrıca bununla birlikte elektrostatik çekimler ve Van der Waals etkileşimleri de viskozitenin artmasına sebep olur (Niş, 2019). Uçuculuğun düşük ve viskozitenin yüksek olması DES kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu sınırlama özellikle heterojen katalizör kullanılan proses işlemlerinde önem kazanmaktadır (Dai vd., 2013a).

Son yıllarda DES'ler gıda sanayinde, bitkisel gıdaların bileşenlerinin ekstraksiyonunda geleneksel çözücülere alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Polifenollerin ekstraksiyonunda geleneksel çözücülere göre daha yüksek verim sağlamıştır. Polifenoller dışında saponinler, proteinler, karbonhidratlar, alkaloidler, uçucu yağlar, terpenoidler, çoklu doymamış yağ asitleri ve pigmentlerin ekstraksiyonunda da kullanılmıştır (Bubalo vd., 2016; García vd., 2016; Bajkacz ve Adamek, 2017; Bosiljkov vd., 2017; Bajkacz ve Adamek, 2018; Ozturk vd., 2018; Guo vd., 2019; Mišan vd., 2020; Doldolova vd., 2021). Bitkisel pigmentlerden olan betalainlerin DES'ler ile ekstraksiyonunda ise henüz yeterli uygulama bulmamıştır.

Betalainler, suda çözünme yeteneğine sahip ve azot içeren, betalamik asit türevi olup (Ravichandran vd., 2013; Özyurt vd., 2019; Nirmal vd., 2021), antosiyaninlerden daha güçlü antioksidan ve renklendirme gücüne sahip pigmentlerdir (Nirmal vd., 2021). Betalainler, betasiyanin ve betaksantin olarak iki gruba ayrılmaktadır (Nemzer vd., 2011; Sawicki vd., 2016; Özyurt vd., 2019). Betasiyaninler kırmızı-mor renkli olup betalainlerin optikçe aktif formlardır. Betaksantinler ise sarı-turuncu renklidir ve

yapılarında indol çekirdeği amino asitle yer değiştirmiştir. Betalainler ısı, pH, ışık ve oksijene karşı çok hassastır. Bu durum işleme ve depolama sırasında zayıf stabiliteye yol açar (Fu vd., 2020). Çok asidik çözeltilerde, kırmızı anyonik yapı menekşe rengi katyona dönüştüğünden, renk daha koyu mavi-menekşe hal alır. Alkali koşullarda betanin kaybından dolayı sarı-kahverengi renk oluşmaktadır (Ata vd., 2013). Betalainler, antioksidan, antilipidemik, antiproliferatif, kardiyoprotektif, anti-inflamatuvar ve antimikrobiyal etkilere sahiptir (Gengatharan vd., 2015; Choo, 2019; Özyurt vd., 2019). Antioksidan özelliği sayesinde betalainler, peroksinitrite bağlı tirozin nitrasyonunu inhibe etmektedir (Özyurt vd., 2019). Betalain pigment karışımları, pancar suyu konsantresi veya pancar tozu şeklinde gıda, ilaç ve kozmetik ürünler için doğal katkı maddesi olarak (Ravichandran vd., 2013) yüzlerce yıldır geleneksel tıpta kullanılmaktadır (Akan vd., 2019). Genellikle gıda renklendiricisi olarak yoğurt, dondurma gibi gıdalara katılmaktadır (Attia vd., 2013). Dünya genelinde süt ve süt ürünleri, çorbalar, salça, soslar, jöle, meyve suları, kahvaltılık ürünler, sucuk ve sosis ürünlerinin üretiminde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Tatlılar, şekerlemeler, kuru karışımlar gibi gıdalarda da çeşitli uygulamalara sahiptir (Azeredo, 2009). Kırmızı ve sarı pancar (*Beta vulgaris* L. sp. *vulgaris*), amarant (*Amaranthus* sp.), kaktüs meyvesi (*Opuntia* ve *Hylocereus* genera) ve pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) betalainler bakımından zengin kaynaklardır. Bu bitkiler arasında betalain kaynağı olarak en fazla kullanılan kırmızı pancardır (Özcan ve Bilek, 2018).

Kırmızı pancar *Caryophyllales* familyasına sahip 2 yıllık bir bitkidir. Türkiye'de taze tüketiminin yanı sıra turşu ve şalgam suyu üretiminde de kullanılmaktadır (Tomar ve Yıldırım, 2019). Bileşiminde betalainler dışında askorbik asit, karotenoidler, nitrat, fenolik asitler ve flavonoidler gibi fitokimyasallar bulunmaktadır (Clifford vd., 2015; Ceclu ve Nistor, 2020). Kırmızı pancar 100 g taze ağırlıkta yaklaşık 380 mg betalain içermektedir (Attia vd., 2013). Kırmızı pancar köklerinin sulu ekstraksiyonu ile elde edilip, gıda katkı maddesi olarak kullanılan betalainler (E-162) kırmızı pancar ve atıklarından geleneksel çözücüler yardımıyla üretilir (Tekin vd., 2018).

Günümüze kadar birçok araştırmacı, geleneksel çözücüler kullanarak kırmızı pancardan betalain ekstrakte etmişlerdir (Kujala vd., 2002; Kushwaha vd., 2018; Zin vd., 2020b; Kumar vd., 2023). Ancak yeşil solventlerden olan DES'le yapılan ekstraksiyona yönelik çalışmaların sayısı oldukça azdır (Hernández-Aguirre vd., 2021;

Demuner vd., 2023; Prajapati ve Jadeja, 2023). Bundan yola çıkılarak çalışmada, kırmızı pancardan (*Beta vulgaris* L.) derin ötektik çözücülerle betalainlerin ekstraksiyonu hedeflenmiştir. Bunun için 10 derin ötektik çözücü (DES) sentezlenmiştir. Kolin klorür, askorbik asit, laktik asit, malik asit, hidrojen bağı alıcısı (HBA); etilen glikol, bütandiol, asetik asit, gliserol, glikoz, kolin klorür, sorbitol, ksilitol, hidrojen bağı vericileri (HBD) olarak seçilmiş ve geleneksel çözücü olan etanol, metanol ve damıtık su ekstraktlarının verimiyle karşılaştırılmıştır. Yüzey yanıt tasarım metodolojisi ve merkezi kompozit tasarımı kullanılarak betalainlerin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimum koşullarda elde edilen pigmentlerin stabiliteleri ölçülmüştür.



2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Kırmızı Pancar

2.1.1. Kırmızı Pancar Hakkında Genel Bilgi

Kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L.), yüzlerce yıldır tüm mevsimsel iklim koşullarında yetiştirilebilen, ıspanakgiller (*Amaranthaceae*) ailesine ait çiçekli bir bitkidir. Yetiştirilme alanları Avrupa, Amerika ve Hindistan'a kadar uzanmaktadır. Türkiye'de kırmızı pancar en çok Ege ve Marmara bölgesinde, az miktarda da Akdeniz bölgesinde üretilmektedir (Özcan ve Bilek, 2018).

Asıl anavatanı Akdeniz Bölgesi olan kırmızı pancar, organik madde açısından zengin, derin topraklarda, killi ve ılıman iklim bölgelerinde yetişebilmektedir (Neelwarne, 2012). Köklerin rengi, çeşite göre değişkenlik gösterebilir, en yaygın kırmızı-mor, altın sarısı ve kırmızı-beyaz tondaki yumrulardır (Kezi ve Sumathy, 2014). Kök kısmı koyu kırmızı olan pancar, açık yeşilden koyu yeşile değişebilen renkte koyu kırmızı damarlara sahip yapraklar içermektedir (Şekil 2.1) (Neelwarne ve Halagur, 2013). Kırmızı pancarın renginin yoğunluğu, genetik çeşitlilik, pigmentasyon ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Nottingham, 2004).



Şekil 2.1. Kırmızı pancarın genel görünüşü

Pancarın yenilebilir kök kısmının ortalama boyu 1-2 m, ana kökü uzun, konik şekilli ve sert yapıdadır. Pancarın kökleri, türüne bağlı olarak farklı şekillerde olabilirler, genellikle küresel veya silindirik bir formdadır. Pancar bitkisinin yaprakları, hipokotilin tepesinden çıkar, şekil, boyut ve renk açısından farklılık gösterir. Tohumun mantarimsı dış yüzeyi, fenolik bileşikler içerir ve fiziksel bir bariyer görevi görerek çimlenmeyi önler. Gövdeler yatık, dik ve çok dallıdır. Çiçek yapısı beş yapraklı ve çok küçüktür (Kezi ve Sumathy, 2014). Pancar bütün yıl boyunca yetişebilir. Serin mevsim sebzeleri arasında yer alsa da yüksek sıcaklıklara karşı oldukça toleranslıdır. Pancarın optimum yetiştirme sıcaklığı 15 ile 19°C arasındadır. Düşük sıcaklık, pancarın koyu kırmızı pigmentasyonun gelişimine destek olur. Pancarın hasat süresi yazın 75–90 gün, kışın ise 100–120 gündür. Pancarın şeker içeriği, azot varlığına bağlıdır. Hasat tekniği patatese benzer ve hasat verimi bitkinin gübreleme, iklim, çeşit gibi etkenlere bağlıdır (Yashwant, 2015).

Yetiştirildiği toprağın pH değeri 5.8 ile 7.0 arasında olmalıdır. Soğuk hava mahsulü olan kırmızı pancarın tohumları, toprak sıcaklığı 4.5 ile 30.0°C arasında olduğunda çimlenir. Kırmızı pancar, tohumlarla çoğaltılır ve ekim zamanı, üretim alanına bağlı olarak değişebilir. Örneğin, yaz mevsiminin serin olduğu bölgelerde, tohumlar Ağustos ayından Nisan ayına veya Mart ortasına kadar ekilebilir. Kırmızı pancar, yetiştirme koşullarına ve çeşit özelliklerine bağlı olarak ekimden sonra 60 ile 90 gün arasında tam olgunluğa ulaşır ve hasat edilir (Şekil 2.2). Hasat, elle veya mekanik olarak yapılabilir (Akan vd., 2021).



Şekil 2.2. Kırmızı pancarın hasat edilmesi

Kırmızı pancar, insan tüketimi için popüler ve öne çıkmaktadır. Kırmızı pancarın kökleri ve yaprakları yenilebilmektedir (Kumar ve Brooks, 2018). Geleneksel olarak çiğ, fırınlanmış veya salamura edilmiş olarak tüketilmektedir (Bach vd., 2015). Kırmızı pancar, kendine özgü rengini azot içeren suda çözünür pigmentler olan betalainlerin varlığına borçludur. Doğal bir gıda boyası olarak yaygın şekilde kullanılır (Slavov vd., 2013) ve E-162 olarak etiketlenir (Ravichandran vd., 2020). Kırmızı pancar, gıda, dekoratif sanat, resim, kozmetik ve geleneksel tıbbi ürünlerde yaygın şekilde doğal renklendirici olarak kullanılır (Kumar ve Brooks, 2018).

2.1.2. Kırmızı Pancar Çeşitleri

Detroit Dark Red, Crimson Globe, Crosby Mısır ve Early Wonder olmak üzere dört ana pancar çeşidi bulunmaktadır. Detroit Dark Red pancar, düzgün köklere sahip koyu kırmızı etli bir türdür. Crimson Globe pancarlarının küçük omuzları vardır ve etleri orta koyu kırmızı renkte kısımlara sahiptir. Crosby Mısır pancarı ise düz küre şeklinde ve iç rengi belirsiz kısımları olan koyu morumsu kırmızıdır. Bu tür, ekimden 55-60 gün sonra olgunluğa ulaşır. Early Wonder pancarının kökü düzleşmiştir ve eti, daha açık kırmızı kısımlar içermekle birlikte koyu kırmızıdır. Bu tür, en üstte pürüzsüz bir doku ve yuvarlak omuzlara sahiptir. Küre şeklindeki kırmızı damarlı koyu yeşil yaprakları vardır (Şekil 2.3) (Chhikara vd., 2019).



Şekil 2.3. Kırmızı pancar çeşitlerinin görünüşü

2.1.3. Kırmızı Pancarın Üretimi

Kırmızı pancarın anavatanı Akdeniz Bölgesi'dir. Son zamanlardaki popüleritesi arttığından Amerika, Avrupa ve Asya'da da üretimi gerçekleştirilmektedir (Akan vd., 2019). Ülkemizdeki üretimine bakıldığında; 2019 yılında 9917 ton, 2020 yılında 7881 ton, 2021 yılında 10444 ton ve 2022 yılında büyük bir artışla 23543 tona çıktığı görülmektedir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Yıllara göre kırmızı pancar üretim miktarı (TUİK, 2022)

Üretim Yılı	Üretim (ton)
2016	7774
2017	7553
2018	8119
2019	9917
2020	7881
2021	10444
2022	23543

2.1.4. Kırmızı Pancarın Bileşimi

Pancar karotenoidler, flavonoidler, nitratlar, vitaminler, sodyum, potasyum, kalsiyum, bakır, fosfor, magnezyum, çinko, demir, manganez gibi mineraller ve betasiyaninler (kırmızı-mor renkli) ve betaksantinler (sarı-turuncu renk) gibi suda çözünür pigmentlerce zengin olup beslenme ve sağlık açısından faydalıdır (Panghal vd., 2017). Pancarda bulunan polifenoller, karotenoidler ve vitaminler antioksidan, anti-inflamatuar, antikanserojen özelliklere sahiptir. Pancarın işlenmesi ve ürünlerinin tüketimi, doğal bir antioksidan kaynağı olarak kabul edilmesi nedeniyle popülerliği giderek artmaktadır (Chhikara vd., 2019). Pancar, önemli bir kök sebzesi olup karbonhidratlar, yağ, protein, mikro besinler gibi fonksiyonel bileşenler içerir. Kırmızı pancarın 100 gramında, 43 kcal enerji, %87.58 su, %1.61 protein, %0.17 yağ, %9.56 karbonhidrat, %2.8 lif, %6.76 toplam şeker, 16 mg Ca, 0.80 mg Fe, 23 mg Mg, 40 mg P, 325 mg K, 78 mg Na, 0.35 mg Zn ve 4.9 mg C vitamini bulunmaktadır (USDA, 2019). Ayrıca A, B₃, B₆, B₉ vitaminlerini de içermektedir (Tablo 2.2) (Ceclu ve Nistor, 2020; Mudgal, 2022). İyi bir folat kaynağıdır (Bach vd., 2015; Al-aboud, 2018). Temel olarak sakaroz, az miktarda fruktoz ve glikoz içerir (Bavec vd., 2010).

Tablo 2.2. Kırmızı pancarın genel bileşimi

Bileşen	Miktar (g/100g)	Kaynak
Su	86.2; 87.6; 91.3	Souci vd., 2000; USDA 2019; Ceclu ve Nistor, 2020
Karbonhidrat	9.6; 9.96; 7.23	Babarykin vd., 2019; Chhikara vd., 2019; Ceclu ve Nistor, 2020
Protein	1.6; 1.68; 1.89	Babarykin vd., 2019; Chhikara vd., 2019; Ceclu ve Nistor, 2020
Yağ	0.18; 0.15	Chhikara vd., 2019; Ceclu ve Nistor, 2020
Lif	2.8; 2.8	Neelwarne, 2012; Hadipour vd., 2020
Sakaroz	2.84	Bavec vd., 2010
Glukoz	0.03	Bavec vd., 2010
Fruktoz	0.11	Bavec vd., 2010

Kırmızı pancarın bileşimi, çeşide ve bitkinin çeşitli kısımlarına (yapraklar, gövde, kök ve kabuk) bağlı olarak değişir (Sawicki vd., 2016). Pancar yaprakları (Şekil

2.4), yumrularına göre daha yüksek karotenoid içerir. Bu farklılık, bitkilerin yeşil dokularındaki kloroplastlarda α - ve β -karoten, β -kriptoksantin, lutein, zeaksantin, violaksantin ve neoksantin karışımı olarak depolanması ile açıklanmaktadır (Paliwal vd., 2016).



Şekil 2.4. Kırmızı pancar yapraklarının görünüşü

Kırmızı pancar, esansiyel ve esansiyel olmayan amino asitler içerir (Tablo 2.3). Choińska vd. (2022), fermente edilmemiş kırmızı pancar örneklerinde glutamat, glutamin, aspartat, arjinin, lösin, valin, izolösin, taurin ve lizin gibi amino asitlerin bulunduğunu, starter kültürlerin kullanımı ile serbest amino asitlerin kompozisyonunda değişiklikler meydana geldiğini bildirmişlerdir. Özellikle, starter kültürlerin kullanımının, fermente kırmızı pancardaki valin, izolösin, taurin, sistein ve prolin gibi amino asitlerin artışına neden olduğunu saptamışlardır.

Tablo 2.3. Kırmızı pancarın aminoasit kompozisyonu (Székely ve Máté, 2022)

Amino asit	Miktar (mg/100 g)	Amino asit	Miktar (mg/100 g)
Triptofan	0.019	Sistin	0.019
İzolösin	0.048	Arginin	0.042
Lösin	0.068	Histidin	0.021
Lizin	0.058	Alanin	0.060
Treonin	0.047	Glutamik Asit	0.428
Metiyonin	0.018	Glisin	0.031
Fenilalanin	0.046	Prolin	0.042
Tirozin	0.038	Aspartik Asit	0.116
Valin	0.056	Serin	0.059

Sebzede sitrik asit başta olmak üzere fumarik, malik ve şikimik organik asitleri bulunmaktadır. Şikimik asit aralarında en çok bulunan organik asittir (Tablo 2.4) (Bavec vd., 2010).

Tablo 2.4. Kırmızı pancarın organik asit dağılımı (Bavec vd., 2010)

Bileşen	Miktar (g/100g)
Sitrik asit	0.29
Malik asit	0.24
Şikimik asit	3.67
Fumarik asit	0.00021

Kırmızı pancarın mineral içeriği; çeşit, yetiştirme koşulları ve işleme yöntemleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir (Akan vd., 2021). Kırmızı pancar, özellikle demir, magnezyum, manganez, fosfor ve potasyum bakımından zengindir. Ayrıca, kalsiyum, çinko, bakır ve selenyum gibi mineralleri de içerir (Tablo 2.5). Bu minerallerin birçoğu vücut için önemli olup çeşitli fonksiyonları yerine getirirler. Örneğin, demir kan yapımında, magnezyum sinir sistemi ve kas fonksiyonlarında, potasyum elektrolit dengesini sağlamada ve fosfor kemik sağlığı için önemlidir (Ceclu ve Nistor, 2020). Pancarın yüksek bakır içeriği, vücudun demir emilimine yardımcı olur (Yashwant, 2015).

Tablo 2.5. Kırmızı pancarın mineral içeriği

Mineraller	Miktar (mg/100 g)	Kaynak
Fosfor	38; 40; 87	Chhikara vd., 2019; USDA, 2019; Székely ve Máté, 2022
Kalsiyum	16; 12.20; 35	Neelwarne, 2012; Kale vd., 2018; Székely ve Máté, 2022
Potasyum	325; 305; 260	Neelwarne, 2012; Chhikara vd., 2019; Székely ve Máté, 2022
Magnezyum	23; 87	Neelwarne, 2012; Székely ve Máté, 2022
Sodyum	78; 77; 98	Neelwarne, 2012; Chhikara vd., 2019; Székely ve Máté, 2022
Çinko	0.075; 0.35; 0.337	Neelwarne, 2012; USDA, 2019; Székely ve Máté, 2022
Kobalt	0.009	Székely ve Máté, 2022
Krom	0.005	Székely ve Máté, 2022
Manganez	0.329; 0.540	Neelwarne, 2012; Székely ve Máté, 2022)
Nikel	0.052	Székely ve Máté, 2022
Bakır	0.35; 0.075; 0.087	Neelwarne, 2012; USDA, 2019; Székely ve Máté, 2022
Selenyum	0,0007; 0.001;	USDA, 2019; Székely ve Máté, 2022
Demir	0.80; 0.76; 0.60	Neelwarne, 2012; Kale vd., 2018; Székely ve Máté, 2022

Kırmızı pancar, su ve yağda çözünen vitaminler içermektedir. Yapısında B₁, B₂, B₃ ve B₆ vitaminlerini vardır, B vitamini içeriği bakımından zengindir (Tablo 2.6). Ayrıca, C, A, E ve K gibi vitaminler de içerir (Babarykin vd., 2019).

Tablo 2.6. Kırmızı pancarın vitamin içeriği

Bileşen	Miktar (mg/100g)	Kaynak
A vitamini	0.02; 0.002; 0.0018	Babarykin vd., 2019; Chhikara vd., 2019; Székely ve Máté, 2022
Tiamin (B ₁)	0.02; 0.31; 0.0022	Babarykin vd., 2019; Chhikara vd., 2019; Székely ve Máté, 2022
Riboflavin (B ₂)	0.05; 0.27; 0.057	Babarykin vd., 2019; Chhikara vd., 2019; Székely ve Máté, 2022
Niasin (B ₃)	0.4; 0.331	Babarykin vd., 2019; Chhikara vd., 2019
Pantotenik asit (B ₅)	0.145; 0.155	Chhikara vd., 2019; Székely ve Máté, 2022
Piridoksin (B ₆)	0.067; 0.07	Chhikara vd., 2019; Székely ve Máté, 2022
Folat (B ₉)	0.08; 0.109	Chhikara vd., 2019; Altamash vd., 2022
C Vitamini	10; 3.6; 4.9; 13	Babarykin vd., 2019; Chhikara vd., 2019; Altamash vd., 2022; Székely ve Máté, 2022

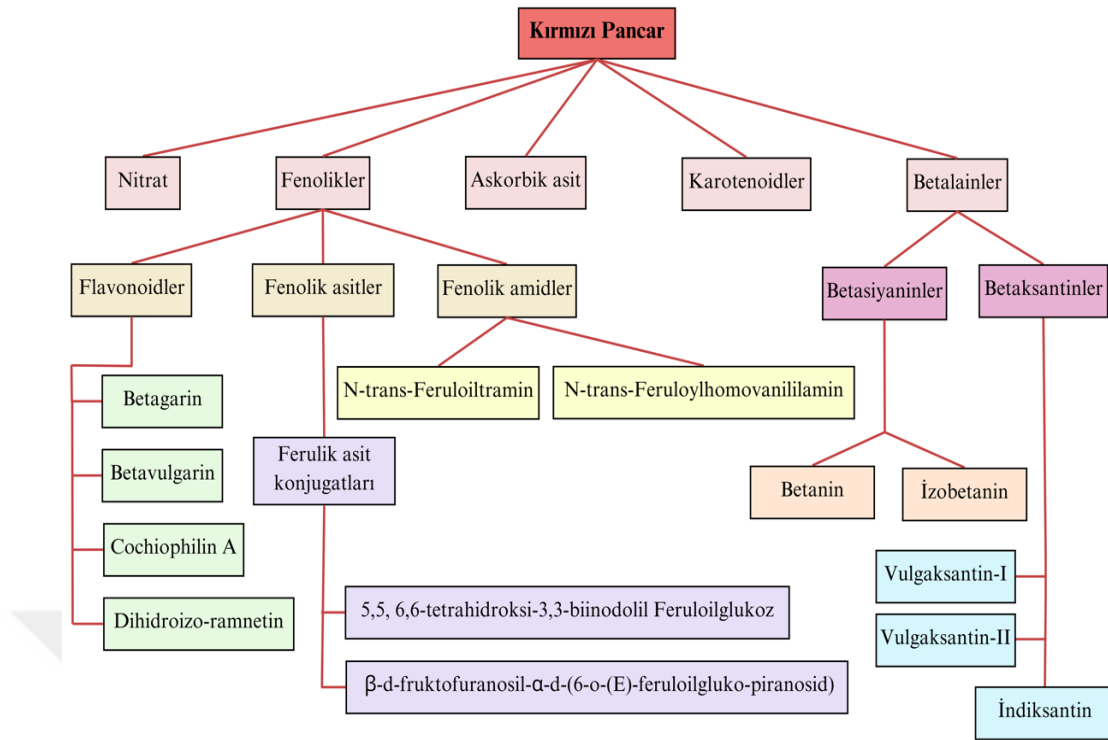
Nemzer vd. (2011), pigmentçe zengin kırmızı pancar kökü özütlerinin yüksek miktarda C vitamini, B vitamini (B₁, B₂, B₃, B₆ ve B₉) ve mineraller (potasyum, magnezyum, kalsiyum, demir, çinko ve bakır) içerdiğini tespit etmişlerdir. Kırmızı pancarın yüksek nitrat içeriğine de sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Olumese vd. (2016), pancar örneklerinde C vitamini ve beta-karoten dahil bazı vitaminlerin miktarlarını analiz etmişlerdir. Çiğ pancarda C vitamini ile beta-karoten içeriklerinin haşlanmış, kavrulmuş veya salamura edilmiş pancardan daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Lembong vd. (2019), Java Adası'ndaki farklı bölgelerde yetiştirilen kırmızı pancar özütlerinin C vitamini içeriğini araştırmışlardır. C vitamini içeriğinin kuru maddede 0.33 ile 0.50 mg/g arasında değiştiğini ve en yüksek içeriğin Orta Java'da yetişen kırmızı pancar özütlerinde, antioksidan aktivitesinin C vitamini içeriği ile pozitif korelasyona sahip olduğunu kaydederek, C vitamininin kırmızı pancar ekstraktlarının antioksidan kapasitesine katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir.

2.1.4.1. Kırmızı Pancarın Biyoaktif Bileşenleri

Kırmızı pancar antioksidan ve biyoaktif bileşenleri açısından oldukça zengin bir sebzedir (Kazimierczak vd., 2014). Nitrat, polifenoller, askorbik asit, karotenoidler ve betalainler başlıca biyoaktif bileşenleridir (Şekil 2.5). Az miktarda da olsa gliserin, betanin ve folik asit gibi biyoaktif bileşenler de içerir (Székely ve Máté, 2022). Önemli biyoaktif bileşenlerden nitrat, vasküler sağlık ve egzersiz performansı açısından önemli bir rol oynar. Betalainler, anti-enflamatuar ve anti-kanser etkilere sahiptir. Ayrıca kırmızı pancarın yüksek antioksidan kapasitesi, kardiyovasküler hastalık, diyabet ve bazı kanser türlerinin riskini azaltabilecek güce sahiptir (Clifford vd., 2015).



Şekil 2.5. Kırmızı pancarın biyoaktif bileşenleri (Chikkara vd., 2019)

Günümüze kadar birçok araştırmacı kırmızı pancarın biyoaktif bileşenlerini analiz etmiştir (Tablo 2.7). Kovarovič vd. (2017), farklı kırmızı pancar çeşitlerinin biyoaktif bileşenlerini araştırmışlardır. Yapılan analizler sonucunda, kırmızı pancarın yüksek miktarda askorbik asit, beta-karoten ve folik asit içerdiğini bulmuşlardır.

Tablo 2.7. Kırmızı pancarın başlıca biyoaktif bileşikleri

Bileşen	Miktar	Kaynak
Toplam fenolik madde	225 ^a ; 80 ^a ; 98 ^b ; 32,87 ^a ; 367 ^a	Bazaria ve Kumar, 2006; Straus vd., 2012; Vasconcellos vd., 2016; Ozdemir ve Ozcan, 2020; Bangar vd., 2022
Toplam flavonoid	63.34 ^b ; 6.15 ^a	Olumese vd., 2016; Thiruvengadam vd., 2022
Karotenoidler	1.9 ^a	Rebecca vd., 2014
Askorbik asit	34 ^a ; 44.34 ^b	Straus vd., 2012; Olumese vd., 2016;
Alkaloidler	128.8 ^a	Thiruvengadam vd., 2022
Steroidler	16.4 ^a	Thiruvengadam vd., 2022
Terpenoidler	115.5 ^a	Thiruvengadam vd., 2022
Saponinler	3.80 ^a	Thiruvengadam vd., 2022

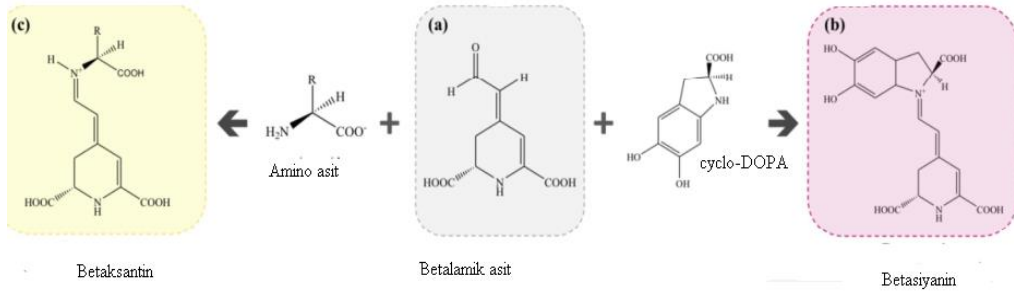
*a mg/100g; b mg/g

Poiana ve Druga (2022), üç farklı kırmızı pancar bazlı taze meyve suyunun askorbik asit, toplam polifenol ve antioksidan aktivite içeriğini incelemişlerdir.

Kullanılan hammaddeler arasında kırmızı pancarın C vitamini içeriğini 7.82 mg/100g, toplam polifenol içeriğini 8.83 mg gallik asit/g ve antioksidan aktivitesi 69.97 mg Troloks/g olarak saptamışlardır. Üç taze meyve suyu çeşidinden, birinci (kırmızı pancar, elma ve havuç suyundan (5:3:2; v:v:v)) ve üçüncünün (kırmızı pancar, elma, havuç ve zencefil suyu (5:2.8:2:0.2; v:v:v:v)) en yüksek askorbik asit içeriğine sahip olmasına rağmen, ikinci çeşidin (kırmızı pancar, elma ve zencefil suyu (7.8:2:0.2; v:v:v)) en iyi antioksidan aktivite ve polifenol bileşiklere sahip olduğunu bildirmişlerdir.

2.1.4.1.1. Betalainler

Betalainler, betalamik asit [4-(2-oksoetiliden)-1,2,3,4-tetrahidropiridin-2,6-dikarboksilik asit] türevi olup (Şekil 2.6), yapısında azot içeren, suda çözünabilir pigmentlerdir (Khan, 2016; Özyurt vd, 2019). Bu bileşik, bir kromofor alt yapısı olan 1,7-diazaheptametinden oluşur (Khan, 2016). Genellikle betasiyanin ve betaksantin olmak üzere iki gruba ayrılır (Tablo 2.8) (Özyurt vd., 2019). Betasiyaninler kırmızı-mor renkte olup betalainlerin optikçe aktif formlarıdır. Betaksantinler ise sarı-turuncu renkte olup yapılarında indol çekirdeği amino asitle yer değiştirmiştir. Betalainlerin genel yapısı incelendiğinde; betalamik asit ile siklo-3,4-dihidroksifenilalanin (siklo-DOPA) molekülünün birleşmesiyle betasiyaninler, amino asit veya amin birleşmesiyle betaksantinler meydana gelmiştir (Azeredo, 2009).



Şekil 2.6. Betalainlerin Genel Yapısı (a) Betalamik Asit (b) Betasiyanin (c) Betaksantin (Calva Estrada vd., 2022)

Betanidin ve izobetanidin, betasiyaninin en basit formudur (Moreno vd., 2008). Betanidinin 5 veya 6. pozisyonuna 1 veya 2 hidroksil grubunun glikolizasyonu ve açılasyonu ile çeşitli betasiyaninler oluşur. Bunların çoğu 5-O-glukozit şeklindedir. En yaygın betasiyanin, betanidin-5-O-β-glikozit (betanin)'tir (Azeredo, 2009).

Tablo 2.8. Betalainlerin Genel Sınıflandırılması (Gengatharan vd., 2015)

Betasiyanin	Betaksantin
<i>Betanin grubu</i>	<i>Amino asitten türeyenler</i>
Phyllocactin	Portulacaksantin I
2'-apiosyl-phyllocactin	Portulacaksantin II
2'-betanin	Triptofan-betaksantin
Hylocerenin	Tirozin-betaksantin
<i>Amaranthin grubu</i>	<i>Aminden türeyenler</i>
Amaranthin	3-methoxytyroamine-betaxanthin
<i>Gomphrenin grubu</i>	
Gomphrenin sınıfı I, II, III	
Betaninidin 6-O-sophorosides türevleri	

Betalainler, antioksidan, antilipidemik, antiproliferatif, kardiyoprotektif, antienflematuvar ve antimikrobiyal etkilere sahiptir. Antioksidan özelliği sayesinde kırmızı pancardan elde edilen betalainler, peroksinitrite bağlı tirozin nitrasyonunu inhibe etmektedir. Betalainler, serbest radikalleri tutma özelliğine sahip olması nedeniyle kanser ve kardiyovasküler hastalıklara karşı koruyucu etki sağlamaktadır (Özyurt vd., 2019). Betalainlerin, endojen hücrel antioksidan savunma mekanizmalarını indükleyen bir anahtar transkripsiyon faktörünü (Nrf2) kontrol edebildiği bulunmuştur (Gengatharan vd., 2015). Antimikrobiyal aktivitesiyle, *Opuntia matudae* içerdiği betalain sayesinde *Escherichia coli* O157:H7 suşunun gelişimini engellediği tespit edilmiştir (Hayek ve Ibrahim, 2012). Pancar posasının sahip olduğu betalain pigmentinin ise *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* ve *Bacillus cereus*'un gelişimini engellemekte olduğu gözlemlenmiştir (Velićanski vd., 2011). Betalainlerin insan vücudu üzerinde toksik etkisi yoktur (Martins vd., 2017). Betanin içeren gıda takviyeleri, insan nötrofil hücrelerinde DNA hasarını azaltır (Zielińska-Przyjemska vd., 2012). Ek olarak, kırmızı pancardaki betanin, lenfo ve hepatositlerde DNA hasarını önler (Lee vd., 2009). Pancarda metabolize olan ve nitrik oksit (NO) üreten nitrat, dolaşım problemlerini iyileştirme yeteneğine sahiptir (Clifford vd., 2015).

Betalainler, hidrofilik özellikte ve güçlü renk verme yeteneğine sahip alternatif gıda renklendiricilerindendir (Stintzing ve Carle, 2007). İstenilen tonu elde etmek için gereken saf pigment konsantrasyonu nispeten azdır, nadiren 50 mg/kg'ı aşar (Azeredo, 2009). Yapay renklendiricilere göre birçok avantajı vardır (Tablo 2.9). Bitkisel kaynaklardan elde edilen betalainler, fonksiyonel bir bileşen olarak gıda, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde çeşitli uygulamalar için kullanılmaktadır (Kumar vd., 2020).

