



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**MİKRODALGA, ENZİMATİK VE ASİDİK ÖN
İŞLEMLERİN NAR ÇEKİRDEĞİ YAĞININ
MEKANİK ELDESİNDE KULLANIMI**

Sena Nur KARAKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

**Nisan-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Sena Nur KARAKAYA tarafından hazırlanan “Mikroalga, Enzimatik ve Asidik Ön İşlemlerin Nar Çekirdeği Yağının Mekanik Eldesinde Kullanımı” adlı tez çalışması 18/04/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Hatice TANER SARAÇOĞLU

Danışman

Prof. Dr. Derya ARSLAN DANACIOĞLU

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Zeliha ÜSTÜN ARGON

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Sena Nur KARAKAYA

Tarih: 14.05.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİKRODALGA, ENZİMATİK VE ASİDİK ÖN İŞLEMLERİN NAR ÇEKİRDEĞİ YAĞININ MEKANİK ELDESİNDE KULLANIMI

Sena Nur KARAKAYA

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Derya ARSLAN DANACIOĞLU

2025, 48 Sayfa

Jüri

Danışmanın Prof. Dr. Derya ARSLAN DANACIOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Hatice TANER SARAÇOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Zeliha ÜSTÜN ARGON

Nar çekirdeği yağının soğuk pres üretiminde, nar çekirdeklerine ön işlem olarak konveksiyonla kavurma ve mikrodalga ile kavurma yöntemleri asit ve pektolitik-selüloolitik ticari enzim karışımı ile birlikte uygulanarak elde edilen yağ özellikleri üzerine etkileri ortaya konmuştur. %6.06 olarak ölçülen ham nar çekirdeğinin nem içeriği mikrodalga ve konvektif kavurma işlemleri sonrasında %3-4'e kadar gerilemiştir. İşlem görmemiş nar çekirdeğinin pH değeri 4.63 olup, enzim ilavesiyle hafif bir azalma gösterirken, asit muamelesiyle pH 3.25-3.33 aralığına gerilemiştir. 0.061-0.191 U/g arasında değişen lipaz aktivitesi, en yüksek kontrol grubunda, en düşük ise mikrodalga uygulanan örneklerde gözlenmiştir. Mikrodalga ve konveksiyonla etüvde kavurma ile asit muamelesinin kombinasyonu, %11.20 ve %10.60 yağ verimi ile en yüksek oranları sağlamıştır. Mikrodalga+asit uygulaması ayrıca en düşük serbest yağ asitliğini de sağlamıştır. En düşük peroksit değeri mikrodalga+enzim uygulanan yağlarda görülmüştür. Ön işlem uygulanan nar çekirdeği yağlarının serbest yağ asitliği, peroksit ve *para*-anisidin değerleri kontrol numunesinden daha düşük değerlerde bulunmuştur.

En yüksek karotenoid değeri 67.85 mg/kg ile mikrodalga işlemi uygulanmış numunelerde, en düşük ise enzim uygulanmış numunelerde bulunmuştur. Fenolik madde içeriği kontrol grubunda en yüksek olup, diğer tüm numunelerde daha düşük değerler tespit edilmiştir. Enzimin dahil edildiği uygulamalar yağın indüksiyon artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: enzim, konvektif kavurma, mikrodalga, nar çekirdeği, nar çekirdeği yağı, soğuk pres.

ABSTRACT

MS THESIS

USE OF MICROWAVE, ENZYMATIC AND ACIDIC PRETREATMENTS IN MECHANICALLY PRODUCTION OF POMEGRANATE SEED OIL

Sena Nur KARAKAYA

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

Advisor: Prof. Dr. Derya ARSLAN DANACIOĞLU

2025, 48 Pages

Jury

Advisor Prof. Dr. Derya ARSLAN DANACIOĞLU

Assist. Prof. Dr. Hatice TANER SARAÇOĞLU

Assist. Prof. Dr. Zeliha ÜSTÜN ARGON

In the cold press production of pomegranate seed oil, convection roasting and microwave roasting methods were applied together with acid and pectolytic-cellulolytic commercial enzyme prepartate as a pretreatment to pomegranate seeds and their effects on the oil properties were revealed. The moisture content of raw pomegranate seeds, measured as 6.06%, decreased to 3-4% after microwave and convective roasting processes. The pH value of untreated pomegranate seeds was 4.63 and showed a slight decrease with enzyme addition, while it decreased to 3.25-3.33 with acid treatment. Lipase activity, ranging between 0.061-0.191 U/g, was highest in the control group and lowest in microwave-treated samples. The combination of microwave and convection oven roasting with acid treatment provided the highest oil yields of 11.20% and 10.60%. Microwave+acid application also provided the lowest free fatty acidity. The lowest peroxide value was determined in microwave+enzyme-treated oils. The free fatty acidity, peroxide and *para*-anisidine values of pretreated pomegranate seed oils were found to be lower than the control sample. The highest carotenoid content of 67.85 mg/kg was found in microwave treated samples, while the lowest was determined in enzyme treated samples. The total phenolics content was the highest in the control group, and lower values were found in all pretreated samples. Applications in which commercial enzyme was included increased the induction of the oil.

Keywords: enzyme, convective roasting, microwave, pomegranate seed, pomegranate seed oil, cold press.

ÖNSÖZ

Eğitimim süresince maddi ve manevi yardımlarını eksik etmeyen aileme, tez hazırlama sürecinde engin bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, sabırla ve tüm samimiyetiyle yardımcı olup yoluma ışık tutan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Derya ARSLAN DANACIOĞLU' na ve Öğr. Gör. Sıddıka Yusra ÖZKILIÇ'a tüm içtenliğimle saygı ve minnetlerimi sunarım.

Eğitimim süresince benden desteklerini esirgemeyen başta canım annem Kadriye, babam Nurullah, kardeşlerim (Samet, Ruveyda ve Kudret) olmak üzere tüm aileme, ayrıca çalışmalarım süresince laboratuvarında bana destek olan tüm arkadaşlarıma ve bu yolda her düştüğümde elimden tutup tekrar kaldıran arkadaşım Aişenur'a çok teşekkür ederim.

Sena Nur KARAKAYA
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
ŞEKİLLER.....	xiii
ÇİZELGELER.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Soğuk Pres Yağlar	3
2.2. Nar Çekirdeği (<i>Punica granatum</i> Linn.) ve Yağı	4
3. MATERYAL VE METOT.....	7
3.1. Materyal	7
3.2. Metot	7
3.2.1. Nar Çekirdeklerine Uygulanan İşlem Basamakları	7
3.2.1.1. Etüvde kavurma (Konveksiyon)	8
3.2.1.2. Mikrodalga fırında kavurma	9
3.2.1.3. Nar çekirdeğinin öğütülmesi.....	9
3.2.1.4. Nar çekirdeklerine enzim muamelesi	9
3.2.1.5. Nar çekirdeklerine asit uygulaması.....	10
3.2.2. Nar Çekirdeklerinden Soğuk Pres ile Yağ Eldesi	10
3.2.3. Nar Çekirdeğinde Yapılan Analizler	11
3.2.3.1. Ön işlemler sonrasında çekirdekte pH ve nem (%) ölçümü	11
3.2.3.2. Lipaz aktivitesi tayini.....	11
3.2.4. Nar Çekirdeği Yağında Yapılan Analizler.....	12
3.2.4.1. Nar çekirdeği yağ veriminin belirlenmesi	12
3.2.4.2. Peroksit değeri (PV) tayini	12
3.2.4.3. Serbest yağ asitliği analizi	13
3.2.4.4. Toplam karotenoit tayini.....	13
3.2.4.5. <i>para</i> -Anisidin tayini.....	13
3.2.4.6. UV özgül Soğurma (K ₂₃₂ -K ₂₇₀) değerlerinin belirlenmesi	13
3.2.4.7. Nar çekirdeği yağından fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu	14
3.2.4.8. Toplam fenolik madde tayini	14
3.2.4.9. Radikal tutucu aktivite (DPPH) tayini	15
3.2.4.10. Rancimat metodu ile oksidatif stabilitenin tayini	15
3.2.5. İstatistik Analizler.....	15
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	16
4.1. Nar Çekirdeklerinin pH Değerleri	16
4.2. Nar Çekirdeği Numunelerinin Lipaz Aktivitesi.....	17
4.3. Ön işlemlerin Nar Çekirdeği Yağ Verimi Üzerine Etkileri	19
4.4. Serbest Yağ Asitliği, Peroksit ve <i>para</i> -Anisidin Değerine İlişkin Bulgular.....	20
4.5. Karotenoit Değerine İlişkin Bulgular	23
4.6. UV Özgül Soğurma (K ₂₃₂ -K ₂₇₀) Değerine İlişkin Bulgular.....	24

4.7. Toplam Fenolik Madde ve DPPH Radikal Tutucu Aktivite Değerine İlişkin Bulgular	25
4.8. Nar Çekirdeği Yağlarının İndüksiyon Süresi.....	27
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	29
5.1 Sonuçlar	29
5.2 Öneriler	30
6. KAYNAKLAR	31



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

sa: Saat

dk: dakika

kg: Kilogram

g: Gram

mg: Miligram

ml: Mililitre

µl: Mikrolitre

meq: Mili-equivalent (mili eşdeğer)

° C: Santigrad derece

Kısaltmalar

AOCS: American oil chemical society

DPPH: 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl

OSI: Oksidatif stabilite indeksi

GAE: Gallik asit eşdeğeri

SYA: Serbest yağ asitliği

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Nar çekirdeği yağı asit kompozisyonu (Iriti ve ark., 2023).....	1
Şekil 3.1. Nar çekirdeğine uygulanan ön işlemler ve deneme deseni.....	8
Şekil 3.2. Etüvde kavurma işlemi	8
Şekil 3.3. Mikrodalga fırında kavurma işlemi	9
Şekil 3.4. Nar çekirdeği-Öğütücü-Öğütülmüş nar çekirdekleri.....	9
Şekil 3.5. Farklı kavurma işlemleri sonrasında asit çözeltisi ve enzim preparatı uygulanan örnekler	10
Şekil 3.6. Soğuk pres makinesi	11
Şekil 3.7. Soğuk pres sonrası elde edilen nar çekirdeği yağları ve nar çekirdeği küspesi	11
Şekil 3.8. Fenolik madde ekstraksiyon basamakları.....	14
Şekil 3.9. Toplam fenolik madde analiz sürecinde hazırlanan numuneler	15
Şekil 4.1. Öğütülmüş nar çekirdeklerinin pH değerleri	16
Şekil 4.2. Nar çekirdeği örneklerinin lipaz aktivitesi (U/g).....	18
Şekil 4.3. Nar çekirdeği yağının verim değerleri.....	20
Şekil 4.4. Ön işlemlere tabi tutulan nar çekirdeklerinden elde edilen yağlarda serbest yağ asitliği (%) verileri	21
Şekil 4.5. Nar çekirdeği yağının karotenoid (mg/kg) değerleri	23
Şekil 4.6. Nar çekirdeği yağlarının toplam fenolik madde (mgGAE/kg yağ) değerleri. 26	
Şekil 4.7. Nar çekirdeği yağlarının DPPH (% inhibisyon) giderme aktiviteleri.....	27

ÇİZELGELER

Çizelge 3.1. Nar çekirdeklerine uygulanan işlem basamakları ve numaralandırma.....	7
Çizelge 4.1. Farklı ön işlem uygulanmış nar çekirdeği yağların peroksit sayısı (meqO ₂ /kg yağ), para-anisidin değerleri, K ₂₃₂ değerleri, K ₂₇₀ değerleri ve indüksiyon süreleri (saat).....	22

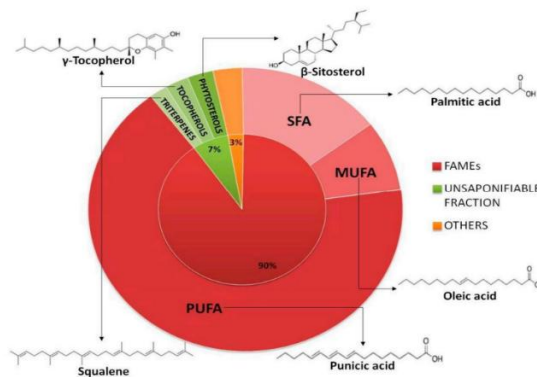


1. GİRİŞ

Sağlıklı beslenme konusunda son zamanlarda tüketicinin artan bilinci sayesinde, biyoaktif bileşenlerin rafinasyon işlemleriyle zarar görmediği için biyoaktif bileşenlerce daha zengin bir içerikle üretildiği soğuk pres yağlarına gösterdikleri ilgi rafine yağlara göre, son yıllarda artış göstermiştir. Yağlarda oluşacak vitamin ve mineral düşüşlerinin en aza indirecek rafinasyon teknolojileri geliştirilme çalışmaları hızla sürmektedir.

Bu çalışmada nar çekirdeğinin soğuk presten elde edilen yağdaki düşük verimi arttırmak amacıyla, mikrodalga ve konvektif kavurma teknolojileri başta olmak üzere destek olarak uygulanan enzim-asit muamele gerçekleştirilen ön işlemler ile yağların kalite unsurlarını koruyarak yağ verimini arasındaki ilişki incelenmiştir.

Nar çekirdeği fenolik bileşiklerce zengin olması bakımından ticari bir önem oluşturmaktadır. Nar çekirdeği yağı hem yağ asidi profili hem de minör biyoaktif bileşenleri açısından benzersiz bileşimi sayesinde son zamanlarda insan ve hayvan beslenmesi açısından ilgi görmektedir. Nar çekirdeği yağının minör bileşenlerinin antimikrobiyal etkinliği, son zamanlarda aktif gıda ambalajının bir bileşeni olarak kullanılmıştır. Son olarak, insan sağlığı için faydalı etkilere sahip ikincil metabolitlerin varlığı, gıda takviyesi formülasyonlarında kullanımını ve farmasötik bileşen olarak nar çekirdeği yağının uygulanmasını teşvik etmiştir. Nar çekirdeği yağı, çekirdeğin toplam ağırlığının %10 ila %25'ini oluşturur. Kimyasal bileşimi, esas olarak çoklu doymamış yağ asitlerinden oluşur. Punicic asit %31-86'sını oluşturur. Sabunlaşmayan minör kısım büyük oranda tokoferoller, fitosteroller ve fenollerdir. Nar çekirdeği yağı, doymamış yağ asitleri, tokoferoller ve fitosteroller ile punicic asitin (konjuge bir linolenik asit) ana kaynağıdır. Ayrıca antimikrobiyal, antioksidan, immünomodülatör, anti-kanserojen ve lipid metabolizmasını düzenleme etkileri gösterdiği bilinmektedir.



