

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METAL ETKİSİ UYGULANARAK YETİŞTİRİLEN ROKA (*Eruca sativa*) BİTKİSİNİN ANTİOKSİDAN AKTİVİTESİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esra KOCABAY

Kimya Anabilim Dalı

Biyokimya Bilim Dalı

AĞUSTOS 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METAL ETKİSİ UYGULANARAK YETİŞTİRİLEN ROKA (*Eruca sativa*) BİTKİSİNİN ANTİOKSİDAN AKTİVİTESİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esra KOCABAY

Kimya Anabilim Dalı

Biyokimya Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülnur ARABACI

AĞUSTOS 2024

Esra KOCABAY tarafından hazırlanan "METAL ETKİSİ UYGULANARAK YETİŞTİRİLEN ROKA (*Eruca sativa*) BİTKİSİNİN ANTİOKSİDAN AKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ" başlıklı bu çalışma, Prof. Dr. GÜLNUR ARABACI danışmanlığında Esra KOCABAY tarafından hazırlanmıştır. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Gülnur ARABACI (Danışman) Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Meryem Nilüfer YARAŞIR Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Esra ALTINTIĞ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine kurallarına uygun olarak “METAL ETKİSİ UYGULANARAK YETİŞTİRİLEN ROKA (*Eruca sativa*) BİTKİSİNİN ANTİOKSİDAN AKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı tezin bana ait olduğunu; tez çalışmamın her aşamasında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun hareket ettiğimi, tezde yer alan yenilik ve sonuçların tamamen bana ait olduğunu, başka bir kaynaktan alınmadığını, tezde kullandığım eserlerin kaynaklarını doğru ve usulüne uygun olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaçla veya unvan almak amacıyla sunmadığımı ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenen ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(.../.../2024)

Esra KOCABAY



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında anlayışı ve sabırlı ve bilge rehberliği ile bana yol gösteren değerli bilgi ve deneyimlerini paylaşarak tez çalışmamı destekleyen danışmanım Prof. Dr. GÜLNUR ARABACI'ya şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, bilgisini benden esirgemeyen, Duygu YAMAN'a teşekkür ederim. Bilgisayarım bozulduğunda bir an bile düşünmeden bana bilgisayarını veren çok sevgili arkadaşım Neslihan KELEŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

Bunun yanında, bana her koşulda destek veren ve büyük bir anlayışla yanımda olan sevgili eşim Muhammet YALÇIN'a da teşekkürlerimi sunarım.

Esra KOCABAY



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
TABLO LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Serbest Radikaller	5
2.2. Antioksidanlar	6
2.3. Bazı Antioksidan Maddeler	8
2.3.1. Askorbik asit	8
2.3.2. Alfa tokoferol (E Vitamini) ile ilgili bilgi	9
2.3.3. Beta-caroten (A Vitamini):	10
2.4. Antioksidan Aktivite Metodları	11
2.4.1. DPPH yöntemi kullanılarak numunelerin toplam antioksidan potansiyelinin tayini	12
2.4.2. CUPRAC -Bakır (II) iyonunu indirgeme özelliğine sahip antioksidan tayini	13
2.4.3. Folin-Ciocalteu reaktifi (FCR) ile toplam fenolik madde tayini	14
2.5. Metallerin Bitkilerdeki Önemi ve Etkisi	15
2.6. Roka (Eruca sativa)	16
2.7. Literatür Taraması	17
3. MATERYAL VE METOD	19
3.1. Bitkinin Yetiştirilmesi	19
3.2. Kimyasal Materyaller	20
3.3. Kullanılan Aletler	20
3.4. Kullanılan Ana Çözelti Hazırlama Süreci	20
3.4.1. Fenolik madde tayini için hazırlanan çözeltiler	20

3.4.2. DPPH serbest radikal giderme aktivitesi için kullanılan solüsyonlar	20
3.4.3. Bakır (II) iyonlarının indirgenmesi ile antioksidan kapasite tayini için kullanılan çözeltiler	20
3.5. Uygulanan Yöntemler ve Kalibrasyon Grafikleri	21
3.5.1. DPPH serbest radikali giderim aktivitesi tayini	21
3.5.2. Bakır (II) iyonu indirgeme yöntemi ile antioksidan kapasite ölçümü (CUPRAC)"	21
3.5.3. Folin yöntemiyle toplam fenolik madde tayini	22
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	23
4.1. DPPH Radikal İndirgeme Aktivitesi Sonuçları	23
4.2. Bakır (II) İyonlarının İndirgenmesi ile Antioksidan Kapasitesinin Ölçüm Sonuçları (CUPRAC)"	25
4.3. Folin Yöntemiyle Toplam Fenolik Madde Tayini Sonuçları	26
5. SONUÇLAR	29
KAYNAKÇA	31
ÖZGEÇMİŞ	37