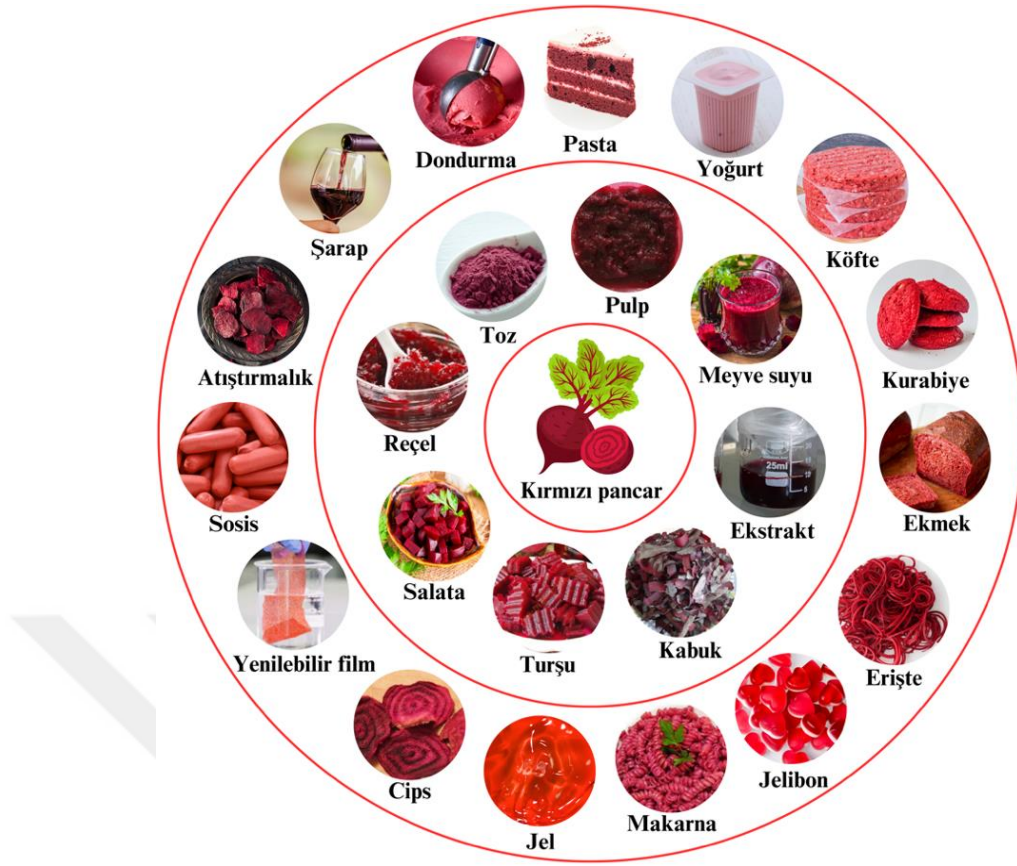
Tablo 2.9. Yapay boya, betalainlerin avantajları ve dezavantajları (Carreón-Hidalgo vd., 2022)

Red 40, Yellow 4 ve Yellow 5	Betasiyaninler ve Betaksantinler
Avantajlar	
• Çevresel faktörlere karşı yüksek stabilite • Yüksek renklendirme gücü • Stabil kalite • Düşük kullanım maliyeti	⇒ Geniş bir renk spektrumu: kırmızı, sarı ve turuncu ⇒ Farklı iklimlere adapte olmuş bazı bitkilerde bulunması ⇒ Antosiyaninlere göre asidik ile nötr pH'ta daha yüksek suda çözünürlük, renk kuvveti ve stabilite ⇒ Çeşitli biyolojik aktiviteler (antioksidan, antitümör ve antiinflamatuvar vs) ⇒ Tüketicilerin olumlu bakış açısı
Dezavantajları	
• Tüketicilerin olumsuz bakışı • Potansiyel olumsuz sağlık etkileri nedeniyle özel etiketleme ihtiyacı • Tüketimlerini olumsuz etkileyen sağlık etkileriyle ilişkilendiren bilimsel literatür	⇒ Yüksek sıcaklıkta bozulma eğilimi ⇒ Düşük renk doygunluğu ve parlaklık ⇒ Bitkisel kaynaklarla ilişkili değişken kalite ⇒ Kültüre alınmaya uygun olmayan türlerde bulunabilmesi ⇒ Birlikte istenmeyen bileşikler içerebilmesi ⇒ Renk verme gücünü geliştirmek için yapılacak işlemler, tüketicilerin duyuşal kabul edilebilirliğini azaltabilir ⇒ Yüksek kullanım maliyeti ⇒ Saflaştırmak veya kalite kontrolü için ekstra analitik adımlara ihtiyaç duyulması

Betalain Biyosentezi

Betalainler, tirozinden sentezlenen ve şikimat yolundan türetilen bir bileşiktir. Çoğu bitkide, öncül arojenat, arojenat dehidrojenaz enzimi tarafından dekarboksile edilerek tirozine dönüştürülür. Tirozin sentezlendikten sonra, betalainlerin oluşumu üç ana adımdan oluşur ve bu adımlar enzimatik kataliz gerektirir (Şekil 2.7) (Timoneda vd., 2019).

Tirozin, sitokrom P450 enzimlerinin katalizlediği bir hidroksilasyon reaksiyonuyla önce L-DOPA'ya dönüştürülür. L-DOPA'daki döngüsel halka daha sonra L-DOPA 4,5-dioksijenaz (DODA) enzimi tarafından bir oksidasyon reaksiyonuyla kesilir ve ara ürün olarak 4,5-seko-DOPA oluşur. Daha sonra 4,5-seko-DOPA, kendiliğinden intramoleküler kondensasyonla betalaminik asit oluşturmak üzere reaksiyona girer. Alternatif olarak, L-DOPA, bir sitokrom P450 enzimi tarafından oksitlendikten sonra dopakinona dönüşür ve ardından döngüsel-DOPA'yı oluşturmak üzere geri döner. Betalaminik asit, sonunda sarı betaksantinlerin oluşumuna yol açmak üzere döngüsel-DOPA'nın imino grubuyla veya amino grubuyla kendiliğinden kondense olabilir (Timoneda vd., 2019).



Şekil 2.8. Kırmızı pancarın çeşitli gıda ürünlerindeki uygulamaları (Punia Bangar vd., 2022)

Sanayide betalain eldesinde kırmızı pancar başta olmak üzere farklı kaynaklar ve teknikler kullanılmaktadır (Georgiev vd., 2010). Betalainler çiçeklerde, meyvelerde ve vejetatif bitki dokularında birikirler (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Betalain kaynakları

Kırmızı pancar, frenk inciri, pitaya gibi birçok yenilebilir bitkide bulunurlar (Tablo 2.10). Betalainlerin yaralanmalara karşı koruma sağlama, bakteriyel infiltrasyon, tohum dispersiyonu ve tozlaşma için çekicilik, UV radyasyona karşı

koruma gibi fizyolojik görevleri vardır (Guaadaoui vd., 2014). Yenebilir bitkilerin betalain kompozisyonu birbirinden çok farklıdır. Örneğin kırmızı pancarda betasiyaninler yoğunken frenk incirinde betaksantinler yoğundur (Hamouia, 2018).

Tablo 2.10. Bazı yenebilir bitkilerin betalain içerikleri

Bitki	Betasiyanin	Betaksantin	Betalain	Kaynak
Garambullo meyvesi			214 ^a	Reynoso vd., 1997
Amaranth (Amaranthus sp.)	42-740 ^c		1.10 ^c	Stintzing vd., 2004
Pazı			5.7-6.5 ^c	Kugler vd., 2007
Kırmızı Frenk inciri (Opuntia sp.)	0.05-5.29 ^b	0.12 -2.82 ^b	0.17- 8.15 ^b	Castellanos- Santiago ve Yahia, 2008
Hint inciri (O. ficus-indica (L.) Mill.)	15.2 ^c ; 13.43 ^c	25.4 ^c ; 22.29 ^c	40.6 ^c	Fernández-López vd., 2010
Hint inciri (O. ficus-indica (L.) Mill.)			;3 ^c	Maran vd., 2012
Frenk inciri (O. joconostle F.A.C. Weberex Diguete)			92.7 ^c	Sanchez-Gonzalez vd., 2013
Pitaya (Hylocereus sp.) kabuk			101 ^d	Mello vd., 2014
Kinoa (Chenopodium quinoa)	0.15-5.23 ^d	0.0- 1.63 ^d	0.15- 6.10 ^c	Abderrahim vd., 2015
Kırmızı Frenk inciri (Opuntia sp.)			3 ^c	de Souza vd., 2015
Pitaya (Hylocereus sp.) kabuk			73 ^d	Faridah vd., 2015
Kinoa (Chenopodium quinoa)			0.13 ^d	Mendoza Llamas vd., 2015
Hint inciri (O. ficus-indica (L.) Mill.)			30 ^c	Robert vd., 2015
Sarı pancar (B.vulgaris L.)				
-kabuk	0.61 ^a	4.71 ^a	5.33 ^a	Slatnar vd., 2015
-meyve eti	0.13 ^a	0.22 ^a	0.35 ^a	
-petiol	0.19 ^a	0.66 ^a	0.85 ^a	
Kırmızı pancar (B.vulgaris)				
-kabuk	20.93 ^a	10.10 ^a	31.04 ^a	Slatnar vd., 2015
-meyve eti	5.25 ^a	3.40 ^a	8.65 ^a	
-petiol	8.00 ^a	3.10 ^a	11.10 ^a	
Hint inciri (O. ficus-indica (L.) Mill.)			3.78 ^c	Khatabi vd., 2016

*^amg/g k.m; ^b mg/g kuru pulp kısmında; ^c mg/100 g; ^dmg/100 g, k.m

Koss-Mikołajczyk vd. (2019), yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ve diğer spektroskopik teknikleri kullanarak farklı renkteki Nopal kaktüsü ve pancar çeşitlerindeki betalainleri incelemişlerdir. Sonuçlar, farklı renkteki Nopal kaktüsü ve pancar çeşitlerinde betalain profilinin farklı olduğunu göstermiştir. Örneğin, sarı pancar çeşidinde betaksantin türleri daha yaygınken, kırmızı pancarda

betasiyanin türleri daha baskındır. Benzer şekilde, farklı renkteki Nopal kaktüsü çeşitlerinde de betalain bileşimlerinin farklılık gösterdiğini saptamışlardır.

Carreón-Hidalgo vd. (2023), *Opuntia ficus-indica* meyvelerinin sarı-turuncu ve mor çeşitlerinin kimyasal karakterizasyonunu araştırmışlardır. Her iki çeşidin de betalain (betaksantinler ve indikaksantinler) içerdiklerini tespit etmişlerdir. Bunun sonucunda mor çeşitlerin daha yüksek betalain konsantrasyonuna sahip olduğunu bulmuşlardır.

Ticari olarak yararlanılan başlıca betalain kaynağı kırmızı pancardır (Georgiev vd, 2008; Özcan ve Bilek, 2018). Kırmızı pancarda betanin 300-600 mg/kg olarak bulunur. Betanin miktarı üzerine yetiştirme şartları, iklimik özellikler, çeşit gibi birçok faktör etki etmektedir (Akbar Hussain vd., 2018).

Betalain Stabilitelerini Etkileyen Faktörler

Betalainin stabilitesi, hem pigmentin kendine özgü faktörlerinden hem de çevresel faktörlerden etkilenmektedir (Şekil 2.10). Pigment konsantrasyonu ve betalain yapılarının yanında pH ve su aktivitesi değerlerinin stabilize üzerine önemli etkileri bulunmaktadır. Betalain içeren gıdalarda optimum pigment ve rengin yapıda tutulmasını sağlamak için gıda üretimi sırasında sıcaklık ve zaman koşulları da dikkat edilmesi gereken diğer faktörlerdir. Ayrıca, sıcaklık, ışık ve oksijen etkisi gibi dış etkenlerde göz önünde bulundurulmalıdır (Herbach vd., 2006).

Betalainler, düşük stabiliteye sahip pigmentlerdendir. Optimum stabiliteleri, pH 4-7 arasındadır (Khan, 2016). Betalainlerin rengi pH 3 ve 7 arasında daha stabildir (renk tonlarını korurlar). 3'ün altındaki pH değerlerinde, renk daha koyu menekşe rengine döner ve 7'den yüksek bir pH'ta sarımsı kahverengi olur (Gliszczyńska-Świągło vd., 2006). Betalamik asit pH 5 ve üzerindeki değerlerde bozunmaktadır (Martins vd., 2017). Betalain, aerobik koşulda pH 5.5-5.8 arasında, anaerobik koşullarda ise pH 4-5 arasında daha yüksek stabilize göstermektedir (Chhikara vd., 2019). Betaninin maksimum stabilitesi için optimum pH, oksijen varlığında pH 5.5 ile 5.8 arasındadır. *Amaranthus* türlerinden ekstrakte edilen betalainler, 25°C'de pH 5.0-7.0'da maksimum stabiliteye sahiptir. *Opuntia*'dan elde edilen betasiyanin pH 5'te termal stabilize gösterirken, pancardan elde edilenler pH 5.5'te stabildir. Azot varlığında betanin çözeltisi, pH 4.0-5.0'da en yüksek stabiliteye sahiptir. Betaninin bozunması geri dönüşümlüdür. Isıtmadan sonra betaninin kısmi rejenerasyonu üzerine yapılan

alışmalar, pigmentin rejenerasyon miktarının numunenin pH'ına bağlı olduğunu göstermiştir. Betaninin maksimum rejenerasyonu, depolama sıcaklığı ve tampon zltisinin türünden etkilenir (Naseer vd., 2019).



şekil 2.10. Betalain stabilitesini etkileyen faktörler (Szkely ve Mt, 2022)

Çok asidik zltelerde kırmızı anyonik yapı menekşe rengi katyona dönüştüğünden, renk daha mavi-menekşe haline gelirken, alkali koşullarda betanın kaybindan dolayı renk sarı-kahverengine değişmektedir (Ata, 2013).

Yapılan bir çalışmada, tamponlu betalain zlteleri, 15°C'de 6 gün boyunca pH 7'de azot ve hava varlığında tutulduğunda, O₂ varlığından dolayı yaklaşık %15 oranında renk bozulması olduğu gözlenmiştir. Betalain stabilitesi, oksijen konsantrasyonu arttığında doğrusal olarak azalır. Oksijene ek olarak, hidrojen peroksit de pigment bozulmasının bir nedenidir. Ancak azot atmosferi varlığında betalain stabilitesinin arttığı kabul edilmektedir (Naseer vd., 2019).

Betalain stabilitesi ile su aktivitesi arasında zıt bir ilişki bulunmaktadır. Su aktivitesi azaldığında, betalain stabilitesi artmaktadır (Martins vd., 2017; Naseer vd., 2019). Sıcaklık, betalain stabilitesini etkileyen en kritik faktörler arasındadır. Doğal matrislerin ve bunların türevi olan gıda renklendiricilerinin absorbans spektrumlarını ve renk özelliklerini etkileyerek yapısal değişikliklere neden olmakta ve stabilizeyi etkilemektedir. 80°C gibi yüksek sıcaklıklar ve 20°C gibi oda sıcaklıklarında pigment hidrolizine neden olurken, buzdolabı sıcaklığında (4 °C) renk değişimi azalmakta, stabilize ise artmaktadır. Aynı zamanda betalainin, mikrodalga uygulaması ile 60°C

üzerindeki sıcaklıklarda degradasyona uğradığı bildirilmiştir (Martins vd., 2017). Işık, betalain pigmentinin bozunmasını etkileyen bir diğer önemli faktördür. Işık varlığında renkte degradasyon ve oksidasyon reaksiyonları meydana gelmektedir. Işık yoğunluğu (2200-4400 Lux) ile betalain stabilitesi arasında ters bir orantı bulunmaktadır (Chhikara vd., 2019). Işığın varlığı, 25°C'nin altındaki sıcaklıklarda betalain bozunması üzerinde çok etkiliyken, 40°C'nin üzerinde etkisizdir (Naseer vd., 2019). Metal iyonları (Fe³⁺, Fe²⁺, Cu²⁺, Sn²⁺, Al³⁺, Hg²⁺ ve Cr³⁺) betalain degradasyonunu indükleyerek betalain stabilitesini azaltmaktadır (Martins vd., 2017). Bu nedenle, metal şelatlama ajanları (EDTA, sitrik asit vb.) kullanılarak metal kaynaklı betalain yıkımının önlenmesi mümkün olmaktadır (Herbach vd., 2006).

Betalain Ekstraksiyon Teknikleri

Bilindiği gibi biyolojik materyallerden biyoaktif materyalleri çıkartmada geleneksel yöntemler yanında ultrason, mikrodalga, süperkritik akışkan, ohmik ısıtma, vurgulu elektrik, yüksek hidrostatik basınç gibi birçok yeşil teknolojilerden de yararlanılmaktadır. Betalain eldesinde de günümüze kadar geleneksel çözücüler ve teknikler yanında alternatif teknikler kullanılmıştır.

Kujala vd. (2002), dört farklı kırmızı pancar çeşidinin betalain ve fenolik bileşik içeriklerini araştırmışlardır. Betalainleri suyla, fenolikleri ise %80'lik metanol ile ekstrakte etmişlerdir. Betanin ve isobetanini, kabuk kısmında daha yüksek miktarda saptamışlardır.

Kushwaha vd. (2018), kurutulmuş pancar posasının betasiyanin ve betaksantin içeriklerini araştırmışlardır. Bunun için farklı pH (1.50-5.50), sıcaklık (30–70 °C), süre (2.50–12.50 dk) ve katı-sıvı oranlarında (1:15-1:45) ekstraksiyon yapmışlardır. Çalışılan koşullarda en yüksek verimi; 1:15 katı-sıvı oranı, 50.04°C sıcaklık, 10 dakika süre ve 2.5 pH'da belirlemişlerdir. Optimum noktada betasiyanin miktarını 17.07 mg L⁻¹ ve betaksantin miktarını 15.04 mg L⁻¹ olarak bulmuşlardır.

Zin vd. (2020b), konvansiyonel yöntemle ekstrakte edilen pancar kabuğunun betaksantin ve betasiyanin içeriğini araştırmışlardır. Çalışma koşulları için farklı kabuk:çözücü oranlarında (0.2, 0.6, 0.8 ve 1.0 w/v) %15 sulu etanol eklemişlerdir. Ekstraksiyon işlemini 20, 35 ve 50 °C'de 1, 3 ve 5 saat olmak üzere üç farklı sürede gerçekleştirmişlerdir. En uygun ekstraksiyon koşullarını; kabuk: çözücü oranı 0.8, sıcaklık 20 °C ve süre 1 saat olarak bulmuşlardır. Optimum koşullarda 952.5 mg L⁻¹

betaksantin ve 1361 mg L⁻¹ betasiyanin saptamışlardır. Geleneksel yöntemin yüksek verime sahip basit ve uygun maliyette olduğunu belirtmişlerdir.

Kumar vd. (2023), dondurularak kurutulmuş pancar tozunda betalain ekstraksiyonun kinetiğini izlemişlerdir. Bunun için farklı sıcaklık (55, 65, 75 ve 85°C) ve etanol konsantrasyonu (%10, 20 ve 30) denemişlerdir. Sıvı fazda betasiyanin ve betaksantin miktarının 55 ve 65°C'de ekstraksiyon süresi boyunca aynı kaldığını saptamışlardır. 85°C'de %20 ve %30 etanol konsantrasyonunda daha verimli olduğunu belirlemişlerdir.

Geleneksel yöntemler dışında pancardan betalain eldesinde farklı tekniklerde kullanılmıştır. Diğer yöntemlere göre ultrason destekli ekstraksiyonun kullanımının daha yaygın olduğu görülmektedir (Tablo 2.11). Ultrason destekli ekstraksiyon, işlemin hızını ve verimliliğini artırma potansiyeli ile geleneksel ekstraksiyona mükemmel bir alternatiftir (Tabio- García vd., 2021). Ultrason, 20-100 MHz frekansı aralığında insan kulağının duyamayacağı eşikte bir ses dalgasıdır (Pérez-Loredo vd., 2017). Ekstraksiyon süresinin ve solvent hacminin azaltılmasına izin vererek, ekstraksiyon işlemi sırasında enerji tüketiminin azaltılmasını destekleyen bir tekniktir (Tabio- García vd., 2021). Bu teknik, akustik kavitasyon fenomenine dayanmaktadır. Ultrason dalgaları hücre duvarlarını yıkar, çözücünün bitki materyallerine nüfuz etmesini kolaylaştırır ve böylece ekstraksiyon verimini artırır (Borjan vd., 2022).

Fernando vd. (2021), kırmızı pancar atıklarından betalain ve polifenollerin geri kazanımı için ultrason destekli ekstraksiyon yöntemi kullanmışlardır. Farklı çözücüler (metanol, etanol ve su), farklı sıcaklıklar (25, 40 ve 60 °C), farklı işlem süreleri (5, 15 ve 25 dakika) ve farklı ultrasonik güç (50, 100 ve 150 W) kullanarak yapılan deneylerde, optimum koşulların %50 metanol, 40 °C, 25 dakika ve 100 W ultrasonik güç olduğunu belirlemişlerdir. Bu koşullardaki, betalain verimini %78.7, toplam fenolik madde verimini %55.2 ve toplam flavonoid verimini %12.8 olarak bulmuşlardır.

Vázquez-Espinosa vd. (2022), farklı renkteki çeşitleri içeren *Opuntia* meyve özlerinden betalainlerin ultrason destekli ekstraksiyonunu optimize etmişlerdir. En yüksek betalain verimini %48.31 oranı ile kırmızı renkli meyve özlerinde elde edilmiştir. Optimum ekstraksiyon koşulları olarak katı/çözücü oranı 1/15, ekstraksiyon

süresi 50 dakika, solvent türü etanol-sulu dibütil eter: 1/2 ve ultrasonik frekans 40 kHz olarak saptanmıştır.

Tablo 2.11. Farklı kaynaklardan ultrason-destekli betalain eldesi

Materyal	İşlem koşulları ve çözücü	Sonuç	Kaynak
Malabar ıspanağı (<i>Basella rubra</i>)	Optimal koşullar 94 W ultrasonik güç, 54°C, 32 dakika 1:17 g/mL katı sıvı oranı,	1.42 mg/g betasiyanin, 5.35 mg/g betaksantin	Maran ve Piraya, 2015
Kırmızı pitaya	20°C 'de 5-35 dak. ultrasonik banyoda, saf su	15 dakikalık ultrason klasik yöntemle göre betasiyanin, betaksantin, toplam betalainde %13.5, 12.7 ve 13.1 artış kaydedilmiş	Pérez-Loredo vd., 2017
Kinoa kabukları	Betasiyaninler için optimum %70 genlik, 0.6 döngü ve 9.2 saniye; betaksantin için için %90 genlik; 0.7 döngü, 40 s	0.51 mg/g betasiyanin 0.62 mg/g betaksantin geleneksel ekstraksiyonda, aynı verime ulaşmak için oda sıcaklığında 30 dakika ekstraksiyon gerekli	Laqui-Vilca vd., 2018
Kırmızı pancar	Optimum ekstraksiyon koşulları betasiyaninler için 52°C, betaksantinler için 37°C ve 90 dak; çözücü %25 etil alkol	4.24 mg/g betasiyanin 2.89 mg/g betaksantin Klasik yöntem (çalkalayıcıda) 3.46 mg/g betasiyanin, 2.59 mg/g betaksantin geleneksel yöntemle göre daha yüksek betalain verimi	Righi Pessoa da Silva vd., 2018
<i>Opuntia stricta</i> , dikenli armut	%50 genlik, ekstraksiyon süresi 5 dakika, 20°C ve %15 etil alkol	10 mg/g, k.m betalain	Gómez-López vd., 2021

Ultrason dışında betalain eldesinde mikrodalga destekli ekstraksiyondan da yararlanılmıştır. Bilindiği gibi, mikrodalga destekli ekstraksiyon, ekstraksiyon çözücüsünde dalga boyları 1 cm ile 100 µm arasında olan dalgalar ile polar moleküller arasındaki etkileşimden yararlanan bir yöntemdir. Bipolar rotasyon ve iyonik iletim gibi fenomenler, ısı üretimine yol açar ve bitki hücrelerinin iç basıncını artırır, bu da hücre duvarı ve hücre zarının yırtılmasına neden olur. Bu da ekstraksiyon verimini artırır (Carreón-Hidalgo vd., 2022). Geleneksel ekstraksiyon tekniklerine göre reaksiyon süresinin azaltılması ve daha düşük solvent gereksinimi veya solvent gereksiniminin olmaması gibi avantajları olan (Zin vd., 2020a) bu teknikle betalainlerin eldesinde az sayıda çalışma mevcuttur (Tablo 2.12). Singh vd. (2017), kırmızı pancardan mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemiyle betasiyanin eldesini optimize etmişlerdir. Ekstraksiyonda, çözücü olarak sitrik asit ve etanol

kullanmışlardır. Optimum koşulları; çözücü olarak sitrik asit kullanımı (pH 5.2), 224.61 W mikrodalga gücü ve 57.06 saniye ekstraksiyon süresi olarak belirlemişlerdir. Bu koşullar altında, betanin (betasiyaninin ana bileşeni) konsantrasyonunu 229.264 mg/L olarak saptamışlardır.

Tablo 2.12. Farklı kaynaklardan mikrodalga-destekli betalain eldesi

Materyal	İşlem koşulları ve çözücü	Sonuç	Kaynak
Kırmızı pancar	450 W, 3 dak. 3 kez, saf su	52.2 mg/g betasiyanin, 42.8 mg/g betaksantin	Slavov vd., 2013
Kırmızı pancar	400 W, 2.2 dak/1.7 dak, saf su	1.25 mg/g k.m betaksantin	Cardoso-Ugarte vd., 2014
Kırmızı pancar	400 W, 2.2 dak/1.7 dak, asitlendirilmiş saf su	1.88 mg/g k.m betasiyanin	Cardoso-Ugarte vd., 2014
Pitaya	600W, 5 dak, saf su	1.66 mg/g betasiyanin	Ferreres vd., 2017
Kırmızı pancar kabuğu	224.61 W, 0.95 dak, Asitlendirilmiş saf su	229.26 mg/L betanin	Singh vd., 2017
Kırmızı pancar kabuğu	384.25 W, 1.25 dak, etil alkol	472.11 mg/L betanin	Singh vd., 2017
Ejder meyvesi	100W, 8 dak, saf su	9 mg/L betalain	Thirugnanasamban dham ve Sivakumar, 2017
Frenk inciri	400 W, 2.5 dak, %34.6 metanol	201.6 mg/g betalain	Melgar vd., 2019

Betalain eldesinde faydalanılan diğer bir ekstraksiyon tekniği, süperkritik akışkan ekstraksiyondur. Bu teknik, değerli bileşiklerin bitki ve mikrobiyal hücrelerden geri kazanılmasında geleneksel çözücü yöntemlere karşı bilinen en iyi alternatiftir. Süperkritik ekstraksiyon proseslerinde çevreye zarar vermeyen ve kirletmeyen, toksik olmayan, yanıcı olmayan, ısıya ve oksijene duyarlı bileşikleri moleküler değişiklik yapmadan özütleyen en ekonomik bir madde olmasından dolayı genellikle CO₂ kullanır (Nisha vd., 2012).

Nunes vd. (2015), *Opuntia* spp. meyvesinden betalain eldesinde yüksek basınçlı CO₂ ekstraksiyon tekniğini kullanmışlar ve optimum verimi 100 bar basınçta CO₂, 40°C sıcaklıkta ve %20 hacim oranı (katı-sıvı karışım/ basınçlı CO₂) koşullarında saptamışlardır. Bu koşullarda betalain miktarını kuru maddede 89 mg/100 g olarak belirlemişlerdir.

Fathordoobady vd. (2019), süper kritik akışkan- CO₂ ekstraksiyonu ile yardımcı çözücü olarak etil alkol/su kullanarak kırmızı pitaya meyvesi kabuğundan betalain eldesini optimize etmişlerdir. Bağımsız değişken olarak basınç (20-30 MPa), sıcaklık

(40-60°C) ve yardımcı çözücü konsantrasyonunu (%10-20) seçmişler, CO₂ akış hızını 2 mL/dk, dinamik ekstraksiyon süresini 90 dakika olarak ayarlamışlardır. Optimum koşulları 25 MPa, 50°C ve %15 yardımcı solvent olarak belirlemişlerdir. Bu şartlarda toplam betasiyanin içeriğini 25.49 mg/100 mL olarak bulmuşlardır.

Alternatif ekstraksiyon tekniklerinden olan yüksek hidrostatik basınç ve vurgulu elektriksel alan, betalain eldesinde kullanılan yöntemlerdendir. Yüksek hidrostatik basınç, duyuşal ve besleyici kaliteye sahip yeni gıda ürünlerinin geliştirilmesine ve raf ömrünün uzatılmasına olanak tanıyan bir teknolojidir. Polifenol oksidaz ve peroksidaz gibi enzimleri ve aerobik mezofiller, maya ve küfler gibi istenmeyen mikroorganizmaları inaktive etmek için kullanılmaktadır (dos Santos vd., 2018). Vurgulu elektriksel alan (PEF), iki elektrot arasına yerleştirilen ürüne yüksek voltajla kısa süreli vurgu uygulanmasıdır. Böylece membran geçirgenliğinin modifikasyonu ve ekstraksiyon veriminin artması sağlanır. Son yıllarda pancardan pigmentlerin eldesinde PEF uygulanmaktadır (López vd., 2009).

López vd. (2009), kırmızı pancar örneklerinde PEF yöntemini kullanarak betalain ekstraksiyonu yapmış, farklı PEF parametrelerinin (frekans, voltaj, enerji yoğunluğu ve zaman) betalain ekstraksiyon verimliliği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. En iyi sonuçları 25 Hz frekans, 25 kV/cm voltaj, 70 J/mL enerji yoğunluğu ve 1800 µs süre zaman kullanarak elde etmişlerdir. Bu koşullarda, betalain verimini 2.14 mg/g kuru ağırlık olarak bulmuşlardır. Bu parametrelerin, betalain ekstraksiyon verimliliğini artırdığını ve diğer yöntemlere kıyasla daha kısa sürede daha yüksek bir verimlilik sağladığını belirtmişlerdir.

Loginova vd. (2011), PEF uygulanmış ve uygulanmamış pancar örneklerinde, sıcaklığın (30-80°C) betalain degradasyonuna etkisini incelemişlerdir. 30°C'de 5 saat boyunca yapılan ısı uygulamasının betalain degradasyonunda minimum etkiye neden olduğu, 80°C'de 1 saat boyunca yapılan ısı uygulamasının betalain pigmentinin tamamının bozunmasına yol açtığını kaydetmişlerdir. PEF uygulamasının betalain ekstraksiyonu hızlandırdığını ve ekstraksiyon süresini kısalttığını, elektroporasyonun, sulu ekstraksiyon yoluyla betalain ekstraksiyonu kolaylaştırıldığını saptamışlardır.

Tiwari ve Cullen (2012), çeşitli ekstraksiyon yöntemlerini (örneğin, solvent ekstraksiyonu, ultrasonik ekstraksiyon, süperkritik akışkan ekstraksiyonu vb.) kullanarak kırmızı pancardan betalain pigmentlerinin verimliliği, kalitesi ve stabilitesi

üzerinde etkilerini incelemişlerdir. Solvent ekstraksiyonunun en yaygın yöntem olduğunu ve çözücü olarak metanol veya etanol kullanımının daha yüksek verimlilik sağladığını belirtmişlerdir.

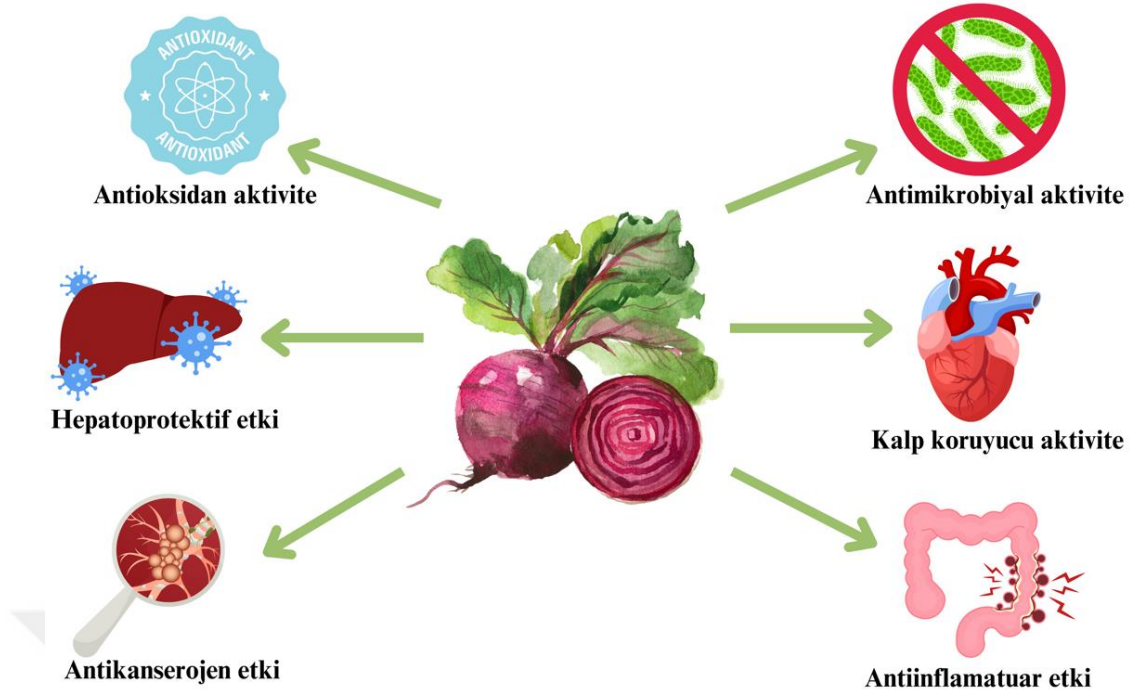
Nowacka vd. (2019), kırmızı pancardan betalain eldesinde PEF (etki şiddeti 4.38 ve 6.25 kV/cm, puls sayısı 10–30 ve enerji girişi 0-12.5 kJ/kg) tekniğini kullanmışlardır. 4.38 kV/cm etki şiddeti ve 20 vurguda kontrol numunesine kıyasla %329 betanin, %244 vulgaksantin'de artış kaydetmişlerdir.

Trych vd. (2022), farklı yüksek basınçlı işlem tekniklerinin kullanımıyla kırmızı pancar suyundaki betalainlerin biyoyararlanımı araştırmışlardır. Hidrostatik yüksek basınç ve vurgulu elektrik alan işlemlerinin, betalainlerin biyoyararlanımını artırdığını bulmuşlardır. Ayrıca, darbeli elektrik alan işleminin hidrostatik yüksek basınç işlemine göre daha etkili olduğunu göstermişlerdir. Bu sonuçlar ile, kırmızı pancar suyu gibi betalain açısından zengin gıdaların biyoyararlanımını artırmak için farklı işlem tekniklerinin kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

2.1.5. Sağlık Üzerine Etkileri

İnsan sağlığı için faydaları açısından önemli bir sebze türü olan kırmızı pancar, biyoaktif bileşikleri ve güçlü terapötik potansiyeli nedeniyle tüketilmektedir (dos Santos Baião vd., 2018). Pancarın tüm kısımlarının antioksidan, antidepresan, antimikrobiyal, antifungal, antiinflamatuvar, idrar söktürücü, balgam söktürücü ve gaz giderici hepatoprotektif veya kardiyovasküler etkileri olduğu bildirilmiştir (Şekil 2.11) (Ceclu ve Nistor, 2020). Pancardan elde edilen betalainlerin güçlü bir antioksidan etkiye sahip olduğu ve serbest radikal karşıtı özellikler gösterdiği bilinmektedir (Bandyopadhyay vd., 2008; Bavec vd., 2011).

Kırmızı pancar, önemli miktarda betanin ve betanidin içerir. Yapılan araştırmalar, bu bileşiklerin lipid peroksidasyonunu inhibe ettiğini ve güçlü antioksidan aktiviteye sahip olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, kırmızı pancarda bulunan betalainler ve fenolik bileşiklerin LDL (Düşük Yoğunluklu Lipoprotein) oksidasyon direncini arttırdığı, serbest radikallerin lipidler üzerindeki oksidatif etkisini azalttığı, bu sayede kanser ve kardiyovasküler hastalıklar gibi birçok sağlık sorununu önleyebileceği belirtilmektedir (Delgado-Vargas vd., 2000).



Şekil 2.11. Kırmızı pancarın biyoaktiviteleri (Bangar vd., 2022)

Reddy vd. (2005), doğal gıda renklerinin (betalainler gibi) lipid peroksidasyonunu, siklooksijenaz enzimlerini ve insan tümör hücrelerinin proliferasyonunu inhibe etme kapasitelerini araştırmışlardır. Kırmızı pancarın, doğal bir gıda renk kaynağı olarak lipid peroksidasyonunu inhibe etme ve insan tümör hücrelerinin proliferasyonunu azaltma özelliklerine sahip olduğunu göstermişlerdir. Kırmızı pancarın antioksidan ve kanser önleyici özelliklerinin olabileceğini belirtmişlerdir.

Pietrzowski vd. (2010), osteoartritli hastalarda betalainler bakımından zengin kırmızı pancar ekstralarının kullanımının ağrıyı ve diğer semptomları azalttığını belirlemişlerdir. Yapılan çalışmada, kırmızı pancar ekstresi kullanan hastaların ağrı ve eklem sertliği gibi semptomlarda belirgin bir azalma olduğu tespit etmişlerdir. Ayrıca, kırmızı pancar ekstresinin vücuttaki enflamasyonu azaltabileceğini ve bağışıklık sistemini destekleyebileceğini saptamışlardır.

Wroblewska vd. (2011), kırmızı pancar cipsinin standart ve dislipidemik diyetlerde kullanımının fizyolojik etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kırmızı pancar cipsinin kan basıncını düşürdüğünü, antioksidan kapasitesi yüksek olduğunu ve lipid metabolizmasını düzenlediğini bulmuşlardır.

Cermak vd. (2012), kırmızı pancarın içerdği nitratin performans artırıcı etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada, antrenmanlı bisikletçilerin 10 kilometrelik zamanlı bisiklet yarışındaki performanslarının kırmızı pancar suyu tüketiminin ardından arttığını bulmuşlardır. Nitrat takviyesi sonuç olarak yarış süresinde performanslarını artırmıştır.