Şekil 1.1. Nar çekirdeği yağı asit kompozisyonu (Iriti ve ark., 2023)

Bu yağlar içerdikleri sağlığa faydalı fonksiyonel bileşenlerin zarar görmemesi amacıyla genellikle soğuk presleme yöntemiyle elde edilir. Doğal ve organik gıdalara karşı artan ilgi sonucunda soğuk pres yağ üretim ve tüketimini ön plana çıkmıştır. Yağ eldesinde kullanılan farklı yöntemlere nazaran soğuk pres yöntemi ekonomik olması ve uygulanabilirliğinin kolay olmasının yanında yağın kalitesini olumsuz etkileyen işlemler bulundurmadığından dolayı daha güvenlidir. Soğuk pres yönteminin kullanımı daha kolay ve basittir. Yöntem; az miktarda enerji gerektiriyor olması, çözgen kullanılmaması, diğer yöntemler gibi yüksek sıcaklıklara çıkılmaması, yağların kalite parametrelerinden olan polifenol (antioksidan özellikteki) bileşiklerini koruyarak oksidatif bozulmalara engel olması yönteminin avantajlarından. Fakat soğuk pres ekstraksiyonunda elde edilen verim diğer yöntemlere göre oldukça düşüktür. Yağ verimini artırmak için yağlı tohum ve çekirdeklerin hücre duvarlarını parçalayan selülozik ve pektolitik enzimlerin kullanılması bilimsel olarak araştırılmış, ancak uygulamaya geçirilmemiş bir adımdır.

Bu tez çalışması kapsamında nar çekirdeklerine presle ekstraksiyon öncesinde gerçekleştirilen ön işlemler ile yağ verimini artırmak amaçlanmıştır. Nar çekirdeği yağının soğuk presleme ile mekanik olarak eldesinde yağ verimi çok düşüktür. Endüstriyel üretimde bu oran %7-10 civarındadır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında yağ verimini arttırmak amacıyla, nar çekirdeklerine mikrodalga, pektolitik-selüloolitik enzim karışımı ilavesi ve asit uygulaması ile pH'nın düşürülmesi gibi ön işlemler uygulanmıştır. Gerçekleştirilen ön muamelelerin, aynı zamanda yağın fizikokimyasal özellikleri, kalite parametreleri ve oksidatif stabilite değerleri üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. Bahsedilen ön işlemlerin etkisi, yaygın kullanılan konveksiyonla etüvde kavurma işlemi ile de kıyaslanarak ortaya konmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Soğuk Pres Yağlar

TGK Bitki Adı ile Anılan Yağlar Tebliği ‘soğuk preslenmiş naturel yağ’; “doğrudan tüketime uygun olan, ısı işlem uygulaması olmadan sadece mekanik yöntemler kullanılarak elde edilen yağ” olarak tanımlanmıştır (Türk Gıda Kodeksi, 2012). Tanımlamaya göre bütün soğuk pres yağlar doğaldır, fakat doğal yağların tümü soğuk pres yağ olamaz (Matthäus ve Özcan, 2006). Yurtdışı mevzuatlarına göre “soğuk pres yağlar” için sıcaklık değeri 50 °C geçmeyecek şekilde olmalıdır. Yağlarda bulunan biyoaktif bileşenlerin orijinalliğini koruyarak yağa geçmesidir, fakat verimin diğer yöntemlere nazaran düşük olduğu gözden kaçırılmamalıdır (Neđeral ve ark., 2012).

Soğuk pres yönteminde 50 °C üzerinde sıcaklık uygulamadan ve çözücü kullanımı olmadan, sadece basınç uygulaması ile elde edilen yöntem soğuk pres olarak adlandırılmaktadır (Koç, 2016). Soğuk pres metodu, çeşitli bitkilerin meyve, çekirdeği veya tohumu gibi yağlı öğelerinin dışarıya özenle atılması ve mekanik ısı uygulaması olmadan ve kimyasal çözücü kullanımına yer vermeden preslenerek üretilen yağın sadece filtrelenmesi ve şişelenmesi işlemidir (Asil, 2020). Rafine edilmiş yağlara göre soğuk pres yağlara olan ilginin artması; besin değeri parametreleri daha yüksek yağ elde edilmesi neden olmaktadır. Soğuk pres yöntemi ile yağ ekstraksiyon yöntemi, diğer yağ elde etme proseslerine kıyasla yağlar, kimyasal madde içermediği için tüketicinin güvenini sağlamaktadır (Sevindik ve Selli, 2017).

Soğuk pres yağlar farklı yağ elde etme yöntemlerine nazaran fizikokimyasal özellikleri kıyaslandığında soğuk pres yöntemi ile elde edilen yağların kalite değerleri açısından iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yapılan bir çalışmada sterollerin ve tokoferollerin miktarları ve toplam fenolik bileşenlerin oranları daha yüksek bulunmuştur (Kıralan ve ark., 2014).

Soğuk pres yönteminin endüstriyel boyutta yağ eldesinde sırasıyla; temizleme, kurutma, öğütme ve presleme aşamaları sırasıyla uygulanmaktadır. Daha az enerji, daha kolay uygulanabilirlik, yararlı bileşikleri indirgeyecek kimyasal ve ısı işlem aşamalarının olmaması, yüksek yağ kalite değerlerinin olması bu yöntemin avantajlarıdır (Maier ve ark., 2009).

Soğuk pres yönteminde yağ veriminin, yağın fenolik içeriğinin atırılması ve serbest yağ asitliğinin düşürülmesi gibi parametreler ile yağ kalitesini artırabilmek için

ekstraksiyon öncesinde ısı işlem ve öğütme gibi yağlı tohumlara uygulanan bazı ön işlemler bulunmaktadır. Fakat ısı işlem, yağın soğuk pres yağ kategorisinden çıkmasına neden olur. Uygulanabilecek diğer yöntemlerden bazıları; mikrodalga, kavurma, ultrason, maserasyon (farklı çözücü içerisinde bekletme) ve ışınlamadır (Şeran, 2011).

Yapılan çalışmalardan edinilen bilgilere göre bir diğer yağ verimini arttırabilecek yöntemlerden biri de enzim uygulamasıdır. Enzimler, hücre duvarında yer alan polimerlere etki eder ve yağ verimini arttırmada kullanılabilir. Yağ eldesinde yapılan ön işlemlerde enzim kullanımı, bitkisel hücre duvarı yapısına etki ederek verimde artış sağlamaktadır (García ve ark., 2001). Solomakou ve ark. (2024), yılında gerçekleştirdikleri Nar meyvesinin yan ürünlerinin ultrason ve enzimatik yöntemler kullanılarak değerlendirilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, nar endüstrisinin yan ürünlerinin değerli bileşiklerin kazanılmasının bütünsel ve sürdürülebilir açıdan yöntemleri ele almaktadır. Yapılan çalışma sonucunda, Nar çekirdeği yağına uygulanan ön işlemler ile yağ veriminde %50 civarında artış gözlemlenmiştir.

2.2. Nar Çekirdeği (*Punica granatum* Linn.) ve Yağı

Punica granatum Linn. adlandırılan nar, Punicacea ailesin bilinen en eski türlerinden, tropik iklim kuşağında yetişen bir meyve türüdür (Turfan, 2008). Nar meyvesinin olgunlaşması sıcaklıkların yüksek ilerlediği uzun bir yaz dönemi gereklidir. Nar meyvesi yarı kurak iklimde, sulamaya ihtiyaç duymamaktadır (Turfan 2008, Çam 2009). “Kışın mücevheri” olarak anılır ve bir birçok medeniyette kraliyet, umut ve bereket sembolü olarak kabul edilir. Himalayalar ve Akdeniz bölgesinde çoğunlukla tropik bölgelerde yetişmektedir. Hindistan, İran, Çin ve ABD gibi subtropikal ülkelerde de yetişmektedir. Dünya yıllık nar üretiminin 2017’de 5,9 milyon ton olduğu tahmin ediliyor (Malgarejo ve ark., 2020). En yaygın nar çeşitleri arasında ABD’nin “*Harika*” ve “*Granada*” yer alır. İspanya ‘da “*Mollar de Elche*” ve “*Valenciana*” çeşitleri vardır. Hindistan, yaklaşık 17 nar çeşidine sahip en büyük üreticidir; bunların arasında yaygın olarak “*Bhagwa*”, “*Ganesh*”, “*Mridula*”, “*Maskat*”, “*Jodhpur kırmızısı*”, “*Jalore çekirdeksiz*” ve “*Yakut kırmızısı*” öne çıkmaktadır (Pareek ve ark., 2015). Ülkemizde; Akdeniz, Ege ve Güneydoğu bölgesi ağırlıkta, 48 farklı ilde (Bilecik, Balıkesir, İzmir, Aydın, Denizli, Antalya, Maraş, Hatay, Bitlis vb.), Narlı, Narlık, Narlıca, Narlıdere,

Narlıova, Nardüzü, Narlıkuyu, Gülnar gibi ilçelerin isimlerinde nar çeşitleri bulunmaktadır (Turfan, 2008; Çam 2009).

İçerdiği besin öğeleriyle beslenmede önemli olan nar meyvesi üç bölüme ayrılmıştır: kösele (ekzokarp) (dış kabuk), meyve eti (mezokarp) ve taneler dahil tohumlar. Ağırlığının %3-20'sini tohumlardan, %30-35 meyve suyundan, kalan kısmı kabuklardan ve iç zarlardan oluşan etli bir meyvedir (Mahesar ve ark., 2019). Meyve; yüksek oranda şeker, minerallerce zengin, yağda (A, E, K) ve suda (C) çözünen vitaminleri içermektedir. Nar çekirdeği kuru madde üzerinden %6.63-19.3 yağ, polisakkarit, lignin, selüloz, flavonoid ve tokoferol içermektedir (Çeltikci, 2008; Çam 2009). Yetersiz beslenme sonucu eksikliği farklı şekilde ortaya çıkan, omega-3,6,9 ve konjuge yağ asitlerince zengin, antioksidan bileşik içeriği yüksek, vitamince zengin yağlara olan ihtiyaçları zamanla artmaktadır. Narın ülkemizin birçok ilinde ve bölgesinde yetişmesi nedeniyle, nar çekirdeği bu açıdan önem kazanmaktadır.

Endüstriyel nar ürünleri (nar ekşisi, nar suyu gibi) üretimi sırasında yan ürün olarak çıkan nar çekirdeğin çeşidine göre değişen kilogram başına 40-100 g arasında nar çekirdeği yağı elde edilir (Çam, 2009). Nar çekirdeği yağı, yapısında yüksek miktarda konjuge yağ asitleri bulunduğundan yağda çözünen vitaminlerce de yüksektir (Caligiani ve ark., 2010). Tokoferoller, diğer vitaminler ve antioksidan etki gösteren bileşenler, serbest radikallerin etkisiz hale gelmesini sağlayarak, yaşlanmaya karşı yavaşlatıcı rol oynarlar (Uncu, 2008; İreş, 2009; Bilber, 2010; Sağlam, 2007; Aktürk, 2010).

Kaseke ve ark. (2020), mikrodalga ön işleminin nar çekirdeği yağının kalitesi ve antioksidan kapasitesine etkisi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirdikleri bu çalışmada, mikrodalga ön işleminin tohumlara etkisi araştırılmıştır. Nar çekirdeği yağının kalite özellikleri arasında yağ verimi, sarılık indeksi, kırılma indeksi, peroksit değeri, *para*-anisidin değeri, toplam oksidasyon değeri, konjuge dienler, toplam fenolik içerik, toplam karotenoid içeriği, fitosterol bileşimi, yağ asidi bileşimi, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikal temizleme kapasitesi ve ferrik indirgeyici antioksidan güç (FRAP) değerlendirilmiştir. Farklı nar çeşitlerine ('Acco', 'Herskawitz' ve 'Wonderful') mikrodalga uygulanmıştır. Nar tanelerinin mikrodalga ön işlemleri yağ verimini arttırdı. Mikrodalga ile ön işleme tabi tutulmuş nar çekirdeklerinden elde edilen yağ ekstraktları daha iyi yağ verimi sergilerken, 'Herskawitz' çeşidine ait yağ ekstraktları daha yüksek toplam karotenoid içeriği, toplam fenolik içerik ve antioksidan kapasite gösterdiği gözlemlenmiştir.

Nar ve türevlerinin sağlık açısından faydaları, birçok çalışma ile ortaya koyulmuştur (Kandylis ve Kokkinomagoulos, 2020; Pirzadeh ve ark., 2020).



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Nar çekirdeği Konya il merkezindeki bir aktardan temin edilmiştir. 17 kg nar çekirdeği tez çalışmasında kullanılmak üzere laboratuvara getirildikten sonra, çekirdekler serin ve kuru bir ortamda muhafaza edilmiştir. Ön işlemlerde kullanılan enzim; Pectinase from *Aspergillus-Viscozyme* (Sigma-Aldrich) firmasından temin edilmiştir.

Analizlerde kullanılan kimyasallar analitik saflıkta olup; analitik saflıkta aseton, kloroform, hekzan, sodyum thioosülfat, potassium iyodür, potassium hidroksit (KOH), ve sodium carbonate (Tekkim), glacial asetik asit, Folin Ciocalteu's reaktifi, etil alkol, metil alkol, dietil ether (Merck), phenolftalein, cycloheksan ve nişastadır.