KISALTMALAR

DPPH	: 1,1-Difenil-2-pikrilhidrazil radikali; C ₁₈ H ₁₂ N ₅ O ₆
CUPRAC	: Bakır (II) iyonunu redükte eden antioksidan
FCR	: Folin-Ciocalteu
CAT	: Katalaz
GPX	: Glutasyon peroksidaz
GSH	: Glutasyon
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
C vitamini	: Askorbat/Askorbik asit
H₂O₂	: Hidrojen peroksit GA:3,4,5-trihidroksibenzoik asit
QE	: 3,3',4',5,7-pentahidroksiflavanon
NBT	: Nitroblue tetrazolium
GAE	: Galik asit eşdeğeri



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. DPPH giderim aktivitesi sonucu % inhibisyon değerleri.....	24
Tablo 4.2. DPPH giderim aktivitesi sonucu % inhibisyon değerleri.....	24
Tablo 4.3. CUPRAC sonucu numunelerin TEAC _{CUPRAC} (TEAC, μ M TE/g dw) değerleri.....	25
Tablo 4.4. Bitki ekstrelerinin toplam fenolik miktarları (Fenolik madde miktarı: gallik asite eşdeğer olup birimi mg fenolik madde / gram ekstre olarak ifade edildi. Sonuçlar 3 paralel testin ortalaması olup, standart sapma değerleri göz önüne alındı.).....	27



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. DPPH ile antioksidan madde arasındaki reaksiyon"	13
Şekil 2.2. Roka bitkisi (<i>Eruca sativa</i>)	17
Şekil 3.1. Ekilen rokalar.....	19
Şekil 3.2. Troloks standardının kalibrasyon eğrisi	22
Şekil 4.1. DPPH % İnhibisyon grafiği	24
Şekil 4.2. CUPRAC tayini için inkübasyon sonucu numuneler	26
Şekil 4.3. Toplam fenolik madde tayininde standart olarak kullanılan gallik asitin kalibrasyon eğrisi	26



METAL ETKİSİ UYGULANARAK YETİŞTİRİLEN ROKA (*Eruca sativa*) BİTKİSİNİN ANTİOKSİDAN AKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Günümüz dünyasında çevre kirliliği, modern yaşamın stresli yapısı ve kullanılan çeşitli ilaçlar, sadece insanlar üzerinde değil, tüm canlılar üzerinde de olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu faktörler, canlı organizmaların hücrelerinde serbest radikallerin oluşumuna neden olmaktadır. Serbest radikaller, hücre bileşenlerini okside ederek zarar verir ve bu süreçte proteinler, lipitler ve nükleik asitler gibi önemli biyomoleküller hedef alınır. Bu zararlar, hücresel işlev bozukluğuna ve ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir.

Oksidatif stres, serbest radikallerin hücrelere zarar vermesi sonucu ortaya çıkan bir durumdur. Serbest radikaller, hücrelerin doğal metabolik süreçleri sırasında oluşabilir, ancak çevresel faktörler bu oluşumu artırabilir. Oksidatif stres, DNA mutasyonlarına, protein yapılarının bozulmasına ve hücre membranlarının hasar görmesine neden olabilir. Bu durum, kanser, kalp ve damar hastalıkları, şeker ve nörodejeneratif hastalıklar gibi pek çok kronik hastalıkta etkili olduğu görülmektedir.

Antioksidanlar, serbest radikalleri nötrleyerek oksidatif stresi azaltan bileşiklerdir. Antioksidanlar, hücreleri koruyarak sağlığın sürdürülmesine yardımcı olur. Bu moleküller, hem vücut tarafından üretilen (endojen) hem de dış kaynaklı (eksojen) olabilir. Diyetle alınan antioksidanlar, bitkisel kaynaklardan gelen fenolik bileşikler, flavonoidler, vitaminler ve mineraller gibi bileşenler içerir.

Bitkiler, doğal antioksidanlar açısından zengin kaynaklardır ve bu nedenle beslenmede önemli bir yere sahiptir. Son dönemlerde, doğal bitkisel ürünlere olan ilgi giderek artmış ve birçok bitkinin antioksidan özellikleri detaylı olarak araştırılmıştır. Bu bitkilerden biri olan roka (*Eruca sativa*), Brassicaceae ailesine ait olup, yüksek antioksidan özelliklere sahip flavonoidler, fenolik bileşikler, vitaminler ve karotenoidler gibi bileşikler içermektedir.