Gilchrist vd. (2014), diyabet hastalarına nitrat bakımından zengin kırmızı pancar suyu takviyesi verilmesinin reaksiyon süresini ve kan basıncını düşürdüğünü göstermişlerdir. Araştırmada, nitrat bakımından zengin kırmızı pancar suyunun, diyabet hastalarında nöroprotektif etkileri olduğunu ve bilişsel fonksiyonları olumlu yönde etkilediğini bulmuşlardır. Ayrıca, kırmızı pancar suyunun diyabet hastalarında tedaviye yardımcı olabileceği sonucuna varmışlardır.

Kazimierczak vd. (2014), organik ve konvansiyonel üretimden gelen pancarların metabolomik profillerini, antioksidan seviyelerini ve kanser aktivitesini incelemişlerdir. Araştırmacılar, organik üretimden elde edilen pancarların, konvansiyonel üretimden elde edilen pancarlara göre daha yüksek antioksidan seviyeleri ve kanser aktivitesi gösterdiklerini bulmuşlardır. Ayrıca, doğal olarak fermente edilmiş pancar suyunun da antioksidan aktivitesini ve kanser aktivitesini göstermişlerdir. Sonuç olarak, organik üretimin, pancarın sağlık yararları açısından daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Miraj (2016), kırmızı pancarda bulunan betalainlerin (betanin, betanidin, izobetanin ve neobetanin gibi) güçlü antioksidan aktiviteye sahip olduğunu ve serbest radikallerin zararlı etkilerine karşı koruma sağlayabileceğini göstermiştir. Özellikle ciddi inflamatuvar hastalıklar (örn. artrit, astım, ülseratif kolit vb.) için potansiyel bir tedavi ajanı olarak kullanılabileceğini, betalainlerin kanser hücrelerinin büyümesini engelleyebileceğini ve kanser hücrelerinin apoptoz (programlanmış hücre ölümü) sürecini uyarabileceğini belirtmiştir. Ayrıca, kırmızı pancarın karaciğer kanseri ve kolorektal kanser gibi bazı kanser türlerine karşı koruyucu etkileri olabileceğini, yüksek kolesterol seviyelerini ve kardiyovasküler hastalık riskini azaltabileceğini, kan şekeri seviyelerini düşürebileceğini ve diyabet tedavisine yardımcı olabileceğini öne sürmüştür.

Aliahmadi vd. (2021), tip 2 diyabet tanısı olan 50 hasta, kontrollü bir deneye tabi tutulmuşlardır. Katılımcılar gelişigüzel iki gruba ayrılmıştır: birinci gruba çiğ kırmızı

pancar verilirken ikinci gruba verilmemiştir. Çalışmanın süresi 8 hafta olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, kırmızı pancar tüketen grup, kırmızı pancar tüketmeyen gruba kıyasla kan glukoz düzeylerinde düşüş, insülin seviyelerinde düzelme ve insülin direncinde azalma göstermiştir. Ayrıca, kırmızı pancar tüketenlerin bellek ve dikkat performanslarının daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Nobari vd. (2022), prostat kanseri tanısı almış, 20 hastayı rastgele iki gruba ayırmışlardır. Birinci gruba egzersiz, ikinci grup ise egzersiz yapmama programı uygulamışlardır. Her iki gruba da günde bir kez 200 mL kırmızı pancar suyu vermişlerdir. Çalışma süresini 12 hafta olarak belirlemişlerdir. Bu süreç boyunca egzersizin ve kırmızı pancar tüketiminin hastaların bağışıklık fonksiyonları üzerindeki etkisini değerlendirmek için çeşitli parametreleri belirlemişlerdir. Sonuçlar, egzersizin ve kırmızı pancar tüketiminin prostat kanserli hastaların bağışıklık sistemini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Egzersiz yapan grup, egzersiz yapmayan gruba kıyasla daha yüksek sitokin düzeylerine sahip olmuştur. Ayrıca, kırmızı pancar tüketen grup, immünoglobulin seviyelerinde artış göstermiştir. Egzersiz ve kırmızı pancar tüketiminin kombinasyonu, T hücre fonksiyonlarını da artırmış ve hastaların yaşam kalitesini iyileştirmiştir.

Piasna-Słupecka vd. (2023), kırmızı pancarın genç sürgünleri ve tam olgunlaşmış köklerinin meme kanseri hücre hatlarında hücre çoğalmasını inhibe ettiğini bulmuşlardır. Kırmızı pancarın bu potansiyel antitümör etkisinin, kanser tedavisinin önlenmesinde potansiyel bir rol oynayabileceğini belirtmişlerdir.

2.1.6. Kırmızı Pancarın Değerlendirilmesine İlişkin Çalışmalar

Klewicka ve Czyzowska (2011), pancarın laktik asit fermentasyonu sonrası biyolojik dayanıklılığı üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Araştırmacılar, farklı sıcaklıklarda (4, 8 ve 12°C) depolanan laktik asit fermentasyonu ile hazırlanmış pancar suyunun biyolojik dayanıklılığını değerlendirmek için mikrobiyal analizler yapmışlardır. Laktik asit fermentasyonunun, pancar suyunun biyolojik dayanıklılığını arttırdığını ve depolama süresince mikrobiyal yükü azalttığını bulmuşlardır.

Gokhale ve Lele (2014), konvektif sıcak havayla kurutmanın betalain pigmentlerinin ve antioksidan aktivite korunumu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bunun için 50-120°C arasında kurutma sıcaklıkları kullanılmıştır. 50-65°C'de gerçekleştirilen kurutmanın, dondurularak kurutulmuş numunelerdekine yakın

betasiyanin ve betaksantin sağladığını saptamışlardır. Toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivitenin kurutma sıcaklığına bağlı olarak arttığını hatta dondurularak kurutulmuş numunelerden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. 50°C’de kurutulan örnekleri 27°C ve % 60 nemde 150 gün depolamışlar ve 5 ayda pigmentlerde %50’ye varan bozulma ve antioksidan aktivitede hafif artış gözlemlemişlerdir.

Janiszewska (2014), kırmızı pancar suyunu mikroenkapsüle etmişlerdir. Mikroenkapsülasyonun betalainlerin stabilitesini artırarak işlemeye bağlı kayıpları önleyebileceği sonucuna varmıştır. Mikroenkapsüle edilmiş kırmızı pancar suyunun daha yüksek stabilitede olduğu ve daha uzun bir raf ömrüne sahip olduğu belirlenmiştir. Mikroenkapsüle edilmiş kırmızı pancar suyunun gıda endüstrisinde renklendirici ve fonksiyonel bileşen olarak kullanılabileceği bildirilmiştir.

Guldiken vd. (2016), evde işlenmiş kırmızı pancarın antioksidan özelliklerini ve biyoaktif bileşenlerinin (betalainler ve fenolikler) biyoyararlanımını araştırmışlardır. Evde işlenmiş kırmızı pancarın öğütülmesi, kurutulması, rendelenmesi, haşlanması, turşu yapılması ve suyu çıkarılarak konsantre edilmesi gibi farklı işlemler kullanılarak farklı ürünler elde etmişlerdir. Evde hazırlanan kırmızı pancar suyu, turşusu ve püresi gibi ürünlerde antioksidan aktivite, fenolik bileşikler ve betalain pigmentleri seviyeleri yüksek bulunmuştur. Ancak kaynatma gibi ön işlemler bu bileşiklerin seviyelerini azaltmıştır.

Martínez vd. (2006), taze domuz sosislerinin rengi ve tüketiciler tarafından kabul edilebilirliği üzerinde kırmızı maya pirinci (*Monascus purpureus*), kırmızı pancar kökü (*Beta vulgaris*) ve betanin (E-162) gibi doğal renklendiricilerin etkisini incelemişlerdir. Farklı renklendiricilerin farklı konsantrasyonlarının kullanıldığı sosis örnekleri hazırlamışlardır. Bu örneklerin renklerini ölçmüşler ve duyuşal değerlendirmelerini yapmışlardır. Sonuçta, kırmızı pancar kökü ve betanin kullanımının, taze domuz sosislerinin rengini iyileştirmede etkili olduğunu saptamışlardır. Ayrıca, betanin kullanımının taze domuz sosislerinin duyuşal kalitesini de artırdığını da gözlemlemişlerdir.

Paciulli vd. (2016), 650 MPa basınçta farklı işleme süreleri (3, 7, 15 ve 30 dakika) ile pancar dilimlerine yüksek hidrostatik basınç (YHB) uygulamış ve bu işlemin, haşlamaya (90 °C’de 7 dakika) alternatif olup olmadığını değerlendirmiştir. Bunun için örneklerin polifenol oksidaz (PPO) ve peroksidaz (POD) aktivitesini,

fiziksel (doku ve renk) ve besinsel (betanin korunumu, toplam fenolik madde içeriği, antioksidan kapasite ve askorbik asit) özelliklerini araştırmışlardır. Haşlamadan farklı olarak, YHB'nin sadece PPO'nun (%10-25) ve POD'un (%25) kısmi olarak inaktivasyonuna yol açtığını belirtmişlerdir. YHB işlenen örneklerde betanin içeriğinde artış gözlemlenmiş ve ham pancara göre 6 kat daha yüksek içeriğe ulaşıldığı tespit edilmiştir. Sertlik ve çiğnenebilirlik gibi doku özelliklerini, termal olarak işlenen örneklerden daha iyi korunduğunu ve basınca maruz kalma süresine bağlı olarak artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Turp vd. (2016), sosis üretiminde doğal bir renk maddesi ve antioksidan olarak kırmızı pancar tozu kullanımının etkisini araştırmışlardır. Farklı konsantrasyonlarda (%2, 4 ve 6) kırmızı pancar tozu ilave ettikleri sosisleri, 4°C'de 2 ay süre ile buzdolabında depolayarak renk, antioksidan aktivite, toplam fenolik madde ve lipid oksidasyonu gibi özelliklerdeki değişimleri incelemişlerdir. Sonuçta kırmızı pancar tozu ilavesinin sosislerin renk özelliklerini artırdığını, antioksidan aktiviteyi yükselttiğini, lipid oksidasyonunu azalttığını ve toplam fenolik madde miktarını arttırdığını bulmuşlardır. Bununla beraber, yüksek konsantrasyonlarda kırmızı pancar tozu ilavesinin sosislerin tadını olumsuz etkileyebileceği sonucuna varmışlardır.

Nistor vd. (2017), kırmızı pancar üzerinde farklı kurutma yöntemlerinin fizikokimyasal özelliklerdeki etkisini incelemişlerdir. Kurutma yöntemleri olarak, serbest konveksiyon (50, 60 ve 70°C), 40°C'de zorlamalı konveksiyon ve mikrodalga (315 W) kullanmışlardır. 60 °C'de konveksiyon ile sağlanan güçlü bir termal şok ve ardından 315W/9 dakika mikrodalga kullanımının, diğer sıcaklıklarda (50, 60 ve 70 °C) sağlanan konveksiyonla karşılaştırıldığında; daha yüksek biyoaktif bileşik içeriği ile betasiyanin ve betaksantin sağladığını bulmuşlardır.

Sokołowska vd. (2017), yüksek hidrostatik basınç (HHP) işlemi sonrası pancar suyunun kalite değişikliklerinin değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Farklı HHP koşullarında (300, 400 ve 500 MPa) pancar suyunu işleme tabi tutarak, işleme sonrası pH, asitlik, renk, antioksidan kapasitesi ve mikrobiyal yük gibi çeşitli kalite parametrelerini ölçmüşlerdir. Sonuçta, HHP işleminin pancar suyu kalitesinde önemli bir değişikliğe neden olmadığını, ancak mikrobiyal yükü azalttığını bulmuşlardır. Bu nedenle, HHP işleminin, pancar suyu üretiminde bir alternatif sterilizasyon yöntemi olarak değerlendirilebileceğini öne sürmüşlerdir.

Hidalgo vd. (2018), farklı miktar kırmızı pancar posası mikroenkapsülleri ve ekstraktlarını siyez buğdayıyla zenginleştirilen bisküvilere eklemişlerdir. Bisküvilerin antioksidan kapasitesini, ısı hasarını ve renk değişimini ölçmüşlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, kırmızı pancar posası mikroenkapsülleri ve ekstraktlarının bisküvilerin antioksidan kapasitesini artırdığını görmüşlerdir. Ayrıca, bu eklenen bileşenlerin bisküvilerin ısı hasarını azalttığı ve rengini iyileştirdiğini belirlemişlerdir. Bu bulguların, kırmızı pancar posasının bisküvilere eklenerek, ürünlerin sağlık yararlarını artırabileceğini ve besin değerini iyileştirebileceğini göstermişlerdir. Aynı zamanda, kırmızı pancar posası mikroenkapsülleri ve ekstraktlarının işleme ve depolama sırasında ürün kalitesini koruyabileceği sonucuna varmışlardır.

Fathabadi ve Motevali (2019), konvektif, mikrodalga, vakum ve dondurarak kurutma yöntemleriyle kurutulan kırmızı pancarların renk ve büzülme değerlerini araştırmışlardır. Sebzeler, 50, 70 ve 90 °C'de sıcak hava ve vakumlu hava kurutucularında, 180, 360 ve 600 W güç seviyesinde mikrodalga kurutucuda ve -50°C'de dondurarak kurutucuda kurutulmuştur. En yüksek renk değişimini (ΔE) mikrodalgada ve 180 W'ta ve en düşük kurutma oranının dondurarak kurutmada saptamışlardır.

Tomic vd. (2020), kırmızı pancarın farklı kurutma ve işleme yöntemlerinin (süperkritik CO₂ kurutma, dondurarak kurutma ve kızartma) duyu özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Süperkritik CO₂ kurutma yönteminin, diğer kurutma yöntemleriyle karşılaştırıldığında; pancarda daha az antioksidan aktivite kaybına yol açtığı, daha yüksek pigment içeriğine sahip olduğunu bulmuşlardır. Ancak, süperkritik CO₂ kurutmanın, pancarın diğer kurutma yöntemlerine göre daha yüksek bir fiyata denk geldiğini de belirtmişlerdir. Duyusal analizler sonucunda, dondurarak kurutma ve kızartmanın pancarın kabul edilebilirliği ve tat algısını olumsuz etkilediğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, süperkritik CO₂ kurutmanın, pancarın diğer kurutma yöntemlerine kıyasla daha iyi bir lezzet, renk ve tekstür sunduğunu bildirmişlerdir.

Wang vd. (2020), temiz ve kabuğu soyulmuş taze kırmızı pancarları (500 g) 1-2 cm kalınlığında parçalar halinde kesip, kaynar suda 5 dakika haşlamışlardır. Daha sonra pancar parçalarını, 250 mL musluk suyu ile karıştırıp bir blender kullanarak homojenize etmişlerdir. Sürekli karıştırarak 20 dakika kaynatıldıktan sonra reçelin tadını ayarlamak ve viskoziteyi iyileştirmek için %25 sakaroz, %0.2 sodyum aljinat,

%0.5 sitrik asit, %0.2 CMC-Na ve %0.3 ksantan gam ile karıştırmışlardır. Numuneleri konserve edip 75°C'de 30 dakika su banyosunda pastörize etmişlerdir. Pancar reçelini 4000g'de 10 dakika santrifüjlemişler ve aynı numuneden ekstraktları karıştırıp -20°C'de 2 hafta depolamışlardır. Reçelleri 4, 25 veya 37°C'de karanlıkta 0, 15, 30, 45, 60 ve 90 gün depolamışlar, toplam fenolik madde, toplam flavonid ve antioksidan kapasiteyi ölçmüşlerdir. Sonuçta toplam fenolik madde, reçel işleme boyunca önemli ölçüde azalmış, 90 günlük depolama süresince, depolama süresi arttıkça kademeli olarak düşmüştür. 4, 25 ve 37 °C'de 90 gün boyunca depolandığında, toplam fenolik madde kaybı sırasıyla %33.9, 41.6 ve 51.9 olmuştur. Taze örneklerle karşılaştırıldığında; toplam flavonid miktarı, haşlama sırasında %23.2 artmıştır. 4, 25 ve 37 °C'de 90 gün süreyle muhafaza edildikten sonra kırmızı pancar reçelinde toplam fenolik madde korunma oranları sırasıyla %89.2, 88.3 ve 85.3 olmuştur. Haşlama sırasında toplam betalain miktarı %34.6 oranında azalmıştır. Konsantrasyon ve pastörizasyondaki kaybı ise sırasıyla %23.6 ve 2.5 olarak bulmuşlardır. Taze pancar ile karşılaştırıldığında; haşlamadan pastörizasyona kadar olan aşamada antioksidan aktivite önemli ölçüde azalmış, ancak 4 ve 25 °C'de 60 gün depolama süresince FRAP (Demir indirgeme antioksidan gücü) değerinde önemli bir azalma olmazken DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) ve ABTS (2,2'-azinobis 3-etil-bezotiazolin 6 sülfonat) değerleri önemli ölçüde azalmıştır. 4, 25 ve 37°C'de 90 gün depoladıktan sonra pancar reçelindeki antioksidan kapasite kayıpları sırasıyla %9.7–35.7, 11.4–39.7 ve %17.8–43.4 olmuştur.

Cui vd. (2022), Çin buharlı ekmeğinin besinsel değerini artırmak için kırmızı pancar tozu kullanmışlardır. Kırmızı pancar tozu eklenmesinin önemli ölçüde özgül hacmi ve bayatlamayı azalttığını, sertliği ve çiğnenebilirliği arttırdığını bulmuşlardır. Kırmızı pancar tozunun, glutenin ikincil yapısını etkileyerek hamurun dayanıklılığını zayıflattığını, daha da önemlisi eklenen pancar tozunun *in vitro* antioksidan potansiyelini iyileştirip ve tahmini glisemik indeksi azalttığını bildirmişlerdir. Buhar uygulamasında betalainler büyük ölçüde betaninden izobetanine izomerizasyonu nedeniyle parçalanmıştır. Yaptıkları duyusal analiz, buğday ununun Çin buharlı ekmeğinin yeme kalitesini bozmadan %10'a kadar kırmızı pancar tozu ile değiştirilebileceğini göstermiştir. Bulguların, besinsel değeri artırılmış pancarla güçlendirilmiş gıdaların formülasyonunun uygulanabilirliğini gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Ali ve Jameel (2023), betalain ve red 40'ın (sentetik pigment) dondurmanın kimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bitki bazlı renklerin sentetik gıda renklerine umut verici bir alternatif olduğunu görmüşlerdir. Doğal pigment olan betalaini, manyetik karıştırıcı çalkalama aparatı kullanarak kırmızı pancardan ekstrakte etmişler ve dondurmaya 50 mg/mL, 100 mg/mL ve 200 mg/mL gibi farklı konsantrasyonlarda ekleyip 70 gün depolamışlardır. Depolama sonunda betalain ve yapay boya maddeleri eklenenler karşılaştırıldığında; 50, 100 ve 200 mg/mL betalain içeren karışımların daha iyi sonuç verdiğini görmüşlerdir.

Giampaoli vd. (2023), katılımcılara kırmızı pancar suyu vererek metabolik değişiklikleri değerlendirmişlerdir. İlk olarak, katılımcılar dinlenme durumunda kırmızı pancar suyu tüketmişlerdir. Daha sonra, aynı katılımcılar fiziksel egzersiz yapmış, egzersiz sonrası kırmızı pancar suyu tüketmişler ve her grupta kan örnekleri alınarak metabolik biyobelirteçleri incelenmiştir. Kırmızı pancar suyu tüketimi, dinlenme durumunda antioksidan enzimlerin aktivasyonunu artırmış ve oksidatif stresi azaltmıştır. Fiziksel egzersiz sonrası, enerji metabolizmasını etkileyen belirteçlerde değişikliklere neden olmuştur. Bununla birlikte araştırmacılar, kırmızı pancar suyu tüketiminin spor performansını doğrudan artırmadığını, metabolik adaptasyonlara ve antioksidan savunmaya katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir.

Mandale vd. (2023), farklı dilim kalınlığındaki (0.5, 1 ve 1.5 mm) kırmızı pancarları 75, 80 ve 85°C'da 30, 45 ve 60 dakika süreyle güneş enerjili sürekli bir refraktans pencere kurutucusunda tutmuşlardır. Kurutma, taze pancarın sertliğini ve su aktivitesini azaltmış; antioksidan özelliklerini artırmıştır. Kurutulmuş dilimlerin renk farkı ve renk açısı çok az değişmiştir. İdeal kurutma koşulları olarak 0.5 mm dilim kalınlık, 85°C sıcaklık ve 60 dakika süre önerilmiştir.

2.2. Derin Ötektik Çözücüler

2.2.1. Derin Ötektik Çözücüler Hakkında Genel Bilgi

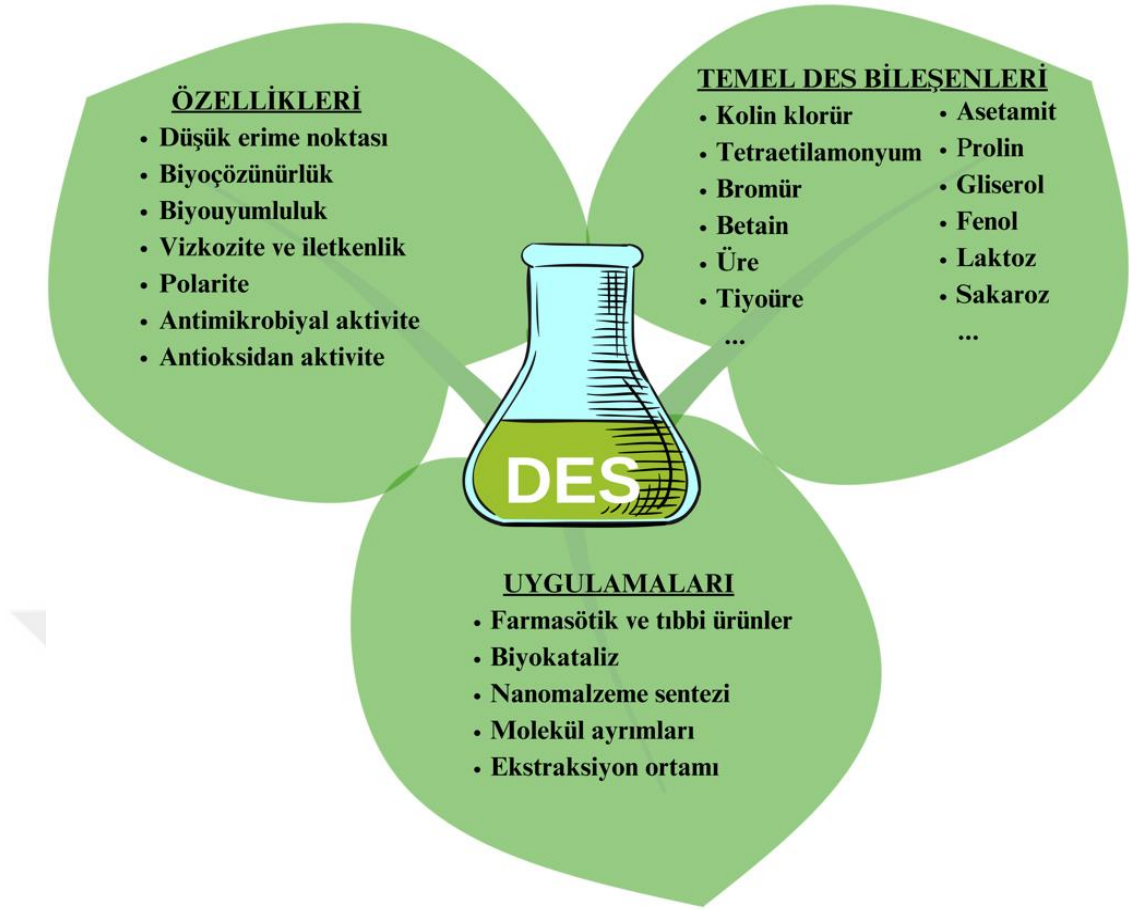
Yeşil kimyada önemli bir gelişme, derin ötektik çözücülerin keşfidir. Derin ötektik çözücüler, genellikle hidrojen bağları yoluyla birbirine bağlanabilen bileşiklerin ikili veya üçlü karışımları olarak adlandırılır. Bu bileşiklerin belirli bir molar oranında karıştırılması, ötektik bir karışım elde edilmesini sağlar (Zhang vd., 2012). Kelime kökeni Antik Yunanca εὐτηκτος veya εὐτέκτος olan "ötektik" terimi,

kolay eriyebilen anlamına gelir. Ötektik nokta ise iki veya daha fazla katı bileşiğin belirli bir oranla karıştırılması sonucu oluşan karışımın, herhangi bir bileşenin erime sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta tamamen eridiği sıcaklığı ifade eder. Bu nokta, ötektik karışımın kimyasal bileşimine bağlı olarak değişkenlik gösterir (El Achkar vd., 2021).

2001 yılında Abbot ve arkadaşları, kolin klorür ve çinko klorür karışımının 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda sıvı hale dönüştüğünü göstermişlerdir. İki yıl sonra, yine Abbot ve arkadaşları üre ile kolin klorürün bir karışımını geliştirmiş ve buna DES (Derin Ötektik Çözücü) adını vermişlerdir. İlerleyen yıllarda kolin klorürün okzalik, malonik ve süksinik asitlerle karıştırılmasıyla başka DES'ler oluşturmuşlardır (Cunha ve Fernandes, 2018).

Yeni nesil yeşil çözücüler olarak kabul edilen derin ötektik çözücüler (DES'ler), biyolojik olarak parçalanabilir olmaları, düşük toksisiteleri ve kolay hazırlanabilir olmaları nedeniyle çok ilgi görmektedirler (Liu vd., 2023). DES'ler genellikle hidrojen bağı vericileri (HBD'ler) ve hidrojen bağı alıcıları (HBA'lar) gibi bileşenlerin karıştırılmasıyla elde edilir (Abranches ve Coutinho, 2022; Khajavian vd., 2022; Russo vd., 2022) ve organik asitler, alkoller ve şekerler gibi birçok doğal molekülü içeren ucuz ve kolayca bulunabilen bileşenlerle hazırlanabilir (El Achkar vd., 2021; Basu vd., 2023). Tüm DES'ler, saf bileşenlerinden daha düşük erime noktasına sahiptir. Düşük maliyeti, güvenliği, uçucu olmayışı, termal kararlılığı, yanmazlığı, sürdürülebilirliği gibi birçok avantajı nedeniyle geleneksel organik çözücülere tercih edilmektedirler (Şekil 2.12) (Abdollahzadeh vd., 2022; Omar ve Sadeghi, 2022; Yu vd., 2022; Yuan vd., 2022).

En yaygın DES, karboksilik asitler, aminler şekerler, alkoller gibi doğal yüksüz bileşiklerle birlikte HBR (Hidrojen Bağı Reseptörü) olarak toksik olmayan bir kuaterner amonyum tuzu olan kolin klorür kullanılarak oluşturulur (Demuner vd., 2023). Bu bileşikler, çevre dostu ekstraksiyon teknolojilerinde daha geniş kullanım için iyi beklentilere sahiptir (Belwal vd., 2018).



Şekil 2.12. DES'lerin özellikleri ve uygulamaları (Lomba vd., 2021)

Derin ötektik çözücüler oluşturmak için genellikle iki temel yöntem kullanılır. Bunlar; ısıtma yöntemi ve öğütme yöntemi. Isıtma yöntemi, bileşenlerin sürekli karıştırılması ve ısıtılması yoluyla homojen bir sıvı haline gelene kadar devam eden bir işlemdir (Abbott vd., 2004). Sıcaklık genellikle 50 ila 100 °C arasında seçilir. Ancak, yüksek sıcaklıklar, esterleşme reaksiyonlarına neden olabilir ve bu da hazırlanan derin ötektik çözeltinin bozulmasına sebep olabilir (Rodriguez Rodriguez vd., 2019). Öğütme yöntemi ise bileşiklerin oda sıcaklığında karıştırılması ve havanda tokmakla berrak bir sıvı oluşana kadar ezilmesi temeline dayanır (Florindo vd., 2014). Gutierrez ve arkadaşları tarafından geliştirilen bir yöntem, derin ötektik çözücülerin bileşenlerinin sulu çözeltilerinin dondurulup kurutulması temeline dayanmaktadır (Gutierrez vd., 2009). Bu yöntem ek olarak, bir buharlaştırma yöntemi de rapor edilmiştir. Bu yöntem, derin ötektik çözücülerin bileşenlerinin önce suda çözülmesi ve ardından 50°C'de buharlaştırılması işlemine dayanır. Elde edilen sıvı daha sonra silika jel varlığında bir desikatöre yerleştirilir (Dai vd., 2013b). Zaman ve enerji tüketimini optimize etmek için, doğal derin ötektik çözücülerin saniyeler içinde

hazırlanmasını sağlamak için mikrodalga destekli bir yaklaşım önerilmiştir (Gomez vd., 2018). Son olarak, Santana ve arkadaşları tarafından yakın zamanda ultrason destekli doğal derin ötektik çözücü sentezi tanıtılmıştır (Santana vd., 2019).

2.2.2. DES'lerin Uygulama Alanı

Ekstraksiyon işleminde derin ötektik çözücülerin kullanılmasının başlıca nedeni, yüksek çözünme kabiliyetleridir. Bu çözücüler, proton ve elektron alma/verme kabiliyetleri sayesinde moleküller arasında hidrojen bağı oluşumunu kolaylaştırırlar (Smith vd., 2014).

DES'ler elektrokimya başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Metal işleme proseslerinde kullanıldığında, kaplamada yüksek akım randımanı sağlar, mikro çatlakların oluşumunu engeller ve korozyon direncini artırır. Biyodizel sentezinde kullanıldıklarında maliyeti düşürerek biyoyakıtların gelecekteki kullanımını daha uygun hale getirir. Bu çözücüler bazı polimerler tiplerinde akışkanlaştırıcı olarak kullanıldığında, polimerlerin mekanik dayanımlarını artırır (Abbott, 2004). Derin ötektik çözeltilerden, jel elektrolitlerin kullanıldığı gerilme ve basınç sensörlerinin üretiminde yararlanılmaktadır. Ayrıca DES'ler yüksek esneklik ve dayanıklılık gibi özelliklerinden dolayı çeşitli sensör uygulamalarında faydalı olmaktadır (Qin vd., 2019). DES'lerden biyolojik örneklerden proteinler, polifenoller, alkaloidler, amino asitler, karotenoidler, flavonoidler ve diğer bileşiklerin ekstraksiyonunda yararlanılmaktadır. Ayrıca kapiller elektroforez ve sıvı kromatografisi gibi analitik tekniklerde mobil faz olarak ve biyomarkerlerin tespiti, ilaç keşfi ve biyosensör uygulamalarında da kullanılabilmektedir (Andruch vd., 2022).

Derin ötektik çözücüler, polifenollerin ekstraksiyonunda da geleneksel çözücülere göre daha avantajlı olup yüksek verim sağlamaktadır. Bubalo vd. (2016), üzüm kabuğu fenolik bileşenlerinin yeşil bir çözücü olan derin ötektik çözeltileri (DES) kullanarak çıkarılması üzerine çalışmışlardır. Çeşitli DES'lerin fenolik bileşenlerin ekstraksiyon verimliliğini nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Bulgular, farklı DES'lerin farklı fenolik bileşenlerin çıkarılmasında farklı etkilere sahip olduğunu ve bazı DES'lerin geleneksel çözücülere kıyasla daha yüksek ekstraksiyon verimliliği sağladığını göstermiştir.

García vd. (2016), sızma zeytinyağından fenolik bileşikleri, derin ötektik çözücü (DES) kullanılarak ekstrakte etmişlerdir. Bazı DES'lerin metanol gibi geleneksel organik çözücülerden daha yüksek verimlilik sağladığını belirlemişlerdir.

Ozturk vd. (2018), portakal kabuk atıklarından fenolik antioksidanların derin ötektik çözücüler (DES) kullanarak ekstraksiyonu araştırmışlardır. Çalışmada, farklı DES'lerin (kolin klorür-üre, kolin klorür-gliserol ve kolin klorür-malonik asit) gösterdikleri performansları incelemişler ve en iyi verimin kolin klorür-üre ile gerçekleştiği DES'i seçmişlerdir. Elde ettikleri DES ekstraktlarını, antioksidan aktivitesi, fenolik bileşik içeriği ve fenolik bileşiklerin kimyasal yapıları açısından karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, DES kullanımının atık malzemelerden değerli bileşiklerin geri kazanımı için umut verici bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

de Almeida Pontes vd. (2021), zeytin yapraklarından fenolik bileşikleri ekstrakte etmede kolin klorür ve karboksilik asitlerle hazırlanan derin ötektik çözeltileri kullanmışlardır. Bu ekstraktları daha sonra etanol kullanarak elde edilen özütlerle karşılaştırmışlardır. DES ve etanolla ekstraksiyon sırasında sıcaklık ve su ilavesinin etkisini yanıt yüzey yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. Kolin klorür:asetik asit (54.1°C, %50 su ilavesi), etanol (54.1°C, %0.5 su ilavesi) ile karşılaştırdıklarında %15 daha fazla fenolik bileşik elde edildiğini saptamışlardır.

Haq vd. (2021), FAAS (Alevli Atomik Emisyon Spektrometresi) kullanılarak balık ve yılan balığı örneklerinden, derin ötektik çözeltiler kullanarak çinko ekstrakte etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, farklı DES bileşenlerinin ve farklı oranlarının çinko çözünürlüğü üzerindeki etkisini inceleyerek ve en iyi çözücü bileşimini belirlemişler ve 1:2 M oranında kolin klorür-fenol seçmişlerdir. Sonuçlar, DES temelli yöntemin FAAS kullanılarak çinko tayini için uygun ve hassas bir alternatif olduğunu ortaya koymuştur.

Vladimir-Knežević vd. (2021), ilk kez mürver yemişi (*Sambucus nigra* L.) ve biberiyeden (*Rosmarinus officinalis*) DES ile fenolik asitler ve flavonoidleri ekstrakte etmişlerdir. Mürver çiçeği ve biberiye yapraklarındaki polifenollerin varlığını ince tabaka kromatografisi ile tespit etmişler ve içeriklerini spektrofotometrik olarak belirlemişlerdir. Kolin klorür-etilen glikol (1:3) mol oranında, kolin klorür-gliserol bazlı su (1:3) mol oranında ve %70 etanol ile DES'lerin ekstraksiyon verimlerini karşılaştırmışlardır. DES'ler saf halde %30 ve %50 su ilave edilerek

uygulanmıştır. Elde ettikleri sonuçlar, %50 kolin klorür-gliserol ve %50 kolin klorür-etilen glikol'ün fenolik asit ekstraksiyonu için yaygın olarak kullanılan %70 etanol ile benzer etkinliğe sahip olduğunu göstermiştir. Etilen glikol bazlı DES, biberiye fenolik asitlerinin ekstraksiyonu için biraz daha yüksek performans gösterirken, gliserol bazlı DES, mürver için daha iyi sonuçlar göstermiştir.

Kongpol vd. (2022), zerdeçal bitkisinden kurkuminoidler ve aromatik (ar)-turmeronu ekstrakte etmede hidrofobik derin ötektik çözeltileri (HDES) ve HDES tabanlı mikroemülsiyonları kullanmışlardır. Yanıt yüzey yöntemini (RSM) kullanarak yaptıkları çalışmada, ekstraksiyon koşullarını oktanoik asit-mentol (1:3.6) oranını, katı-sıvı oranını (10:1 mg/mL) ve ekstraksiyon süresini (90 dakika) optimize etmişlerdir. Bu koşullarda, bisdemetoksikurkumin, demetoksikurkumin, kurkumin ve ar-turmeronu HDES ekstraksiyon verimi sayesinde sırasıyla %2.49, 5.61, 9.40 ve 3.83, HDES tabanlı mikroemülsiyon kullanılarak elde edilen verimleri ise sırasıyla %2.10, 6.31, 12.6 ve 2.58 olarak saptamışlardır.

Tien vd. (2022), doğal derin ötektik çözücüler (NADES) kullanarak ejder meyvesi kabuğundan pektin elde etmek için mikrodalga-ultrason destekli ekstraksiyon (MUAE) yöntemini kullanmışlardır. Kolin klorür-glikoz-su çözücü (5:2:5) ile en yüksek pektin ekstraksiyonunu kaydetmişlerdir. Optimize koşullar olan 35.25 mL/g sıvı/katı oranı, 3.37 mL/mL su/NADES oranı, 240 W'ta 14.26 dakikalık mikrodalga ışınlamı ve 46.07 dakika sonikasyon ile pektin verimini %19.39 olarak bulmuşlardır.