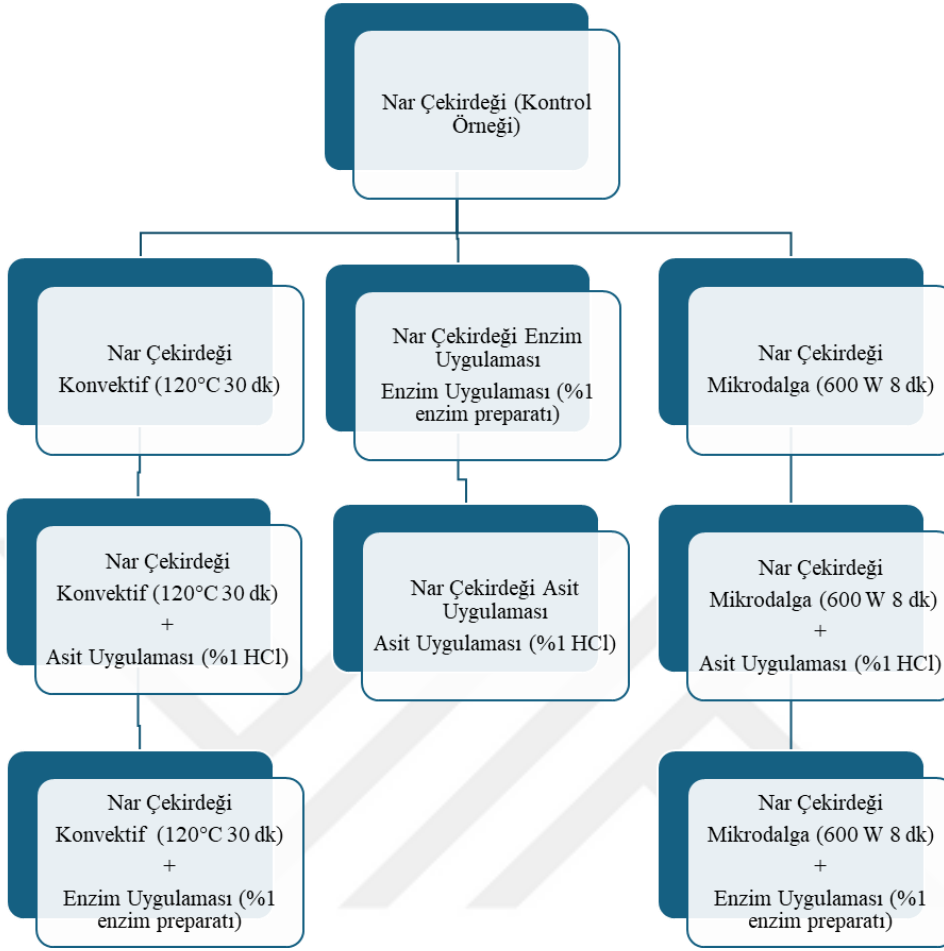
3.2. Metot

3.2.1. Nar Çekirdeklerine Uygulanan İşlem Basamakları

Çizelge 3.1. Nar çekirdeklerine uygulanan işlem basamakları ve numaralandırma

Örnek Uygulanan Ön İşlemler

1	KONTROL: Sadece öğütme işlemi uygulanmış örnek.
2	ASİT (%1): Öğütme işleminden sonra %1 HCl çözeltisi uygulanmış ve 40°C/16 saat inkübasyona bırakılmış örnek.
3	ENZİM (%1): Öğütme işleminden sonra %1 enzim ilave edilmiş ve 40°C/16 saat inkübasyona bırakılmış örnek.
4	KAVURMA (120°C /30 dak): 120°C'de (10 dakikada bir karıştırılarak) 30 dk. kavrulmuş ve öğütülmüş örnek.
5	KAVURMA (120°C /30 dak) + ASİT (%1): 120°C'de (10 dakikada bir karıştırılarak) 30 dk kavrulmuş, öğütülmüş ve %1 HCl çözeltisi ilave edilmiş ve 40°C/16 saat inkübasyona bırakılmış örnek.
6	KAVURMA (120°C /30 dak) + ENZİM (%1): 120°C'de (10 dakikada bir karıştırılarak) 30 dk kavrulmuş, öğütülmüş ve %1 enzim preparatı ilave edilmiş ve 40°C/16 saat inkübasyona bırakılmış örnek.
7	MİKRODALGA (600 W/8 dk): 600 W 'da 8 dak. kavrulmuş ve öğütülmüş örnek.
8	MİKRODALGA (600 W/8 dk) + ASİT (%1): 600 W 'da 8 dk kavrulmuş, öğütülmüş ve %1 HCl çözeltisi ilave edilmiş ve 40°C/16 saat inkübasyona bırakılmış örnek.
9	MİKRODALGA (600 W/8 dk) + ENZİM (%1): 600 W 'da 8 dk. kavrulmuş, öğütülmüş ve %1 enzim preparatı ilave edilmiş ve 40°C/16 saat inkübasyona bırakılmış örnek.



Şekil 3.1. Nar çekirdeğine uygulanan ön işlemler ve deneme deseni

3.2.1.1. Etüvde kavurma (Konveksiyon)

Nar çekirdekleri, 120 °C’de (önceden ısıtılmış) 30 dk. boyunca etüvde (Nüve FN 400) 10 dakika aralıklarla karıştırılarak homojen bir şekilde kavrulması sağlanmıştır.



Şekil 3.2. Etüvde kavurma işlemi

3.2.1.2. Mikrodalga fırında kavurma

Nar çekirdekleri, mikrodalga fırında (LG SolarDOM, Kore) 600 W güçte 8 dakika boyunca maruz bırakılmıştır. Ardından öğütme işlemine geçilmiştir.



Şekil 3.3. Mikrodalga fırında kavurma işlemi

3.2.1.3. Nar çekirdeğinin öğütülmesi

Nar çekirdekleri endüstriyel öğütücü ile parçacık boyutu 1-2 mm olacak şekilde öğütülmüştür.



Şekil 3.4. Nar çekirdeği-Öğütücü-Öğütülmüş nar çekirdekleri

3.2.1.4. Nar çekirdeklerine enzim muamelesi

Gerçekleştirilen literatür araştırması sonrası enzimlerin ön işlem olarak uygulandığı soğuk presle yağ ekstraksiyonunda konsantrasyonun %0.05 ile %1.25 arasındaki oranlarda kullanıldığı görülmüştür. Ticari enzim preparatları Pectinase from *Aspergillus* ve Selülitik enzim karışımı (Viscozyme L Sigma Aldrich) (1/1) oranında karıştırılarak kullanılmıştır. Enzim preparatı %1 olarak uygulanmıştır. 1000 g numune için 10 g enzim preparatı tartılıp yaklaşık 100 ml saf su ile seyreltilip tohumlara püskürtülerek uygulanmıştır. Ardından, 40°C'de 16 saat inkübasyona bırakılmıştır.

3.2.1.5. Nar çekirdeklerine asit uygulaması

Hidroklorik asit çözeltisi nar çekirdeklerine %1 oranında uygulanmıştır. 1000 g öğütülmüş çekirdeğe 100 ml saf su ile seyreltilen asit çözeltisi, püskürtme ile uygulanmıştır. Ardından, her biri 40°C’de 16 saat inkübasyona bırakılmıştır.



Şekil 3.5. Farklı kavurma işlemleri sonrasında asit çözeltisi ve enzim preparatı uygulanan örnekler

3.2.2. Nar Çekirdeklerinden Soğuk Pres ile Yağ Eldesi

Ön işlemlerden geçen nar çekirdeklerinin nem değerleri %6-8 arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Preslemeden önce asit veya enzim ile muamele edilmemiş olan her bir numune de 40°C’de 16 saat inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra presleme işlemine geçilmiştir.

Soğuk pres makinesinde (220 V, 5 mm nozul çapı, 33 mm şaft vidası çapı, 50 rpm dönüş hızı, Karaerler NF 500, Türkiye), en uygun hız 14-17 hz olarak belirlenmiştir. Elde edilen yağ ve pres keki yapılacak analizlere kadar bozulmayı engellemek amacı ile +4 °C’de buzdolabı şartlarında muhafaza edilmiştir (Ezeh ve ark., 2016).



Şekil 3.6. Soğuk pres makinesi



Şekil 3.7. Soğuk pres sonrası elde edilen nar çekirdeği yağları ve nar çekirdeği küspesi

3.2.3. Nar Çekirdeğinde Yapılan Analizler

3.2.3.1. Ön işlemler sonrasında çekirdekte pH ve nem (%) ölçümü

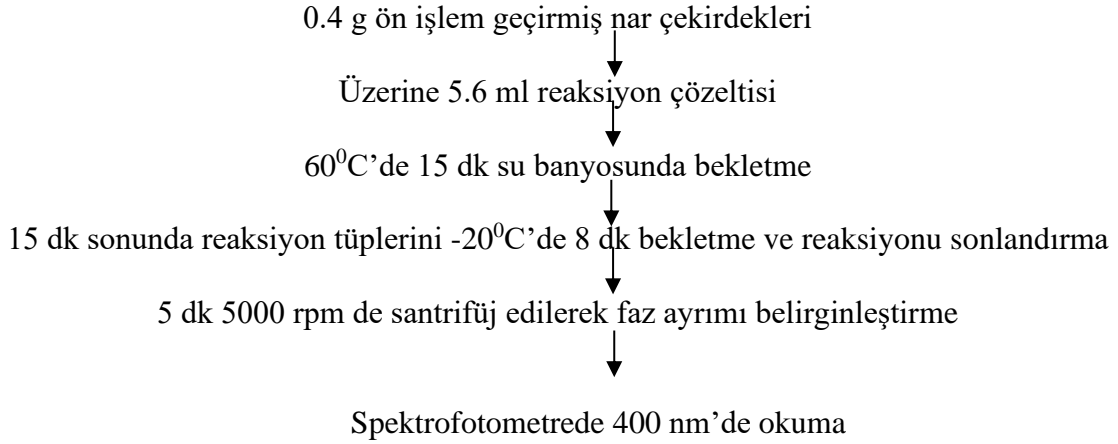
Nar çekirdeklerinin pH değeri, örnekler saf su ile homojenize edildikten sonra pH metre ile ölçülmüştür (Tontul, 2017).

Nar çekirdeklerinin nem içerikleri, hızlı kuru madde tayini cihazı (Ohaus MB45) ile tespit edilmiş ve sonuçlar yüzde (%) olarak verilmiştir.

3.2.3.2. Lipaz aktivitesi tayini

Nar çekirdeklerinin lipaz enzim aktivitesinin belirlenmesinde substrat olarak, *para*-nitrofenol bütirat (pNPB) kullanılmıştır. Reaksiyon çözeltisi 100 mM pH 7.0'lik

fosfat tamponu, etanol ve 50 μM 'lık pNPB'nin sırasıyla 95:4:1 oranlarında hazırlanmıştır (Lee ve ark., 1999).



3.2.4. Nar Çekirdeği Yağında Yapılan Analizler

3.2.4.1. Nar çekirdeği yağ veriminin belirlenmesi

Her numune için, presleme sonrasında hesaplanan nar çekirdeği yağ miktarının (g) başlangıçta kullanılan nar çekirdeğine miktarına (g) oranıdır. Verim aşağıda belirtilen denklem kullanılarak hesaplanmış ve yüzde (%) olarak ifade edilmiştir.

$$\text{Ekstraksiyon verimi} = (A_{\text{yağ}} / A_{\text{tohum}}) \cdot 100$$

$A_{\text{yağ}}$ yağın kütlesi (kg) ve A_{tohum} ise kullanılan yağlı tohum kütlesi (kg).

3.2.4.2. Peroksit değeri (PV) tayini

Peroksit sayısı, yağlarda bulunan aktif oksijen miktarı olarak bilinmektedir. Yağların 1 kg'ında bulunan peroksit oksijeninin miliekivalen gram ($\text{meq}[\text{O}_2]\text{kg}^{-1}[\text{yağ}]$) olarak miktarıdır (EEC, 1991). Yağlar raf ömrü süresince, depolama şartlarının (ışık, sıcaklık, oksijen varlığı) uygunsuzluğu veya yetersizliği sebebiyle bozulmaya uğralar. Yağlar, oksijenin etkisiyle birlikte yağ asitlerinin parçalanmasına sebep olur. Bu sebeple, peroksit değeri tayini ile oksidasyon derecesi hakkında bilgi edinilir.

Peroksit değeri, AOCS Off. Method Cd8-53'a göre yapılmıştır. 1 ml potasyum iyodür ilave edilmiş ve çalkalanarak karanlıkta 5 dk. reaksiyona bırakılmıştır. 75 ml saf su eklenmiş ve reaksiyonun bitmesi sağlanmıştır. İndikatör olarak 1 ml %1'lik nişasta çözeltisi eklenmiştir. Sodyum tiyosülfat (0.002 N) ile renk beyazlaşmaya kadar titre edilmiş ve harcanan miktar not alınmıştır.

Peroksit değeri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Peroksit değeri (meq O}_2\text{/kg yağ)} = [(S-B) \times N \times 1000] / M$$

S: Titrasyonda sarfedilen sodyum tiyosülfat çözeltisi (ml),
 B: Kör için sarfedilen sodyum tiyosülfat çözeltisi (ml),
 N: Sodyum tiyosülfat normalitesi,
 M: Örnek miktarı (g)

3.2.4.3. Serbest yağ asitliği analizi

Yüzde serbest yağ asitliği, AOCS Official Method Ca5a-40'a göre yapılmıştır (AOCS, 1989). Yağ, erlen içerisine yaklaşık 2 g olacak şekilde tartılmış ve 75 ml %95'lik etanol-diethyl ether karışımında (1:1, v/v) çözülmüştür.

3.2.4.4. Toplam karotenoit tayini

Cam spektrofotometre küvetlerinde 1.5 g yağ örneği 5 ml sikloheksan içerisinde çözüldürülmüştür. Absorpsiyon değerleri spektrofotometrede (Biochrom, LibraS22, İngiltere) 470nm'de ölçülerek belirlenmiştir.

Karotenoit içerikleri kg yağda lutein cinsinden hesaplanmıştır (Minguez ve ark., 1991). Toplam karotenoit pigment miktarı mg.kg^{-1} olarak ifade edilmiştir.

3.2.4.5. *para*-Anisidin tayini

Yağların gerçek oksidasyon değerini hakkında bir kaniya varmak için ikincil oksidasyon ürünlerin de bilinmesi gerektiği düşünülmektedir. Yağ çeşitlerinde *para*-anisidin değeri, uçucu olmayan bileşiklerden aldehitler ve ketonların koku ve lezzet sağlayan sekonder oksidasyon ürünlerinin miktarlarını belirlemek için kullanılmaktadır (Ramadan ve ark., 2006). *para*-Anisidin, 100 ml'sinde 1 g yağ bulunan çözücü ve reaktiften oluşan çözelti 1 cm^2 ebatında küvetteki reaksiyonun sonucunda absorbansın 350 nm dalga boyunda ölçülmesi şeklinde tespit edilmektedir.