Roka, Brassicaceae (Turpgiller) familyasına ait, genellikle Akdeniz mutfağında yaygın olarak kullanılan bir bitkidir. Latince adı *Eruca sativa* olan bu bitki, özellikle salatalarda, garnitür olarak ve çeşitli yemeklerin içinde kullanılan aromatik ve acımsı bir tada sahiptir.

Roka bitkisi, yaklaşık 20-100 cm yüksekliğe kadar büyüeyebilen, yeşil yaprakları olan ve küçük beyaz veya sarımsı çiçekler açan bir bitkidir. Yaprakları genellikle tüysüz olup, derin loblu ve saplıdır. Çiçekleri ise dört taç yapraktan oluşur ve çapraz bir yapıya sahiptir.

Roka, zengin besin içeriği ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle beslenme uzmanları tarafından sıkça tavsiye edilen bir bitkidir. İçerdiği vitaminler, mineraller ve antioksidan bileşikler sayesinde sağlıklı bir beslenme düzeninin önemli bir unsuru olabilir.

Roka, A, C ve K vitaminleri açısından oldukça zengindir. Bunun yanı sıra, demir, magnezyum, potasyum ve kalsiyum gibi temel mineraller de barındırır. Bu vitaminler ve mineraller, bağışıklığın güçlenmesine katkıda bulunur ve kemik sağlığını destekler ve vücut genelinde birçok biyokimyasal işlevin düzgün çalışmasını sağlar.

Roka, flavonoidler, glukozinolatlar ve fenolik bileşikler zengin antioksidan özelliklere sahiptir. Bu bileşikler, reaktif moleküllerin neden olduğu oksidatif stresle savaşarak hücreleri korur ve kronik hastalıkların riskini azaltır.

Roka, glukozinolatlar açısından zengindir. Bu bileşikler, vücutta izotiyosiyanatlar gibi aktif bileşiklere dönüşerek kanser hücrelerinin büyümesini engelleyebilir. K vitamini içeriği sayesinde roka, kemik sağlığını destekler ve osteoporoz riskini azaltır. Yüksek A vitamini içeriği, görme sağlığında etkilidir. Makula dejenerasyonu riskini yaşa bağlı olarak düşürür. İçerdiği lif ile sindirimi düzenler ve bağırsak sağlığını korur.

Roka bitkisinin antioksidan aktiviteleri üzerine yapılan araştırmalar, bu bitkinin sağlık üzerindeki olumlu etkilerini daha da belirgin hale getirmiştir. Özellikle metal stresine maruz bırakıldığında rokanın antioksidan kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, bitkisel antioksidanların çevresel stres faktörlerine karşı koruyucu özelliklerini ortaya koymaktadır.

Yapılan araştırmalarda, farklı metal konsantrasyonları ile yetiştirilen roka bitkilerinin antioksidan aktivitelerinin ölçülmesi, bu bitkinin adaptif savunma mekanizmalarını anlamada önemli veriler sağlamıştır. DPPH ve CUPRAC yöntemleri ile yapılan analizler, metal stresinin antioksidan aktiviteyi artırabileceğini göstermektedir.

Antioksidanların sağlık üzerindeki koruyucu etkilerine bakıldığında, bu bitkisel kaynakların diyetle alınmasının önemi bir kez daha vurgulanmaktadır. Gelecek çalışmalarda, farklı bitkilerin antioksidan aktivitelerinin ve bu aktivitelerin insan sağlığına olan etkilerinin daha derinlemesine araştırılması, yeni doğal antioksidan kaynaklarının keşfi açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle farklı çevresel koşullarda ve stres faktörleri altında yetiştirilen bitkilerin antioksidan kapasitelerinin incelenmesi, bu alandaki bilgi birikimini artıracaktır.

Bu çalışmada, roka bitkisinin (*Eruca sativa*) farklı konsantrasyonlardaki metallerle yetiştirilerek antioksidan aktiviteleri belirlenmiştir. Araştırmada, roka tohumları çeşitli metal çözeltileriyle (Pb^{+2} , Na^{+} , Co^{+2} , Cd^{+2} , Fe^{+3} , Zn^{+2} ,) iki farklı konsantrasyonda (15 ve 50 mg/L) yetiştirilmiştir. Kontrol grubu olarak sadece su eklenerek yetiştirilen roka bitkileri kullanılmıştır. Yeterli büyüklüğe ulaşan bitkiler hasat edilip kurutulmuş ve etanol çözücüsü ile ekstrakte edilmiştir.