Zhang vd. (2022), *Acanthopanax senticosus* bitkisinden DES kullanarak flavonoidlerin eldesini amaçlamışlardır. Yanıt yüzey yöntemi (RSM) kullanarak, ultrasonik güç, su içeriği, katı-sıvı oranı, ekstraksiyon sıcaklığı ve ekstraksiyon süresi gibi bağımsız değişkenler açısından optimize etmişlerdir. Glikol ve levulinik asitten (1:1) oluşan DES, en uygun çözücü olarak seçmişlerdir. Optimal koşulları, 500 W ultrasonik güç, %28 su içeriği, 1:18 g·mL⁻¹ katı-sıvı oranı, 55°C sıcaklık ve 73 dakika ekstraksiyon süresi olarak belirlemişlerdir. Toplam flavonoid için ekstraksiyon veriminin ultrason destekli etanol ekstraksiyonuna göre %40.7 daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Kolin klorür bazlı derin ötektik çözücüler kullanılarak çeşitli biyolojik kaynaklardan fenolik bileşik ekstraksiyonunu gerçekleştiren birçok kişi bulunmaktadır. Panić vd. (2019), kolin klorür-sitrik asit (2:1) oranında üzüm

ezmesinden 65°C’de 10 dakika, sıvı/katı oranı 33.3 ml/g, %30 su içeriğiyle ultrason ve mikrodalga destekli ekstraksiyon kullanarak antosiyaninleri çıkarmışlardır. Ivanović vd. (2018), kolin klorür-laktik asit (1:2) oranında limon otundan 63.68°C’de 17.07 dak, sıvı katı oranı 10 mL/g, %32.19 su içeriğiyle mikrodalga destekli ekstraksiyonla iridoidleri, fenilpropanoidleri ve flavanoidleri ekstrakte etmişlerdir. Vieira vd. (2018), kolin klorür-bütirik asit (1:2) oranında ceviz yapraklarından 50°C’de 60 dakika, sıvı/katı oranı 200ml/g, %20 su içeriğiyle, ısıtılarak toplam neoklorojenik asit, kersetin 3-O-glukozit ve kersetin O-pentosit çıkarmışlardır. Zheng vd. (2019), kolin klorür-1,4 bütandiol (1:6) oranında Çin’de yaygın olarak tüketilen yenilebilir çiçeklerde 51.2°C’de 10 dak, sıvı/katı oranı 27mL/g, %23.4 su içeriğiyle, ultrason destekli ekstraksiyon kullanılarak toplam flavanoid içeriğini, Alañón vd. (2020), kolin klorür-etilen glikol (1:2) oranında zeytin yaprağında 79.98°C’de 15.28 dak, sıvı/katı oranı 7.5 mL/g, %48.63 su içeriğiyle, mikrodalga destekli ekstraksiyon kullanarak toplam fenolik madde içeriğini saptamışlardır.

Cui vd. (2018), deniz iğdesi yapraklarından biyoaktif flavonoidlerin ekstraksiyonunda 12 farklı DES kullanarak beş ana flavonoidi (rutin, kuersetin-3-O-glukozit, kuersetin, kemferol ve izoramentin) mikrodalga destekli ekstraksiyon ile çıkarmışlardır. DES ile hedef flavonoidlerin ekstraksiyon veriminin etanole göre daha yüksek olduğunu saptamışlardır. 1,4-bütandiol-kolin klorür’ün (3:1) rutin, kersetin-3-O-glukozid, kersetin, kamferol ve izoramentin açısından en yüksek ekstraksiyon verimliliğini sağlayan DES olduğunu belirlemişlerdir.

Duan vd. (2019), kolin klorür-malik asit-üre (2:1:2) oranında *Artemisia argyi*’den 23.5dak, sıvı/katı oranı 57.5 mL/g, %54 su içeriğiyle, ultrason destekli ekstraksiyon kullanarak kafeoilkinik asit çıkarmışlardır. Suopajärvi vd. (2020), kolin klorür-K₂CO₃-gliserol (5:1) oranında buğday samanı, mısır sapı ve kolza tohumu sapında 100°C’de 8 saat, sıvı/katı oranı 5/3, %3 su içeriğiyle fenolik bileşikler için ön arıtma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Pal ve Jadeja (2019), kolin klorür-üre-H₂O (1:2:4) oranında soğan kabuğundan 60°C’de 120 dak, sıvı/katı oranı 50 mL/g, mikrodalga destekli ekstraksiyonla toplam fenolik içeriğini elde etmişlerdir.

Literatürde DES kullanarak betalain ekstraksiyonunu gerçekleştiren çalışma sayısı azdır. Hernández-Aguirre vd. (2021), kırmızı pancar atıklarından betalainlerin ekstraksiyonu ve stabilizasyonunu araştırmışlardır. Eşit mol oranlarında (1:1) magnezyum klorür heksahidrat ve üre kullanarak derin ötektik çözücüler

hazırlamışlardır. Betalain stabilitesini bozunma testleriyle belirlemişlerdir. Sulu örneklerin betalain bozunma kinetik eğrilerinin birinci derece modele uyduğunu saptamışlardır. Sulu ekstraktların 5-7 gün içinde değiştiğini göstermiştir. DES ekstraktlarının, 150 gün boyunca görünür ışık altında ve 340 gün boyunca karanlıkta depolanmaları sonucunda başlangıca göre %75'e varan bir stabilite elde etmişlerdir.

Demuner vd. (2023), kırmızı pancardan betalain ekstraksiyonunu derin ötektik çözücü ve ultrason destekli ekstraksiyon kullanarak optimize etmişlerdir. Çalışmada, farklı DES bileşenleri, DES/etanol oranı, ultrasonik güç ve süre gibi parametreleri optimize ederek betalain verimliliğini araştırmışlardır. Optimum koşulları belirlemek için yanıt yüzey metodolojisini kullanmışlardır. DES olarak, kolin klorür-üre (1:2), kolin klorür-gliserol (1:2), kolin klorür-sitrik asiti (1:2) seçmişlerdir. Pancar tozunu farklı oranda DES (%6, 10, 20, 30 ve 44) ile karıştırıp farklı süre (7, 16, 38, 60 ve 69 dak) ultrasonik ekstraksiyona tabi tutmuşlardır. Ultrasonik uygulamada 37 kHz frekans ve %100 W genlik kullanmış ve 35 °C sıcaklıkta bir prob ile ekstraksiyonu gerçekleştirmişlerdir. Maksimum betanin ekstraksiyonunu ultrasonik su banyosunda %44 DES kullanarak kolin klorür-sitrik asit ile 38 dakikada 111.193 mg/100g olarak bulmuşlardır. DES'lerin geleneksel çözücülere göre daha verimli olduğunu bildirmişlerdir.

Prajapati ve Jadeja (2023), betaninin eldesi için kırmızı ejder meyvesi kabuğundan ultrason destekli derin ötektik çözücü (DES) ekstraksiyonu gerçekleştirmişlerdir. Ön çalışmadan sonra, kolin klorür-etilen glikol ikilisini optimizasyon için seçmişlerdir. Optimum koşulların elde edilmesi için Box-Behnken tasarımını uygulamışlardır. Optimum koşullar olan %40 döngü süresi, %40 su konsantrasyonu ve 5 dakika ekstraksiyon süresi ile 10 g kuru ağırlığa sahip toplam betanin içeriği elde etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan kırmızı pancar yumruları (*Beta vulgaris* L.) (Şekil 3.1) Samsun’da yerel pazardan satın alınmıştır. İyiye yıkanıp kabukları soyulduktan sonra, pulp haline getirilip fiziksel ve kimyasal bazı özellikleri belirlemek üzere analize kadar -20°C’de depolanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Kırmızı pancarın iç kesiti



Şekil 3.2. Pancarların pulp haline getirilmesi ve depolanmaya hazırlanması

3.2. Yöntemler

3.2.1. Kırmızı Pancar Yumrularının Özelliklerinin Belirlenmesi

3.2.1.1. Renk analizi

Kırmızı pancar bitkisinde renk ölçümü MiniScan EZ 4500 (Reston, Virginia, ABD) renk ölçüm cihazıyla yapılarak; L* (aydınlık/karanlık), a* (kırmızılık/yeşillik) ve b* (sarılık/mavilik) değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Kırmızı pancarların renk ölçümlerinin yapılması

3.2.1.2. Kuru Madde Tayini

Darası alınan nikel kaplara taze örnekler belirli bir miktarda tartılmış, vakumlu bir etüvde 70°C ve 100 mmHg basınçta sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur (AOAC, 2000).

3.2.1.3. Suda Çözünür Katı Madde Miktarının Belirlenmesi

Pulp haline getirilen meyveler filtre kağıdından süzildükten sonra Abbe refraktometresinin (Atago, Japonya) prizmasına damlatılarak suda çözünür katı madde içeriği belirlenmiştir (AOAC, 2000).

3.2.1.4. pH Tayini

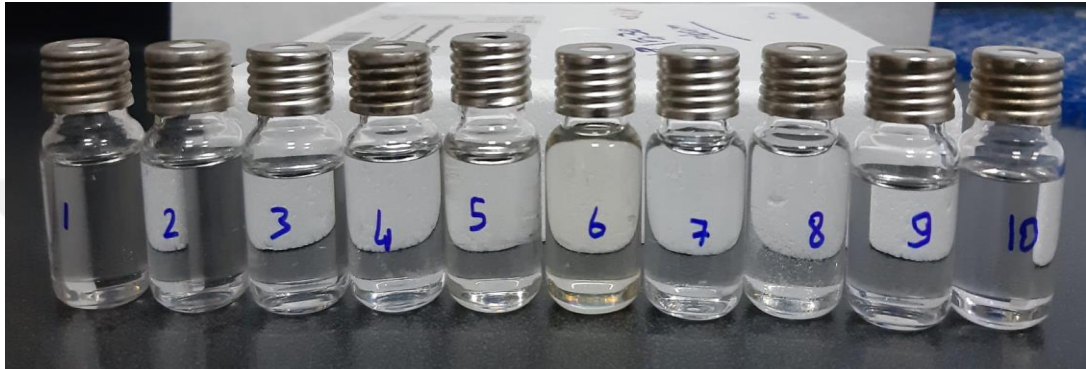
Pulp haline getirilen örnekten 1 g tartılarak saf su ile 1:10 oranında seyreltilmiş, buzdolabında 1 gece bekletilmiş ve oda sıcaklığına (22°C) getirilip bir pH metrede (ORION 3-Star, USA) pH'sı ölçülmüştür (AOAC, 2000).

3.2.1.5. Titrasyon Asitliği Tayini

Titrasyon asitliği tayininde potansiyometrik yöntem kullanılmıştır. Bunun için belli miktar alınan örnek 0.1 M NaOH çözeltisiyle pH 8.1 oluncaya kadar titre edilmiştir. Sonuçlar sitrik asit cinsinden hesaplanmıştır (AOAC, 2000).

3.2.2. DES Hazırlığı

Çeşitli literatüre göre toplam 10 farklı derin ötektik çözücü hazırlanmıştır (Dai vd., 2013a; Huang vd., 2017; González vd., 2018; Liu vd., 2018; Ozturk vd., 2018; Alañón vd., 2020; de Almeida Pontes vd., 2021). Çalışmada kullanılan DES'ler 1:2 mol oranında hidrojen bağı vericisi (HBD) ve hidrojen bağı alıcısı (HBA) olmak üzere 2 farklı karışım içermektedir. Reaktifleri belirli molar oranlarda karıştırarak ve ardından karışımı 80°C'de şeffaf bir sıvı oluşana kadar karıştırarak hazırlanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan DES'lerin görünüşleri

HBA olarak kolin klorür, askorbik asit, laktik asit ve malik asit; HBD olarak etilen glikol, bütandiol, asetik asit, gliserol, glikoz, kolin klorür, sorbitol ve ksilitol kullanılmıştır (Tablo 3.1). Kullanımını kolaylaştırmak ve viskoziteyi azaltmak için %20 su (w/w) eklenmiştir.

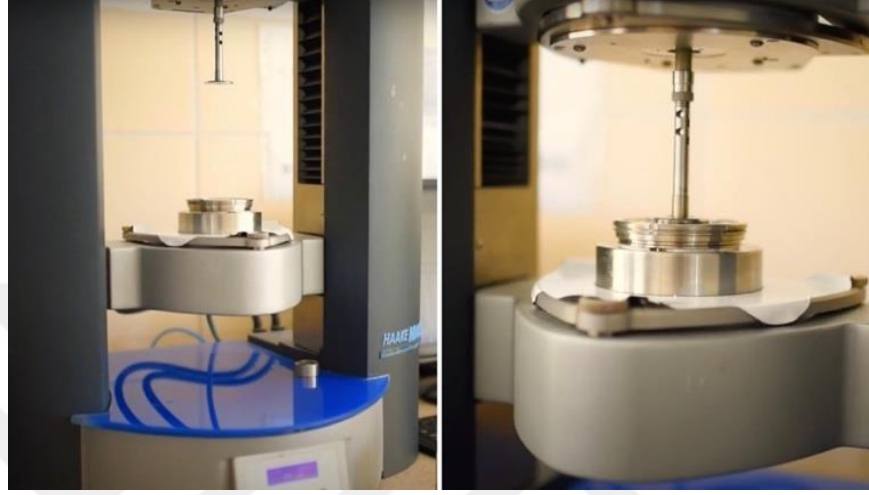
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan başlıca çözücüler

No	Hidrojen Bağı Alıcısı	Hidrojen Bağı Donörü	Molar oran
DES 1	Kolin klorür	Etilen glikol	1:2
DES 2	Kolin klorür	Bütandiol	1:2
DES 3	Kolin klorür	Asetik Asit	1:2
DES 4	Kolin klorür	Gliserol	1:2
DES 5	Kolin klorür	Glikoz	1:2
DES 6	Askorbik asit	Kolin klorür	1:2
DES 7	Laktik asit	Sorbitol	1:2
DES 8	Malik asit	Ksilitol	1:2
DES 9	Askorbik asit	Ksilitol	1:2
DES 10	Askorbik asit	Glikoz	1:2

3.2.3. DES'lerin Fizikokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

3.2.3.1. Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

DES'lerin viskoziteleri, 20 mm çapında ve 1 mm boşluklu paralel bir geometriye sahip bir Reometre (Buchi, CH-9230 Flawil 1, İsviçre) ile 20°C'de ölçülmüştür (Şekil 3.5).



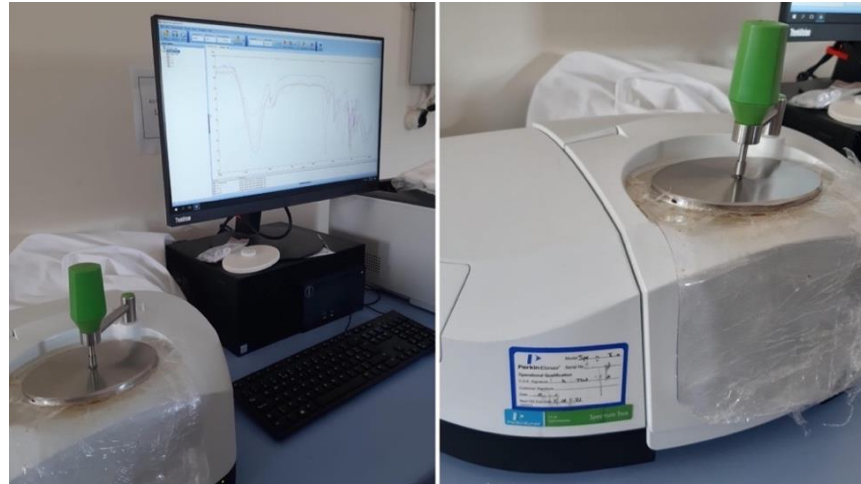
Şekil 3.5. Reometre cihazı

3.2.3.2. pH Tayini

pH değerleri, 0-14 aralığında bir dijital pH metre kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.3.3. Fourier Dönüştürülmüş Kızılötesi (FTIR) Analizi

DES'lerin ve ekstraktların FTIR analizi, bir FTIR Spektrometresi (Perkin Elmer, Spectrum-Two, ABD, PEService 35) kullanılarak 4000 ve 400 cm^{-1} dalga sayılarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. FTIR Spektrumlarının Saptanması

3.2.3.4. İletkenlik

Elektriksel iletkenlik özellikleri, 25°C'de bir elektrokimyasal analiz cihazı (Thermo scientific orion star A215) kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen değerler $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ olarak kaydedilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. İletkenlik ölçüm cihazı

3.2.3.5. Su Aktivitesi

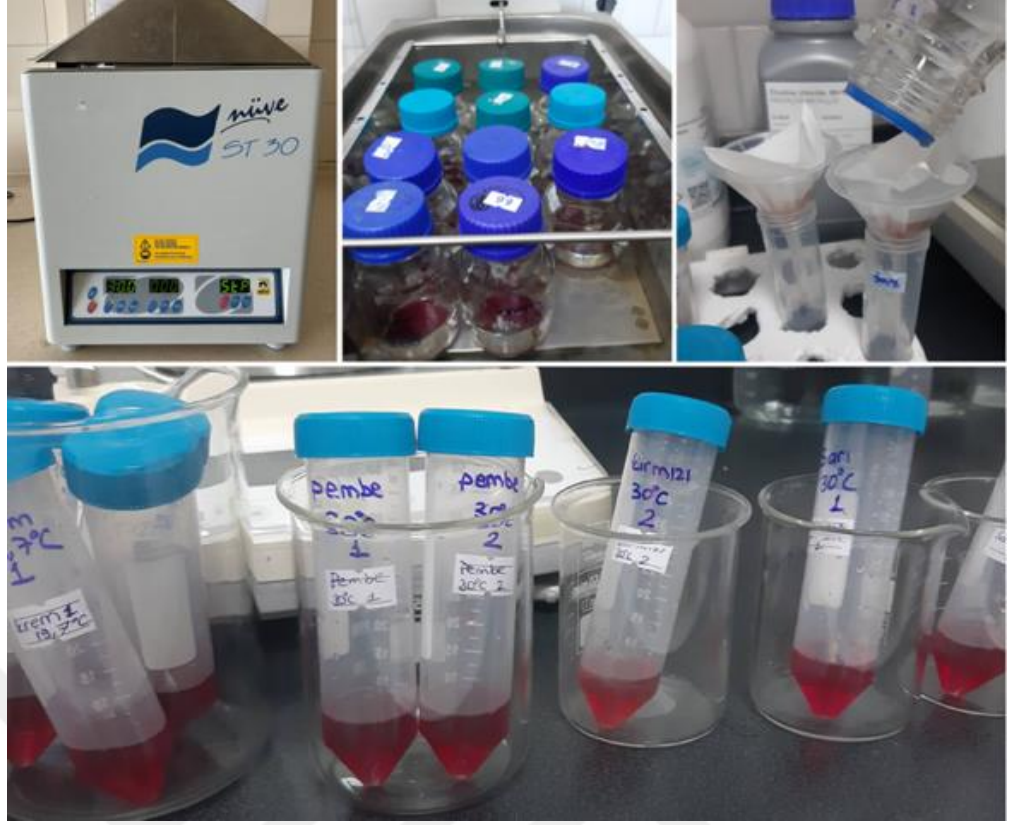
Su aktivitesi değerleri, su aktivitesi cihazı (AquaLab 4TE) kullanılarak 25 °C'de ölçülmüştür.

3.2.3.6. Yoğunluk Ölçümü

DES'in yoğunluk ölçümleri, suyla kalibre edilmiş bir piknometre ve ± 0.0001 g doğrulukla analitik terazi kullanılarak 20°C'de hacimsel olarak yapılmıştır (Santana vd., 2019).

3.2.4. DES'ler ile Ekstraksiyon

Ekstraksiyon, bir çalkalamalı su banyosunda (NÜVE ST 30) DES'ler ile gerçekleştirilmiştir. Analizlerden önce donmuş pancar pulpu çözündürülmüş ve pancar pulpu DES'lerle (1:120, katı:solvent) oranında olacak şekilde DES çözücülerini ile karıştırılmıştır. Karışım, 30 dakika boyunca 30°C'de çalkalamalı su banyosunda bekletilmiştir. Daha sonra filtre edilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Betalainin ekstraksiyonu

3.2.5. Betalain İçeriğinin Belirlenmesi

Ekstraksiyon sonunda filtre edilen karışımın betalain içeriğini belirlemek için spektrofotometre ile optik yoğunluğu belirlenmiştir (Mohamed vd., 2018; Chew vd., 2019). Bunun için 2 farklı dalga boyunda (535 ve 480 nm) ölçüm yapılmıştır. Betasiyanin ve betaksantin içeriği aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır;

$$\text{Betasiyaninler veya betaksantinler (mg/g)} = [(A \times D \times V \times M_w) / \epsilon] \quad (3.1)$$

Burada;

A; Ekstraktın optik yoğunluğu (betasiyaninler için 535 nm ve betaksantinler için 480 nm),

D; seyreltme faktörü,

V; ekstraktın son hacmi (mL),

M_w; moleküler ağırlık (betaksantinler: 308 g mol⁻¹, betasiyaninler: 550 g mol⁻¹),

ε; Molar ekstinksiyon katsayısıdır (betasiyanin için ε=60 000 L mol⁻¹cm⁻¹; betaksantin için ε = 48 000 L mol⁻¹ cm⁻¹).

3.2.6. Yanıt Yüzey Metodolojisi Deney Tasarımı

Betalain ekstraksiyonu için en uygun koşulları belirlemek üzere yanıt yüzey metodolojisi (RSM) kullanılmıştır. Üç seviyede ayarlanmış üç bağımsız değişkenli (X1, molar oran; X2, su içeriği; X3, ekstraksiyon sıcaklığı) bir Merkezi Kompozit tasarımı (Design-Expert yazılımı 10.0) kullanılmıştır. Merkez noktada 3 tekrarla birlikte toplam 17 deney yapılmıştır. Bağımsız değişken olarak DES'in molar oranı (1: 0.409, 0.75, 1.25, 1.75 ve 2.09), su içeriği (8.18, 15, 25, 35 ve 41.818%) ve sıcaklık (19.77, 30, 45, 60 ve 70.227 °C) seçilmiştir (Tablo 3.2). Betasiyaninler (BCY), betaksantinler (BTX) ve toplam betalainler (BT) olmak üzere üç yanıt (Y) dikkate alınmıştır. Regresyon modelinin istatistiksel anlamlılığını doğrulamak için varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve her değişkenin etkileşim etkisi P değeri ile belirlenmiştir.

Tablo 3.2. Bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlu değerleri

Kodlu değerler	Gerçek değerler		
	A	B	C
-1.68	0.409	8.18	19.77
-1	0.75	15	30
0	1.25	25	45
+1	1.75	35	60
+1.68	2.09	41.81	70.22

*A, molar oran; B, su içeriği, %; C, sıcaklık, °C

Yanıt değişkenleri için ikinci dereceden polinom denklemi şu şekilde belirlenmiştir;

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_{ii} + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (3.2)$$

Burada;

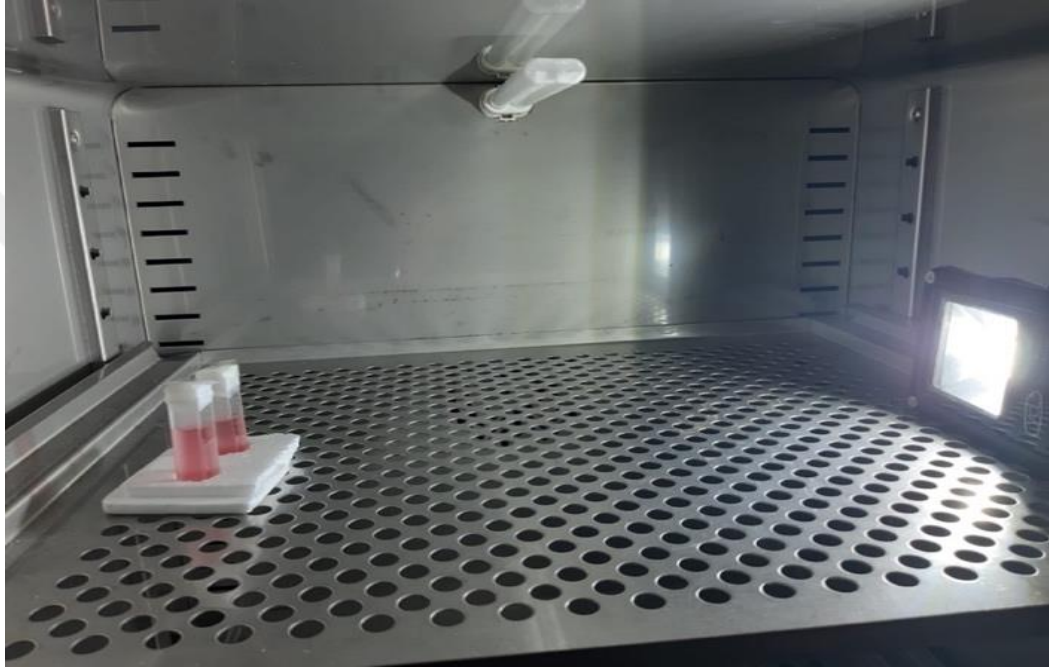
Y, yanıt; X_i ve X_j , bağımsız değişken; β_0 , model katsayısı (intercept); β_i , β_{ii} , β_{ij} interaksiyon katsayısı; k, bağımsız faktörlerin sayısı ve ε deneysel hatadır.

Modelin doğrulanması;

Merkezi kompozit deneme deseninin deneysel verileri, faktör seviyesini aralık içinde tutarak ve betalainleri maksimize ederek optimize edilmiş durumu belirlemek için kullanılmıştır. Modeli doğrulamak için, optimal koşullar altındaki deneysel değer, modelin tahmin edilen değerleri ile karşılaştırılmıştır.

3.2.7. Stabilit  Testleri

Optimum koşullarda elde edilen ekstraktta pigmentlerin stabilitesini değerlendirmek için betalain solüsyonları karanlıkta oda sıcaklığında (20 C), buzdolabında (4 C) ve oda sıcaklığına ayarlanmış inkübatörde (Nüve Soğutmalı ES 110 Ink bat r) 9 gün boyunca ve 3000 Lux ışık şiddetinde ışık kaynağından 30 cm uzaklıkta, depolama süresinin DES açısından toplam betalain içeriği üzerindeki etkisi araştırılmıştır (şekil 3.9).



şekil 3.9. ışık stabilitesi testinin uygulanışı

3.2.8. Bozunma Kinetik Analizi

Betasiyanin ve betaksantin içeriğinin bozunma kinetiği, aşağıdaki denkleme dayalı olarak birinci dereceden kinetik modeli deney verilerine uydurarak açıklanmıştır:

$$w(t) = w_0 \cdot \exp(-k \cdot t) \quad (3.3)$$

t zamanında kütle fraksiyonu olarak $w(t)$, ilk kütle fraksiyonu olarak w_0 (100 g numune başına mg), uygulama süresi (dk) olarak t ve birinci dereceden bozunma oranı olarak k (dak^{-1})'dır.

Reaksiyonun yarı ömrü ($t_{1/2}$) şu şekilde hesaplanmıştır:

$$t_{1/2} = -\ln 0.5 / k \quad (3.4)$$

3.2.9. Betalainlerin Biyoyararlıklarının Belirlenmesi

Kırmızı pancar örneklerinde betalainlerin biyoyararlılığını belirlemek için insan gastrointestinal sistemi simüle edilerek *in vitro* olarak incelenmiştir. Ağız, mide ve bağırsak sindiriminin simülasyon protokolü gerçekleştirilmiştir (Salvia-Trujillo vd., 2016).

Oral Faz (ağızda): Eşit miktarda numune solüsyonu ile yapay salya (sodyum klorür 1.594 g/L, amonyum nitrat 0.328 g/L, potasyum fosfat 0.636 g/L, potasyum klorür 43 0.202 g/L, potasyum sitrat 0.308 g/L, üre 0.198 g/L, müsin 30g/L, α -amilaz 2 g/L, pH 6.8) karıştırılmış ve karışımın 1M NaOH ile pH'ı 6.8'e ayarlanıp 37°C'de sürekli çalkalanarak (200 rpm) 5 ve 15 dakika inkübe edilmiştir.

Gastrik Faz (midede): Eşit hacimde oral faz sindiriminden alınan numunelerle simüle edilmiş mide sıvısı (sodyum klorür 2 g/L, hidroklorik asit 7 mL/L, pepsin 3.2 g/L) karıştırılıp 1M HCl ile pH'ı 2.5 'e ayarlanmış ve 37°C'de sürekli çalkalanarak (200 rpm) 1, 2 ve 3 saat inkübe edilmiştir.

Bağırsak Fazı: Gastrik fazından elde edilen numunelerin 1M NaOH ile pH'ı 7'e ayarlanmış ve sürekli karıştırılarak 4 mL safra tuzu çözeltisi (5g/L) ve 1 mL kalsiyum klorür çözeltisi (0.75 M) ilave edilmiştir. Daha sonra karışımın pH'sı tekrar 7'ye ayarlanmıştır. Ortama 2.5 mL lipaz solüsyonu (4.8 g/L) eklenip, 1, 2 ve 3 saat boyunca çalkalanarak (200 rpm) 37°C'de inkübe edilmiştir. NaOH çözeltisi (0.25M) eklenerek pH 7'de sabit tutulmuştur.

Biyoerişilebilirlik ve Betalain Tayini: İnce bağırsak fazından sonra, ham sindirimin bir kısmı (1:1 oran) 5000xg'de 15 dakika 4°C'de metanol ile santrifüjlenmiştir. Betalainlerin çözündüğü santrifüjlü sindirimden bir süpernatant (misel fraksiyonu) toplanmış ve betalain içeriği spektrofotometrik yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Betalainlerin biyoyararlanımı ve stabilitesi daha sonra aşağıdaki denklem (3.5) kullanılarak belirlenmiştir: burada $C_{\text{başlangıç}}$ ve C_{misel} , sırasıyla sindirimin sonunda, başlangıçta ve misel fazındaki betalainlerin konsantrasyonudur.

$$\text{Biyoerişilebilirlik (\%)} = (C_{\text{misel}} / C_{\text{başlangıç}}) \times 100 \quad (3.5)$$

3.2.10. İstatistiksel Analiz

Tüm deneyler üç tekrarlı halinde gerçekleştirilmiş ve sonuçlar, $p < 0.05$ 'te istatistiksel olarak anlamlı kabul edilen ortalama $\pm$ standart sapma (SD) olarak ifade edilmiştir. RSM analiz süreci ve regresyon katsayısı analizi, Design Expert yazılımı

sürüm 10 (Stat-Ease Inc., ABD) ile yapılmıştır. Ortalama değerler arasındaki fark, ANOVA ve Duncan testi ile test edilmiştir. Farklılıkları $p<0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kırmızı Pancar'ın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kırmızı pancarın renk özellikleri, toplam kuru madde içeriği, çözünür katı madde miktarı, pH değeri ve titrasyon asitliği, % miktarı Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Pancar pulunun fiziksel özellikleri

Parametre	İçerik
Renk	
L*	17.28±2.10
a*	14.51±3.43
b*	2.52±0.90
Toplam kuru madde içeriği (%)	17.03±0.22
Suda çözünür katı madde miktarı (%)	11.00±0.00
pH	6.64±0.10
Titrasyon asitliği, %	0.70±0.00

Pancarın renk değerleri L* değeri 17.28±2.10, +a* değeri 14.51±3.43, ve +b* değeri 2.52±0.90 olarak saptanmıştır. Bu değerler pancar pulunun koyu kırmızı olduğunu göstermektedir. Ozdemir ve Ozcan (2020), kırmızı pancar posasının L* değerini 18.64, a* değerini 4.64 ve b* değerini 1.76 bulmuşlardır. Bu sonuçlar bizim bulgularımızdan daha düşüktür. Hamouia (2018), kırmızı pancarda L* değerini 36.51±1.53, a* değerini 25.37±1.83 ve b* değerini 3.08±0.53 bulmuştur. Er (2011), farklı ön işlem ve kurutma sıcaklığı uygulanmış kırmızı pancar çeşitlerinin taze meyvenin kontrol grubunda L* değerini 28.67±2.294, a* değerini 11.08±2.026 ve b* değerini 2.85±1.527 bulmuştur. Kayın (2014), kırmızı pancar suyu konsantresinin L* değerini 17.40, a* değerini 0.11 ve b* değerini 0.74 saptamıştır. Gokhale ve Lele (2011), kırmızı pancarda maksimum renk muhafazası amacıyla konvektif sıcak hava kurutma uygulaması yapmışlardır. 50°C'de L* değerini 20.103, a* değerini 12.467, b* değerini 5.567; 65 °C'de L* değerini 19.037, a* değerini 11.163, b* değerini 3.260; 80 °C'de L* değerini 16.423, a* değerini 10.127, b* değerini 2.643 bulmuşlar ve kuruma süresi boyunca rengin azaldığını saptamışlardır. Sonuçlardaki bu farklılıklar çalışmalarda kullanılan ölçüm yöntemlerinden, örneğin büyüklüğünden, çeşitliliği veya yetiştirme koşullarından kaynaklanmaktadır.

Pancarın toplam kuru madde değeri %17.03±0.22 bulunmuştur. Ozdemir ve Ozcan (2022), toplam kuru maddeyi %17.52 bulmuşlardır. Sonuçta bu çalışmanın bulgularına yakındır. Yeler (2021), kırmızı pancarın toplam kurumadde değerini %14.16 bulmuştur. Kuru madde sonuçlarımız araştırmacılar tarafından daha yüksektir. Otegbayo vd. (2020), kırmızı pancardan şıra ve şarap üretimini yaptıkları çalışmada;

kuru maddeyi %17.53 olarak saptamışlardır. Sonuçlar bu çalışmanın bulgularına benzer şekildedir.

Pancarın çözünür katı madde miktarı 11.00 ± 0.00 , pH değeri 6.64 ± 0.10 olarak, titrasyon asitliği (sitrik asit ekiv.) 0.70 ± 0.00 olarak belirlenmiştir. Chandran vd. (2014), kırmızı pancar pulpunda suda çözünür katı madde miktarını %8.1, pH değerini 5.5 olduğunu bildirmişlerdir. Yeler (2021), suda çözünür katı madde miktarını %12.50, pH değerini 6.02 ve toplam asitlik (g sitrik asit/100g) değerini %0.77 bulmuştur. Saptanan sonuçlar bu çalışmanın bulgularına benzer şekildedir. Ozdemir ve Ozcan (2020), suda çözünür kuru madde değerini %18.20, pH değerini 5.22 ve titrasyon asitliğini %0.29 olarak saptamışlardır. Yoon vd. (2005), kırmızı pancarın probiyotik pancar suyu üretiminde kullanımıyla ilgili çalışmalarında, pancar suyunun pH'sının başlangıç değerini 6.3 olarak belirlemişlerdir. Otegbayo vd. (2020), pH değerini 5.51 bulmuşlardır. Bu çalışmada saptanan sonuçlar, Yoon vd. (2005)'nin sonuçlarına yakındır.