Nar çekirdeği yağların oksidasyonunda yüksek moleküllü karbonil bileşikleri (aldehit yapıda) olan ikincil oksidasyon ürünlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan *para*-anisidin testi, AOCS Cd-18-90 yöntemiyle yapılmıştır (AOCS, 2009).

3.2.4.6. UV özgül Soğurma (K_{232} - K_{270}) değerlerinin belirlenmesi

Konjuge dien (K_{232}) ve trien (K_{270}) değerleri tayini, AOCS Ch5-91'e göre yapılmıştır (AOCS, 2006). Yağ örneklerinden 2 gr tartılmış, heksan ile çözülmesi sağlanarak 10 mL'ye tamamlanmıştır. 232 ve 270 nm dalga boylarında okumalar yapılmış ve absorbans değerlerinin 0.2 ile 0.8 arasında olmasına dikkat edilmiştir.

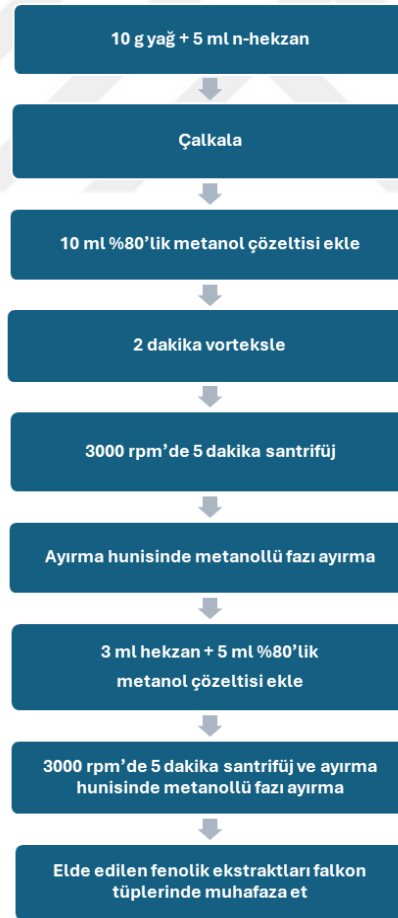
Konjuge dien ve konjuge trien değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

3.2.4.7. Nar çekirdeği yağından fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu

Nar çekirdeği yağından fenolik madde ekstraksiyonu aşağıdaki şemada gösterildiği gibi gerçekteşmiştir. Bu hazırlanan ekstrakt toplam fenolik madde miktarı ve DPPH radikal tutucu aktivite analizlerinde kullanılmıştır.

3.2.4.8. Toplam fenolik madde tayini

Toplam fenolik bileşen miktarı tayini için nar çekirdeği yağından elde edilen ekstraktan 0.2 ml deney tüpüne alınmış, üzerine 4.8 ml saf su eklenerek hacimce 5 ml'ye tamamlanmıştır. Spektrofotometrede (Biochrom, LibraS22, Cambridge-Eng.) 725 nm'de okuması gerçekteştirilmifitir. Gallik asit ile yapılan analiz sonuçları ile standart kürve çizildikten sonra toplam fenolik bileşen miktarı (mg GAE/kg) hesaplanmıştır.



şekil 3.8. Fenolik madde ekstraksiyon basamakları



Şekil 3.9. Toplam fenolik madde analiz sürecinde hazırlanan numuneler

3.2.4.9. Radikal tutucu aktivite (DPPH) tayini

Fraklı ön işlemlerden geçmiş 9 adet nar çekirdeği yağından elde edilen ekstraktların 2,2-difenil-1-pikril hidrazil (DPPH) radikali tutucu aktivitesi Alothman ve ark. (2009)'na ait yöntem ile tespit edilmiştir.

3.2.4.10. Rancimat metodu ile oksidatif stabilitenin tayini

Rancimat metoduyla oksidatif kararlılık, yağ numunelerinin; yüksek bir sıcaklıkta, hava akımını sayesinde uçucu oksidasyon ürünlerinin ultra saf su içerisinde absorbe edilmesi ve absorbe edilen bileşiklerin iletken probalar ile ölçülmesi prensibine dayanır. Nar çekirdeği yağlarının indüksiyon süreleri Rancimat cihazı (Metrohm 892, Basel, İsviçre) ile 3 paralel olacak şekilde belirlenmiştir. Ölçümlerde uygulanan parametreler: sıcaklık 80°C, hava akışı 20 L/h; stabilite indüksiyon süresi "saat", numune 3 g yağ, 60 mL ultra saf su şeklindedir (Gorjanović ve ark., 2011; Anwar ve ark., 2013).

3.2.5. İstatistik Analizler

Analizler, paralelli şekilde 27 adet hazırlanan numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tespit edilen verilerin ortalama değerleri ve numunelere ait standart sapma değerleri verilmiştir. Elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulduktan sonra; istatistiksel olarak önem arz eden farklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ($P \leq 0.05$) ile ortaya konmuştur (Zolman, 1993). İstatistik analizler SPSS Statistics 24.0 istatistik programı kullanılarak yapılmıştır.

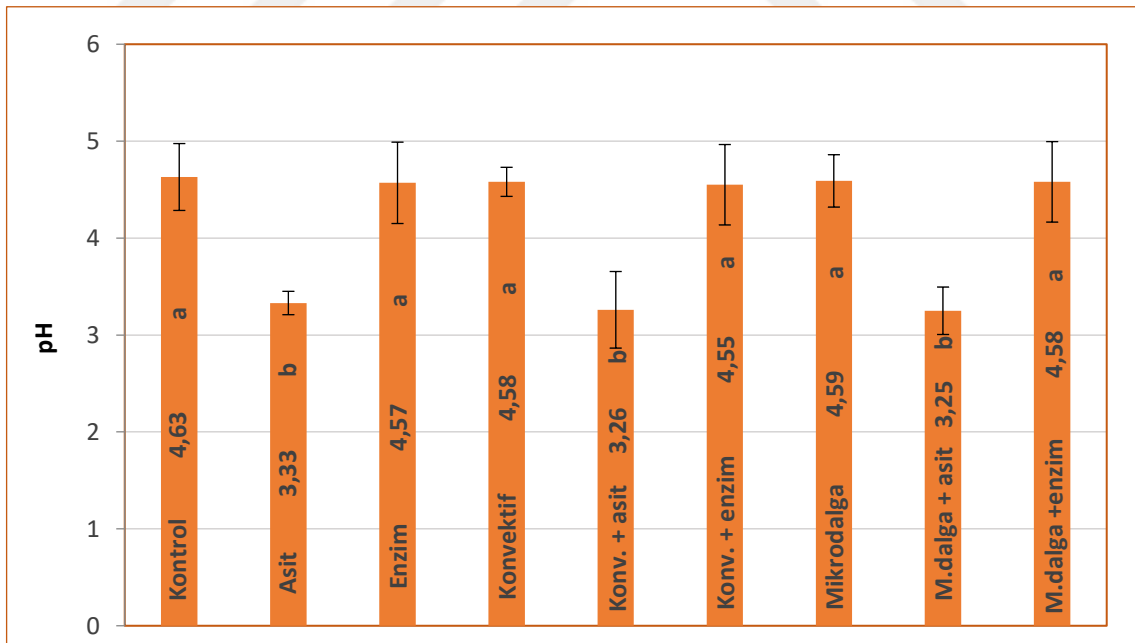
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çalışmada nar çekirdeğine, etüvde konvektif veya mikrodalga fırında kavurma işlemlerinden sonra ticari enzim (Pectinase from *Aspergillus-Viscozyme*) ve HCl çözeltisi ile ön işlemler uygulanmıştır. Elde edilen nar çekirdeği yağ verimi, ve bu yağların bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

İşlem görmemiş nar çekirdeğinin nem içeriği %6.06 olarak ölçülmüştür. Mikrodalga ve konvektif kavurma işleminden sonra nem içeriklerinde azalma sırasıyla %3-4'e kadar gerileyen nem içeriği, yağ çıkarma işlemini kolaylaştırmak için yaklaşık %6-8 olacak şekilde ayarlanmıştır.

4.1. Nar Çekirdeklerinin pH Değerleri

Nar çekirdeği örneklerinin pH değerleri Şekil 4.1'de verilmiştir. pH değeri işlem görmemiş nar çekirdeğinde 4.63 olarak tespit edilmiştir. Enzim preparatının ilavesiyle hafif bir azalma görülse de önemli seviyelerde değildir. Beklendiği gibi, asit uygulamaları ile pH değerleri 3.25-3.33 aralığına gerilemiştir.



Şekil 4.1. Öğütülmüş nar çekirdeklerinin pH değerleri

4.2. Nar Çekirdeği Numunelerinin Lipaz Aktivitesi

Nar çekirdeklerinin lipaz aktivitesi 0.061-0.191 U/g arasında değişmektedir. Değerler, Şekil 4.2'de verilmiştir. En yüksek lipaz aktivite değeri kontrol örneğine aittir. Kavurma işlemi daha etkili olmakla birlikte; asit ve enzim uygulamaları lipaz aktivitesini düşürmüştür. En düşük değerler, mikrodalga fırında ısıl işlem gören çekirdeklere tespit edilmiştir. Bu örnekleri konveksiyonel fırında kavurma işlemine ve asit muamelesine tabi tutulmuş örnekler takip etmiştir.

Mazaheri ve ark. (2019)'na ait çalışmada benzer şekilde kavurma veya mikrodalga ile ön işlemi çörekotunun sıcaklığını artırmış ve enzim aktivitesini azaltmıştır. Kavrulmamış çörekotunda %3.81 olarak tespit ettikleri lipaz aktivitesinin, mikrodalga uygulanan numunelerde önemli derecede (%1.32'ye kadar) gerilediğini bildirmişlerdir. Yağlı tohumlarda bulunan lipaz enzimi depo triaçilgliserollerinin ester bağlarını hidrolize eder. Bu yüzden lipolitik enzimleri etkisiz hale getirmek amaçlanır (Vetrimani ve ark., 1992). Huang ve ark. (2022), perilla tohumuna uygulanan mikrodalga süre ve gücü arttıkça lipaz aktivitesinin orantılı olarak azaldığını belirtmişlerdir.

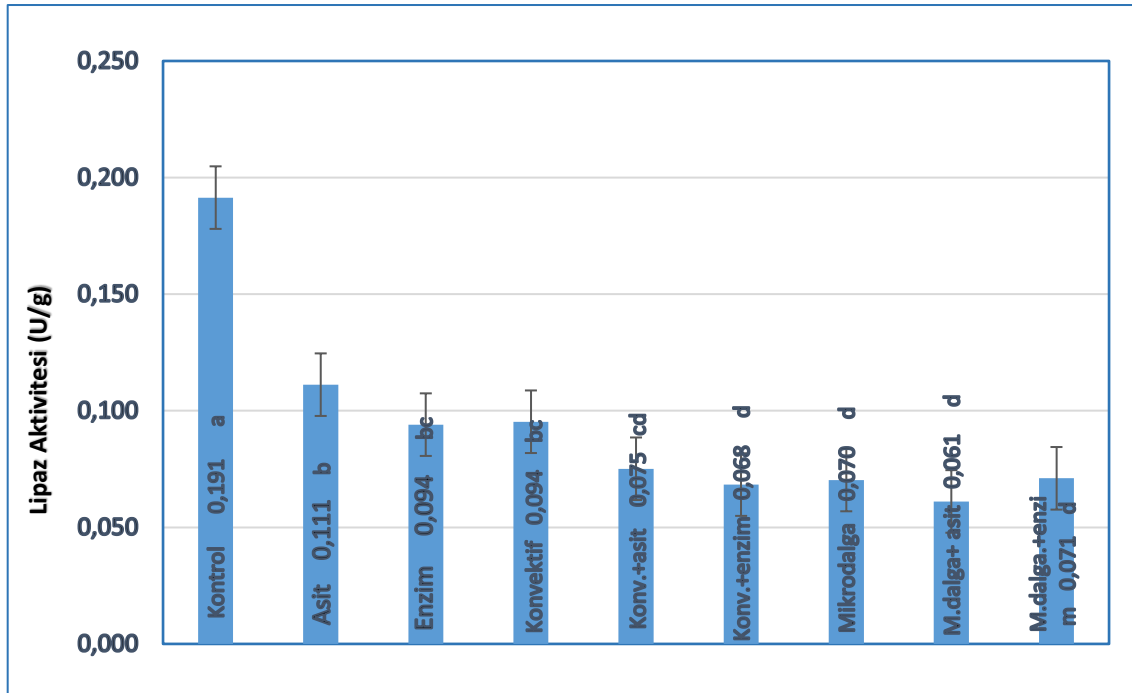
Yağlar, yağ oksidasyonu ile yakından bağlantılı olan serbest yağ asitleri oluşturmak için lipaz tarafından katalize edilen hidrolize uğrar. Bu bileşikler sadece lipaz aktivitesinin ürünleri değil aynı zamanda lipoksijenaz katalizinin substratlarıdır. Bir dereceye kadar, daha yüksek serbest yağ asidi seviyeleri daha kapsamlı yağ oksidasyonunu gösterir (Cao ve ark. 2024). Bulgularımıza benzer şekilde sıcak hava kurutmaya kıyasla mikrodalga uygulanan kinoa numunelerinde daha düşük serbest yağ asitliği tespit eden Cao ve ark. (2024), bu durumu mikrodalga lipaz aktivitesi üzerindeki yıkıcı etkisine dayandırmıştır (Zhao ve ark. 2022). Mikrodalga elektromanyetik alanı, lipaz enziminin dış "kapak" yapısı üzerinde etkili ve doğru bir şekilde hareket ederek enzimin aktif bölgesini açığa çıkarır ve aktive eder. Bir "kapağa" benzeyen α -heliks yapısından oluşan bu aktif bölge, lipazın katalitik üçlü aktif merkezini (Ser-His-Asp/Glu) korur (Tolouie ve ark., 2018). Bu aktif merkez içerisinde, amino asit kalıntısı Ser, hidrojen bağları aracılığıyla His'e bağlanırken, Glu veya Asp, kalıntı üzerindeki karboksil grubu aracılığıyla His ile hidrojen bağları oluşturur. α -heliks kısmının çözülmesinden sonra, mikrodalga elektromanyetik alanı lipazın içindeki aktif merkezi doğrudan etkiler ve aktif merkez içerisindeki amino asit kalıntılarının

deaktivasyonuna yol açar (Lampi ve ark., 2020). Sonuç olarak, lipaz aktivitesi geri döndürülemez ve keskin bir şekilde azalır (Cao ve ark. 2024).