4.2. DES'lerin Özellikleri

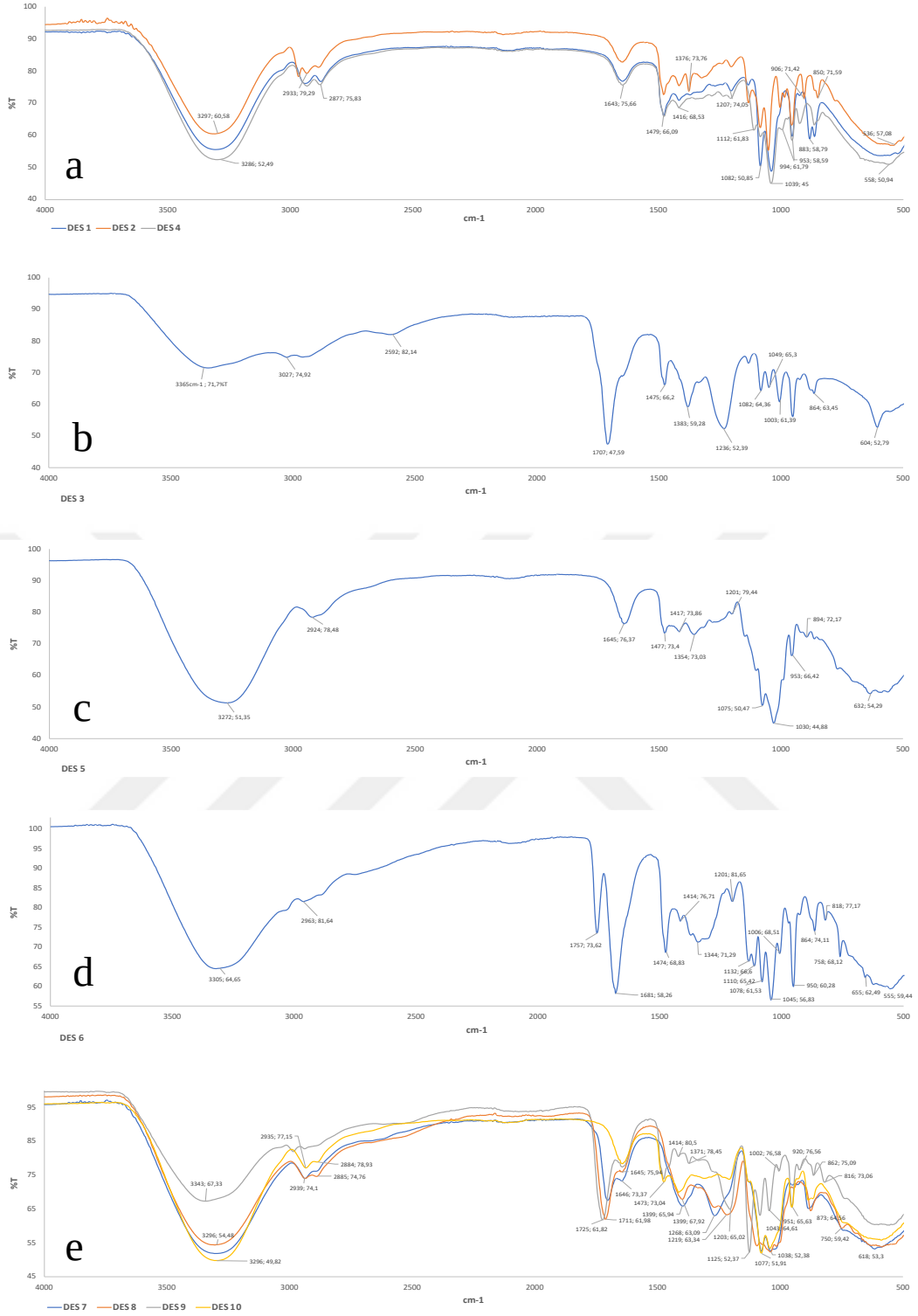
Ekstraksiyonda elde edilen analit miktarını, DES'in moleküler yapısı yanında viskozite, pH, iletkenlik, yoğunluk ve su aktivitesi değerleri etkilemektedir. Bu nedenle çalışılan 10 farklı DES'in özelliği saptanmış ve sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Analizde kullanılan DES'lerin bazı fiziksel özellikleri

	Vizkozite (η in Pas)	pH	İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Yoğunluk (g/cm^3)	Su Aktivitesi (a_w)
DES 1	0.01 ± 0.00	7.67 ± 0.05	19.59 ± 0.06	1.10 ± 0.01	0.73 ± 0.00
DES 2	0.03 ± 0.01	7.41 ± 0.10	6.30 ± 0.00	1.05 ± 0.01	0.84 ± 0.01
DES 3	0.01 ± 0.00	0.97 ± 0.03	17.15 ± 0.56	1.09 ± 0.00	0.62 ± 0.00
DES 4	0.04 ± 0.00	4.95 ± 0.47	7.80 ± 0.47	1.19 ± 0.02	0.41 ± 0.02
DES 5	0.13 ± 0.01	5.17 ± 0.36	2.71 ± 0.53	1.28 ± 0.01	0.62 ± 0.00
DES 6	0.07 ± 0.03	1.21 ± 0.00	3.21 ± 0.40	1.23 ± 0.00	0.47 ± 0.00
DES 7	0.16 ± 0.00	2.11 ± 0.04	12.82 ± 0.78	1.29 ± 0.02	0.78 ± 0.00
DES 8	0.99 ± 0.01	1.18 ± 0.03	19.08 ± 0.00	1.32 ± 0.02	0.57 ± 0.00
DES 9	0.01 ± 0.00	5.35 ± 0.50	10.06 ± 0.00	1.14 ± 0.00	0.57 ± 0.00
DES 10	0.26 ± 0.09	2.87 ± 0.01	10.07 ± 0.00	1.29 ± 0.01	0.53 ± 0.00

4.2.1. FTIR Spektrumları

DES'lerin FTIR spektrumları, kolin klorür-alkoller, kolin klorür-organik asitler, kolin klorür-şekerler, organik asitler-kolin klorür ve organik asitler-şekerler olarak Şekil 4.1a, b, c, d ve e'de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 4.1. DES'lerin FTIR spektrumları; a) kolin klorür-alkoller, b) kolin klorür-asitler, c) kolin klorür-şekerler, d) asitler-kolin klorür ve e) asitler-şekerler

Şekil 4.1'den görüldüğü gibi 3700–3100 cm^{-1} bölgesindeki bantlar, tipik olarak çeşitli hidroksil (OH) gerilme titreşimlerine bağlanabilir. Saptanan OH esneme titreşimleri büyük ölçüde hidrojen bağından etkilenebilir, bu nedenle hidrojen bağlarının gücüne bağlıdır. Genellikle 3550 ile 3230 cm^{-1} arasındaki dalga

sayılarında geniş bir hidrojen bağı, yoğun fazda OH germe bandının varlığını gösterir. Suyun ve alkollerin bulunduğu yerlerde, OH gerilme bantları genellikle 3400 cm^{-1} de gözlemlenebilmektedir (AlOmar vd., 2016; Ghaedi vd., 2017b; del Amo-Mateos vd., 2023). $2880\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ deki pikler, C-H gerilme bantlarına aittir. Şekil 4.1.b, d ve e'de, 1725 cm^{-1} dalga sayısındaki pik, karboksilik asit (COO) grubu ile ilişkilidir ve karışımlarda organik asidin varlığını doğrulamaktadır. Şekil 4.1a, c ve e'de 1645 cm^{-1} dalga sayısı civarında elde edilen pikler, C=C gerilme titreşimleri ile ilgilidir (Zannou ve Koca, 2022). $1450\text{--}1420\text{ cm}^{-1}$, $1410\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$ ve $1370\text{--}1320\text{ cm}^{-1}$ deki pikler sırasıyla CH_2 makaslama titreşimi, C-OH bükme titreşimi ve $=\text{CH}_2$ bükme ile ilgilidir (Ghaedi vd., 2017b). Ek olarak, 800 ila 1300 cm^{-1} arasında değişen orta derecede yoğun absorpsiyon paternleri topluca C-O-C gerilmesi, OH bükülmesi ve CH_3 deformasyonunun parmak izi bölgesi olarak belirlenmiştir (Jiang vd., 2012). $800\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ deki bantlar O-C-O, C-O=O, O-C=O ve CH deformasyonu ifade etmektedir (Gan vd., 2010; Jiang vd., 2012; del Amo-Mateos vd., 2023).

4.2.2. Viskozite ve pH

Viskozite, bir sıvı karışımındaki moleküller arasındaki etkileşimi yansıtan bir özelliktir. Daha düşük viskoziteye sahip DES çözücülerinin kullanımı daha kolaydır, yüksek viskozite birçok zorluğa sebep olur (Sarjuna ve Ilangeswaran, 2020). DES uygulamalarıyla ilgili akışkan akışı, kütle transferi ve ısı transferi korelasyonları ve hesaplamaları için viskoziteyi bilmek gerekir (Mjalli ve Naser, 2015). DES'lerin viskozitesi, sıcaklık, su içeriği, molar oran ve moleküler ağırlık gibi ana faktörlerden etkilenir (Al-Dawsari vd., 2020). DES'lerin yüksek viskozitesi, HBA ve HBD'nin molar oranından kaynaklanabileceğinden molar oran, çok viskoz yapıda veya doymuş DES elde etmekten kaçınacak aralıkta olmalıdır. Bu çalışmada, daha önce de ifade edildiği gibi DES'lerin viskozitesini azaltmak ve ekstraksiyon verimini iyileştirmek için %20 saf su ilavesi yapılmıştır. Bu duruma bağlı olarak DES'lerin bileşimindeki farklılık viskozite değerlerine de yansıdığı için bileşimleri büyük oranda değişkenlik göstermiştir. Çalışmada kullanılan DES'lerin viskoziteleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Çalışılan DES'lerin viskozite değerleri $0.01\text{--}0.99\text{ mPa}$ aralığında bulunmuştur. Malik asit-ksilitol (DES 8) en yüksek viskoziteye sahipken, kolin klorür-etilen glikol (DES 1), kolin klorür-asetik asit (DES 3) ve askorbik asit-ksilitol (DES 9) en düşük viskozite değerlerini göstermiştir. Tang ve Row (2013), kolin klorür-etilen glikol DES'inin 1:2 oranında 37 Cp viskozite değeri ölçülmüştür. Chemat vd. (2015) ise

kolin klorür-gliserol DES'inin 1:2 oranında 318.12 (mPa·s), 1:3 oranında 338.69 (mPa·s) ve 1:4 oranında 353.52 (mPa·s) viskozite değerleri saptamışlar ve artan sıcaklıkla birlikte viskozitenin azaldığını kaydetmişlerdir.

Ghaedi vd. (2017a), DES'lerin bileşenleri arasındaki güçlü hidrojen bağ ağı, yüksek viskozite değerlerinin temel nedeni olduğunu, bunun da karışımdaki serbest türlerin daha düşük hareketliliğine yol açtığını bildirmişlerdir. Dai vd. (2015), DES'in viskozitesindeki düşüşün sebebini, su ile seyreltme bileşenleri arasındaki hidrojen bağ etkileşimlerinin zayıflamasına bağlamışlardır. Glikoz-kolin klorür-su karışımına %25 su ekledikten sonra, viskozitelerin sırasıyla 397'den 7.2 mm²/s'ye ve 33'ten 6.1 mm²/s'ye düştüğünü belirlemişlerdir.

Abbott vd. (2006) ve D'Agostino vd. (2011), elektrostatik veya van der Waals gibi diğer kuvvetlerin, DES'lerin viskozitelerini artırabileceğini göstermiştir. Bileşenler arasındaki hidrojen bağ, DES'ler içindeki serbest türlerin daha düşük hareketliliğine neden olabilir, ancak bazı DES'lerde daha güçlü bir hidrojen bağının varlığına işaret etmez. Bu durumda, düşük viskoziteye sahip DES'ler, özellikle karbon yakalama ve depolama potansiyeline sahip uygulamalar için istenir hale gelir (Adeyemi vd., 2018). Viskozite genellikle sıcaklık artışıyla azalır. Ötektik karışımların viskoziteleri ise temel olarak DES bileşenlerinin (yani tuzlar ve HBD'ler) kimyasal doğasından etkilenir (Hayyan vd., 2015). Bu nedenle, NADES'lerin yüksek viskozitesi, HBA ve HBD'nin mol oranından kaynaklanabilir. Molar oran, çok viskoz veya doymuş NADES elde etmekten kaçınmak için uygun şekilde seçilmelidir (Zannou ve Koca, 2022).

Tablo 4.2'de farklı DES'lerin pH değerleri verilmiştir. Farklı bileşenlere sahip DES'lerin pH değerleri birbirinden farklılık göstermiştir. pH değerlerine bakıldığında, en yüksek değerin (7.67±0.05) kolin klorür-etilen glikol (DES 1)'e ait olduğu görülmektedir. Kolin klorür-asetik asit (DES 3) ise en düşük pH (0.97±0.03) değerine sahiptir. Alkol bazlı DES'ler (DES 1 ve DES 2), en yüksek pH değerlerine sahip olanlardır. Organik asitler, ksilitol ve alkol bazlı sorbitolün eklendiği DES'lerde (DES 6, DES 7, DES 8) pH değerleri 1.23 ile 1.32 arasında değişmektedir. Zannou ve Koca (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, kolin klorür: etilen glikol 1:2 oranında pH değeri 7.55 ± 0.37 olarak bulunmuştur. Kareem vd. (2010) ise Metiltrifenilfosfonyum bromür-Etilen glikol 1:4 oranında 278.15-348.15 K sıcaklık aralığında pH değerini 6.50-5.85 olarak belirlemişlerdir. Mjalli ve Naser (2015), TBAC + TEG 1:4 tuzunun

pH değerini tespit etmiş ve 293.15-353.15 K sıcaklık aralığında yaklaşık olarak 8.1 ila 7.1 arasında pH değerleri elde etmişlerdir. Aynı çalışmada, 1:1 mol oranındaki DES için aynı sıcaklıkta pH aralığının yaklaşık olarak 6.4-5.9 olduğu gözlemlenmiştir. Glikoz bazlı DES'ler ise pH değerleri yaklaşık olarak 7 civarında olan neredeyse nötr bileşiklerdir. Daha yüksek sıcaklıklar, hidrojen bağlarını zayıflatarak bir DES'in pH değerini azaltabilir ve daha fazla H⁺ iyonunun ayrışmasına yol açabilir (Pätzold vd., 2019). Bu nedenle, DES'lerin yapılarını oluşturan bileşenler ve sıcaklık değerleri sonuçta hazırlanan DES'lerin pH değerlerini doğrudan etkilemektedir. Literatürde saptanan değerler, bizim bulgularımızla uyumluluk göstermektedir.

4.2.3. İletkenlik

Elektrik iletkenliği, bir malzemenin elektrik akımını ne kadar iyi iletebileceğini gösteren temel fiziksel özelliklerden biridir (Bagh vd., 2013). Solüsyon içerisinde çözülmüş olan kimyasalların varlığının bir göstergesidir. İletkenlik değeri ne kadar yüksek olursa, solüsyon içerisinde o kadar çok çözülmüş iyonik tür bulunur ve serbestçe hareket eder (İbrahim vd, 2019). İncelenen çözücülerin elektrik iletkenliği Tablo 4.2'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan DES'lerin iletkenliği 2.71 ve 19.59 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmiştir. En yüksek iletkenliği DES 1 ($19.59 \pm 0.06 \mu\text{S/cm}$) göstermiştir. Sırasıyla DES 3 ($17.15 \pm 0.56 \mu\text{S/cm}$) ve DES 7 ($12.82 \pm 0.78 \mu\text{S/cm}$) takip etmiştir. En düşük iletkenliğe DES 5 ($2.71 \pm 0.53 \mu\text{S/cm}$) ve DES 6 ($3.21 \pm 0.40 \mu\text{S/cm}$) sahiptir.

İbrahim vd. (2019), kolin klorür-etilen glikol iletkenlik değerini $7160 \mu\text{S/cm}$, dietiletanolamonyum klorür-etilen glikol iletkenliğini ise $5270 \mu\text{S/cm}$ olarak saptamışlardır. Omar ve Sadeghi (2022), kolin korür-gliserol 1:2 oranında iletkenliği $302 \eta/\text{cps}$ olarak bulmuşlardır. Dai vd. (2015), laktik asit:kolin klorür 1:1 oranında oda sıcaklığında 6.76 mS cm^{-1} olarak ölçmüşlerdir. Tang ve Row (2013) ve Adeyemi vd. (2018) kolin klorür-etilen glikol 1:2 oranında sırasıyla 7.61 mS/cm ve 7.73 mS/cm olarak tespit etmişlerdir. Dai vd. (2015), gliserol:kolin klorür:su (2:1:1) iletkenliğini 13.78 mS cm^{-1} olarak bulmuşlardır. Dai vd. (2015)'in bildirdiği gibi, kolin klorür içeren DES'in iletkenliğinin yüksek, organik asit veya amino asit içeren DES'lerin düşüktür. Bir polialkolden yapılan DES, şeker bazlı DES'lerden daha iletkenidir. Bulgular literatürle karşılaştırıldığında; iletkenliğin DES'in su içeriğine, viskozitesine, bileşenlerine ve ayrıca sıcaklığına da bağlı olarak büyük oranda değiştiği gözlemlenmiştir.

4.2.4. Su Aktivitesi

Saf suyun, belirli bir sıcaklıkta sahip olduğu buhar basıncı, standart buhar basıncı olarak adlandırılır. Bir çözeltideki suyun buhar basıncı, çözeltide bulunan çözünen maddenin varlığına bağılı olarak değışir. Su aktivitesi, çözeltideki suyun buhar basıncının, saf suyun standart buhar basıncına oranıdır. Su aktivitesi, kimyasal, enzimatik ve fiziksel nitelikteki bozunma reaksiyonlarının yanı sıra mikroorganizmaların büyümesi için bir belirleyici olduğu için, gıda işleme ve depolama ile ilgili çoğu uygulamayla ilgili bir kalite ve güvenlik parametresidir.

Su aktivitesi, su-çözünen etkileşimlerinin büyüklüğünü değerlendirmede yararlı bir parametredir. Hidrojen bağı alıcısının değiştirilmesinin, DES'ler ve su arasındaki etkileşimler üzerinde önemli bir etkisi yoktur (Florindo vd., 2017). Betalain stabilitesi ile su aktivitesi arasında ters bir orantı bulunmaktadır. Bunun sonucunda, su aktivitesi azaldığında betalain stabilitesi artmaktadır (Martins vd., 2017; Naseer vd., 2019). Azeredo (2009), su aktivitesinin düşürölmesi (özellikle 0.63'ün altı) betanın stabilitesini iyileştirdiğini, 0.32'den 0.75'e yükseltilmesi betalainin bozunmasını artırdığını saptamıştır.

Bu çalışmada su aktivitesi 0.63'ün üstünde 3 DES (DES 1, DES 2 ve DES 7) bulunmaktadır. DES 5'in su aktivitesi 0.6250'dir. Serris ve Biliaderis (2001)'e göre kapsüllenmiş pancar pigmentlerinin bir stabilite çalışmasında, en fazla betanın bozunması $a_w = 0.64$ 'te meydana gelmiştir. Bu değer, araştırıcılar tarafından daha düşük seviyelerde reaktanların azalan hareketliliğine ve daha yüksek su aktivitesi değerlerinde seyreltme etkilerine bağlanmıştır. En yüksek su aktivitesi DES 2 (kolin klorür-bütandiol)'de 0.84 ± 0.01 olarak belirlenmiş onu DES 7 (laktik asit-sorbitol) ve DES 1 (kolin klorür-etilen glikol) izlemiştir. En düşük su aktivitesi ise DES 4 (kolin klorür-gliserol) ve DES 6 (askorbik asit-kolin klorür)'da ölçölmüştür. Dai vd. (2013b), gliserol:kolin klorür:su 2:1:1 oranında 0.126, laktik asit:glikoz:su 5:1:3 oranında 0.496, ksilitol:kolin klorür:su 1:2:3 oranında 0.116 bulmuşlardır. Gómez vd. (2019), sitrik asit (CA), malik asit (MA), glikoz (Glu), fruktoz (Fru), üre (U), β -alanin (BA) ve kolin klorür (CC) gibi NADES'lerin su aktivitesi 0.177 ile 0.653 arasında değişmiştir. Çözeltilerin su aktivitesi büyükten küçüğe şu şekilde sıralanmıştır: $MA:BA > CA:BA > MA:Fru \cong MA:Glu > U:Fru \cong U:Glu > CA:CC \cong CA:Fru > MA:CC > CA:Glu > Glu:CC \cong Fru:CC$. Araştırıcılar, NADES'e su ilavesinin su aktivitesinde kademeli bir artışa neden olduğunu bildirmişlerdir.

4.2.5. Yoğunluk

Yoğunluk, çevredeki elementlerin doğasını ve çeşitli endüstriyel uygulamaları tanımlamak için önemli bir fiziksel özelliktir (İbrahim vd., 2019). Yoğunluk ölçümü, kütle transferi ve akışkanlar mekaniğinde kimyasal aşamaları tasarlamak, hesaplamaları üzerinde çalışabilmek ve optimizasyonda kullanabilmek için gereklidir. Yoğunluk, bir çözücünün en önemli ve temel fiziksel özelliklerinden biridir (Haghighbakhsh vd, 2019; Van Osch vd., 2020). DES'lerin yoğunluklarındaki değişim, molar oranlarına doğrusal olarak bağlı değildir (Hayyan vd., 2013). Genel olarak, DES'lerin birçoğu suya göre daha yüksek yoğunluklara sahiptirler (Dai vd., 2013b; El Achkar vd., 2019; Haghighbakhsh vd, 2019). DES çeşitlerinin yoğunluklarındaki en önemli farklılıklar, bileşenlerin moleküllerindeki veya bunların nihai DES karışımındaki konsantrasyonlarına ait olan farklılıktan kaynaklanabilmektedir (Haghighbakhsh vd., 2019). Yüksek yayılabilirliği ve daha hızlı kütle transferi nedeniyle, düşük yoğunluk ve viskozite sunan çözücüler daha yüksek ekstraksiyon verimliliğine sahiptir. Bu nedenle çoğu DES'in yüksek yoğunluğu, kullanımlarını sınırlar (Guimarães vd., 2022).

Çalışmada yoğunluğu en fazla olan DES'in DES 8 (1.32 ± 0.02 g/cm³) olduğu belirlenmiştir. Sırasıyla bunu DES 7 (1.29 ± 0.02 g/cm³) ve DES 10 (1.29 ± 0.01 g/cm³) takip etmiştir. Yoğunluğu en az olanlar ise DES 2 (1.05 ± 0.01 g/cm³) ve DES 3 (1.09 ± 0.00 g/cm³)'tür. Craveiro vd. (2016), kolin klorür-glikoz (1:1) oranında yoğunluğun 1.27 g/cm³ olduğunu saptamışlardır. Sarjuna ve Ilangeswaran (2020), susuz çinko klorür-glikoz (1:1) oranında 1.002 g/cm³, susuz çinko klorür-fruktoz (1:1) oranında 1.125 g/cm³, susuz çinko klorür-laktik asit (1:1) oranında 1.325 g/cm³ bulmuşlardır. İbrahim vd. (2019), kolin klorür-etilen glikol (1:2) çözeltisinin yoğunluğunu 1.12 g/cm³ olarak bulmuşlardır. Tang ve Row (2013); Adeyemi vd. (2018) ve Jafari vd. (2022), kolin klorür-etilen glikol (1:2) çözeltisinin yoğunluğunu sırasıyla 1.12 g/cm³, 1.12 g/cm³, 1.11 g/cm³ olarak saptamışlardır. Bu çalışmadaki sonuçlar literatürdeki bulgularla benzerlik göstermektedir.

4.3. DES'lerle Kırmızı Pancardan Betalain Ekstraksiyonu

Betalainler (BT), betasiyanin (BCY) ve betaksantinlerden (BTX) oluşmaktadır. Farklı 10 DES ve geleneksel çözücüler kullanılarak kırmızı pancardan betalain elde edilmiştir. Betalain ekstraksiyon sonuçları Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3'ten görüldüğü gibi, betasiyanin içeriği 23.68 mg/kg ile 702.17 mg/kg, betaksantin içeriği 21.49 mg/kg ile 467.77, betalain içeriği 45.17 mg/kg ile 1169.94 mg/kg arasında değişmiştir. En düşük değerler klasik çözücü olan etil alkolde, en yüksek DES 5'te belirlenmiştir. Klasik çözücüler içinde damıtık su betasiyanin açısından DES 5 kadar verim sağlamasına rağmen toplam betalainler açısından daha düşük verime yol açmaktadır. pH, yoğunluk, iletkenlik, vizkozite, su aktivitesi, hammadde yapısı ve bileşimi gibi faktörlerin prosesin ekstraksiyon verimini etkilediği düşünülmektedir. En yüksek verimi sağlayan DES 5, betalainlerin ekstraksiyonu ve korunması açısından uygun olan 3-7 pH değer aralığındadır. Betanin içeren ekstraktların genellikle pH 3 ila 7 arasında nispeten stabil olduğu bilinmektedir (Demuner vd., 2023). Bu da onların düşük asitli gıdalara uygulanmasına izin verir.

Tablo 4.3. Farklı DES'lerle elde edilen betalain ekstraksiyon verimi

Çözücü	BCY, mg/kg	BTX, mg/kg	BT, mg/kg
DES 1	639.83±34.46ab	402.76±12.07b	1042.58±46.38b
DES 2	632.04±7.33ab	382.43±4.81bc	1014.47±12.14bc
DES 3	528.15±24.62cd	314.95±11.97de	843.10±36.59e
DES 4	374.69±31.86e	455.29±16.55a	829.97±31.58e
DES 5	702.17±3.99a	467.77±21.24a	1169.94±20.84a
DES 6	545.42±87.87bcd	363.61±11.71bc	909.03±91.24cde
DES 7	524.94±78.42cd	349.07±35.69cd	874.01±70.97de
DES 8	296.59±40.86e	223.76±20.26f	520.35±60.07f
DES 9	505.85±12.31d	301.58±2.42e	807.43±10.74e
DES 10	556.26±131.82bcd	356.34±73.98bcd	912.60±205.69cde
Su	606.37±6.87abc	390.61±3.37bc	996.99±10.24bcd
Metil alkol	488.12± 11.53d	342.76 ±6.75cde	830.88±17.71e
Etil alkol	23.68±4.11f	21.49±1.95g	45.17±6.06g

* Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak fark yoktur

Azeredo (2009)'un da bildirdiği gibi, pH 3.5'in altında absorpsiyon maksimumu daha düşük dalga boylarına doğru kayar ve pH 7'nin üzerinde değişim üst dalga boylarına doğru olur ve 3.5–7.0 pH aralığının dışında, görünür spektrumların yoğunluğu azalır. Sanchez-Gonzalez vd. (2013), *Opuntia joconostle*'dan ekstrakte ettikleri betalainleri, metanol/su (20:80) için maksimum pigment konsantrasyonunda (92 mg/100 g meyve), 25°C sıcaklık'ta pH değerini 5 olarak bulmuşlardır (Sanchez-Gonzalez vd., 2013). DES 1 ve DES 2 pH değerleri 7'nin üzerinde olmasına rağmen, kolin klorür-etilen glikol, kolin klorür-bütandiol alkol bazlı olmaları sebebiyle yüksek betalain verimi sağlamışlardır (Zannou ve Koca, 2022). Wu vd. (2020), amid bazlı DES'lerin, asit bazlı DES'lerin ve alkol bazlı DES'lerin ekstraksiyon etkinliğinin, fenolik/flavonoid bileşikler için şeker bazlı DES'lerden daha iyi verim sağladığını bulmuşlardır (Wu vd., 2020). DES'lerin yüksek vizkozite değerlerine sahip olması bitki dokularından bileşenlerin çıkartılması üzerine olumsuz etki yapmaktadır. DES 8

(malik asit-ksilitol), diğer DES'lere göre daha yüksek viskoziteye sahip olduğundan (0.99 ± 0.01 mPa), betalain verimi açısından en düşük sonucu (520.35 ± 60.07) vermiştir. Bulgularımıza benzer şekilde; Hernández-Aguirre vd. (2021), iki farklı mol oranında (1:1 ve 2:1) üre (HBD) ve magnezyum klorür (HBA) hazırlamışlar ve DES (1:1)'in yüksek viskozitesi betalainlerin difüzyonunu olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir. DES (1:1), 25 °C'de en yüksek viskozite değeri (0.535 Pa.s) verirken, DES (2:1), 0.4623 Pa.s daha düşük bir değer sunmuştur. Hidrojen bağı donörü olarak farklı glikollere sahip kolin klorür bazlı DES'lerin viskozitesi ve iletkenliği de su içeriğinden büyük ölçüde etkilenmiştir. Hernández-Aguirre vd. (2021), betalain verimi açısından verimli buldukları üre-magnezyum klorür (2:1) çözücüsünde, DES (2:1)'in diğerlerine göre en yüksek iletkenliği saptamışlardır. Bu durumu, diğer DES (1:1)'in yüksek viskozitesine bağlamışlardır. Prajapati ve Jadeja (2023), kırmızı ejder meyvesi kabuğundan kolin klorür-etilen glikol ile ultrason destekli ekstraksiyonu araştırmışlar ve ekstraksiyonda DES kullanımının, yüksek kinematik viskoziteye sahip olduğunu ($200\text{--}500$ mm²/s) bulmuşlardır. Bunun sonucunda daha verimli betalain eldesi için yüksek sıcaklık ve su ilavesinin viskoziteyi azalttığını rapor etmişlerdir. Yüksek viskozite ve yoğunluklara sahip çözücülerin, matristeki analitin çözünmesi ve ekstraksiyonunda düşük verimliliğe yol açtığı bildirilmiştir (Dai vd., 2013; Santana vd., 2019). Bu çalışmada da en düşük betalain verimine sahip olan DES 8'in hem yüksek viskozite hem de yüksek yoğunluk (1.32 ± 0.02 g/cm³) gösterdiği görülmektedir. En verimli betalain eldesi sağlayan DES 5'in yoğunluğuna (1.28 ± 0.01 g/cm³) benzer şekilde Craveiro vd. (2016), kolin klorür D-(+)-glikoz (1:1) yoğunluk değerini 1.27 g/cm³ olarak bulmuşlardır. Savi vd. (2019)'a göre karbonhidratlar veya organik asitler gibi yüksek sayıda hidroksil grubu içeren bileşiklerin kullanımının, hidrojen etkileşimlerini arttırdığını, dolayısıyla viskoziteyi arttırdığını ve iletkenliği azalttığını belirtmişlerdir. Cunha ve Fernandes (2018), genel olarak DES'lerin yüksek viskoziteleri nedeniyle zayıf iletkenlik (oda sıcaklığında 2 mS cm⁻¹'den düşük) gösterdiğini tespit etmişlerdir.

En etkili çözücü ve ekstraksiyon koşullarını belirlemek için yapılan bu çalışmanın ilk aşamasında kolin klorür:glikoz (1:2) en etkili DES olduğu belirlenmiş olup bundan sonraki aşama için bu DES kullanılarak optimizasyon çalışmasına geçilmiştir.

4.4. Yanıt Yüzey Yöntemi ile Betalain Ekstraksiyonunun Optimizasyonu

Birçok çalışmada, biyoaktif bileşiklerin derin ötektik çözücü kullanılarak ekstrakte edilmesinde, molar oranı, su içeriği, sıcaklık gibi faktörlerin etkili olduğu görülmüştür (Gano vd., 2015; Doldolova vd., 2021; Bener vd., 2022). En verimli çözücünün belirlenmesinden sonra, verimi etkileyen faktörlerin aralığını optimize etmek için yanıt yüzey yöntemi (RSM) kullanılmıştır. Optimizasyon için kolin klorür:glikoz (1:2) solventi (DES 5) seçilmiştir. Önceki çalışmalardan esinlenerek, deneysel tasarımda molar oran, su içeriği ve sıcaklık olarak üç bağımsız değişken kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlere bağlı olarak betasiyanin, betaksantin ve toplam betalaindeki değişimler belirlenmiş ve Tablo 4.4'te sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.4. Kolin klorür-Glikoz Merkezi Kompozit Tasarım Sonucu

	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Yanıt 1	Yanıt 2	Yanıt 3
No	A:Molar oran	B:su	C:sıcaklık	Betasiyanin	Betaksantin	Betalain
1	1.25	25	45	501.42	365.11	866.53
2	0.75	35	30	735.63	463.77	1199.40
3	1.75	35	30	643.04	318.37	961.41
4	0.75	15	60	317.40	320.99	638.39
5	0.75	35	60	394.40	312.33	706.73
6	1.25	25	45	525.25	378.74	903.99
7	1.25	25	45	522.73	375.70	898.43
8	1.25	25	19.7731	788.56	474.19	1262.75
9	1.25	41.8179	45	282.50	295.49	577.99
10	1.75	15	30	558.02	365.43	923.45
11	1.75	35	60	290.81	275.60	566.41
12	0.75	15	30	508.29	433.29	941.58
13	1.25	25	70.2269	348.71	331.26	679.97
14	1.25	8.18207	45	248.71	331.26	579.97
15	0.409104	25	45	641.90	429.92	1071.82
16	2.0909	25	45	429.23	311.53	740.76
17	1.75	15	60	374.69	322.76	697.45

Kolin klorür-glikoz ile yapılan ekstraksiyonda; toplam betalain 566.41-1262.75 mg/kg, betasiyanin 248.71-788.56 mg/kg, betaksantin 275.6-474.19 mg/kg olarak belirlenmiştir (Tablo 4.4). En düşük toplam betalain, 11 (1:1.75 molar, %35 su içeriği, 60°C sıcaklık); betasiyanin, 14 (1:1.25 molar, %8.18207 su içeriği, 45°C sıcaklık); betaksantin, 11 (1:1.75 molar, %35 su içeriği, 60°C sıcaklık) belirlenirken, en yüksek toplam betalain, 8 (1:1.25 molar, %25 su içeriği, 19.7731°C sıcaklık); betasiyanin, 8

(1:1.25 molar, %25 su içeriği, 19.7731°C sıcaklık); betaksantin, 8 (1:1.25 molar, %25 su içeriği, 19.7731°C sıcaklık) koşullarında belirlenmiştir.

4.4.1. Modelin Doğrulanması

Elde edilen deneysel noktalar için ANOVA sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir. Tüm yanıtlar, ikinci dereceden modele yüksek uygunluk göstermiştir. Model, yanıtlar için yüksek anlamlılığa ($p < 0.002$) sahipti. Uyum eksikliği tüm yanıtlar için anlamsızdı ($p > 0.06$). $R^2 > 0.9665$ 'ten ve düzeltilmiş- $R^2 > 0.9234$ 'ten daha yüksekti.

Tüm yanıtların model terimleri Tablo 4.5'te gösterilmektedir. Genel olarak, BCY, BTX ve BT dahil tüm yanıtlar en az iki anlamlı doğrusal interaksiyon göstermiştir.

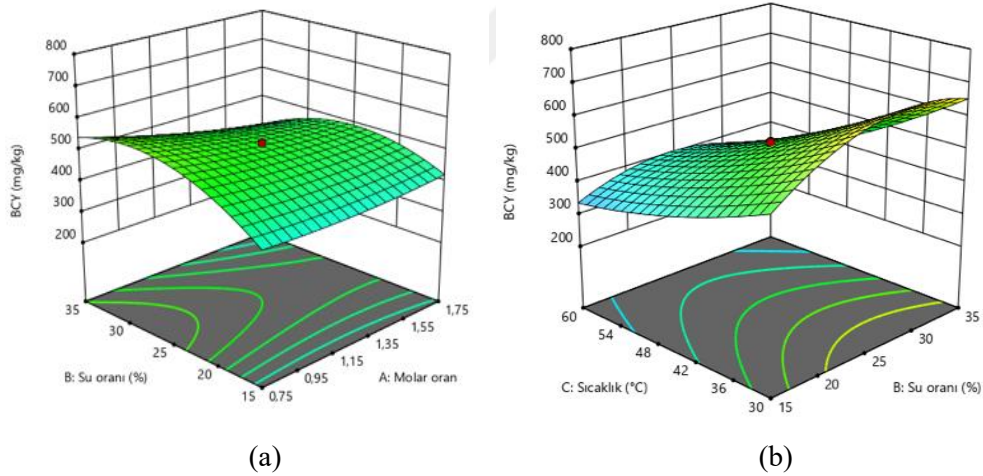
Deneysel verinin model tarafından karşılanma derecesi; R^2 , düzeltilmiş R^2 ve C.V.% ile ifade edilmektedir. Analiz sonucunda bulunan R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerleri sırasıyla; betasiyanin için 0.9665 ve 0.9234, betaksantin için 0.9980 ve 0.9725, betalain için 0.9793 ve 0.9527 olarak kaydedilmiştir. R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerinin 0 ile 1 arasında olup bu değerlerin birbirine ve 1'e yakın olması modelin uygunluğunu ifade etmektedir. Bağımlı değişkenlerde gözlemlenen bu değerler, modelin uygunluğu açısından anlamlı olarak kabul edilebilir. Toplam betasiyanin için oluşturulan modelin 22.44 F-değeri ile önemli ($p < 0.05$) ve model uygunsuzluğunun 15.92 F değeri ile önemsiz ($p > 0.05$) olduğu saptanmıştır.

Varyans katsayısı (%CV), tahminin standart hatasının, modelin tekrar üretilebilirliği tarafından tanımlanan yanıtın ortalama değerine oranıdır. Düşük CV (betasiyanin için 9.37, betaksantin için 2.75 ve betalain için 5.54), deneysel ve tahmin edilen değerler arasındaki sapmaların düşük olduğunu, yapılan deneylerde yüksek derecede kesinlik ve güvenilirlik olduğunu göstermiştir (Maran vd., 2013; Wu vd., 2020). Varyans katsayısı değerinin % 10'un altında olması verilerin güvenilirliğini ifade etmektedir (Bediz, 2019).