Mikrodalgaların lipazdaki orijinal hidrojen bağlarını bozduğunu, α -heliksin kısmen gevşemesine neden olduğunu ve bunun sonucunda düzenli yapının kaybolmasına ve rastgele sarmalın artmasına yol açtığı gösterilmiştir (Li ve ark., 2023).

Mikrodalgalarda hem termal hem de termal olmayan etkileri nedeniyle, mikrodalga tohum içindeki polar grup molekülleri üzerindeki etkisi titreşimli ısıtma etkilerine neden olmuş ve bunun sonucunda enzim proteinlerinin kısmi deaktivasyonu ve dolayısıyla lipaz aktivitesinde azalma meydana gelmiştir (Van Wayenbergh ve ark., 2023).

Buğday rüşeyminde aynı lipaz aktivitesine, sıcak hava ile kavurmaya kıyasla mikrodalga uygulamasında daha düşük sıcaklık ve kısa sürede ulaşıldığını bildiren Meriles ve ark. (2022)'na göre sıcak hava ve mikrodalga uygulamalarının enzim inaktivasyonunda etkileri arasındaki fark, özellikle sıcaklığa ve ısıtma mekanizmasına atfedilebilir. Enzimler, protein yapıları nedeniyle ısıyla yapılarını kaybetme eğilimindedir. Moleküler düzeyde etki eden mikrodalgalar, enzim yapısını veya konformasyonunu etkiler. Mikrodalganın lipaz inaktivasyonu mekanizmasında su aktivitesini düşürmesi de etkili olmaktadır (Meriles ve ark. 2022).



Şekil 4.2. Nar çekirdeği örneklerinin lipaz aktivitesi (U/g)

4.3. Ön işlemlerin Nar Çekirdeği Yağ Verimi Üzerine Etkileri

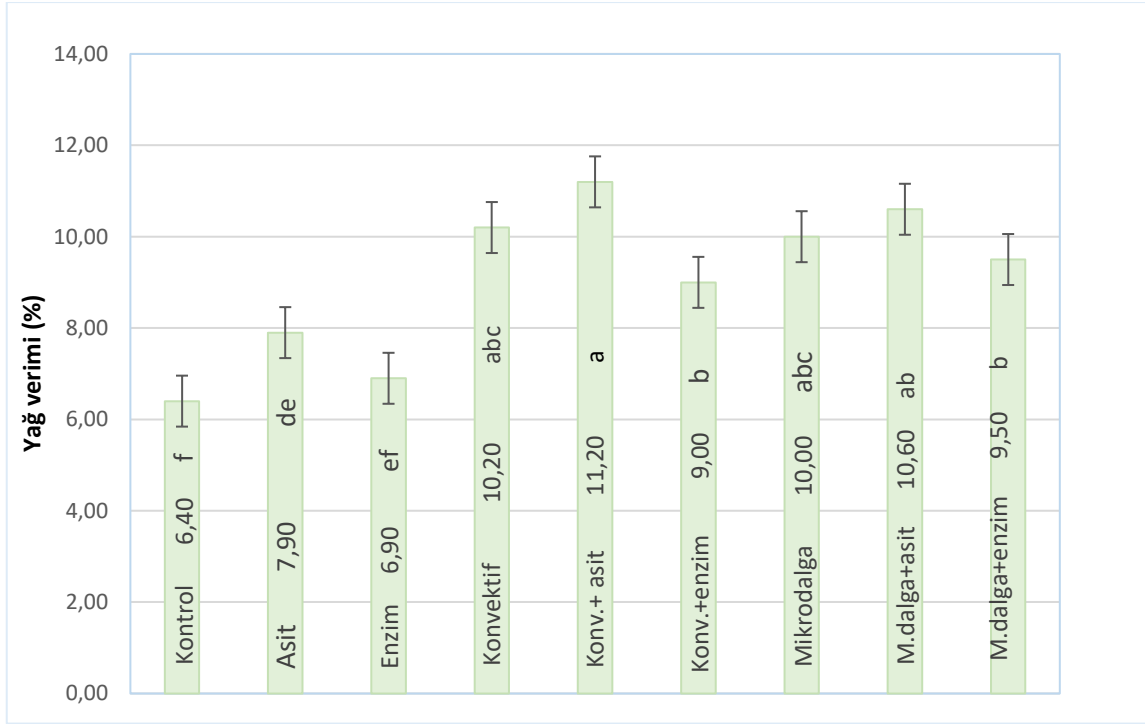
Kavurma işlemi nar çekirdeklerinin su içeriğinin azalmasıyla birlikte, çekirdek içerisindeki yağ globüllerinin hücre içinden dışarıya çıkarılması ayrıca hücre duvarında yer alan proteinlerin denatüre olmasını sağlayarak hücre içinde yer alan yağ moleküllerinin çıkışını daha kolay hale getirmek için yapılmıştır (Sidar, 2011). Yağlı tohumlara mikrodalga uygulandığında, hücre zarları ciddi şekilde hasara uğradığı için ekstraksiyon verimliliği artar. Tohumlarda kalıcı gözenekler oluşturur, böylece yağın geçirgen hücre duvarlarından geçmesine izin verir (Azadmard-Damirchi ve ark., 2010).

Farklı ön işlemlerin nar çekirdeği yağ verimine etkileri Şekil 4.3'te verilmiştir. Mikrodalga ve konveksiyonla kuru sıcak hava ile yapılan kavurma işlemleri sonrasında asit ile muamele edilen nar çekirdeklerinin yağ verimleri sırasıyla %11.20 ve %10.60 olup en yüksek verim oranları olarak tespit edilmiştir. Verim oranları, kavurma ile asit veya enzim uygulamalarının kombine uygulandığı örneklerde önemli seviyede yağ verim artışı görülmüştür. Sadece asit veya enzim uygulamaları ise kontrol örneği ile karşılaştırıldığında diğer örneklerle nazaran önemli bir artış ortaya koymamıştır.

Mazaheri ve ark. (2019), çörekotundan soğuk presle yağ eldesinde konvansiyonel kavurmaya kıyasla mikrodalga uygulanan örneklerden daha yüksek verim elde ettiklerini rapor etmişlerdir.

Arinola ve Adesia (2014), Afrika cevizlerinin yağ içeriğinin 1 saatlik kavurma ön işleminden sonra %54.1'den %60.5'e yükseldiğini bildirmişlerdir. Mikrodalga ön işleminin (180 sn, 540 W) çörekotu yağı verimini artırdığı bildirilmiştir (Bakhshabadi ve ark., 2017).

6 dakika ve üzerinde mikrodalga ön işleminin susamda hücre duvarlarında belirgin kırılmalara neden olduğu rapor edilmiştir (Yin ve ark. 2023). 10 dak. sonrasında ise, proteinlerin denatürasyonu ve hücresel yapının deformasyonu bildirilmiştir. Sıcak hava ile kavrulmuş susam tohumunda da yağ globüllerinin kümelenmesi gözlenmiş, ancak hücre duvarlarında belirgin bir kırılma gözlenmemiştir. Bu ön işlemlerin aynı zamanda yağ globüllerinin kümelenmesini sağladığı, yağın katı yapılara olan afinitesini azalttığı ve yağ veriminde artışa yol açtığı ileri sürülmüştür (Xu ve ark., 2019).



Şekil 4.3. Nar çekirdeği yağının verim değerleri

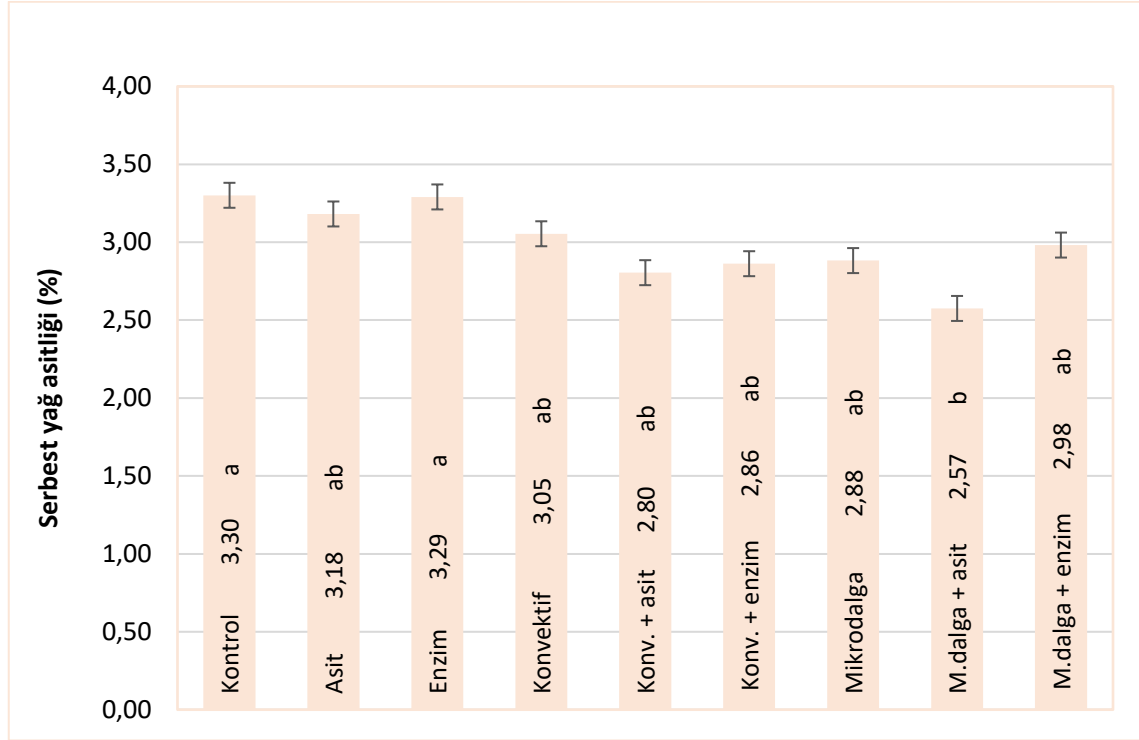
Mikrodalga radyasyonu ile ilgili ekstraksiyon verimliliğinin hızlanması, aynı yönde ileten iki transfer modunun (kütle transferi ve termal iletim) sinerjik etkilerine atfedilmiştir. Mikrodalga ekstraksiyonu sırasında anında yüksek sıcaklık üretilerek içeriden ısıtılan ham maddeler, hücre yapısının çok fazla kırılmasına ve yağın hızla dışarı akmasına neden olur (Hu ve ark. 2021).

4.4. Serbest Yağ Asitliği, Peroksit ve *para*-Anisidin Değerine İlişkin Bulgular

Şekil 4.4' de nar çekirdeği için kalite parametrelerinden serbest asitlik (SYA) değerlerine yer verilmiştir. Serbest yağ asitliği değerleri ile ilgili farklı araştırma çalışmalarında çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Uygulanan işlemler sonrası gerçekleştirilen SYA değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.

Serbest yağ asitliği değeri %2.57-3.30 arasında değişmektedir. Serbest yağ asitliği değerleri için, kontrol örneği ile enzim uygulanmış örnek arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır. En yüksek serbest yağ asitliği kontrol örneğindeyken (%3.30), en düşük SYA değeri mikrodalga + asit uygulanmış örnekte (%2.57) tespit edilmiştir. Tehranifar ve ark. (2010), farklı nar çeşitlerine ait nar çekirdeği yağının SYA değerlerini %0.33-2.44 aralığında olduğunu belirlemişlerdir. Türk Gıda Kodeksi 'Bitki Adı ile Anılan Yağlar Tebliği' ne göre soğuk pres yağlarda asitliğin en fazla 4.0 mg

KOH/g yağ olarak belirtilmiştir. Çalışmamızda yağların önemli kalite parametrelerinden asitlik değerinde kontrol örneğine göre bir azalma gözlenmiş ve olumsuz bir artış gerçekleşmemiştir.



Şekil 4.4. Ön işlemlere tabi tutulan nar çekirdeklerinden elde edilen yağlarda serbest yağ asitliği (%) verileri

Bir maddenin üzerindeki oksijenin varlığını gösteren ölçütlerden biri peroksit değeridir ve ürünün kalitesi açısından önemli bir parametredir.

Bu çalışmada en düşük ve en yüksek peroksit değerleri sırasıyla 9.47 ve 18.98 meqO₂/kg olarak bulunmuştur. Çizelge 4.1' de görüldüğü gibi, kontrol örneği baz alındığında ön işlem uygulanmış yağların peroksit değerlerinde azalma görülmüştür. Peroksit değerinde en düşük değerler, mikrodalga işlemi sonrasında enzim-asit ile muamele gören örneklere aittir.

Hammaddenin ürünün farklı çeşitlerden elde edilmesi, ürünün hasat zamanı, olgunlaşma derecesi ve ayrıca ürünün işleme koşullarıyla birlikte depolama şartları da yağların peroksit sayılarında belirlenen farklılıklardan etkilendiği bilinmektedir.

Özdoğan (2014), Türkiye'de yetişen farklı nar çekirdeği yağlarının özelliklerini incelemiştir. Araştırmalarında peroksit değerleri en düşük 1.0 meq O₂/kg ve en

yüksek 4.4 meq O₂/kg olarak belirlenmiştir. Golmakani ve ark. (2021), nar çekirdeği yağının oksidatif özelliklerini iyileştirmek için gerçekleştirdikleri çalışmada peroksit değeri 9.99 meq O₂/kg olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı ön işlem uygulanmış nar çekirdeği yağların peroksit sayısı (meqO₂/kg yağ), para-anisidin değerleri, K₂₃₂ değerleri, K₂₇₀ değerleri ve indüksiyon süreleri (saat)

Nar çekirdeği yağ örnekleri	Peroksit sayısı	<i>p</i>-anisidin	K₂₃₂	K₂₇₀	İndüksiyon süresi (s)
Kontrol	18.98 a	5.92 a	1.97 b	0.249 b	6.95 cde
Asit	14.97 b	4.59 c	1.95 c	0.252 a	6.53 de
Enzim	11.77 c	4.64 c	1.99 a	0.240 cd	8.04 a
Konveksiyon	14.32 b	5.43 ab	1.93 c	0.242 bc	7.17 bcd
Konveksiyon + Asit	12.40 c	5.16 bc	1.92 c	0.246 b	6.33 e
Konveksiyon + Enzim	12.15 c	4.97 bc	1.91 c	0.241 bcd	7.41 abc
Mikrodalga	11.69 c	5.34 bc	1.96 c	0.279 a	7.35 abcd
Mikrodalga + Asit	9.86 d	4.55 c	1.90 c	0.236 d	6.71 cde
Mikrodalga + Enzim	9.47 d	4.26 c	1.95 c	0.244 bc	7.83 ab

Çizelge 4.1’ de *p*-anisidin değeri verilmiştir. Kontrol numunesi olarak nar çekirdeğinden ortalama 5.92 *p*-anisidin değeri elde edilmiştir. Nar çekirdeklerinde gerçekleştirilen uygulamalar sonrasında, en yüksek *p*-anisidin değeri 5.43 ile konveksiyonla kavurma uygulamasında elde edilmiştir. En düşük değer ise 4,26 mikrodalga+enzim örneğine aittir. Konveksiyon yoluyla kavurma işleminin diğer uygulamalara göre daha yüksek *p*-anisidin değerine sebep olduğu, mikrodalgada kavurma işlemi de konveksiyona kıyasla daha az olsa da yine *p*-anisidin değerlerini yükselttiği görülmüştür. Asit ve enzim uygulanan numunelerin yağlarında *p*-anisidin değerleri daha düşük bulunmuştur. Sadece konveksiyonla ısıl işlem gören numunelerin *p*-anisidin değerlerindeki artışın, asit veya enzimle beraber yapılan uygulamalarda önemli seviyede daha az olmuştur.

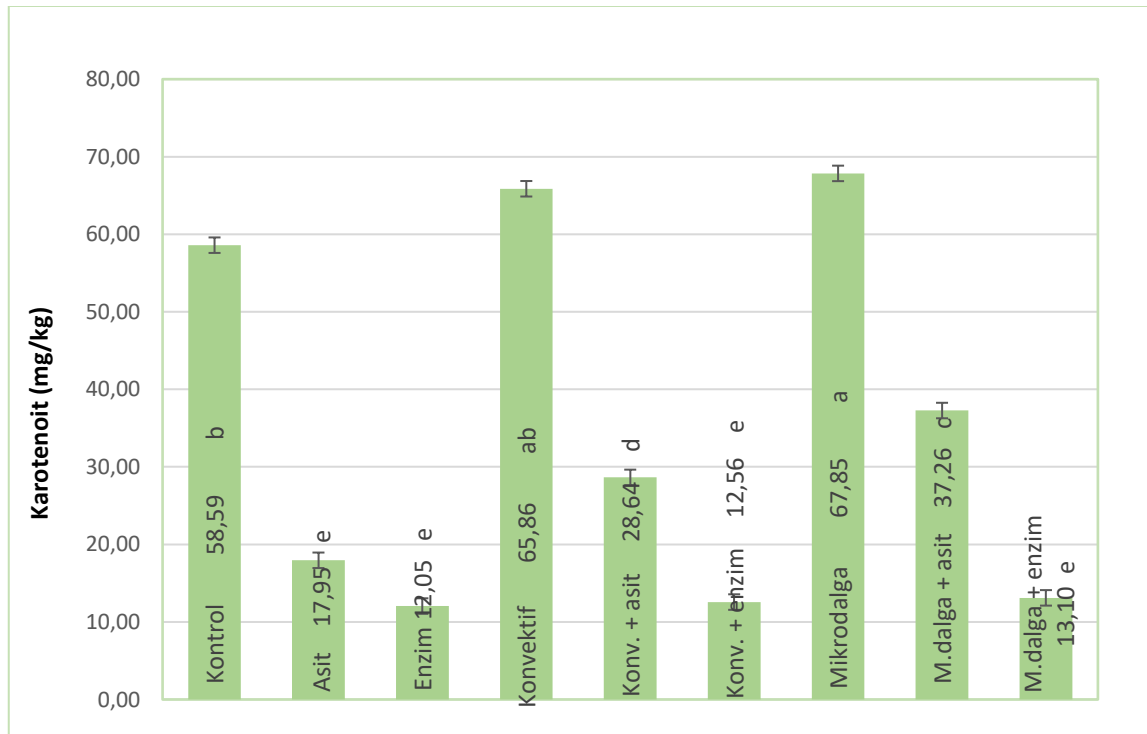
Hidroperoksitler kararsızdır ve aldehitler ve ketonlar vb. gibi ikincil oksidatif ürünlere hızla parçalanırlar. *P*-anisidin değeri bu safhadaki oksidasyonu ortaya koyan bir analizdir. Drinic ve ark. (2020), nar kabuklarının nar çekirdeği yağının oksidatif stabilitesine etkisini inceledikleri tüm örneklerde düşük peroksit değerine rağmen *p*-

anisidin değeri yüksek olması, *p*-anisidin nar çekirdeği yağının ikincil oksidasyon ürünü olmayan bazı bileşenleriyle reaksiyona girdiğini göstermektedir. Golmakani ve ark. (2020), soğuk pres ile elde edilen ticari nar çekirdeği yağının *p*-anisidin değerini 4.2 olarak ortaya koymuşlardır.

4.5. Karotenoit Değerine İlişkin Bulgular

Şekil 4.5’de farklı ön işlemler uygulanan nar çekirdeği yağlarına ait karotenoit değerleri verilmiştir. Toplam karotenoit miktarı minimum enzim ve maksimum mikrodalga uygulamalarında sırasıyla 12.05 mg/kg ve 67.85 mg/kg olarak belirlenmiştir. Toplam karotenoit miktarlarında mikrodalga ve konvektif uygulamaları ile en yüksek değerleri ortaya koymaktadır. Enzim ilavesi uygulanan nar çekirdeği yağları ise en düşük karotenoit miktarı görülmüştür. Karotenoit değerleri arasında istatistiki olarak asit, enzim, konvektif+enzim, mikrodalga+enzim uygulamaları ile elde edilen nar çekirdeği yağlarında önemli bir fark göstermemektedir.

Candan (2019), farklı ön işlemler sonrasında elde ettiği üzüm çekirdeği yağının karotenoit miktarlarında uygulanan kavurma işlemlerinin karotenoit miktarını artırdığını gözlemlemiştir. Enzim uygulamasının ise karotenoit miktarını olumsuz etkileyerek düşürdüğünü ortaya koymuşlardır.



Şekil 4.5. Nar çekirdeği yağının karotenoit (mg/kg) değerleri

Perez ve ark. (2013) ve Kaseke ve ark. (2021)'na göre, tohum yağı çıkarma bağlamında enzimatik ön işlem mekanizmaları, tohum matrisini dönüştüren ve onu yağ çıkarmaya daha uygun hale getiren birkaç temel işlemi içerir. Bu mekanizmalar şunları içerir: a) yağ damlacıklarını kapsülleyebilen ve yağın çıkarılmasını zorlaştıran amfipatik moleküller olan fosfolipitlerin hidrolizi, b) tohumlardaki yağ içeren hücreleri çevreleyen selüloz ve hemiselüloz dahil hücre duvarı bileşenlerinin parçalanması, tohum hücrelerinin içinden yağın salınmasını kolaylaştırır, c) yağı tohum dokusu içinde hapseden yağ bağlayıcı proteinlerin salınması. Bu enzimatik mekanizmalar toplu olarak tohumun iç yapısını değiştirerek yağ çıkarmaya karşı direnci azaltır. Fakat aynı zamanda karotenoitlerin yağa geçişini zorlaştıran bir durum da söz konusu olmuştur. Asit ve enzimin tampon çözelti ile tohumlara verilmesi ve ilave inkübasyon şartlarının da bu etkide rolü olduğu düşünülmüştür.

4.6. UV Özgül Soğurma (K_{232} - K_{270}) Değerine İlişkin Bulgular

Özgül soğurma (K_{232} ve K_{270}) değeri yağlarda meydana gelen istenmeyen kalite düşüşlerine sebep olan oksidasyon ürünlerinin bir göstergesi olmaktadır ve önemli kalite kriterlerindedir. Birincil oksidasyon ürünleri (oksidasyonun birinci basamağı olan hidroperoksitlerin ve konjuge dienler) için K_{232} değerleri, K_{270} değeri de oksidasyonun ileri seviyesinde oluşan aldehit ve ketonlar gibi ikincil oksidasyon ürünlerinin (karbonilik bileşikler ile konjuge trienlerin) seviyelerinin belirlenmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Marmesat ve ark., 2009; Göğüş ve ark., 2009).

K_{232} değeri en yüksek, enzim ön işlemi ile muamele olmuş ve kontrol örneklerindedir (Çizelge 4.1). Değerler sırasıyla 1.99 ve 1.97 olarak gözlenmiştir. Diğer tüm örneklerin K_{232} değerlerinde istatistiki olarak bir fark gözlenmemiştir. En yüksek K_{270} değerleri istatistiki bir fark bulunmayan, asit ve mikrodalga ön işlemi ile muamele olmuş örneklerdedir. Bir sonraki en yüksek K_{270} değeri, kontrol örneği (0.249) ve konveksiyon+asit ile (0.246) muamele olmuş örneğe aittir. En düşük K_{270} değeri ise 0.236 ile mikrodalga+asit yağ numunesine aittir.

Kaseke ve ark. (2020)' de 3 çeşit nar çekirdeği yağının özelliklerini incelediklerinde K_{270} değerlerini 0.28-0.31 aralığında bulmuşlardır. Değerler çalışmamızda elde edilen veriler ile uyuşmaktadır. Fakat aynı çalışmada elde edilen 0.19-0.20 aralığındaki K_{232} değerleri çalışmamızda elde edilen değerlerin altında kalmıştır.

4.7. Toplam Fenolik Madde ve DPPH Radikal Tutucu Aktivite Değerine İlişkin Bulgular

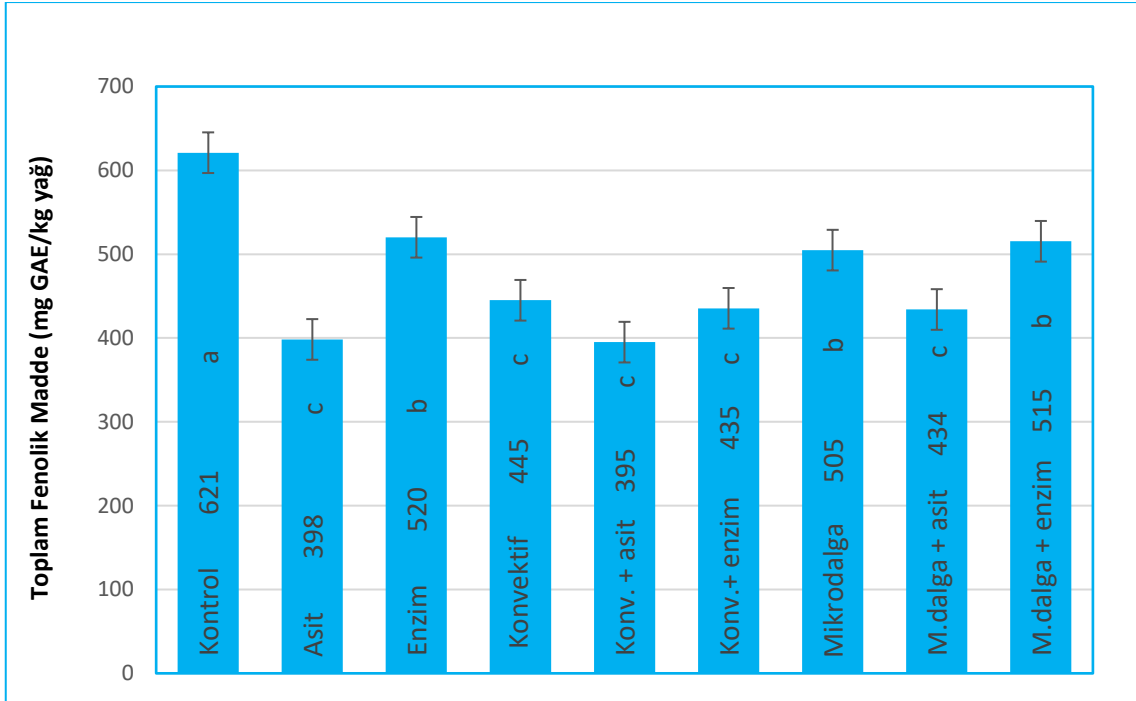
Antioksidanlar, okside olabilen substratların oksidasyonlarını önleyen veya geciktiren moleküller olarak tanımlanmaktadır. İnsan vücudunda açığa çıkan serbest radikallerin, vücut için olumsuz etkilerini azaltabilen, farklı kanser tiplerine kadar birçok hastalığa karşı kalkan görevi görerek önlemede etkin olduğu kanıtlanan bileşikler oldukları birçok çalışmaya konu olmuştur (Sağlam, 2007; Aktürk, 2010). Birçok doğal kaynakta farklı miktarlarda, farklı çözünürlükte bulunan ve antioksidan etki gösteren maddelerin başında; vitaminler (suda çözünen C ve yağda çözünen E), karotenoidler ve fenolik bileşikler gelmektedir (Sağlam, 2007). Nar çekirdeğinde, antioksidan etki gösteren maddelerce zengin bir kaynak olduğu düşünülmektedir.

Nar çekirdeği yağının antioksidan içeriğinin belirlenmesinde; farklı ön işlemler uygulanan yağ numunelerinde toplam fenolik madde ve DPPH serbest radikal yakalama aktivitesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Fenolik madde miktarı en yüksek olan nar çekirdeği yağı 621 mg GAE/kg ile kontrol numunesine aittir (Şekil 4.6). İstatistiki olarak kontrol örneğinden sonra en yüksek fenolik içeriği; enzim, mikrodalga ve mikrodalga +enzim örneklerine aittir. Bunların haricindeki tüm nar çekirdeği yağı numuneleri aralarında istatistiki bir fark olmadan, en düşük fenolik içeriğine sahiptirler.