Tablo 4.5. Betasiyaninler, betaksantinler ve toplam betalainlerin ANOVA sonuçları

Kaynak	BCY			BTX			BT		
	SS	F-değeri	p-değeri	SS	F-değeri	p-değeri	SS	F değeri	p değeri
Model	403400.00	22.44	0.002	56224.48	63.84	< 0.0001	711900.00	36.85	<0.0001
Molar oran (A)	14619.41	7.32	0.0304	14652.12	149.74	< 0.0001	58542.91	27.27	0.0012
Su oranı (B)	9611.80	4.81	0.0644	1286.65	13.15	0.0084	3865.10	1.80	0.2216
Sıcaklık (C)	23920.00	119.73	< 0.0001	25450.91	260.10	< 0.0001	420700.00	195.97	< 0.0001
AB	11491.28	5.75	0.0476	1683.16	17.20	0.0043	21970.27	10.23	0.0151
AC	1.48	0.0007	0.9791	3973.86	40.61	0.0004	3822.00	1.78	0.2239
BC	12739.27	6.38	0.0395	192.47	1.97	0.2035	16063.49	7.48	0.0291
A²	1694.81	0.85	0.3877	108.29	1.11	0.3277	946.26	0.44	0.5280
B²	78007.20	39.05	0.0004	6160.03	62.95	< 0.0001	128000.00	59.63	0.0001
C²	6468.24	3.24	0.1150	760.68	7.77	0.0270	11665.24	5.43	0.0525
Kalıntı	13985.06			684.95			15027.22		
Lack of Fit	13642.28	15.92	0.0602	582.55	2.28	0.3329	14209.96	6.95	0.1305
Saf hata	342.78			102.39			817.26		
Cor Total	417400.00			56909.41			726900.00		
R²	0.9665			0.9980			0.9793		
Düzel. R²	0.9234			0.9725			0.9527		
Tahmini R²	0.7498			0.9132			0.8488		
Adeq precision	16.6336			25.9465			21.13		
C.V. %	9.37			2.75			5.54		

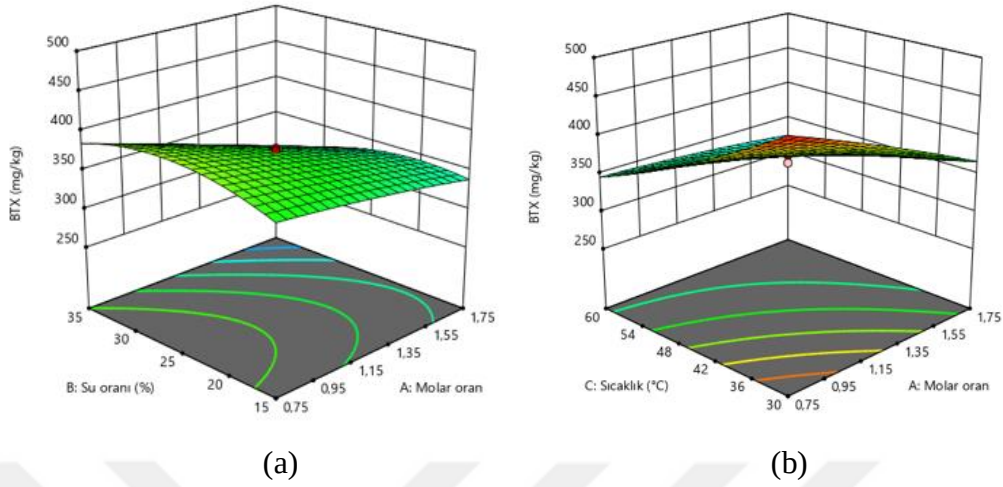
Betasiyaninleri değerlendirmek amacıyla yanıt yüzey grafikleri çizilmiştir. Bağımsız değişkenlerin betasiyanin üzerine etkisini gösteren grafikler Şekil 4.2.'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde; betasiyanin üzerine molar oran ve sıcaklığın etkisinin olduğu, ancak su miktarının tek başına betasiyanin miktarını etkilemediği görülmektedir. Su ve molar oran interaksiyonunun kuadratik etkilerinin önemli derecede ($p<0.05$) etkili olduğu belirlenmiştir. Betasiyanin verimi incelendiğinde; su oranının artmasıyla betasiyanin veriminin arttığı görülmektedir. Su oranının artması vizkozite değerini düşürdüğünden giricilik fazla olmuş, sonuçta daha yüksek verim elde edilmiştir. Su içeriğindeki bir artış, DES'lerin yoğunluğunda ve viskozitesinde bir azalmaya neden olmuş, bu da Palos-Hernández vd. (2022)'nin de bildirdiği gibi ekstraksiyon için faydalı olmuştur. Benvenuti vd. (2022), meyvelerin yan ürününden antosiyaninlerin eldesinde DES'leri kullanmışlardır. Araştırmacılar, DES'in saf formu yerine su bazlı çözeltilerinin kullanımının, çözgen viskozitesinin azalması nedeniyle ekstraksiyon yeteneğini artırdığını belirlemişlerdir. Bu durum mevcut çalışmanın sonucunu desteklemektedir. Molar oranı arttıkça betasiyanin miktarının azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.2. Betasiyanin verimi üzerine a) su oranı ve molar oranın, b) sıcaklık ve su oranının etkisini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eşyükselti eğrisi

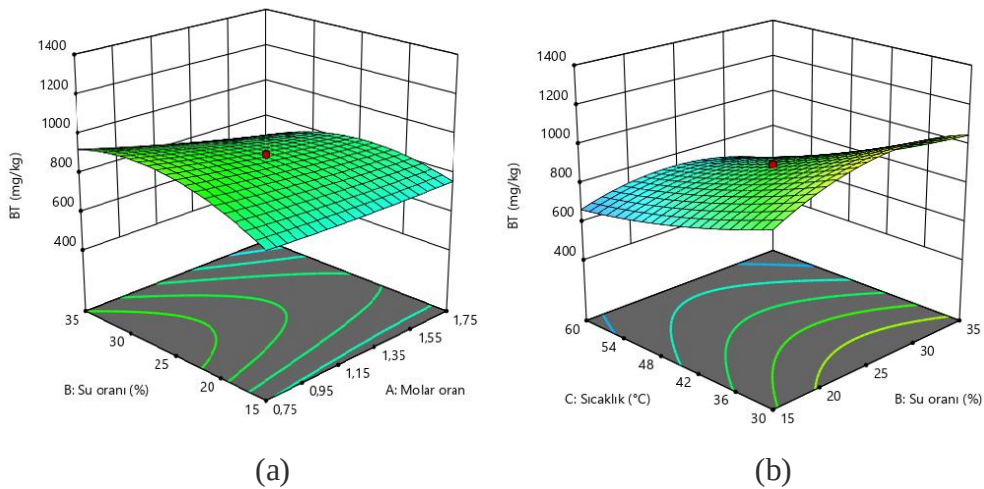
Bağımsız değişkenlerin betaksantin üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.3.'te verilmiştir. Toplam betaksantin için oluşturulan modelin 63.84 F-değeri ile önemli (<0.0001) ve model uygunsuzluğunun 2.28 F değeri ile önemsiz ($p>0.05$) olduğu saptanmıştır. Molar oran x su içeriği kombinasyonu ve molar oran x sıcaklık kombinasyonu betaksantin üzerinde olumlu ve pozitif etkiye sahip olmuştur ($p<0.05$). Su oranının artmasıyla betaksantin miktarı artmıştır. Molar oran ve sıcaklık

interaksiyonunda sıcaklık sabitken molar oranın artması betaksantin azalışına ve yine molar oran sabitken sıcaklığın artması, betaksantin azalışına yol açmıştır.



Şekil 4.3. Betaksantin verimi üzerine a) su oranı ve molar oranın, b) sıcaklık ve molar oranın etkisini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eşyükselti eğrisi

Şekil 4.4.'te, toplam betalainlerin bağımsız değişkenlerinin etkisini gösteren grafik verilmiştir. Toplam betalain için oluşturulan modelin 36.85 F-değeri ile önemli (<0.0001) ve model uygunsuzluğunun 6.95 F değeri ile önemsiz ($p>0.05$) olduğu saptanmıştır. Molar oran x su içeriği kombinasyonu ve su oranı x sıcaklık interaksiyonu betaksantin üzerinde önemli etkiye sahip olmuştur. Su oranı sabitken molar oranın artması, betalain verimini azaltmıştır. 30°C sıcaklıkta su oranının artması, betalain verimini önemli derecede artırmıştır.



Şekil 4.4. Betalain verimi üzerine a) su oranı ve molar oranın, b) sıcaklık ve su oranının etkisini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eşyükselti eğrisi

4.5. RSM'nin Çoklu Yanıtı

Optimum koşullar, bağımsız değişkenler ve önemli bulunan yanıtlar maksimum olacak şekilde istenirlik fonksiyonuna dayanılarak belirlenmiştir. Kolin klorür-glikoz için optimum koşullar molar oran, su içeriği ve sıcaklık için sırasıyla 1:0.75 molar, %30.835 su içeriği ve 30°C sıcaklık olarak bulunmuştur. Bu koşullar altında; betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain için tahmin edilen yanıtlar 748.268 mg/kg, 474.870 mg/kg ve 1223.138 mg/kg olarak belirlenmiştir. Teorik değerleri doğrulamak için optimum koşullar altında üç tekrarlı olarak deney yapılmıştır. Kolin klorür-glikoz için betasiyanin, betaksantin ve betalain için deneysel veriler 738.83 ± 17.87 mg/kg, 453.34 ± 5.93 mg/kg ve 1192.17 ± 23.63 mg/kg olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi, tahmin edilen ile deneysel değerler çok yakın bulunmuştur. Bu, Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM)'nin seçilen bağımsız değişkenlerin kırmızı pancar betalainlerinin ekstraksiyonu için güvenilir ve tekrarlanabilir olduğunu göstermektedir.

Hernández-Aguirre vd. (2021), iki farklı mol oranında (1:1 ve 2:1) üre (HBD) ve magnezyum klorür (HBA) hazırlamışlar ve DES (1:1)'in yüksek viskozitesi betalainlerin difüzyonunu olumsuz etkileyerek 20–25°C'de ekstraksiyonlarını engellediğinden DES'lerde, 2:1 oranını betalain verimi açısından daha yüksek bulmuşlardır. Bu oranı nötr ve asidik pH'da denediklerinde toplam betalain miktarını sırasıyla 3.65 ± 0.25 mg/g, 3.99 ± 0.26 mg/g olarak bulmuşlardır.

Demuner vd. (2023), ekstrakte edilen betalain değerleri kolin klorür-üre (1:2) 41.27- 67.51 mg/100 g, kolin klorür-gliserol (1:2) 82.46-104.45 mg/100 g, kolin klorür-sitrik asit (1:2) 50.06-111.93 mg/100 g arasında değişmiştir. Kolin klorür:sitrik asit kullanarak betalain ekstraksiyonunda optimum noktada 35°C sıcaklıkta, 37 kHz frekansta ve %100 W pancardan elde edilen betaninlerin ekstraksiyon etkinliğinde ultrason kullanımının önemli bir gelişme sağladığını bulmuşlardır.

İstatistik analiz sonucu elde edilen ikinci dereceden polinomiyal denkleme ait gerçek değişkenler cinsinden regresyon eşitlikleri Tablo 4.6.'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Betasiyanin, betaksantin ve betalain için deneysel veriler yardımıyla elde edilen formüller

BCY, mg/kg	$=514.87-32.72A+2653.00B-132.34C-37.90AB-0.43AC-39.91BC$ $+12.26A^2-83.18B^2+23.95C^2$
BTX, mg/kg	$=373.83-32.75A-9.71B-43.17C-14.50AB+22.29AC-4.90BC-$ $3.10A^2-23.38B^2+8.21C^2$
BT, mg/kg	$=888.70-65.47A+16.82B-175.51C-52.41AB+21.86AC-$ $44.81BC+9.16A^2-106.56B^2+32.17C^2$

*A, molar oran; B, su içeriği, %; C, sıcaklık, °C

İstenilirlik fonksiyonundan yola çıkılarak optimum koşulları sağlayan 55 farklı nokta elde edilmiştir (Tablo 4.7). Verilen noktaların istenilirlikleri en yüksek olanlarının değeri 0.956'dır. Programın ilk sırada verdiği nokta, optimum nokta olarak seçilmiştir. Buna göre betalain eldesi için optimum ekstraksiyon koşulları 1:0.75 mol oranı, %30.83 su oranı ve 30°C sıcaklık olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.7. Betasiyanin, betaksantin ve betalain için istenilirlik fonksiyonuna göre optimum şartlardaki tahmini değerler

No	Molar oran	Su oranı	Sıcaklık	BCY	BTX	BT	İstenilirlik	
1	0.750	30.830	30.000	748.268	474.870	1223.138	0.956	Seçilen
2	0.750	30.734	30.000	748.190	475.035	1223.225	0.956	
3	0.750	30.912	30.000	748.323	474.723	1223.045	0.956	
4	0.750	30.620	30.000	748.076	475.228	1223.304	0.956	
5	0.750	31.129	30.001	748.399	474.318	1222.717	0.956	
6	0.750	30.023	30.000	747.133	476.133	1223.267	0.955	
7	0.750	29.911	30.000	746.891	476.285	1223.176	0.955	
8	0.753	30.502	30.000	747.418	475.038	1222.457	0.955	
9	0.750	31.521	30.000	748.379	473.545	1221.924	0.954	
10	0.750	31.607	30.000	748.336	473.364	1221.701	0.954	
11	0.750	29.440	30.000	745.640	476.858	1222.498	0.954	
12	0.757	30.162	30.000	746.296	475.115	1221.411	0.954	
13	0.750	30.446	30.131	746.107	474.771	1220.878	0.953	
14	0.750	30.616	30.183	745.610	474.203	1219.812	0.952	
15	0.759	29.570	30.000	744.747	475.751	1220.498	0.952	
16	0.750	28.872	30.000	743.639	477.410	1221.049	0.952	
17	0.750	28.617	30.003	742.525	477.590	1220.115	0.950	
18	0.769	29.878	30.000	743.956	474.186	1218.142	0.950	
19	0.750	28.305	30.000	741.112	477.811	1218.922	0.949	
20	0.750	28.224	30.000	740.703	477.855	1218.558	0.949	
21	0.750	27.859	30.000	738.740	478.020	1216.760	0.946	
22	0.750	32.802	30.000	746.480	470.499	1216.979	0.946	
23	0.750	29.813	30.525	739.731	473.477	1213.208	0.944	
24	0.750	33.026	30.000	745.868	469.887	1215.755	0.944	
25	0.787	28.525	30.000	737.059	473.684	1210.743	0.942	
26	0.790	28.824	30.000	737.822	473.079	1210.901	0.941	
27	0.750	29.127	30.638	736.305	473.629	1209.935	0.941	
28	0.796	30.197	30.000	740.569	470.700	1211.269	0.939	
29	0.750	28.593	30.637	734.259	474.088	1208.347	0.939	

Tablo 4.7. (devam)

30	0.750	33.475	30.000	744.389	468.590	1212.979	0.939
31	0.750	28.164	30.576	733.047	474.697	1207.744	0.938
32	0.803	30.308	30.000	739.615	469.674	1209.290	0.936
33	0.750	30.132	30.896	735.465	470.966	1206.431	0.934
34	0.750	28.899	30.906	732.039	472.357	1204.397	0.933
35	0.750	30.354	31.024	734.103	469.919	1204.022	0.930
36	0.823	28.780	30.000	733.114	469.464	1202.579	0.928
37	0.750	27.155	30.843	723.830	473.530	1197.360	0.926
38	0.833	28.152	30.000	729.269	468.948	1198.217	0.923
39	0.750	24.964	30.000	715.337	477.122	1192.459	0.919
40	0.750	30.535	31.480	728.285	467.097	1195.382	0.918
41	0.750	28.884	31.579	723.397	468.671	1192.069	0.916
42	0.854	31.101	30.000	732.258	462.201	1194.458	0.912
43	0.750	29.833	31.956	721.147	465.537	1186.684	0.907
44	0.889	29.459	30.000	726.161	461.225	1187.386	0.903
45	0.918	27.896	30.000	717.559	459.833	1177.392	0.891
46	0.750	22.744	30.000	687.938	473.778	1161.716	0.885
47	0.967	28.439	30.000	713.782	453.809	1167.591	0.874
48	0.979	26.414	30.000	702.881	454.081	1156.962	0.862
49	0.961	25.573	30.000	698.669	456.073	1154.741	0.862
50	1.007	29.298	30.000	710.832	447.857	1158.688	0.858
51	0.891	35.000	30.000	711.093	445.346	1156.439	0.853
52	1.070	27.388	30.000	698.787	443.427	1142.215	0.835
53	1.111	28.878	30.000	698.421	436.454	1134.875	0.820
54	1.170	24.328	30.000	671.387	433.981	1105.368	0.785
55	1.316	24.654	30.000	664.907	418.123	1083.030	0.743

4.6. Optimum DES'in Özellikleri

Optimum koşullarda elde edilen DES pH, yoğunluk, vizkozite, elektrik iletkenlikleri ve su aktivitesine göre karakterize edilmiştir. Optimum koşullar kolin klorür-glikoz için 1:0.75 molar, %30.835 su içeriği ve 30°C sıcaklık olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda pH 7.39 ± 0.02 olarak kaydedilmiştir. Viskozite ve iletkenlik sırasıyla 0.04 ± 0.00 mPa; 6.52 ± 0.00 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Yoğunluk 1.24 ± 0.00 g/cm^3 , su aktivitesi 0.65 ± 0.00 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.8).

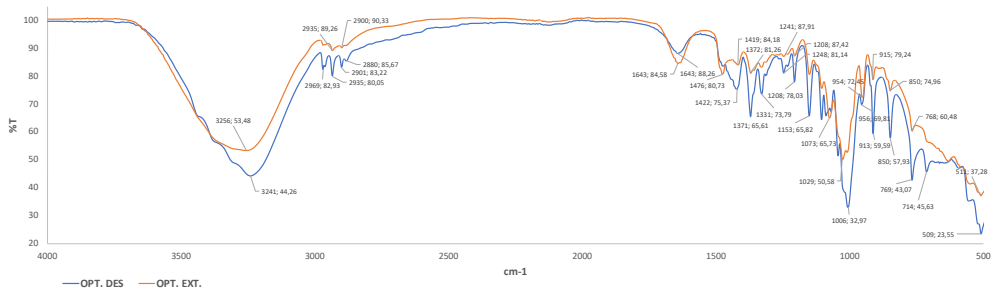
Tablo 4.8'den görüldüğü HBD'nin molar oranındaki değişiklik, su içeriğinin farklılaşması, sıcaklığın etkisi, optimum DES üzerinde önemli bir sonuca ulaşılmasına sebep olmuştur. DES'e eklenen su miktarının artışı, viskozitenin azalmasına yol

açmıştır. Viskozite genellikle iletkenlik gibi elektrolitin taşıma özelliklerini incelemek için kullanılır. Ayrıca sıcaklık ve hidrojen bağı etkileşimlerinden de etkilenir. Artan sıcaklıkla elektrolitin iletkenliği artar ve viskozitesi azalır. Bunun nedeni, sıcaklığın artmasıyla birlikte DES moleküllerin ve iyonların hareketinin hızlanması ve DES'ler arasındaki hidrojen bağı etkileşiminin zayıflaması ve böylece migrasyon direncinin azalması olabilir. DES'lerin bileşenleri arasında oluşan güçlü hidrojen bağ ağı, DES'lerin yüksek viskozite değerlerine sahip olmasının ana nedenidir. Bu da karışım içindeki serbest türlerin daha düşük hareketliliğine neden olmuştur.

Tablo 4.8. Optimum koşullarda elde edilen DES'in özellikleri

Özellikler	Kolin klorür:Glikoz (1:0.75)
pH	7.39±0.02
Yoğunluk (g/cm ³)	1.24±0.00
Vizkozite (<i>f</i> in Pas)	0.04±0.00
İletkenlik (µS/cm)	6.52±0.00
Su aktivitesi (Aw)	0.65±0.00

Optimum noktadaki DES ve ekstraktın FTIR spektrumları Şekil 4.5'te verilmiştir. Optimum çözücünün ve optimum ekstraktın pikleri birlikte incelendiğinde; betalainlerin fonksiyonel gruplarının karakteristiği olan farklı absorpsiyon bantları gözlenmiştir (Aztatzi-Rugiero vd., 2019). 3256 cm⁻¹ pikteki bant OH germe bandının en yüksek yoğunluğu olan optimum ekstrakta aittir ve C-H germe bandında da ekstrakta ait pikler daha yüksektir. 1643 cm⁻¹ pikinde ekstrakt, optimum DES'ten daha zayıftır. 1372 cm⁻¹'deki bant C-H bağının uzama gerilme titreşimine karşılık gelirken, 1241 cm⁻¹'deki bant karboksilik asidin C-O bağının gerilme titreşimine karşılık gelir. 1073 cm⁻¹'deki başka bir bant, C-O-C bağlantısının simetrik gerilme titreşimine atfedilmiştir. Bulgulara benzer şekilde Jamróz vd. (2019), pancar kökü ekstresi içeren filmlerde OH germe bandının genişlediğini ve daha yüksek bir dalga sayısına kaydığını bildirmişlerdir.



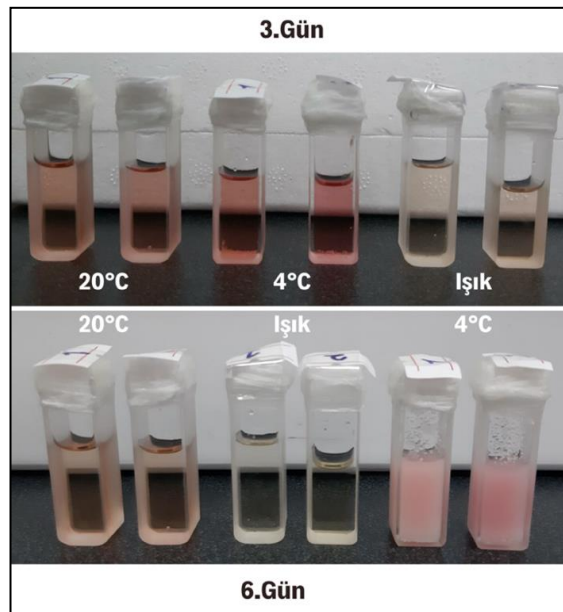
Şekil 4.5. Optimum noktada DES ve ekstraktın FTIR spektrumu

4.7. Optimum Koşullarda Elde Edilen Betalain Ekstraktının Pigment İçeriği Üzerine Depolamanın Etkisi

Optimum koşullarda elde edilen ekstraktın (kolin klorür:glikoz) depolama stabilitesi 9 gün boyunca karanlıkta oda sıcaklığında (20°C), buzdolabında (4°C) ve oda sıcaklığına ayarlanmış inkübatörde 3000 Lux şiddetindeki bir ışık kaynağından 30 cm uzaklıkta sabit bir sıcaklıkta depolanmıştır. Depolama süresinin DES açısından toplam betalain içeriği üzerindeki etkisi, 3. günde test edilmiştir. Betalainlerdeki kayıplar nedeniyle gözlemlenen kristallenme sonucunda, 4°C buzdolabında yapılan depolamaya 3.günden sonra son verilmiştir (Şekil 4.6). Depolamaya yalnız 20°C karanlık ve ışık stabilitesi ile devam edilmiştir. Şekil 4.7’de 3. ve 6.gün depolanan ekstraktların gün sonu görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4.6. 4°C’deki ekstraktların 5.gün sonundaki görünüşleri



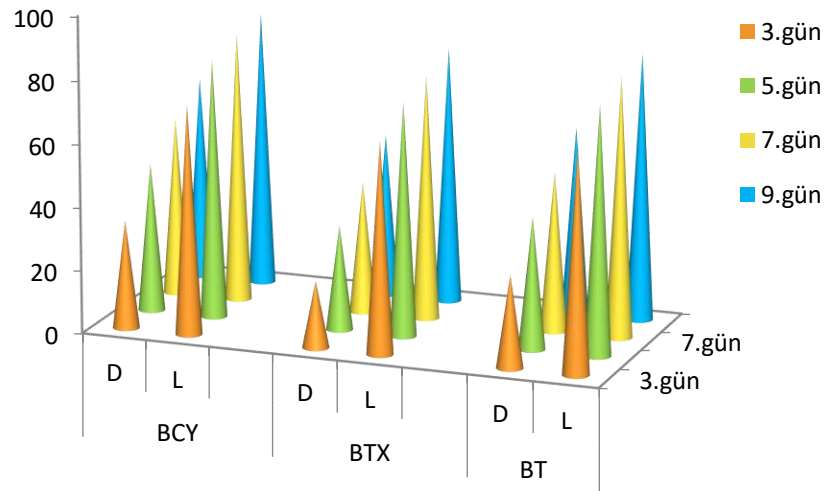
Şekil 4.7. Depolanan ekstraktların 3. ve 6.gün sonundaki görünüşleri

Işıktaki 9 gün boyunca depolamaya tabi tutulan betalain ekstraktlarında 0.güne göre 3., 5., 7. ve 9.gündeki betalain kayıpları sırasıyla %70.57, 78.74, 82.34 ve 84.90 olarak belirlenmiştir. Karanlık ortamda depolamadaki kayıp ise sırasıyla %29.17, 41.75, 50.69 ve 59.47 olmuştur. Işık altında tutulan betalain ekstraktlarının, karanlık ortamdakilere kıyasla daha çabuk bozulduğu belirlenmiştir (Tablo 4.9). Optimum noktada belirlenen ekstraktın pH değerinin (7.39 ± 0.02) yüksek olması bu kaybın ana nedenidir. Daha önceden de ifade edildiği gibi betalainlerin rengi pH 3-7 arası daha stabildir (Gliszczynska-Świgło vd., 2006). Bu çalışmada optimum noktada yüksek betalain verimine odaklanılmıştır. Yüksek verim sağlayan 1:0,75 molar oranda pH'nın yüksek olması bu sonucu doğurmuştur.

Tablo 4.9. Oda sıcaklığında ve depolama süresinde DES ekstraktlarındaki %kayıp

		3.gün	5.gün	7.gün	9.gün
Betasiyanin (BCY)	Karanlık	34.13	47.04	56.26	64.38
	Aydınlık	72.75	81.69	85.30	87.16
Betaksantin (BTX)	Karanlık	21.05	33.11	41.58	51.41
	Aydınlık	66.97	73.89	77.51	81.24
Betalain (BT)	Karanlık	29.17	41.75	50.69	59.47
	Aydınlık	70.57	78.74	82.34	84.90

Optimum noktada kolin klorür-glikoz bozunma kinetiği sonuçları Şekil 4.8'de sunulmuştur.



Şekil 4.8. Kolin klorür-glikoz bozunma kinetiği sonuçları

Betalain pigmentleri ışığa maruz kaldığında, betalain kromoforunun elektronlarının uyarılmasına neden olarak stabiliteelerini etkiler (Dos Santos vd., 2018). Ayrıca Damodaran vd. (2007), betalain pigmentlerinin oksijen yokluğunda daha kararlı hale geldiğini göstermiş ve Manchali vd. (2012), betalain stabilitesinin artan oksijen konsantrasyonuyla doğrusal bir düşüş olduğunu belirterek bu durumu doğrulamıştır. Stabiliteleriyle ilgili çalışmalar, betalainlerin dış ve iç faktörler nedeniyle bozulmaya uğrayabileceğini göstermektedir. Betanin stabilitesini etkileyen dış faktörler arasında oksijen, sıcaklık, pH, ışık ve gıda matrisleri bulunur (Dos Santos vd., 2018). Sıcaklık, gıda işleme ve depolama sırasında betalainin stabilitesini belirleyen önemli bir faktördür. Mohammed vd. (2021), pancar ekstraktındaki betalain stabilitesi üzerinde depolama sıcaklığının önemli bir etkisi olduğunu bulmuşlar, 100°C'de depolanan pancar ekstraktının betalain içeriğinin depolamanın 3. gününden önce bozulduğunu gözlemlemişlerdir. Azeredo (2009), betasiyaninlerin hem oda sıcaklığında hem de ısıtıldığında betaksantinlerden daha kararlı olduğunu tespit etmiştir. Ancak spektrofotometrik analizlerin, betasiyaninlerin yapıya bağlı stabilite özelliklerini değerlendirmede yetersiz olduğunu bildirmiş, betalain stabilitesi ile ışık yoğunluğu (2200–4400 lux aralığında) arasında ters bir ilişki olduğunu tespit etmiştir. Von Elbe vd. (1974), floresan ışığı altında betaninin bozunma hızının pH 3'te pH 5'e göre üç kat daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Depolama sırasında betalain bozunmasının kinetik parametreleri Tablo 4.10'da verilmiştir. Görüldüğü gibi DES'le betasiyanin, betaksantin ve betalain değerleri, ışık ve karanlıkta depolananların yakın k değerleri verdiği saptanmıştır. Hız sabiti (k), ısı bozunmanın tahmini sağlayan bir göstergedir ve k değeri ne kadar düşükse kararlılık o kadar yüksektir. Bundan dolayı betaksantin stabilitesinin en yüksek kararlılığa sahip olduğunu göstermektedir. Betasiyaninlerin bozunması için kinetik hız sabiti (k), karanlık depolamaya göre ışık altında depolamada daha yüksek saptanmıştır. Betasiyaninlerin $t_{1/2}$ değerleri, ışık altında ve karanlık koşullarda sırasıyla 5.58 gün ile 2.29 gün arasında değişmiştir. Betaksantinler, Azeroda (2009) tarafından bildirilenin aksine betasiyaninlerden daha kararlı bulunmuştur ve yarılanma ömrü karanlıkta saklamada 8.76 gün ve ışıkta saklamada 2.86 gün olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi ışıkta depolama, betalainlerin yarı ömrünü 3-3.5 kat azaltmıştır.

Tablo 4.10. DES'lerle ekstrakte edilen betalainlerin ışık stabilitesine ait hız sabitleri ile yarılanma

ömürleri	k		t _{1/2} (gün ⁻¹)	
	Karanlık	Aydınlık	Karanlık	Aydınlık
Betasiyanin (BCY)	0.12±0.01	0.32±0.09	5.58±0.47	2.29±0.62
Betaksantin (BTX)	0.08±0.00	0.26±0.08	8.76±0.18	2.86±0.81
Betalain (BT)	0.11±0.00	0.29±0.08	6.55±0.41	2.51±0.69

Önceki çalışmalar (Herbach vd., 2006; Yang vd., 2021), kinoa kabukları, mor pitaya ve pancardan elde edilen betalainlerin bozunmasının birinci dereceden bir kinetik modeli izlediğini göstermiştir. Mevcut çalışmada da benzer sonuçlar bulunmuştur. Cai vd. (2005), Amaranthaceae bitkilerinden betalain pigmentlerinin karakterizasyonunu araştırmışlar, 18 hafta sonundaki depolamada yarılanma ömrü amarant bitkisinde 4 °C'de 23.9 hafta⁻¹, kırmızı turp bitkisinde 24.8 hafta⁻¹ bulmuşlardır. 12 haftalık depolamadan sonra ise 25 °C'de amarant bitkisini 4.2 hafta⁻¹, kırmızı turp bitkisini 4.7 hafta⁻¹ saptamışlardır. Betalain ekstraktlarının karanlıkta ve havasız ortamda depolanmasında betalainlerin alıkonma oranı betasiyaninlerde % 93.4 ve 62.3 iken, betaksantinlerde %99.3 ve 76.2 olarak bulmuşlardır. Liu vd. (2019), Doğal derin ötektik çözücüler kullanılarak *Curcuma longa* L.'den doğal pigmentlerin ekstraksiyonunun sağlanmasında, geleneksel organik çözücülere göre daha yüksek pigment içeriğine ve depolama stabilitesine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Hernández-Aguirre vd. (2021), betalain ekstraktlarının 5-7 gün boyunca bozunurken, DES ekstraktlarından gelen betalainlerin görünür ışık altında 150 gün, depolamada 340 gün boyunca iyi korunmuş olduğunu ve kırmızı menekşe renginin %75'lik bir stabilite elde ettiğini bulmuşlardır. Bu çalışmada ise daha önce de ifade edildiği gibi muhtemelen DES'in yüksek pH'sından dolayı daha fazla kayıp saptanmıştır.

4.8. Kırmızı Pancar Betalainlerinin Biyoerişebilirliği

Biyoyararlılık kavramı hayvan ya da insan vücudunda bulunan bir kimyasal maddenin absorbe edilebilme derecesini ifade etmektedir (Mutlu, 2018). Biyoerişilebilirlik, sindirilmiş bir biyobileşenin, gastrointestinal sistemin epitelyal tabakasından emilim için erişilebilir hale gelen bir fraksiyonudur. Biyobileşenlerin absorbe edilmeleri için önce gıda matrisinden veya nanotaşıyıcılardan salınması ve sonrasında birleştirici misellerde çözünmesi gerekir (Dima vd., 2020). Bir kimyasal absorbe edilmeden önce sindirim sistemindeki sıvıda çözünmelidir. O nedenle biyoyararlılık biyoerişilebilirlik ile ilişkilidir (Mutlu, 2018).

Betalainlerin oral biyoerişilebilirliği, bitkisel pigment olan antosiyaninlere kıyasla daha düşüktür (Esatbeyoglu vd., 2015). Betalainlerin biyoyararlanımına ilişkin veri eksikliği vardır. Mevcut literatür, biyoyararlanım sonuçları tutarsızdır, çünkü rapor edilen çalışmalarda dokularda dağılımı ve betalainlerin metabolik dönüşüm ürünleri çoğunlukla dikkate alınmamıştır. Tutarsızlık, numune işlemeyi engelleyen zayıf stabilite ve yüksek çözünürlükten de kaynaklanmış olabilir. Ayrıca, biyoyararlanım çalışmalarında betalainlerin miktar tayini yönteminin de güncellenmesi gerekmektedir. *In vitro* çalışmalardan elde edilen bulgular, betanin emiliminin bağırsakta gerçekleştiğini düşündürmektedir (Khan, 2016). Kırmızı pancar betalainlerinin biyoerişilebilirliği ile ilgili sonuçlar Tablo 4.11'da sunulmuştur.

Tablo 4.11. Kırmızı pancar betalainlerinin biyoerişebilirlikleri

Bileşikler	Biyoerişebilirlik, %
Betasiyanin	44.67±1.40
Betaksantin	75.02±1.20
Betalain	56.21±1.33

En iyi biyoerişebilirlik değeri sahip olan betaksantin (%75.02±1.20) için olarak belirlenmiştir. Betalainlerin biyoyararlanımı üzerine yapılan çalışmalar, betalainler, betanin ve indikaksantin vücut içinde kalabildiklerini ve böylece insan vücudunun redoks durumunu iyileştirerek sağlığın iyileştirilmesinde rol oynadıklarını kanıtlamıştır (Gandía-Herrero vd., 2016). İnce bağırsak, mide ve ağız aşamalarında betanin bozunmasına ilişkin *in vitro* araştırmaları, yaklaşık %50 oranında pigment kaybını ortaya çıkarmıştır (Akbar Hussain vd., 2018). Betalainlerin biyoyararlanımı ve metabolizması hakkında az sayıda çalışma bildirilmiştir. Kanner vd. (2001), betasiyaninlerin bağırsaktan emildikten 2–4 saat sonra idrarda tanımlanan değerinin, alınan miktarın %0.5-0.9'u kadar olduğunu bildirmişlerdir. Moreno vd. (2008) ve Akbar Hussain vd. (2018), kırmızı pancar suyunun alınmasından sonra, betanin ve izobetanin için biyoyararlanım aralığının %0.28-0.9 olduğunu gözlemlemişlerdir. Madadi vd. (2020), betalainin tüketim sonrası, idrarda hemen betasiyaninlerin bulunduğunu; ancak idrarla atılan metabolize olmayan betalainlerin miktarının önemli ölçüde düşük bulunduğunu belirtmişlerdir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kırmızı pancardan betalainlerin ekstraksiyonunda, geleneksel ekstraksiyon yöntemlerine kıyasla daha verimli olan ve daha az kimyasal madde kullanımı gerektiren, atık oluşumunu azaltan yeşil solventlerden DES'ler kullanılmıştır. Bu amaçla 10 farklı derin ötektik çözücü 1:2 molar oranda, hidrojen bağı alıcısı (HBA) olarak kolin klorür, askorbik asit, laktik asit ve malik asit; hidrojen bağı vericisi (HBD) olarak etilen glikol, bütandiol, asetik asit, gliserol, glikoz, kolin klorür, sorbitol ve ksilitol kullanılarak sentezlenmiştir. DES'lerin hazırlanmasında %20 destile su ilave edilmiştir. Sonuçlar, geleneksel çözücülerle (su, metanol ve etanol) yapılan ekstrakt verimleriyle karşılaştırılmış ve en yüksek betalain verimi DES 5 (kolin klorür-glikoz, 1:2) ile sağlanmıştır. Optimizasyonda HBA olarak kolin klorür, HBD olarak glikoz kullanılmıştır. Kırmızı pancardan betalainlerin ekstraksiyonunu optimize etmek için yanıt yüzeyi metodolojisinin merkezi kompozit deneysel tasarımı uygulanmıştır. Ekstraksiyonda bağımsız değişken olarak molar oran, su oranı ve sıcaklık seçilmiştir. Optimum ekstraksiyon koşulları; 1:0.75 molar oran, %30.835 su içeriği ve 30°C sıcaklık olarak saptanmıştır. Bu koşullarda betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain için öngörülen yanıtlar 748.268 mg/kg, 474.870 mg/kg ve 1223.138 mg/kg'dır. Optimum koşullarda betasiyanin, betaksantin ve betalain için deneysel veriler sırasıyla 738.83 ± 17.87 mg/kg, 453.34 ± 5.93 mg/kg ve 1192.17 ± 23.63 mg/kg olarak bulunmuştur.