Fenolik bileşiklerin yağ içerisindeki çözünürlüğü azdır. Bu sebepten dolayı fenoliklerin yağa geçişi az miktarda olmaktadır. Öte yandan, ayçiçeği çekirdeklerinin mikrodalgaya (500-600 W, 9-15 dk) maruz bırakıldığı bir çalışmada termal oksidasyona bağlı olarak ayçiçeği yağındaki tokoferollerin yaklaşık %20-30'unun kaybolmasına neden olmuştur (Kiczorowska ve ark., 2019).

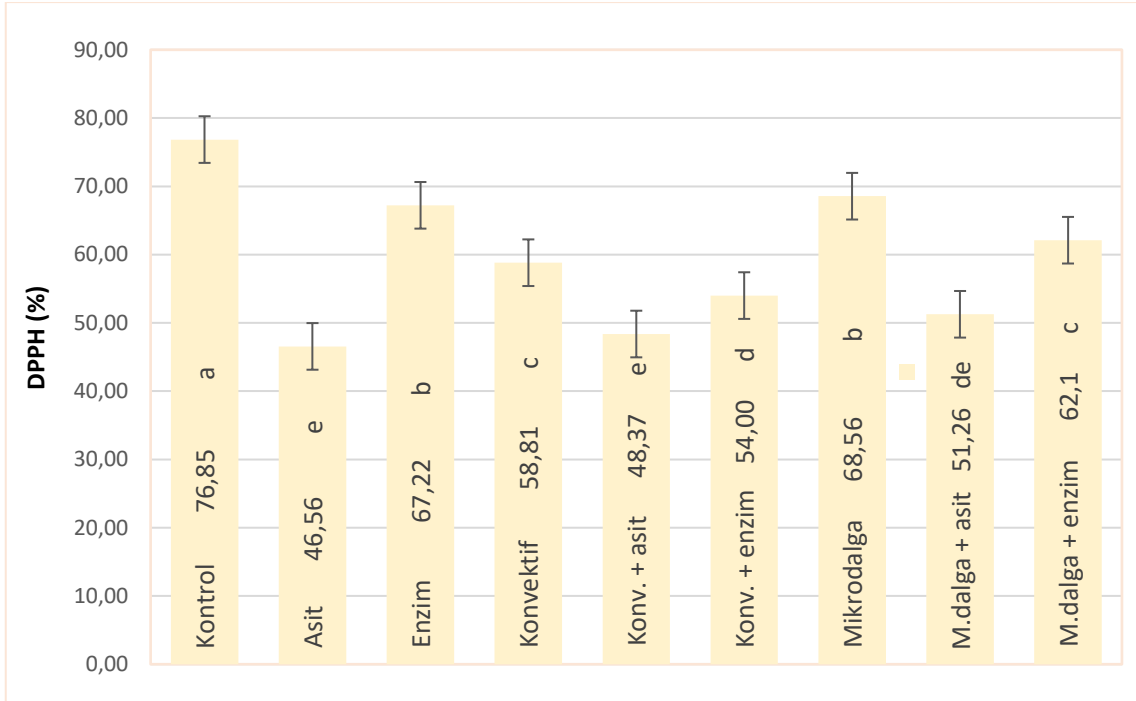
Solomakou ve ark. (2024)' de nar çekirdeği yan ürünleri üzerinde gerçekleştirdikleri bir çalışmada farklı çözücülerle muamele edilen nar kabuklarının TFM değerlerini 2311-10233 mg GAE/100 g olarak ortaya koymuşlardır. Bu farklılıklar nar kabuklarının polifenol içeriğinin hücre duvarına bağlı ve serbest olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kaseke ve ark. (2021), gerçekleştirdiği çalışmada enzimatik ön işlemlerle nar çekirdeği yağının özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Nar çekirdeği yağının TFM'si 2.89 ile 4.73 mg GAE/g PSO arasında değiştiğini ve enzim uygulanan nar çekirdeği yağlarının TFM miktarını arttırdığını ortaya koymuşlardır.



Şekil 4.6. Nar çekirdeği yağlarının toplam fenolik madde (mg GAE/kg yağ) değerleri

İstatistiksel olarak kontrol ile kıyaslandığında nar çekirdeğine uygulanan ön işlemler sonrasında elde edilen yağlarda antioksidan seviyesinin düşük olduğu görülmektedir. Çeşitli literatür araştırmaları, çekirdekte bulunan antioksidan aktivite miktarının, içerdiği fenolik bileşiklerin varlığıyla orantılı olduğunu göstermiştir. Fenolik madde oranlarında olduğu gibi tüm ön işlem uygulanmış nar çekirdeği yağ örneklerinin antioksidan aktivite değerleri (DPPH) kontrol numunesinden düşüktür.



Şekil 4.7. Nar çekirdeği yağlarının DPPH (% inhibisyon) giderme aktiviteleri

Keten tohumuna mikrodalga ön işleminin yağların DPPH giderme aktivitesinde bir azalmaya neden olduğunu bildiren Szydłowska-Czerniak ve ark. (2020), mikrodalga işleminin antioksidan bileşiklerin belirli mikrodalga emici özellikleri, dielektrik geçirgenliği ve kayıp faktörü (loss factor) nedeniyle yok edildiğini belirtmişlerdir (Feng ve ark., 2003). Mikrodalga işlemi sırasında elektromanyetik radyasyonun neden olduğu ısıtma etkisi, esterleşmiş ve glikozit bağlı fenolik asitlerin miktarını azaltabilir ve serbest fenolik bileşiklerin serbest kalmasına neden olabilir.

4.8. Nar Çekirdeği Yağlarının İndüksiyon Süresi

İndüksiyon süresinin belirlendiği rancimat metodu ile elde edilen sonuç değerleri Çizelge 4.1’de yer almaktadır. Nar çekirdeği yağlarının indüksiyon süreleri enzim>mikrodalga+enzim>konvektif+enzim>mikrodalga>konvektif>kontrol>mikrodalga+asit>asit>konvektif+asit olarak en yüksekte en düşüğe doğru sıralanabilir. Enzim uygulaması yapılan nar çekirdeği yağlarının indüksiyon süresini artırırken asit uygulaması yapılan nar çekirdeği yağlarının indüksiyon sürelerinde kontrol örneğine kıyasla bir düşüş gözlenmiştir.

Wang ve ark. (2021), mikrodalga ve konveksiyonel kavurma işlemi uyguladıkları bir çekirdeğin oksidatif stabilitesini incelemişlerdir. Uygulanan işlemlerde

kontrol numunesine göre indüksiyon süresinde artış meydana gelmiştir. Konvektif uygulamadaki artış mikrodalga işlemi uygulanmış çekirdeğine göre daha azdır. Yin ve ark. (2022), 4 dakikalık mikrodalga uygulamasıyla ayçiçek yağının indüksiyon süresinin sabit kalarak önemli bir değişim göstermediğini bildirmişlerdir. Sonrasında indüksiyon süresinde artış tespit etmişlerdir. Bu durum, oksidatif enzimlerin inaktivasyondan ve lipit oksidasyon oranını önemli ölçüde azaltan antioksidan Maillard reaksiyon ürünlerinin oluşumundan kaynaklanabilmektedir (Raigar ve ark., 2017).



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, gıda ve kozmetik endüstrisinde kullanılabilecek daha verimli ve kaliteli nar çekirdeği yağı elde etmek için bazı ön işlem yöntemleri araştırılmıştır. Nar çekirdeği yağının soğuk pres üretiminde, nar çekirdeklerine ön işlem olarak konveksiyonla kavurma ve mikrodalga ile kavurma yöntemleri asit ve enzim ile uygulanarak elde edilen yağ özellikleri üzerine etkileri ortaya konmuştur. Nar çekirdeği gerçekleştirilen ön işlemlerden sonra en yüksek yağ verimi konvektif+asit işlemleri yapılan nar çekirdeğinde sağlanmıştır. Konvektif+asit uygulaması yapılan yağın toplam fenolik madde değerleri, diğer örnekler arasında en düşük olmaktadır. Bununla birlikte antioksidan aktivitesi de düşüktür. Uygulama yüksek miktarda yağ eldesini kontrol örneğine göre, kalite parametrelerinden ödün verilerek elde edilebilmiştir. Kozmetik ürünlerinde ve uçucu yağların taşınmasında kullanılabilir. Dezavantaj olarak indüksiyon süresi düşük olduğundan, raf ömrü diğer yağlara göre daha azdır. Mikrodalga ve konveksiyonel kavurma ile asit muamelesi, yağ verimini en çok artıran yöntem olarak belirlenmiştir. Sadece asit ve enzim uygulaması yapılan örneklerdeki verim artışı gözlenmiş fakat öncesinde kavurma işlemi ile desteklenen örneklere kıyasla çok daha az bir artış sağlamıştır. Sadece %1 oranında enzim uygulamasından elde edilen verim, kontrolden istatistiki olarak da bir fark ortaya koymamıştır. Mikrodalga+enzim uygulaması ile elde edilen yağ, fenolik madde ve antioksidan içeriğinde çok fazla düşüğe sebep olmadan verim artışı sağladığı için gıda takviyesi alanında kullanılabilir. Ön işlem uygulanan tüm nar çekirdeği yağları daha düşük *para*-anisidin, peroksit ve serbest yağ asitliği değerleri vermiştir. Asit ve enzim uygulamaları, serbest yağ asitliğini düşürmüş, ancak antioksidan aktiviteyi azaltmıştır. Asit ilavesi yapılan uygulamalarda daha fazla olmak üzere ön işlemler toplam fenolik ve radikal giderme aktivitelerinde azalmaya neden olmuştur.

Sonuç olarak, mikrodalga ile kavurma ve asit uygulamaları kombinasyonu, nar çekirdeği yağ verimini artırmak ve kalite parametrelerini geliştirmek için etkili bir yöntem olarak öne çıkmıştır. Ancak, antioksidan aktivite kaybını minimize etmek için uygulanan normlar ve kombinasyonlar üzerinde optimizasyon çalışmaları gerekmektedir.

5.2 Öneriler

Yapılan analizler sonucunda enzim ve asit uygulamasının toplam fenolik madde ve DPPH aktivitesi üzerine etki göstermemesi fakat indüksiyon süresini olumlu bir şekilde etkilemesi bir sonraki çalışmalarda uygulama konsantrasyonu, inkübasyon süresi ve sıcaklığı, farklı enzimler ve bunların karışımları gibi parametrelerin incelenmesinin faydalı olabileceğini ortaya koymuştur.



6. KAYNAKLAR

- Aktürk, E., 2010, Mührüsüleyman (*Polygonatum orientale*) bitkisinin *in vitro* antioksidan kapasitesinin incelenmesi ve bazı vitamin içerikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tokat.1-33.
- Alothman, M., Bhat, R. ve Karim, A. A., 2009, Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents, *Food Chemistry*, 115(3), 785-788.<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.005>
- Anwar, F., Zreen, Z., Sultana, B. ve Jamil, A., 2013, Enzyme-aided cold pressing of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.): Enhancement in yield, quality and phenolics of the oil, *Grasas y Aceites*, 64(5), 463–471. doi:10.3989/gya.132212
- AOCS, 1989, Official Method, Ca5a- 40, free fatty acids.
- AOCS, 2006, Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. AOCS Press, Champaign, Ch5- 91.
- AOCS, 2009, Official Method Cd 18-90, p-anisidine value.
- Arinola, S. O. ve Adesina, K., 2014, Effect of thermal processing on the nutritional, antinutritional, and antioxidant properties of *Tetracarpidium conophorum* (African walnut). *Journal of Food Processing*, 1–4.
- Asil, H., 2020, Soğuk sıkım (pres) yöntemiyle elde edilen yağlar ve fitoterapik özellikleri, güncel fitoterapi ve geleneksel tıbbi bitkiler, Nobel Tıp Kitabevleri, 86-96.
- Azadmard-Damirchi, S., Habibi-Nodeh, F., Hesari, J., Nemati, M. ve Achachlouei, B. F., 2010, Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed, *Food Chemistry*, 121(4), 1211–1215.
- Bakhshabadi, H., Mirzaei, H., Ghodsvali, A., Jafari, S.M., Ziaifar, A.M., ve Farzaneh, V., 2017, The effect of microwave pretreatment on some physico-chemical properties and bioactivity of black cumin seeds' oil, *Ind. Crop. Prod.* 97, 1–9.
- Bilber, O., 2010, Bazı gıdalarda suda ve yağda çözünen vitaminlerin eşzamanlı tayin metodunun optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-12.
- Caligiani, A., Bonzanini, F., Palla, G., Cirlini, M. ve Bruni, R., 2010, Characterization of a Potential Nutraceutical Ingredient:Pomegranate (*Punica granatum* L.) Seed Oil Unsaponifiable Fraction, *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(3), 277-83.
- Candan, A., 2019, Farklı ön işlem ve ekstraksiyon yöntemleri ile kayısı çekirdeği, keten tohumu ve üzüm çekirdeği yağı eldesi ve özelliklerinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