Çalışmada kullanılan 10 farklı DES'ten Malik asit-ksilitol (DES 8) en yüksek viskozite değerini, kolin klorür-etilen glikol (DES 1), kolin klorür-asetik asit (DES 3) ve askorbik asit-ksilitol (DES 9) en düşük viskozite değerlerini göstermişlerdir. HBA ve HBD'lerin molar oranından kaynaklı olarak DES'lerin viskozite yapıları değişkenlik göstermiştir. pH değerleri incelendiğinde; en yüksek değer kolin klorür-etilen glikolde (DES 1), en düşük kolin klorür-asetik asitte (DES 3) olduğu görülmüştür. Alkol bazlı DES'ler (DES 1 ve DES 2), en yüksek pH değerleri göstermiştir. En yüksek iletkenlik değeri, DES 1'de (kolin klorür-etilen glikol) belirlenmiş, onu DES 3 (kolin klorür-asetik asit) ve DES 7 (laktik asit-sorbitol) takip etmiştir. En düşük iletkenlik ise DES 5 (kolin klorür-glikoz) ve DES 6'da (askorbik asit-kolin klorür) belirlenmiştir. En yüksek su aktivitesi değeri DES 2 (kolin klorür-bütandiol)'de saptanmış, onu DES 7 (laktik asit-sorbitol) ve DES 1 (kolin klorür-etilen glikol) izlemiştir. En düşük su aktivitesi ise DES 4 (kolin klorür-gliserol) ve DES 6'da

(askorbik asit-kolin klorür) kaydedilmiştir. Daha düşük yoğunluğa ve vizkoziteye sahip olan DES'ler daha yüksek ekstraksiyon verimliliği sağlamıştır. Yoğunluğu en fazla olan DES 8 (malik asit-ksilitol)'tir. DES 7 (laktik asit-sorbitol) ve DES 10 (askorbik asit-glikoz) DES 8'i takip etmiştir. Yoğunluğu en az olanlar ise DES 2 (kolin klorür-bütandiol) ve DES 3 (kolin klorür-asetik asit) olarak belirlenmiştir.

Optimum koşullarda DES 5 ile elde edilen ekstraktta depolama stabilitesi ve biyoyararlılığı araştırılmıştır. Depolama stabilitesinde ekstraktlar 20°C karanlıkta, 4°C buzdolabında ve oda sıcaklığına ayarlanmış bir inkübatörde 3000 Lux şiddetinde ışıktaki 9 gün tutulmuş ve periyodik olarak betalain miktarları tespit edilmiştir. Işıktaki depolananlarda betalain kaybı karanlıkta depolananlara göre daha fazla olmuştur. Işıktaki 9 gün depolama sonunda betasiyaninde %87.16, betaksantinde %81.24 kayıp tespit edilmiştir. Karanlıkta ise sırasıyla %64.38, %51.41 kayıp gözlemlenmiştir. Sonuçta toplam betalainde ışıktaki %84.90, karanlıkta %59.47 kayıp belirlenmiştir. 4°C buzdolabında yapılan depolamada 3.günden itibaren kristallenme meydana geldiğinden 3.günden sonra depolamaya son verilmiştir. Optimum koşullarda elde edilen ekstraktlarda yapılan biyoyararlılık testi sonucuna göre, en yüksek biyoyararlılığa (%75.02±1.20) betaksantin sahip olduğu bunu betasiyanin (%44.67±1.40) ve toplam betalain (%56.21±1.33) izlediği bulunmuştur.

Literatürde belirtilen çalışmalara benzer şekilde depolama süresince en kararlı betaksantin olmuştur. Işık altında depolama koşullarında, betasiyaninlerin bozunma hızı (kinetik hız sabiti k), karanlık ortama göre daha yüksek olarak saptanmıştır. Betasiyaninlerin yarılanma ömrü ($t_{1/2}$) değerleri, ışık altında depolama ile karanlık koşullar arasında farklılık göstermiş; sırasıyla 5.58 gün ve 2.29 gün olarak ölçülmüştür. Betaksantinlerin yarılanma ömrü, karanlıkta saklanırken 8.76 gün iken ışıktaki depolamada 2.86 gün olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ışık altında depolama, betalainlerin yarı ömrünü 3-3.5 kat azaltmıştır.

Sonuç olarak bu çalışmada, bazı DES'ler (DES 1, DES 2 ve DES 5) kırmızı pancar betalainlerinin ekstraksiyonunda geleneksel çözücülere göre daha yüksek verim sağlamıştır. Ancak başka derin ötektik çözücülerle daha stabil ve yüksek betalain verimi sağlanabilir. Bunun için daha ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Abbott, A. P., Boothby, D., Capper, G., Davies, D. L., & Rasheed, R. K. (2004). Deep eutectic solvents formed between choline chloride and carboxylic acids: versatile alternatives to ionic liquids. *Journal of the American Chemical Society*, 126(29), 9142-9147.
- Abbott, A. P., Capper, G., & Gray, S. (2006). Design of improved deep eutectic solvents using hole theory. *Chemphyschem: a European Journal of Chemical Physics and Physical Chemistry*, 7(4), 803-806.
- Abderrahim, F., Huanatico, E., Segura, R., Arribas, S., Gonzalez, M. C., & Condezo-Hoyos, L. (2015). Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. *Food Chemistry*, 183, 83-90.
- Abdollahzadeh, M., Khosravi, M., Hajipour Khire Masjidi, B., Samimi Behbahan, A., Bagherzadeh, A., Shahkar, A., & Tat Shahdost, F. (2022). Estimating the density of deep eutectic solvents applying supervised machine learning techniques. *Scientific Reports*, 12(1), 4954.
- Abranches, D. O., & Coutinho, J. A. (2022). Type V deep eutectic solvents: Design and applications. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 100612.
- Adeyemi, I., Abu-Zahra, M. R., & AlNashef, I. M. (2018). Physicochemical properties of alkanolamine-choline chloride deep eutectic solvents: Measurements, group contribution and artificial intelligence prediction techniques. *Journal of Molecular Liquids*, 256, 581-590.
- Akan, S., Horzum, Ö., & Güneş, N. T. (2019). Fonksiyonel Gıda Kaynağı 'Kırmızı Pancar'. Conference: Proceedings Book of 5th International Eurasian Congress on Natural Nutrition, Healthy Life & Sport, 1537-1550.
- Akan, S., Tuna Gunes, N., & Erkan, M. (2021). Red beetroot: health benefits, production techniques, and quality maintaining for food industry. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), e15781.
- Akbar Hussain, E., Sadiq, Z., Zia-Ul-Haq, M., Akbar Hussain, E., Sadiq, Z., & Zia-Ul-Haq, M. (2018). Bioavailability of betalains. *Betalains: Biomolecular Aspects*, 165-183.
- Al-aboud, N. M. (2018). Effect of red beetroot (*Beta vulgaris* L.) intake on the level of some hematological tests in a group of female volunteers. *ISABB Journal of Food and Agricultural Sciences*, 8(2), 10-17.
- Al-Dawsari, J. N., Bessadok-Jemai, A., Wazeer, I., Mokraoui, S., AlMansour, M. A., & Hadj-Kali, M. K. (2020). Fitting of experimental viscosity to temperature data for deep eutectic solvents. *Journal of Molecular Liquids*, 310, 113127.
- Alañón, M. E., Ivanović, M., Gómez-Caravaca, A. M., Arráez-Román, D., & Segura-Carretero, A. (2020). Choline chloride derivative-based deep eutectic liquids as novel green alternative solvents for extraction of phenolic compounds from olive leaf. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 1685-1701.
- Algan Özkök, G., Taştekin, A. (2021). Gastronomide Gıda Katkı Maddeleri: Renklendiriciler. Emre Çilesiz, Ersin Arıkan (Ed.), Turizm Alanında Güncel Konular ve Yaklaşımlar-2 içinde (ss. 190-220). Konya, Çizgi Kitabevi Yayınları.
- Ali, R. T. M., & Jameel, Q. Y. (2023). Red beetroot betalains as a novel source of colorant in ice-cream as compared with Red Dye 40 (E129). *Functional Foods in Health and Disease*, 13(4), 225-239.

- Aliahmadi, M., Amiri, F., Bahrami, L. S., Hosseini, A. F., Abiri, B., & Vafa, M. (2021). Effects of raw red beetroot consumption on metabolic markers and cognitive function in type 2 diabetes patients. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, 20, 673-682.
- AlOmar, M. K., Hayyan, M., Alsaadi, M. A., Akib, S., Hayyan, A., & Hashim, M. A. (2016). Glycerol-based deep eutectic solvents: Physical properties. *Journal of Molecular Liquids*, 215, 98-103.
- Altamash, A., Peter, E. S., & Nautiyal, H. (2022). Studies on the preparation of gummy candy from a blend of pineapple and beetroot juice. *Pharma Innovation*, 11(11):1708-1713.
- Andruch, V., Varfalvyová, A., Halko, R., Jatkowska, N., & Płotka-Wasyłka, J. (2022). Application of deep eutectic solvents in bioanalysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 116660.
- AOAC, 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists (17th ed.). USA.
- Ata, M. Y. (2013). Mikroorganizmalarda pigment üretimi ve eczacılıkta kullanımı. Bitirme ödevi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri. <https://docplayer.biz.tr/3792529-T-c-erciyes-universitesi-eczacilik-fakultesi-mikroorganizmalarda-pigment-uretimi-ve-eczacilikta-kullanimi-hazirlayan-muhammet-yasar-ata.html>.
- Attia, G. Y., MOUSSA, M. M., & SHEASHEA, E. E. D. R. (2013). Characterization of red pigments extracted from red beet (*Beta vulgaris*, L.) and its potential uses as antioxidant and natural food colorants. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 91(3), 1095-1110.
- Azeredo, H. M. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability—a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2365-2376.
- Aztatzi-Rugerio, L., Granados-Balbuena, S. Y., Zainos-Cuapio, Y., Ocaranza-Sánchez, E., & Rojas-López, M. (2019). Analysis of the degradation of betanin obtained from beetroot using Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Food Science and Technology*, 56(8), 3677-3686.
- Babarykin, D., Smirnova, G., Pundinsh, I., Vasiljeva, S., Krumina, G., & Agejchenko, V. (2019). Red beet (*Beta vulgaris*) impact on human health. *Journal of Biosciences and Medicines*, 7(3), 61-79.
- Bach, V., Mikkelsen, L., Kidmose, U., & Edelenbos, M. (2015). Culinary preparation of beetroot (*Beta vulgaris* L.): The impact on sensory quality and appropriateness. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(9), 1852-1859.
- Bagh, F. G., Shahbaz, K., Mjalli, F. S., AlNashef, I. M., & Hashim, M. A. (2013). Electrical conductivity of ammonium and phosphonium based deep eutectic solvents: Measurements and artificial intelligence-based prediction. *Fluid Phase Equilibria*, 356, 30-37.
- Bajkacz, S., & Adamek, J. (2017). Evaluation of new natural deep eutectic solvents for the extraction of isoflavones from soy products. *Talanta*, 168, 329-335.
- Bajkacz, S., & Adamek, J. (2018). Development of a method based on natural deep eutectic solvents for extraction of flavonoids from food samples. *Food Analytical Methods*, 11(5), 1330-1344.
- Bandyopadhyay, M., Chakraborty, R., & Raychaudhuri, U. (2008). Effect of beet and honey on quality improvement and carotene retention in a carrot fortified milk product. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(1), 9-17.
- Bangar, S. P., Sharma, N., Sanwal, N., Lorenzo, J. M., & Sahu, J. K. (2022). Bioactive potential of beetroot (*Beta vulgaris*). *Food Research International*, 111556.

- Basu, M., Hassan, P. A., & Shelar, S. B. (2023). Modulation of Surfactant Self-Assembly in Deep Eutectic Solvents and its relevance to Drug Delivery-A Review. *Journal of Molecular Liquids*, 121301.
- Bavec, M., Turinek, M., Grobelnik-Mlakar, S., Slatnar, A., & Bavec, F. (2010). Influence of industrial and alternative farming systems on contents of sugars, organic acids, total phenolic content, and the antioxidant activity of red beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* Rote Kugel). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(22), 11825-11831.
- Bavec, M., Turinek, M., Mlakar, S. G., Slatnar, A., & Bavec, F. (2011). The antioxidant activity of red beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* Rote Kugel'). *Comparability of The Biodynamic Production System Regarding Agronomic, Environmental And Quality Parameters*, 58, 95.
- Bazaria, B., & Kumar, P. (2016). Compositional changes in functional attributes of vacuum concentrated beetroot juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(6), 1215-1222.
- Bediz, G. (2019). Gelincik bitkisinin (*Papaver rhoeas* L.) taç yapraklarından ultrason destekli ekstraksiyon yöntemiyle fenolik bileşiklerin eldesinin optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 85, Samsun.
- Belwal, T., Ezzat, S. M., Rastrelli, L., Bhatt, I. D., Daglia, M., Baldi, A., ... & Atanasov, A. G. (2018). A critical analysis of extraction techniques used for botanicals: Trends, priorities, industrial uses and optimization strategies. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 100, 82-102.
- Bener, M., Şen, F. B., Önem, A. N., Bekdeşer, B., Çelik, S. E., Lalikoglu, M., ... & Apak, R. (2022). Microwave-assisted extraction of antioxidant compounds from by-products of Turkish hazelnut (*Corylus avellana* L.) using natural deep eutectic solvents: Modeling, optimization and phenolic characterization. *Food Chemistry*, 385, 132633.
- Benvenutti, L., Zielinski, A. A. F., & Ferreira, S. R. S. (2022). Pressurized aqueous solutions of deep eutectic solvent (DES): A green emergent extraction of anthocyanins from a Brazilian berry processing by-product. *Food Chemistry: X*, 13, 100236.
- Borjan, D., Šeregelj, V., Andrejč, D. C., Pezo, L., Šaponjac, V. T., Knez, Ž., ... & Marevci, M. K. (2022). Green Techniques for preparation of red beetroot extracts with enhanced biological potential. *Antioxidants*, 11(5), 805.
- Bosiljkov, T., Dujmić, F., Bubalo, M. C., Hribar, J., Vidrih, R., Brnčić, M., ... & Jokić, S. (2017). Natural deep eutectic solvents and ultrasound-assisted extraction: Green approaches for extraction of wine lees anthocyanins. *Food and Bioproducts Processing*, 102, 195-203.
- Bubalo, M. C., Ćurko, N., Tomašević, M., Ganić, K. K., & Redovniković, I. R. (2016). Green extraction of grape skin phenolics by using deep eutectic solvents. *Food Chemistry*, 200, 159-166.
- Cai, Y. Z., Sun, M., & Corke, H. (2005). Characterization and application of betalain pigments from plants of the Amaranthaceae. *Trends in Food Science & Technology*, 16(9), 370-376.
- Calva-Estrada, S. J., Jiménez-Fernández, M., & Lugo-Cervantes, E. (2022). Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 4, 100089.
- Cardoso-Ugarte, G. A., Sosa-Morales, M. E., Ballard, T., Liceaga, A., & San Martín-González, M. F. (2014). Microwave-assisted extraction of betalains from redbeet (*Beta vulgaris*). *LWT-Food Science and Technology*, 59(1), 276-282.

- Carreón-Hidalgo, J. P., Franco-Vásquez, D. C., Gómez-Linton, D. R., & Pérez-Flores, L. J. (2022). Betalain plant sources, biosynthesis, extraction, stability enhancement methods, bioactivity, and applications. *Food Research International*, 151, 110821.
- Carreón-Hidalgo, J. P., Román-Guerrero, A., Navarro-Ocaña, A., Gómez-Linton, D. R., Franco-Vásquez, D. C., Franco-Vásquez, A. M., ... & Pérez-Flores, L. J. (2023). Chemical characterization of yellow-orange and purple varieties of *Opuntia ficus-indica* fruits and thermal stability of their betalains. *Journal of Food Science*, 88(1), 161-174.
- Castellanos-Santiago, E., & Yahia, E. M. (2008). Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14), 5758-5764.
- Ceclu, L., & Nistor, OV (2020). Beetroot: Composition and health effects—A review. *J Nutr. Med. Dietary Maintenance*, 6 (1), 1-9.
- Cermak, N.M., Gibala, M.J., Van Loon, L.J.C. 2012. Nitrate supplementation's improvement of 10-km time-trial performance in trained cyclists. *Int. J. Sports Nutr. Exerc.*, 22: 64–71.
- Chandran, J., Nisha, P., Singhal, R. S., & Pandit, A. B. (2014). Degradation of colour in beetroot (*Beta vulgaris* L.): a kinetics study. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 2678-2684.
- Chemat, F., & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813-835.
- Chemat, F., You, H. J., Muthukumar, K., & Murugesan, T. (2015). Effect of L-arginine on the physical properties of choline chloride and glycerol based deep eutectic solvents. *Journal of Molecular Liquids*, 212, 605-611.
- Chew, Y. M., Hung, C. H., & King, V. A. E. (2019). Accelerated storage test of betalains extracted from the peel of pitaya (*Hylocereus cacti*) fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1595-1600.
- Chhikara, N., Kushwaha, K., Sharma, P., Gat, Y., & Panghal, A. (2019). Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *Food Chemistry*, 272, 192-200.
- Choińska, R., Piasecka-Jóźwiak, K., Woźniak, Ł., Świder, O., Bartosiak, E., Bujak, M., & Roszko, M. Ł. (2022). Starter culture-related changes in free amino acids, biogenic amines profile, and antioxidant properties of fermented red beetroot grown in Poland. *Scientific Reports*, 12(1), 20063.
- Choo, W. S. (2019). Betalains: Application in functional foods. In *Bioactive molecules in food* (pp. 1471-1498). Springer, Cham.
- Clifford, T., Howatson, G., West, D. J., & Stevenson, E. J. (2015). The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*, 7(4), 2801-2822.
- Craveiro, R., Aroso, I., Flammia, V., Carvalho, T., Viciosa, M. T., Dionísio, M., ... & Paiva, A. (2016). Properties and thermal behavior of natural deep eutectic solvents. *Journal of Molecular Liquids*, 215, 534-540.
- Cui, Q., Liu, J. Z., Wang, L. T., Kang, Y. F., Meng, Y., Jiao, J., & Fu, Y. J. (2018). Sustainable deep eutectic solvents preparation and their efficiency in extraction and enrichment of main bioactive flavonoids from sea buckthorn leaves. *Journal of Cleaner Production*, 184, 826-835.
- Cui, R., Fei, Y., & Zhu, F. (2022). Physicochemical, structural and nutritional properties of steamed bread fortified with red beetroot powder and their changes during breadmaking process. *Food Chemistry*, 383, 132547.

- Cunha, S. C., & Fernandes, J. O. (2018). Extraction techniques with deep eutectic solvents. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 105, 225-239.
- Çalhan, S. D., & Ülger, M. (2018). Kolinklorür içeren bazı alçak ötektik çözücülerin antibakteriyel aktivitelerinin belirlenmesi. *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 11(2), 184-195.
- D'Agostino, C., Harris, R. C., Abbott, A. P., Gladden, L. F., & Mantle, M. D. (2011). Molecular motion and ion diffusion in choline chloride based deep eutectic solvents studied by ¹H pulsed field gradient NMR spectroscopy. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 13(48), 21383-21391.
- Dai, Y., Van Spronsen, J., Witkamp, G. J., Verpoorte, R., & Choi, Y. H. (2013a). Ionic liquids and deep eutectic solvents in natural products research: mixtures of solids as extraction solvents. *Journal of Natural Products*, 76(11), 2162-2173.
- Dai, Y., van Spronsen, J., Witkamp, G. J., Verpoorte, R., & Choi, Y. H. (2013b). Natural deep eutectic solvents as new potential media for green technology. *Analytica Chimica Acta*, 766, 61-68.
- Dai, Y., Witkamp, G. J., Verpoorte, R., & Choi, Y. H. (2015). Tailoring properties of natural deep eutectic solvents with water to facilitate their applications. *Food Chemistry*, 187, 14-19.
- Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (Eds.). *Colorants, betalains*, CRC press. 4. bs., New York 2007, s. 615-616.
- de Almeida Pontes, P. V., Shiwaku, I. A., Maximo, G. J., & Batista, E. A. C. (2021). Choline chloride-based deep eutectic solvents as potential solvent for extraction of phenolic compounds from olive leaves: Extraction optimization and solvent characterization. *Food Chemistry*, 352, 129346.
- de Souza, R. L. A., Santana, M. F., de Macedo, E., de Brito, E. S., & Correia, R. T. (2015). Physicochemical, bioactive and functional evaluation of the exotic fruits *Opuntia ficus-indica* and *Pilosocereus pachycladus* Ritter from the Brazilian caatinga. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 7329-7336.
- del Amo-Mateos, E., Fernández-Delgado, M., Lucas, S., López-Linares, J. C., García-Cubero, M. T., & Coca, M. (2023). Valorization of discarded red beetroot through the recovery of bioactive compounds and the production of pectin by surfactant-assisted microwave extraction. *Journal of Cleaner Production*, 135995.
- Delgado-Vargas, F., Jiménez, A. R., & 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.
- Demuner, A., Dias, A., Blank, D., Cerceau, C., Sousa, R., Reis, C., ... & Stringheta, P. (2023). Ultrasound-assisted extraction of active compounds from *Beta vulgaris* using deep eutectic solvents. *Food Science and Technology*, 43.
- Dima, C., Assadpour, E., Dima, S., & Jafari, S. M. (2020). Bioavailability and bioaccessibility of food bioactive compounds; overview and assessment by in vitro methods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 2862-2884.
- Doldolova, K., Bener, M., Lalikoğlu, M., Aşçı, Y. S., Arat, R., & Apak, R. (2021). Optimization and modeling of microwave-assisted extraction of curcumin and antioxidant compounds from turmeric by using natural deep eutectic solvents. *Food Chemistry*, 353, 129337.
- dos Santos Baião, D., de Oliveira Silva, F., d'El-Rei, J., Neves, M. F., Perrone, D., Del Aguila, E. M., & Paschoalin, V. M. F. A. (2018). New functional beetroot formulation enhances

- adherence to nitrate supplementation and health outcomes in clinical practice. *Journal of Food Science & Technology*, 484-498.
- Dos Santos, C. D., Ismail, M., Cassini, A. S., Marczak, L. D. F., Tessaro, I. C., & Farid, M. (2018). Effect of thermal and high pressure processing on stability of betalain extracted from red beet stalks. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 568-577.
- Duan, L., Zhang, C., Zhang, C., Xue, Z., Zheng, Y., & Guo, L. (2019). Green extraction of phenolic acids from *Artemisia argyi* leaves by tailor-made ternary deep eutectic solvents. *Molecules*, 24(15), 2842.
- El Achkar, T., Fourmentin, S., & Greige-Gerges, H. (2019). Deep eutectic solvents: An overview on their interactions with water and biochemical compounds. *Journal of Molecular Liquids*, 288, 111028.
- El Achkar, T., Greige-Gerges, H., & Fourmentin, S. (2021). Basics and properties of deep eutectic solvents: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(4), 3397-3408.
- Er, T. (2011). Kırmızı pancarın bazı fiziksel ve fitokimyasal özellikleri üzerine farklı kurutma sıcaklıklarının etkisi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya*.
- Esatbeyoglu, T., Wagner, A. E., Schini-Kerth, V. B., & Rimbach, G. (2015). Betanin—A food colorant with biological activity. *Molecular Nutrition & Food Research*, 59(1), 36-47.
- Faridah, A., Holinesti, R., & Syukri, D. (2015). Betalains from Red Pitaya Peel (*Hylocereus polyrhizus*): Extraction, Spectrophotometric & HPLC-DAD Identification, Bioactivity & Toxicity Screening. *Pakistan Journal of Nutrition*, 14(12), 976-982.
- Fathabadi, M., & Motevali, A. (2019). Investigation of different drying methods on color and shrinkage parameters in drying of red beetroot. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 16(95), 127-142.
- Fathordoobady, F., Singh, A., Kitts, D. D., & Pratap Singh, A. (2019). Hemp (*Cannabis Sativa* L.) extract: anti-microbial properties, methods of extraction, and potential oral delivery. *Food Reviews International*, 35(7), 664-684.
- Fernández-López, J. A., Almela, L., Obón, J. M., & Castellar, R. (2010). Determination of antioxidant constituents in cactus pear fruits. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(3), 253-259.
- Fernando, G. S. N., Wood, K., Papaioannou, E. H., Marshall, L. J., Sergeeva, N. N., & Boesch, C. (2021). Application of an ultrasound-assisted extraction method to recover betalains and polyphenols from red beetroot waste. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(26), 8736-8747.
- Ferreres, F., Grosso, C., Gil-Izquierdo, A., Valentão, P., Mota, A. T., & Andrade, P. B. (2017). Optimization of the recovery of high-value compounds from pitaya fruit by-products using microwave-assisted extraction. *Food Chemistry*, 230, 463-474.
- Florindo, C., Oliveira, F. S., Rebelo, L. P. N., Fernandes, A. M., & Marrucho, I. M. (2014). Insights into the synthesis and properties of deep eutectic solvents based on cholinium chloride and carboxylic acids. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2(10), 2416-2425.
- Florindo, C., Oliveira, M. M., Branco, L. C., & Marrucho, I. M. (2017). Carbohydrates-based deep eutectic solvents: Thermophysical properties and rice straw dissolution. *Journal of Molecular Liquids*, 247, 441-447.
- Fu, Y., Shi, J., Xie, S. Y., Zhang, T. Y., Soladoye, O. P., & Aluko, R. E. (2020). Red beetroot betalains: Perspectives on extraction, processing, and potential health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(42), 11595-11611.

- Gan, C. Y., Manaf, N. H. A., & Latiff, A. A. (2010). Physico-chemical properties of alcohol precipitate pectin-like polysaccharides from *Parkia speciosa* pod. *Food Hydrocolloids*, 24(5), 471-478.
- Gandía-Herrero, F., Escribano, J., & García-Carmona, F. (2016). Biological activities of plant pigments betalains. *Critical reviews in Food Science and Nutrition*, 56(6), 937-945.
- Gano, Z. S., Mjalli, F. S., Al-Wahaibi, T., Al-Wahaibi, Y., & AlNashef, I. M. (2015). Extractive desulfurization of liquid fuel with FeCl₃-based deep eutectic solvents: experimental design and optimization by central-composite design. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 93, 10-20.
- García, A., Rodríguez-Juan, E., Rodríguez-Gutiérrez, G., Rios, J. J., & Fernández-Bolaños, J. (2016). Extraction of phenolic compounds from virgin olive oil by deep eutectic solvents (DESS). *Food Chemistry*, 197, 554-561.
- Gengatharan, A., Dykes, G. A., & Choo, W. S. (2015). Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. *LWT-Food Science and Technology*, 64(2), 645-649.
- Georgiev, V. G., Weber, J., Kneschke, E. M., Denev, P. N., Bley, T., & Pavlov, A. I. (2010). Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the red beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit dark red. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(2), 105-111.
- Georgiev, V., Ilieva, M., Bley, T., & Pavlov, A. (2008). Betalain production in plant in vitro systems. *Acta Physiologica Plantarum*, 30(5), 581-593.
- Ghaedi, H., Ayoub, M., Sufian, S., Lal, B., & Uemura, Y. (2017b). Thermal stability and FT-IR analysis of Phosphonium-based deep eutectic solvents with different hydrogen bond donors. *Journal of Molecular Liquids*, 242, 395-403.
- Ghaedi, H., Ayoub, M., Sufian, S., Shariff, A. M., & Lal, B. (2017a). The study on temperature dependence of viscosity and surface tension of several Phosphonium-based deep eutectic solvents. *Journal of Molecular Liquids*, 241, 500-510.
- Giampaoli, O., Ieno, C., Sciubba, F., Spagnoli, M., Miccheli, A., Tomassini, A., ... & Fattorini, L. (2023). Metabolic Biomarkers of Red Beetroot Juice Intake at Rest and after Physical Exercise. *Nutrients*, 15(9), 2026.
- Gilchrist, M., Winyard, P.G., Fulford, J., Anning, C., Shore, A.C., Benjamin, N. 2014. Dietary nitrate supplementation improves reaction time in type 2 diabetes: Development and application of a novel nitrate-depleted beetroot juice placebo. *Nitric Oxide*, 40:67–74.
- Gitti, Ü. B. (2019). *Karakavak yongalarından derin ötektik çözücü kullanılarak kağıt hamuru üretimi* (Master's thesis, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Gliszczyńska-Świątło, A., Szymusiak, H., & Malinowska, P. (2006). Betanin, the main pigment of red beet: Molecular origin of its exceptionally high free radical-scavenging activity. *Food Additives and Contaminants*, 23(11), 1079-1087.
- Gokhale, S. V., & Lele, S. S. (2011). Dehydration of red beet root (*Beta vulgaris*) by hot air drying: Process optimization and mathematical modeling. *Food Science and Biotechnology*, 20(4), 955.
- Gokhale, S. V., & Lele, S. S. (2014). Betalain content and antioxidant activity of *Beta vulgaris*: effect of hot air convective drying and storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 585-590.
- Gómez-López, I., Lobo-Rodrigo, G., Portillo, M. P., & Cano, M. P. (2021). Ultrasound-Assisted “Green” Extraction (UAE) of Antioxidant Compounds (Betalains and Phenolics) from *Opuntia stricta* var. Dillenii's Fruits: Optimization and Biological Activities. *Antioxidants*, 10(11), 1786.

- Gómez, A. V., Tadini, C. C., Biswas, A., Buttrum, M., Kim, S., Boddu, V. M., & Cheng, H. N. (2019). Microwave-assisted extraction of soluble sugars from banana puree with natural deep eutectic solvents (NADES). *Lwt*, 107, 79-88.
- Gomez, F. J., Espino, M., Fernández, M. A., & Silva, M. F. (2018). A greener approach to prepare natural deep eutectic solvents. *Chemistry Select*, 3(22), 6122-6125.
- González, C. G., Mustafa, N. R., Wilson, E. G., Verpoorte, R., & Choi, Y. H. (2018). Application of natural deep eutectic solvents for the “green” extraction of vanillin from vanilla pods. *Flavour and Fragrance Journal*, 33(1), 91-96.
- Guaadaoui, A., Saddik, R., Bouali, A., Boukhatem, N., Benchat, N. E., & Hamal, A. (2014). Betalains, polyacetylenes and tocopherols as bioactive compounds: a concise review for enriching the bioactivity concept. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(4), 230.
- Guimarães, T. G., Andrade, D. F., Santana, A. P., Moser, P., Ferreira, S. S., Menezes, I. M., ... & Gonzalez, M. H. (2022). Mixture design and physicochemical characterization of amino acid-based DEEP eutectic solvents (AADES) for sample preparation prior to elemental analysis. *Journal of Molecular Liquids*, 345, 117887.
- Guldiken, B., Toydemir, G., Nur Memis, K., Okur, S., Boyacioglu, D., & Capanoglu, E. (2016). Home-processed red beetroot (*Beta vulgaris* L.) products: Changes in antioxidant properties and bioaccessibility. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(6), 858.
- Guo, N., Jiang, Y. W., Wang, L. T., Niu, L. J., Liu, Z. M., & Fu, Y. J. (2019). Natural deep eutectic solvents couple with integrative extraction technique as an effective approach for mulberry anthocyanin extraction. *Food Chemistry*, 296, 78-85.
- Gutierrez, M. C., Ferrer, M. L., Mateo, C. R., & del Monte, F. (2009). Freeze-drying of aqueous solutions of deep eutectic solvents: a suitable approach to deep eutectic suspensions of self-assembled structures. *Langmuir*, 25(10), 5509-5515.
- Hadipour, E., Taleghani, A., Tayarani-Najaran, N., & Tayarani-Najaran, Z. (2020). Biological effects of red beetroot and betalains: A review. *Phytotherapy Research*, 34(8), 1847-1867.
- Haghighbakhsh, R., Bardool, R., Bakhtyari, A., Duarte, A. R. C., & Raeissi, S. (2019). Simple and global correlation for the densities of deep eutectic solvents. *Journal of Molecular Liquids*, 296, 111830.
- Hamouia, R. (2018). *Kırmızı pancar (beta vulgaris l.) turşusu üretimi süresince renk ve antioksidan özelliklerdeki değişim* (Master's thesis, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Haq, H. U., Balal, M., Castro-Muñoz, R., Hussain, Z., Safi, F., Ullah, S., & Boczkaj, G. (2021). Deep eutectic solvents based assay for extraction and determination of zinc in fish and eel samples using FAAS. *Journal of Molecular Liquids*, 333, 115930.
- Hayek SA, Ibrahim SA. "Antimicrobial activity of xocnostle pears (*Opuntia matudae*) against *Escherichia coli* O157:H7 in laboratory medium". *International Journal of Microbiology*, 2012, 1-6, 2012.
- Hayyan, A., Mjalli, F. S., AlNashef, I. M., Al-Wahaibi, Y. M., Al-Wahaibi, T., & Hashim, M. A. (2013). Glucose-based deep eutectic solvents: Physical properties. *Journal of Molecular Liquids*, 178, 137-141.
- Hayyan, M., Aissaoui, T., Hashim, M. A., AlSaadi, M. A., & Hayyan, A. (2015). Triethylene glycol based deep eutectic solvents and their physical properties. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 50, 24-30.