- Cao, H., Dong, X., Wang, C., Song, H., Huang, K., Zhang, Y., Lu, J. ve Guan, X., 2024, Refining quinoa storage stability through microwave-induced structural alterations and activity suppression of key enzymes, *Food Chemistry*, 446. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138786>
- Çam M., 2009, Basınçlı solvent ekstraktörü kullanılarak nar kabuğu ve çekirdeğinin antioksidan bileşiklerin su ile ekstraksiyonu, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İzmir, 11-37.
- Çeltikci N. P., 2008, Türkiye ekonomisinde nar ve nar türevleri, Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Antalya 37-71.
- Doğan, C., Çelik, Ş. ve Doğan, N., 2017, Siirt bölgesi melengiçlerin toplam fenolik madde miktarları ve antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi, 293–298.
- Drinić, Z., Mudrić, J., Zdunić, G., Bigović, D., Menković, N., Šavikin, K., 2020, Effect of pomegranate peel extract on the oxidative stability of pomegranate seed oil, *Food Chemistry*, 333. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127501>
- European Union Commission Regulation EEC 2568/91 on the characteristics of olive oil and olive pomace and their analytical methods, Official European Commission. L248, 1991.
- Ezeh, O., Gordon, M.H., Niranjan, K., 2016, Enhancing the recovery of tiger nut (*Cyperus esculentus*) oil by mechanical pressing: Moisture content, particle size, high pressure and enzymatic pre-treatment effects, *Food Chemistry*, 194, 354–361.
- Feng, D., Shen, Y. ve Chavez, E. R., 2003, Effectiveness of different processing methods in reducing hydrogen cyanide content of flaxseed, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 836–841.
- García, A., Brenes, M., José Moyano, M., Alba, J., García, P. ve Garrido, A., 2001, Improvement of phenolic compound content in virgin olive oils by using enzymes during malaxation, *Journal of Food Engineering*, 48(3), 189–194. doi:10.1016/S0260-8774(00)00157-6
- Göğüş, F., Özkaya, M. ve Ötleş, S., 2009, Zeytinyağı, Ankara, Eflatun Yayınevi, 1-269.
- Golmakani, M. T., Keramat, M., Zare Darniyani, L., 2020, A kinetic approach to the oxidation of linseed oil as influenced by fruit peel and seeds of pomegranate, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 122(2). <https://doi.org/10.1002/ejlt.201900084>
- Golmakani, M. T., Mansouri, Z., Ansari, S. ve Alavi, N., 2021, Improving oxidative stability of pomegranate seed oil using *Oliveria decumbens* essential oil, *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(6). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15483>

- Gorjanović, S. Ž., Rabrenović, B. B., Novaković, M. M., Dimić, E. B., Basić, Z. N. ve Sužnjević, D. Ž., 2011, Cold-pressed pumpkin seed oil antioxidant activity as determined by a DC polarographic assay based on hydrogen peroxide scavenge, *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(12).
- Hu, B., Xi, X., Li, H., Qin, Y., Li, C., Zhang, Z., Liu, Y., Zhang, Q., Liu, A., Liu, S. ve Luo, Q., 2021, A comparison of extraction yield, quality and thermal properties from *Sapindus mukorossi* seed oil between microwave assisted extraction and Soxhlet extraction, *Industrial Crops and Products*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113185>
- Huang, J., Chen, C., Song, Z., Chang, M., Yao, L., Jin, Q. ve Wang, X., 2022, Effect of microwave pretreatment of perilla seeds on minor bioactive components content and oxidative stability of oil. *Food Chemistry*, 388. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133010>
- Iriti, G., Bonacci, S., Lopreiato, V., Frisina, M., Oliverio, M. ve Procopio, A., 2023, Functional Compounds of Cold-Pressed Pomegranate Seed Oil: Fatty Acids and Phytosterols Profile as Quality Biomarkers for Origin Discrimination, *Foods*, 12(13). <https://doi.org/10.3390/foods12132599>
- İreş, N., 2009, Konya çevresinde kullanılan yem ve bileşenlerindeki suda ve yağda eriyen vitaminlerin eş zamanlı tayin metodunun geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-15.
- Kandylis, P. ve Kokkinomagoulos, E., 2020, Food applications and potential health benefits of pomegranate and its derivatives, *Foods*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/foods9020122>
- Kaseke, T., Opara, U. L. ve Fawole, O. A., 2020, Effect of microwave pretreatment of seeds on the quality and antioxidant capacity of pomegranate seed oil, *Foods*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/foods9091287>
- Kaseke T., U.L. Opara, O.A. ve Fawole, 2021, Effects of enzymatic pretreatment of seeds on the physicochemical properties, bioactive compounds, and antioxidant activity of pomegranate seed oil, *Molecules* 26 (15) 4575, <https://doi.org/10.3390/molecules26154575>.
- Kiczorowska, B., Samolińska, W. ve Andrejko, D., 2019, Comparative analysis of selected bioactive components (fatty acids, tocopherols, xanthophyll, lycopene, phenols) and basic nutrients in raw and thermally processed camelina, sunflower, and flax seeds (*Camelina sativa* L. Crantz, *Helianthus* L., and *Linum* L.). *J Food Sci Technol* 56, 4296–4310. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03899-z>
- Kiralan, M., Özkan, G., Bayrak, A., Ramadan, M.F., 2014, Physicochemical properties and stability of black cumin seed oil as affected by different extraction methods, *Industrial Crops and Products*, 57, 52-58.

- Koç M., 2016, Soğuk pres tekniği ile elde edilen farklı üzüm çeşitlerine ait çekirdek yağlarının fizikokimyasal özellikleri ve oksidatif stabilitelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ.
- Lampi, A.-M., Yang, Z., Mustonen, O. ve Piironen, V., 2020, Potential of faba bean lipase and lipoxygenase to promote formation of volatile lipid oxidation products in food models. *Food Chemistry*, 311, Article 125982. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125982>
- Lee, D. W., Koh, Y.S., Kim, K.J., Kim, B.C., Choi, H.J., Kim, D.S., Suhartono, M. T., Pyun, Y.R., 1999, Isolation and characterization of a thermophilic lipase from *Bacillus thermoleovorans* ID-1, *FEMS Microbiology Letters*, 179(2), 393–400. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1999.tb08754.x>
- Li, M.-M., Chen, Y.-T., Ruan, J.-C., Wang, W.-J., Chen, J.-G. ve Zhang, Q.-F., 2023, Structure-activity relationship of dietary flavonoids on pancreatic lipase. *Current Research in Food Science*, 6, Article 100424. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.100424>
- Mahesar, S. A., Kori, A. H., Sherazi, S. T. H., Kandhro, A. A. ve Langhari, Z. H., 2019, Pomegranate Seed Oil. In M. F. Ramadan (Ed.), *Fruit oils: Chemistry and functionality*, 691–709.
- Maier, T., Schieber, A., Kammerer, D. R. ve Carle, R., 2009, Residues of grape (*Vitis vinifera* L.) seed oil production as a valuable source of phenolic antioxidants, *Food Chemistry*, 112(3), 551–559.
- Marmesat, S., Morales, A., Velasco, J., Ruiz-Mendez, M.V. ve Dobarganes, M.C., 2009, Relationship between changes in peroxide value and conjugated dienes during oxidation of sunflower oils with different degree of unsaturation, *Grasas y Aceites*, 60 (2), 155–160.
- Mazaheri, Y., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S. ve Savage, GP., 2019, A comprehensive review of the physicochemical, quality and nutritional properties of *Nigella sativa* oil, *Food Reviews International*, 35 (4), 342–362. <https://doi.org/10.1080/87559129.2018.1563793>
- Matthäus, B. ve Özcan, M. M., 2006, Quantitation of fatty acids, sterols, and tocopherols in turpentine (*Pistacia terebinthus* Chia) growing wild in Turkey, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20), 7667–7671. doi:10.1021/jf060990t
- Melgarejo, P., Núñez-Gómez, D., Legua, P., Martínez-Nicolás, J. J. ve Almansa, M. S., 2020, Pomegranate (*Punica granatum* L.) a dry pericarp fruit with fleshy seeds, In *Trends in Food Science and Technology*, 102(232–236). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.014>

- Meriles, S. P., Penci, M. C., Curet, S., Boillereaux, L. ve Ribotta, P. D., 2022, Effect of microwave and hot air treatment on enzyme activity, oil fraction quality and antioxidant activity of wheat germ, *Food Chemistry*, 386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132760>
- Minguez, M.I., Rejano, J., Gandul, B., Hinginio. A., Garrido, 1991, *Journal of The American Oil Chemists' Society*, 68:332.
- Nagao. K. ve Yanagita. T., 2005, Conjugated Fatty Acids in Food and Their Health Benefits, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100. 152–157.
- Neđeral, S., Škevin, D., Kraljić, K., Obranović, M., Papeša, S. ve Bataljaku, A., 2012, Chemical composition and oxidative stability of roasted and cold pressed pumpkin seed oils, JAOCS, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(9), 1763–1770. doi:10.1007/s11746-012-2076-0
- Özdoğan, N., 2014, Nar Çekirdek Yağının Ekstraksiyonu ve Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Pareek, S., Valero, D., ve Serrano, M., 2015, Postharvest biology and technology of pomegranate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(12), 2360–2379. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7069>
- Perez E.E., M.B. Fern´andez, S.M. Nolasco, G.H. Crapiste, 2013, Effect of pectinase on the oil solvent extraction from different genotypes of sunflower (*Helianthus annuus* L.), *J. Food Engin.* 117 (3) 393–398, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.03.006>.
- Pirzadeh, M., Caporaso, N., Rauf, A., Shariati, M. A., Yessimbekov, Z., Khan, M. U., Taylor ve Francis., 2020, Pomegranate as a source of bioactive constituents: A review on their characterization, properties and applications. Vol. 0, Issue 0 <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1749825>. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-18.
- Raigar, R. K., Upadhyay, R. ve Mishra, H. N., 2017, Optimization of microwave roasting of peanuts and evaluation of its physicochemical and sensory attributes, *Journal of Food Science & Technology*, 54(7), 2145–2155. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2654-0>
- Ramadan, M. F., Amer, M. M. A. ve Sulieman, A. E. R. M., 2006, Correlation between physicochemical analysis and radical-scavenging activity of vegetable oil blends as affected by frying of French fries, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108(8), 670–678. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600058>
- Roginsky, V. ve Lissi, E. A., 2005, Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food, *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2004.08.004

- Sağlam, F., 2007, Antosiyanince zengin dut, kiraz ve gilaburu meyvelerindeki fenolikler ve antioksidan kapasitesi üzerine reçel yapım işleminin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.1-9.
- Schubert, Y. S., Lansky, E. P. ve Neeman. I., 1999, Antioxidant and eicosanoid enzyme inhibition properties of pomegranate seed oil and fermented juice flavonoids. *Journal of Ethnopharmacology*, 66, 11 – 17.
- Sevindik, O., ve Selli S., 2017, Üzüm Çekirdek yağı eldesinde kullanılan ekstraksiyon yöntemleri, *Gıda Dergisi*, 42 (1), 95-103.
- Shinagawa, F. B., de Santana, F. C., Araujo, E. S., Purgatto, E. ve Mancini-Filho, J., (2018). Chemical composition of cold pressed Brazilian grape seed oil. *Food Science and Technology*, 38(1), 164–171.
- Sidar, H., 2011, Menengiç tohumlarından yağ eldesi: sulu ekstraksiyona enzim ve yüzey aktif madde etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Solomakou, N., Kalfa, E., Kyriakoudi, A., Kaderides, K., Mourtzinis, I., Goula, A. M., 2024, An approach for the valorization of pomegranate by-products using ultrasound and enzymatic methods. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 5, 100060. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100060>
- Şeran, E. B., 2011, Yağlı tohumlara uygulanan ultrasonik destekli ön işlem ile soğuk pres yağlarında verim ve kalitenin artırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Tehranifar, A., Zarei, M., Nemati, Z., Esfandiyari, B., Vazifeshenas, M. R., 2010, Investigation of physico-chemical properties and antioxidant activity of twenty Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars, *Scientia Horticulturae*, 126(2), 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.001>
- Tolouie, H., Mohammadifar, M. A., Ghomi, H., Yaghoubi, A. S. ve Hashemi, M., 2018, The impact of atmospheric cold plasma treatment on inactivation of lipase and lipoxygenase of wheat germs, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, 346–352. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.002>
- Tontul, S., 2017, Probiyotik mikroorganizmaların püskürterek dondurma ve kurutma teknikleriyle mikroenkapsüle edilerek probiyotik kek üretiminde kullanım imkanlarının araştırılması, Doktora Tezi, *T.C. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya.
- Turfan, Ö., 2008, Nar suyu konsantresi üretim ve depolama sürecinde antosiyaninlerdeki değişimler, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara,1-20.
- Türk Gıda Kodeksi Bitki Adı ile Anılan Yağlar Tebliği, Tebliğ No: 2012/29.

- Uncu, E.B., 2008, Farklı lamine ambalajların öğütülmüş fındıklarda oksidasyon ve toplam tokoferol düzeyi üzerine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-17.
- Van Wayenbergh, E., Langenaeken, N. A., Struyf, N., Goos, P., Foubert, I. ve Courtin, C. M., 2023, Stabilisation of vitamin A by wheat bran is affected by wheat bran antioxidants, bound lipids and endogenous lipase activity, *Food Research International*, 169, Article 112911. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112911>
- Vetrimani, R., Jyothirmayi, N., Haridas Rao, P. ve Ramadoss, C.S., 1992, Inactivation of lipase and lipoxygenase in cereal bran, germ and soybean by microwave treatment LWT- *Food Science and Technology*, 25 (6), pp. 532-535. Cited 53 times.
- Wang, Z., Zheng, C., Huang, F., Liu, C., Huang, Y. ve Wang, W., 2021, Effects of radio frequency pretreatment on quality of tree peony seed oils: Process optimization and comparison with microwave and roasting, *Foods*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/foods10123062>
- Watson, R. ve Ross, R., 2014, Polyphenols in plants: isolation, purification and extract preparation, Amsterdam: *Elsevier*, Academic Press.
- Xu, T., Yang, R., Hua, X., Zhao, W., Tong, Y. ve Zhang, W., 2019, Improvement of the yield and flavour quality of sesame oil from aqueous extraction process by moisture conditioning before roasting, *International Journal of Food Science and Technology*, 54 (2), 471–479. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13959>
- Yin, W. Ting, Shi, R., Li, K., Wang, X. De, Wang, A. Na, Zhao, Y. Hang, ve Zhai, Z. Qing., 2022, Effect of microwave pretreatment of sunflower kernels on the aroma-active composition, sensory quality, lipid oxidation, tocopherols, heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons of sunflower oil, *LWT*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114077>
- Yin, W. Ting, Yang, C. Jia, He, X. Yun, Zhao, Y. Hang, Liu, H. Min, Zhai, Z. Qing. ve Wang, X. De., 2023, Comparison of microwave and hot-air roasting on microstructure of sesame seed, aroma-active, hazardous components, and sensory perception of sesame oil. *Food Chemistry: X*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101045>
- Zhao, J., Ma, M., Yan, X., Zhang, G., Xia, J., Zeng, G. ve Gong, D., 2022, Expression and characterization of a novel lipase from *Bacillus licheniformis* NCU CS-5 for application in enhancing fatty acids flavor release for low-fat cheeses, *Food Chemistry*, 368, Article 130868. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130868>
- Zolman, J. F., 1993, *Biostatistics: experimental design and statistical inference*, Oxford University, New York.