- Herbach, K. M., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2006). Betalain stability and degradation—structural and chromatic aspects. *Journal of Food Science*, 71(4), R41-R50.
- Hernández-Aguirre, O. A., Muro, C., Hernández-Acosta, E., Alvarado, Y., & Díaz-Nava, M. D. C. (2021). Extraction and stabilization of betalains from beetroot (*Beta vulgaris*) wastes using deep eutectic solvents. *Molecules*, 26(21), 6342.
- Hidalgo, A., Brandolini, A., Čanadanović-Brunet, J., Četković, G., & Šaponjac, V. T. (2018). Microencapsulates and extracts from red beetroot pomace modify antioxidant capacity, heat damage and colour of pseudocereals-enriched einkorn water biscuits. *Food Chemistry*, 268, 40-48.
- Huang, Y., Feng, F., Jiang, J., Qiao, Y., Wu, T., Voglmeir, J., & Chen, Z. G. (2017). Green and efficient extraction of rutin from tartary buckwheat hull by using natural deep eutectic solvents. *Food Chemistry*, 221, 1400-1405.
- Ibrahim, R. K., Hayyan, M., AlSaadi, M. A., Ibrahim, S., Hayyan, A., & Hashim, M. A. (2019). Physical properties of ethylene glycol-based deep eutectic solvents. *Journal of Molecular Liquids*, 276, 794-800.
- Ivanović, M., Alañón, M. E., Arráez-Román, D., & Segura-Carretero, A. (2018). Enhanced and green extraction of bioactive compounds from *Lippia citriodora* by tailor-made natural deep eutectic solvents. *Food Research International*, 111, 67-76.
- Jafari, K., Fatemi, M. H., & Lugo, L. (2022). An experimental study of novel nanofluids based on deep eutectic solvents (DESs) by Choline chloride and ethylene glycol. *Journal of Molecular Liquids*, 360, 119521.
- Jamróz, E., Kulawik, P., Guzik, P., & Duda, I. (2019). The verification of intelligent properties of furcellaran films with plant extracts on the stored fresh Atlantic mackerel during storage at 2 C. *Food Hydrocolloids*, 97, 105211.
- Janiszewska, E. (2014). Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. *Powder Technology*, 264, 190-196.
- Jiang, Y., Du, Y., Zhu, X., Xiong, H., Woo, M. W., & Hu, J. (2012). Physicochemical and comparative properties of pectins extracted from *Akebia trifoliata* var. *australis* peel. *Carbohydrate polymers*, 87(2), 1663-1669.
- Jin, Y., Hu, D., Chen, Q., Shi, C., Ye, J., Dai, Z., & Lu, Y. (2023). Water-based green and sustainable extraction protocols for value-added compounds from natural resources. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 100757.
- Kale, R., Sawate, A. R., Kshirsagar, R., Patil, B., & Mane, R. (2018). Studies on evaluation of physical and chemical composition of beetroot (*Beta vulgaris* L.). *International Journal of Chemical Studies*, 6(2), 2977-2979.
- Kanner, J., Harel, S., & Granit, R. (2001). Betalains a new class of dietary cationized antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5178-5185.
- Kantar, N. K., Yılmaz, M. S., Yakan, A. İ., & Demirkol, Ö. Ş. (2021). Gıdalardan biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonunda derin ötektik çözücülerin kullanımı. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 591-597.
- Kareem, M. A., Mjalli, F. S., Hashim, M. A., & AlNashef, I. M. (2010). Phosphonium-based ionic liquids analogues and their physical properties. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 55(11), 4632-4637.
- Kayın, N. (2014). Farklı sıcaklıklarda depolanan kırmızı pancar (*Beta vulgaris*) suyu konsantresinin renk stabilitesinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Kazimierczak, R., Hallmann, E., Lipowski, J., Drela, N., Kowalik, A., Püssa, T., ... & Rembiałkowska, E. (2014). Beetroot (*Beta vulgaris* L.) and naturally fermented beetroot juices from organic and conventional production: metabolomics, antioxidant levels and anticancer activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(13), 2618-2629.
- Kezi, J., & Sumathy, J. H. (2014). Betalain-a boon to the food industry. *Discov*, 20, 51-58.
- Khajavian, M., Vatanpour, V., Castro-Muñoz, R., & Boczkaj, G. (2022). Chitin and derivative chitosan-based structures—Preparation strategies aided by deep eutectic solvents: A review. *Carbohydrate Polymers*, 275, 118702.
- Khan, M. I. (2016). Plant betalains: Safety, antioxidant activity, clinical efficacy, and bioavailability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 316-330. [h](#)
- Khatabi, O., Hanine, H., Elothmani, D., & Hasib, A. (2016). Extraction and determination of polyphenols and betalain pigments in the Moroccan Prickly pear fruits (*Opuntia ficus indica*). *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S278-S281.
- Klewicka, E., & Czyzowska, A. (2011). Biological stability of lactofermented beetroot juice during refrigerated storage. *Polish journal of Food and Nutrition Sciences*, 61(4).
- Kongpol, K., Sermkaew, N., Makkliang, F., Khongphan, S., Chuaboon, L., Sakdamas, A., ... & Yusakul, G. (2022). Extraction of curcuminoids and ar-turmerone from turmeric (*Curcuma longa* L.) using hydrophobic deep eutectic solvents (HDESs) and application as HDES-based microemulsions. *Food Chemistry*, 396, 133728.
- Koss-Mikołajczyk, I., Kusznerewicz, B., Wiczowski, W., Sawicki, T., & Bartoszek, A. (2019). The comparison of betalain composition and chosen biological activities for differently pigmented prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) and beetroot (*Beta vulgaris*) varieties. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 70(4), 442-452.
- Kovarovič, J., Bystrická, J., Tomáš, J., & Lenková, M. (2017). The influence of variety on the content of bioactive compounds in beetroot (*Beta vulgaris* L.). *Potravinárstvo: Slovak Journal of Food Sciences*, 11(1), 106-112.
- Kugler, F., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2007). Characterisation of betalain patterns of differently coloured inflorescences from *Gomphrena globosa* L. and *Bougainvillea* sp. by HPLC–DAD–ESI–MS n. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 387(2), 637-648.
- Kujala, T. S., Vienola, M. S., Klika, K. D., Loponen, J. M., & Pihlaja, K. (2002). Betalain and phenolic compositions of four beetroot (*Beta vulgaris*) cultivars. *European Food Research and Technology*, 214, 505-510.
- Kumar, R., Oruna-Concha, M. J., Methven, L., & Niranjana, K. (2023). Modelling extraction kinetics of betalains from freeze dried beetroot powder into aqueous ethanol solutions. *Journal of Food Engineering*, 339, 111266.
- Kumar, S. S., Chauhan, A. S., & Giridhar, P. (2020). Nanoliposomal encapsulation mediated enhancement of betalain stability: Characterisation, storage stability and antioxidant activity of *Basella rubra* L. fruits for its applications in vegan gummy candies. *Food Chemistry*, 333, 127442.
- Kumar, S., & Brooks, M. S. L. (2018). Use of red beet (*Beta vulgaris* L.) for antimicrobial applications—a critical review. *Food and Bioprocess Technology*, 11(1), 17-42.
- Kushwaha, R., Kumar, V., Vyas, G., & Kaur, J. (2018). Optimization of different variable for eco-friendly extraction of betalains and phytochemicals from beetroot pomace. *Waste and Biomass Valorization*, 9, 1485-1494.
- Kutlu, N., Yeşilören, G., Aslı, İ. Ş. C. İ., & Şakıyan, Ö. (2017). Konvansiyonel ekstraksiyona alternatif: yeşil teknolojiler. *Gıda*, 42(5), 514-526.

- Laqui-Vilca, C., Aguilar-Tuesta, S., Mamani-Navarro, W., Montano-Bustamante, J., & Condezo-Hoyos, L. (2018). Ultrasound-assisted optimal extraction and thermal stability of betalains from colored quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) hulls. *Industrial Crops and Products*, 111, 606-614.
- Lee, J. H., Son, C. W., Kim, M. Y., Kim, M. H., Kim, H. R., Kwak, E. S., ... & Kim, M. R. (2009). Redbeet (*Beta vulgaris* L.) leaf supplementation improves antioxidant status in C57BL/6J mice fed high fat high cholesterol diet. *Nutrition research and practice*, 3(2), 114-121.
- Lembong, E., Utama, G. L., & Saputra, R. A. (2019, July). Phytochemical test, vitamin C content and antioxidant activities beet root (*Beta vulgaris* Linn.) extracts as food coloring agent from some areas in Java Island. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 306, No. 1, p. 012010). IOP Publishing.
- Li, X., & Row, K. H. (2016). Development of deep eutectic solvents applied in extraction and separation. *Journal of Separation Science*, 39(18), 3505-3520.
- Liu, L., Fang, H., Wei, Q., & Ren, X. (2023). Extraction performance evaluation of amide-based deep eutectic solvents for carboxylic acid: Molecular dynamics simulations and a mini-pilot study. *Separation and Purification Technology*, 304, 122360.
- Liu, W., Zhang, K., Chen, J., & Yu, J. (2018). Ascorbic acid and choline chloride: A new natural deep eutectic solvent for extracting tert-butylhydroquinone antioxidant. *Journal of Molecular Liquids*, 260, 173-179.
- Liu, Y., Li, J., Fu, R., Zhang, L., Wang, D., & Wang, S. (2019). Enhanced extraction of natural pigments from *Curcuma longa* L. using natural deep eutectic solvents. *Industrial Crops and Products*, 140, 111620.
- Loginova, K. V., Lebovka, N. I., & Vorobiev, E. (2011). Pulsed electric field assisted aqueous extraction of colorants from red beet. *Journal of Food Engineering*, 106(2), 127-133.
- Lomba, L., García, C., Ribate, P., Giner, B., Zuriaga, E. (2021). Applications of Deep Eutectic Solvents Related to Health, Synthesis, and Extraction of Natural Based Chemicals. *Appl. Sci.* 11(21), 10156.
- López, N., Puértolas, E., Condón, S., Raso, J., & Alvarez, I. (2009). Enhancement of the extraction of betanine from red beetroot by pulsed electric fields. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 60-66.
- Lynam, J. G., Kumar, N., & Wong, M. J. (2017). Deep eutectic solvents' ability to solubilize lignin, cellulose, and hemicellulose; thermal stability; and density. *Bioresource Technology*, 238, 684-689.
- Madadi, E., Mazloun-Ravasan, S., Yu, J. S., Ha, J. W., Hamishehkar, H., & Kim, K. H. (2020). Therapeutic application of betalains: A review. *Plants*, 9(9), 1219.
- Manchali, S., Murthy, K. N. C., Nagaraju, S., & Neelwarne, B. (2012). Stability of betalain pigments of red beet. *Red Beet Biotechnology: Food and Pharmaceutical Applications*, 55-74.
- Mandale, N. M., Attkan, A. K., Kumar, S., & Kumar, N. (2023). Drying kinetics and quality assessment of refractance window dried beetroot. *Journal of Food Process Engineering*, e14332.
- Maran, J. P., & Manikandan, S. (2012). Response surface modeling and optimization of process parameters for aqueous extraction of pigments from prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit. *Dyes and Pigments*, 95(3), 465-472.
- Maran, J. P., & Priya, B. (2015). Natural pigments extraction from *Basella rubra* L. fruits by ultrasound-assisted extraction combined with Box-Behnken response surface design. *Separation Science and Technology*, 50(10), 1532-1540.

- Maran, J. P., Manikandan, S., & Mekala, V. (2013). Modeling and optimization of betalain extraction from *Opuntia ficus-indica* using Box–Behnken design with desirability function. *Industrial Crops and Products*, 49, 304-311.
- Martínez, L., Cilla, I., Beltrán, J. A., & Roncalés, P. (2006). Comparative effect of red yeast rice (*Monascus purpureus*), red beet root (*Beta vulgaris*) and betanin (E-162) on colour and consumer acceptability of fresh pork sausages packaged in a modified atmosphere. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(4), 500-508.
- Martins, N., Roriz, C. L., Morales, P., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2017). Coloring attributes of betalains: A key emphasis on stability and future applications. *Food & Function*, 8(4), 1357-1372.
- Melgar, B., Dias, M. I., Barros, L., Ferreira, I. C., Rodriguez-Lopez, A. D., & Garcia-Castello, E. M. (2019). Ultrasound and microwave assisted extraction of *Opuntia* fruit peels biocompounds: Optimization and comparison using RSM-CCD. *Molecules*, 24(19), 3618.
- Mello, F. R. D., Bernardo, C., Dias, C. O., Gonzaga, L., Amante, E. R., Fett, R., & Candido, L. M. B. (2014). Antioxidant properties, quantification and stability of betalains from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. *Ciência Rural*, 45, 323-328.
- Mendoza Llamas, E. J., Díaz Rojas, G. L., & Vidaurre Ruiz, J. M. (2015). Cinética De La Degradación De Betalainas Y Fenoles Totales Durante La Cocción De La Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*; Vol. 2 Núm. 2.
- Miraj, S. 2016. Chemistry and pharmacological effect of *Beta vulgaris*: A systematic review. *Der Pharmacia Lettre*, 8:404–409.
- Mišan, A., Nađpal, J., Stupar, A., Pojić, M., Mandić, A., Verpoorte, R., & Choi, Y. H. (2020). The perspectives of natural deep eutectic solvents in agri-food sector. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(15), 2564-2592.
- Mjalli, F. S., & Naser, J. (2015). Viscosity model for choline chloride-based deep eutectic solvents. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 10(2), 273-281.
- Mohamed, E. E., Iwamoto, S., & Yamauchi, R. (2018). Optimization of betalain extraction from *Salicornia fruticosa* and its encapsulation. *J Agroatment Process Technol*, 24, 1-8.
- Mohammed, A. N., Ishwarya, S. P., & Nisha, P. (2021). Nanoemulsion versus microemulsion systems for the encapsulation of beetroot extract: Comparison of physicochemical characteristics and betalain stability. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 133-150.
- Moreno, D. A., García-Viguera, C., Gil, J. I., & Gil-Izquierdo, A. (2008). Betalains in the era of global agri-food science, technology and nutritional health. *Phytochemistry Reviews*, 7, 261-280.
- Mudgal, D. (2022). Nutritional composition and value added products of beetroot: A review. *Journal of Current Research in Food Science*, 3(1), 01-09.
- Mutlu, E. (2018). Sakarya’da Yetişen Fındıklarda Bazı Ağır Metallerin Tayini Ve Biyoerişilebilirliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Naseer, S., Hussain, S., & Abid, A. (2019). Betalain as a Food Colorant: its Sources, Chemistry and Health Benefits: Chemistry of Betalain and its Role as Food Colorant. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: B. Life and Environmental Sciences*, 56(2), 01-08.
- Neelwarne, B. (Ed.). (2012). *Red beet biotechnology: food and pharmaceutical applications*. Springer Science & Business Media.

- Neelwarne, B., & Halagur, S. B. (2013). Red beet: an overview. *Red Beet Biotechnology*, 1-43.
- Nemzer, B., Pietrkowski, Z., Spórna, A., Stalica, P., Thresher, W., Michałowski, T., & Wybraniec, S. (2011). Betalainic and nutritional profiles of pigment-enriched red beet root (*Beta vulgaris* L.) dried extracts. *Food Chemistry*, 127(1), 42-53.
- Nirmal, N. P., Mereddy, R., & Maqsood, S. (2021). Recent developments in emerging technologies for beetroot pigment extraction and its food applications. *Food Chemistry*, 356, 129611.
- Nisha, A., Sankar, K. U., & Venkateswaran, G. (2012). Supercritical CO₂ extraction of *Mortierella alpina* single cell oil: Comparison with organic solvent extraction. *Food Chemistry*, 133(1), 220-226.
- Nistor, O. V., Seremet, L., Andronoiu, D. G., Rudi, L., & Botez, E. (2017). Influence of different drying methods on the physicochemical properties of red beetroot (*Beta vulgaris* L. var. *Cylindra*). *Food Chemistry*, 236, 59-67.
- Niş, B. (2019). *Atık biyokütlenin farklı koşullarda etkili hidroliz ve dönüşümünün araştırılması* (Master's thesis, Bursa Teknik Üniversitesi).
- Nobari, H., Saedmocheshi, S., Johnson, K., Suzuki, K., & Maynar-Mariño, M. (2022). A brief overview of the effects of exercise and red beets on the immune system in patients with prostate cancer. *Sustainability*, 14(11), 6492.
- Nottingham, S. F. (2004). Beetroot. Stephen Nottingham's meticulously researched. online book.
- Nowacka, M., Tappi, S., Wiktor, A., Rybak, K., Miszczykowska, A., Czyzewski, J., ... & Tylewicz, U. (2019). The impact of pulsed electric field on the extraction of bioactive compounds from beetroot. *Foods*, 8(7), 244.
- Nunes, A. N., Do Carmo, C. S., & Duarte, C. M. (2015). Production of a natural red pigment derived from *Opuntia* spp. using a novel high pressure CO₂ assisted-process. *RSC Advances*, 5(101), 83106-83114.
- Olumese, F. E., & Oboh, H. A. (2016). Antioxidant and Antioxidant capacity of raw and processed Nigerian Beetroot (*Beta vulgaris*). *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*, 24(1), 35-40.
- Omar, K. A., & Sadeghi, R. (2022). Physicochemical properties of deep eutectic solvents: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 119524.
- Otegbayo, B. O., Akwa, I. M., & Tanimola, A. R. (2020). Physico-chemical properties of beetroot (*Beta vulgaris* L.) wine produced at varying fermentation days. *Scientific African*, 8, e00420.
- Ozdemir, T., & Ozcan, T. (2020). Effect of steviol glycosides as sugar substitute on the probiotic fermentation in milk gels enriched with red beetroot (*Beta vulgaris* L.) bioactive compounds. *Lwt*, 134, 109851.
- Ozturk, B., Parkinson, C., & Gonzalez-Miquel, M. (2018). Extraction of polyphenolic antioxidants from orange peel waste using deep eutectic solvents. *Separation and Purification Technology*, 206, 1-13.
- Özcan, K., & Bilek, S. E. (2018). Kırmızı Pancardan Renk Maddesi Üretimi ve Stabilitésinin Sağlanması. *Akademik Gıda*, 16(4), 439-449.
- Özyurt, V. H., SARALI, H., & Ötleş, S. (2019). Betalain ekstraktlarının gıdalarda kullanım olanakları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(7), 864-870.

- Paciulli, M., Medina-Meza, I. G., Chiavaro, E., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2016). Impact of thermal and high pressure processing on quality parameters of beetroot (*Beta vulgaris* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 68, 98-104.
- Paliwal, H., Goyal, S., Singla, S., & Daksh, S. (2016). Pigments from natural sources: An overview. *International Journal of Research in Pharmacy and Pharmaceutical Sciences (IJRPPS)*, 1(3), 1-12.
- Palos-Hernández, A., Fernández, M. Y. G., Burrieza, J. E., Pérez-Iglesias, J. L., & González-Paramás, A. M. (2022). Obtaining green extracts rich in phenolic compounds from underexploited food by-products using natural deep eutectic solvents. Opportunities and challenges. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 29, 100773.
- Panghal, A., VirKAr, K., KumAr, V., Dhull, S. B., Gat, Y., & Chhikara, N. (2017). Development of probiotic beetroot drink. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 5(3).
- Panić, M., Gunjević, V., Cravotto, G., & Redovniković, I. R. (2019). Enabling technologies for the extraction of grape-pomace anthocyanins using natural deep eutectic solvents in up-to-half-litre batches extraction of grape-pomace anthocyanins using NADES. *Food Chemistry*, 300, 125185.
- Pätzold, M., Siebenhaller, S., Kara, S., Liese, A., Syltatk, C., & Holtmann, D. (2019). Deep eutectic solvents as efficient solvents in biocatalysis. *Trends in Biotechnology*, 37(9), 943-959.
- Pérez-Loredo, M. G., Jesús, H. D., & Barragán-Huerta, B. E. (2017). Extracción de compuestos bioactivos de pitaya roja (*Stenocereus stellatus*) aplicando pretratamientos con microondas, ultrasonido y enzimáticos. *Agrociencia*, 51(2), 135-151.
- Piasna-Słupecka, E., Leszczyńska, T., Drozdowska, M., Dziadek, K., Domagała, B., Domagała, D., & Koronowicz, A. (2023). Young Shoots of Red Beet and the Root at Full Maturity Inhibit Proliferation and Induce Apoptosis in Breast Cancer Cell Lines. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8), 6889.
- Pietrkowski, Z., Nemzer, B., Spórna, A., Stalica, P., Tresher, W., Keller, R., Jimenez, R., Michalowski, T., Wybraniec, S. 2010. Influence of betalin-rich extracts on reduction of discomfort associated with osteoarthritis. *New. Med.* 1: 12–17.
- Poiana, D. S. S., & Druga, M. (2022). Antioxidant properties evaluation of some red beet based fresh juices. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 28(3), 243-247.
- Prajapati, R. A., & Jadeja, G. C. (2023). Optimization of ultrasound-assisted deep eutectic solvent extraction of betanin and its application in chitosan-based biofilm. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-13.
- Punia Bangar, S., Singh, A., Chaudhary, V., Sharma, N., & Lorenzo, J. M. (2022). Beetroot as a novel ingredient for its versatile food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-25.
- Qin, H., Oweyung, R. E., Sonkusale, S. R., & Panzer, M. J. (2019). Highly stretchable and nonvolatile gelatin-supported deep eutectic solvent gel electrolyte-based ionic skins for strain and pressure sensing. *Journal of Materials Chemistry C*, 7(3), 601-608.
- Radošević, K., Bubalo, M. C., Srček, V. G., Grgas, D., Dragičević, T. L., & Redovniković, I. R. (2015). Evaluation of toxicity and biodegradability of choline chloride based deep eutectic solvents. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112, 46-53.
- Ravichandran, K., Saw, N. M. M. T., Mohdaly, A. A., Gabr, A. M., Kastell, A., Riedel, H., ... & Smetanska, I. (2013). Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. *Food Research International*, 50(2), 670-675.

- Rebecca, L. J., Sharmila, S., Das, M. P., & Seshiah, C. (2014). Extraction and purification of carotenoids from vegetables. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(4), 594-598.
- Reddy, M.K., Alexander-Lindo, R.L. and Nair, M.G. 2005. Relative inhibition of lipid peroxidation, cyclooxygenase enzymes, and human tumor cell proliferation by natural food colors, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(23):9268–9273.
- Reynoso, R., Garcia, F. A., Morales, D., & Gonzalez de Mejia, E. (1997). Stability of betalain pigments from a cactacea fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(8), 2884-2889.
- Righi Pessoa da Silva, H., da Silva, C., & Bolanho, B. C. (2018). Ultrasonic-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Food Process Engineering*, 41(6), e12833.
- Robert, P., Torres, V., García, P., Vergara, C., & Sáenz, C. (2015). The encapsulation of purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) pulp by using polysaccharide-proteins as encapsulating agents. *LWT-Food Science and Technology*, 60(2), 1039-1045.
- Rodriguez Rodriguez, N., van den Bruinhorst, A., Kollau, L. J., Kroon, M. C., & Binnemans, K. (2019). Degradation of deep-eutectic solvents based on choline chloride and carboxylic acids. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(13), 11521-11528.
- Ruggeri, S., Poletti, F., Zanardi, C., Pigani, L., Zanfognini, B., Corsi, E., ... & Terzi, F. (2019). Chemical and electrochemical properties of a hydrophobic deep eutectic solvent. *Electrochimica Acta*, 295, 124-129.
- Russo, F., Tiecco, M., Galiano, F., Mancuso, R., Gabriele, B., & Figoli, A. (2022). Launching deep eutectic solvents (DESSs) and natural deep eutectic solvents (NADESs), in combination with different harmless co-solvents, for the preparation of more sustainable membranes. *Journal of Membrane Science*, 649, 120387.
- Salvia-Trujillo, L., & McClements, D. J. (2016). Enhancement of lycopene bioaccessibility from tomato juice using excipient emulsions: Influence of lipid droplet size. *Food Chemistry*, 210, 295-304.
- Sanchez-Gonzalez, N., Jaime-Fonseca, M. R., San Martin-Martinez, E., & Zepeda, L. G. (2013). Extraction, stability, and separation of betalains from *Opuntia joconostle* cv. using response surface methodology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(49), 11995-12004.
- Santana, A. P., Mora-Vargas, J. A., Guimaraes, T. G., Amaral, C. D., Oliveira, A., & Gonzalez, M. H. (2019). Sustainable synthesis of natural deep eutectic solvents (NADES) by different methods. *Journal of Molecular Liquids*, 293, 111452.
- Sarjuna, K., & Ilangeswaran, D. (2020). Preparation of some zinc chloride based deep eutectic solvents and their characterization. *Materials Today: Proceedings*, 33, 2767-2770.
- Savi, L. K., Carpiné, D., Waszczynskyj, N., Ribani, R. H., & Haminiuk, C. W. I. (2019). Influence of temperature, water content and type of organic acid on the formation, stability and properties of functional natural deep eutectic solvents. *Fluid Phase Equilibria*, 488, 40-47.
- Sawicki, T., Bączek, N., & Wiczkowski, W. (2016). Betalain profile, content and antioxidant capacity of red beetroot dependent on the genotype and root part. *Journal of Functional Foods*, 27, 249-261.
- Serris, G. S., & Biliaderis, C. G. (2001). Degradation kinetics of beetroot pigment encapsulated in polymeric matrices. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(8), 691-700.

- Singh, A., Ganesapillai, M., & Gnanasundaram, N. (2017, November). Optimizaton of extraction of betalain pigments from beta vulgaris peels by microwave pretreatment. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 263, No. 3, p. 032004). IOP Publishing.
- Slatnar, A., Stampar, F., Veberic, R., & Jakopic, J. (2015). HPLC-MSn identification of betalain profile of different beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) parts and cultivars. *Journal of Food Science*, 80(9), C1952-C1958.
- Slavov, A., Karagyozev, V., Denev, P., Kratchanova, M., & Kratchanov, C. (2013). Antioxidant activity of red beet juices obtained after microwave and thermal pretreatments. *Czech Journal of Food Sciences*, 31(2), 139-147.
- Smith, E. L., Abbott, A. P., & Ryder, K. S. (2014). Deep eutectic solvents (DESs) and their applications. *Chemical reviews*, 114(21), 11060-11082.
- Sokołowska, B., Woźniak, Ł., Skąpska, S., Porębska, I., Nasiłowska, J., & Rzoska, S. J. (2017). Evaluation of quality changes of beetroot juice after high hydrostatic pressure processing. *High Pressure Research*, 37(2), 214-222.
- Souci, S. W., Fachmann, W., & Kraut, H. (2000). *Food composition and nutrition tables* (No. Ed. 6). Medpharm GmbH Scientific Publishers.
- Stintzing FC, Carle R. (2007). "Betalains -emerging prospects for food scientists". *Trends in Food Science and Technology*, 18(10), 514-525.
- Stintzing, F. C., Kammerer, D., Schieber, A., Adama, H., Nacoulma, O. G., & Carle, R. (2004). Betacyanins and phenolic compounds from *Amaranthus spinosus* L. and *Boerhavia erecta* L. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 59(1-2), 1-8.
- Straus, S., Bavec, F., Turinek, M., Slatnar, A., Rozman, C., & Bavec, M. (2012). Nutritional value and economic feasibility of red beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* Rote Kugel) from different production systems. *African Journal of Agricultural Research*, 7(42), 5653-5660.
- Suopajarvi, T., Ricci, P., Karvonen, V., Ottolina, G., & Liimatainen, H. (2020). Acidic and alkaline deep eutectic solvents in delignification and nanofibrillation of corn stalk, wheat straw, and rapeseed stem residues. *Industrial Crops and Products*, 145, 111956.
- Székely, D., & Máté, M. (2022). Red Beetroot (*Beta Vulgaris* L.). In *Advances in Root Vegetables Research*. IntechOpen.
- Tabio-García, D., Paraguay-Delgado, F., Sánchez-Madrigal, M. Á., Quintero-Ramos, A., Espinoza-Hicks, J. C., Meléndez-Pizarro, C. O., ... & Espitia-Rangel, E. (2021). Optimisation of the ultrasound-assisted extraction of betalains and polyphenols from *Amaranthus hypochondriacus* var. Nutrisol. *Ultrasonics Sonochemistry*, 77, 105680.
- Tang, B., & Row, K. H. (2013). Recent developments in deep eutectic solvents in chemical sciences. *Monatshefte für Chemie-Chemical Monthly*, 144, 1427-1454.
- Tekin, E., Türe, H., Mazi, IB., (2018). "Sıcaklık, askorbik asit ve pH'nın kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L.) betasiyaninlerinin bozunma kinetiği üzerine etkilerinin incelenmesi". *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(2), 217-232.
- Thirugnanasambandham, K., & Sivakumar, V. (2017). Microwave assisted extraction process of betalain from dragon fruit and its antioxidant activities. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 41-48.
- Thiruvengadam, M., Chung, I. M., Samynathan, R., Chandar, S. H., Venkidasamy, B., Sarkar, T., ... & Simal-Gandara, J. (2022). A comprehensive review of beetroot (*Beta vulgaris* L.) bioactive components in the food and pharmaceutical industries. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-33.

- Tien, N. N. T., Le, N. L., Khoi, T. T., & Richel, A. (2022). Optimization of microwave-ultrasound-assisted extraction (MUAE) of pectin from dragon fruit peels using natural deep eutectic solvents (NADES). *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(1), e16117.
- Timoneda, A., Feng, T., Sheehan, H., Walker-Hale, N., Pucker, B., Lopez-Nieves, S., ... & Brockington, S. (2019). The evolution of betalain biosynthesis in Caryophyllales. *New Phytologist*, 224(1), 71-85.
- Tiwari, B. K., & Cullen, P. J. (2012). Extraction of red beet pigments. *Red beet biotechnology: Food and Pharmaceutical Applications*, 373-391.
- Tomar, O., & Yıldırım, G. (2019). Antimicrobial effect of red beet (*Beta vulgaris* var. Cruenta Alef.) on some foodborne pathogens. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(sp1), 54-60.
- Tomic, N., Djekic, I., Hofland, G., Smigic, N., Udovicki, B., & Rajkovic, A. (2020). Comparison of supercritical CO₂-drying, freeze-drying and frying on sensory properties of beetroot. *Foods*, 9(9), 1201.
- Trych, U., Buniowska-Olejnik, M., & Marszałek, K. (2022). Bioaccessibility of betalains in beetroot (*Beta vulgaris* L.) juice under different high-pressure techniques. *Molecules*, 27(20), 7093.
- TÜİK, 2022. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/> (10.05.2023).
- Turp, G., Kazan, H., & Ünübol, H. (2016). Sosis üretiminde doğal renk maddesi ve antioksidan olarak kırmızı pancar tozu kullanımı. *Celal Bayar University Journal of Science*, 12(2).
- USDA, United States Department of Agriculture. FoodData Central Search Results (Internet). 2019. Erişim: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169145/nutrients> (8 Mayıs 2023).
- Van Osch, D. J., Dietz, C. H., Warrag, S. E., & Kroon, M. C. (2020). The curious case of hydrophobic deep eutectic solvents: A story on the discovery, design, and applications. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(29), 10591-10612.
- Vasconcellos, J., Conte-Junior, C., Silva, D., Pierucci, A. P., Paschoalin, V., & Alvares, T. S. (2016). Comparison of total antioxidant potential, and total phenolic, nitrate, sugar, and organic acid contents in beetroot juice, chips, powder, and cooked beetroot. *Food Science and Biotechnology*, 25, 79-84.
- Vázquez-Espinosa, M., González-de-Peredo, A. V., Carrera, C., Palma, M., Barbero, G. F., & Aliaño-González, M. J. (2022). Ultrasound-Assisted Extraction of Betalains from Opuntia Fruit Pulp of Different Color Varieties. *Agronomy*, 12(11), 2604.
- Velićanski, A. S., Cvetković, D. D., Markov, S. L., Vulić, J. J., & Đilas, S. M. (2011). Antibacterial activity of *Beta vulgaris* L. pomace extract. *Acta periodica technologica*, 42, 263-269.
- Vieira, V., Prieto, M. A., Barros, L., Coutinho, J. A., Ferreira, I. C., & Ferreira, O. (2018). Enhanced extraction of phenolic compounds using choline chloride based deep eutectic solvents from *Juglans regia* L. *Industrial Crops and Products*, 115, 261-271.
- Vladimir-Knežević, S., Perković, M., Zagajski Kučan, K., Mervić, M., & Rogošić, M. (2021). Green extraction of flavonoids and phenolic acids from elderberry (*Sambucus nigra* L.) and rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) using deep eutectic solvents. *Chemical Papers*, 1-9.
- Von Elbe, J. H., Maing, I. Y., & Amundson, C. H. (1974). Color stability of betanin. *Journal of Food Science*, 39(2), 334-337.

- Wang, T., Liu, L., Rakhmanova, A., Wang, X., Shan, Y., Yi, Y., ... & Lü, X. (2020). Stability of bioactive compounds and in vitro gastrointestinal digestion of red beetroot jam: Effect of processing and storage. *Food Bioscience*, 38, 100788.
- Wei, Z., Qi, X., Li, T., Luo, M., Wang, W., Zu, Y., & Fu, Y. (2015). Application of natural deep eutectic solvents for extraction and determination of phenolics in *Cajanus cajan* leaves by ultra performance liquid chromatography. *Separation and Purification Technology*, 149, 237-244.
- Wroblewska, M., Jus'kiewicz, J. and Wiczowski, W. 2011. Physiological properties of beetroot crisps applied in standard and dyslipidaemic diets of rats. *Lipids Health Disease*, 10: 178.
- Wu, L., Li, L., Chen, S., Wang, L., & Lin, X. (2020). Deep eutectic solvent-based ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from *Moringa oleifera* L. leaves: Optimization, comparison and antioxidant activity. *Separation and Purification Technology*, 247, 117014.
- Yang, W., Kaimainen, M., Järvenpää, E., Sandell, M., Huopalahti, R., Yang, B., & Laaksonen, O. (2021). Red beet (*Beta vulgaris*) betalains and grape (*Vitis vinifera*) anthocyanins as colorants in white currant juice—Effect of storage on degradation kinetics, color stability and sensory properties. *Food Chemistry*, 348, 128995.
- Yashwant, K. (2015). Beetroot: A super food. *IJESTA*, 1, 20-26.
- Yeler, H. B. (2021). Kırmızı pancar ve üzüm kabuğundan farklı ekstraksiyon koşullarında boyar madde üretimi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yoon, K. Y., Woodams, E. E., & Hang, Y. D. (2005). Fermentation of beet juice by beneficial lactic acid bacteria. *LWT-Food Science and Technology*, 38(1), 73-75.
- Yu, D., Xue, Z., & Mu, T. (2022). Deep eutectic solvents as a green toolbox for synthesis. *Cell Reports Physical Science*, 100809.
- Yuan, Z., Liu, H., Yong, W. F., She, Q., & Esteban, J. (2022). Status and advances of deep eutectic solvents for metal separation and recovery. *Green Chemistry*, 24(5), 1895-1929.
- Zainal-Abidin, M. H., Hayyan, M., & Wong, W. F. (2021). Hydrophobic deep eutectic solvents: Current progress and future directions. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 97, 142-162.
- Zannou, O., & Koca, I. (2022). Greener extraction of anthocyanins and antioxidant activity from blackberry (*Rubus* spp) using natural deep eutectic solvents. *Lwt*, 158, 113184.
- Zhang, Q., Vigier, K. D. O., Royer, S., & Jérôme, F. (2012). Deep eutectic solvents: syntheses, properties and applications. *Chemical Society Reviews*, 41(21), 7108-7146.
- Zhang, X., Su, J., Chu, X., & Wang, X. (2022). A green method of extracting and recovering flavonoids from *Acanthopanax senticosus* using deep eutectic solvents. *Molecules*, 27(3), 923.
- Zheng, J., Meenu, M., & Xu, B. (2019). A systematic investigation on free phenolic acids and flavonoids profiles of commonly consumed edible flowers in China. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 172, 268-277.
- Zielińska-Przyjemska, M., Olejnik, A., Kostrzewa, A., Łuczak, M., Jagodziński, P. P., & Baer-Dubowska, W. (2012). The beetroot component betanin modulates ROS production, DNA damage and apoptosis in human polymorphonuclear neutrophils. *Phytotherapy Research*, 26(6), 845-852.

- Zin, M. M., Anucha, C. B., & Bánvölgyi, S. (2020a). Recovery of phytochemicals via electromagnetic irradiation (microwave-assisted-extraction): Betalain and phenolic compounds in perspective. *Foods*, 9(7), 918.
- Zin, M. M., Márki, E., & Bánvölgyi, S. (2020b). Conventional extraction of betalain compounds from beetroot peels with aqueous ethanol solvent. *Acta Alimentaria*, 49(2), 163-169.



ÖZ GEÇMİŞ

Beyza KABA, Çorum Merkez Ada Temel Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği bölümünden 2021 yılında mezun oldu. 2021 yılında OMÜ Gıda Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans programına girdi. Mezuniyetinden bu yana yüksek lisans öğrencisi olarak görev yapan Beyza KABA, orta derecede İngilizce bilmektedir (YÖKDİL: 68.75) (25.05.2023).

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0001-7954-8025

Yayınlar:

1. Kaba, B., Zannou, O., Pashazadeh, H., Koca, I. "Bioactive Component of Lamiaceae Family: Rosmarinic Acid". *International Technology Sciences and Design Symposium*. Giresun, 2-5 Haziran 2022, ss. 332-342.
2. Kaba, B., Zannou, O. and Koca, I. "Formation of Kynurenic Acid, Properties and Presence in Food". *International Technology Sciences and Design Symposium*. Giresun 2-5 Haziran 2022, ss. 314-331.
3. Kaba, B., Tekgüler, B. and Koca, I. "Innovative Techniques in The Extraction of Betalains". *International Multidisciplinary Innovative Approaches Congress*. İstanbul 2-4 Haziran 2022, ss. 70-71.
4. Yıkılkan, Y., Kaba B. and Koca, I. "Leek: Treasure of Bioactive Phytochemicals". *4.Uluslararası Hasankeyf Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi*. Batman 29-30 Nisan, 2023, ss. 138-150.