Ekstrakte edilen numunelerin antioksidan özellikleri, DPPH (1,1-Difenil-2-pikrilhidrazil radikali; $C_{18}H_{12}N_5O_6$) radikal giderim kapasitesi, CUPRAC (Bakır (II) iyonunu indirgeme ve toplam fenolik madde tayini metotları kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Sonuçlar, DPPH inhibisyon değeri, CUPRAC ve toplam fenolik madde sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Yapılan analizlerde, metal çözeltileri ile yetiştirilen roka bitkilerinin antioksidan aktivitelerinde kontrol grubuna kıyasla artış gözlemlenmiştir. DPPH inhibisyon değeri ve CUPRAC analiz sonuçları, 700 µg/ml konsantrasyonunda incelendiğinde, metalsiz kontrol grubuna oranla 15 ve 50 mg/L metal konsantrasyonlarında artış tespit edilmiştir. Farklı metal konsantrasyonları kıyaslandığında ise 15 mg/L metal konsantrasyonlarının DPPH ve CUPRAC değerlerinde artış, ancak 50 mg/L konsantrasyonunda bu değerlerin tekrar azaldığı görülmüştür. Bu veriler, roka

bitkisinin metal çözeltileri ile yetiştirildiğinde antioksidan aktivitesinin strese bağlı olarak arttığını göstermektedir. Toplam fenolik madde miktarı en yüksek Co^{+2} 50 değerinde yetiştirilen roka bitkisinde gözlenmiştir. İkinci sırada ise Zn^{+2} 50 değerinde ve Fe^{+3} 50 de ise en düşük değer tespit edilmiştir.

Roka bitkisi, sadece lezzetli bir besin kaynağı olmanın ötesinde, sağlığa olan faydaları ve zengin antioksidan içeriğiyle de bilinir. Antioksidan özelliklerinin yanında, içerdiği vitaminler ve mineraller sayesinde sağlıklı bir beslenme düzeninin olmazsa olmazıdır. Gelecekte yapılacak araştırmalar, rokanın sağlık üzerindeki etkilerini daha detaylı olarak ortaya koyabilir ve bu bitkinin terapötik potansiyelini daha iyi kavramamıza katkıda bulunabilir.

Anahtar Kelimeler: Roka (*Eruca sativa*), Metal, DPPH, CUPRAC, Toplam Fenol





DETERMINATION OF THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ROKA (*Eruca sativa*) PLANT GROWED USING METAL EFFECT

SUMMARY

In today's world, environmental pollution, the stressful nature of modern life, and the use of various drugs create negative effects not only on humans but also on all living organisms. These conditions lead to the generation of free radicals in the cells of living organisms. Free radicals oxidize cellular components, targeting important biomolecules such as proteins, lipids, and nucleic acids. This damage can result in cellular dysfunction and serious health problems.

Oxidative stress is a state resulting from the damage inflicted on cells by free radicals. Free radicals can be formed during the natural metabolic processes of cells, but environmental factors can increase this formation. Oxidative stress can cause DNA mutations, protein structure degradation, and cell membrane damage. This condition contributes to the development of numerous chronic diseases, including cancer, cardiovascular diseases, diabetes, and neurodegenerative disorders.

Antioxidants are elements that neutralize free radicals and lessen oxidative stress. Antioxidants help maintain health by protecting cells. These molecules can be both endogenous (produced by the body) and exogenous (obtained from external sources). Dietary antioxidants include phenolic compounds, flavonoids, vitamins, and minerals derived from plant sources.

Plants are rich sources of natural antioxidants and thus hold an important place in nutrition. Lately, the interest in natural herbal products has surged, and the antioxidant properties of many plants have been studied in detail. One of these plants, rocket (*Eruca sativa*), belongs to the Brassicaceae family and contains compounds with high antioxidant properties such as flavonoids, phenolic compounds, vitamins, and carotenoids.

Rocket, a part of the Brassicaceae (Cruciferous) family, is a plant commonly used in Mediterranean cuisine. Known by its Latin name *Eruca sativa*, this plant is especially used in salads, as a garnish, and in various dishes due to its aromatic and slightly bitter taste.

The rocket plant can grow to a height of approximately 20-100 cm, with green leaves and small white or yellowish flowers. The leaves are generally hairless, deeply lobed, and stalked. The flowers have four petals arranged in a cross shape.

Rocket is often endorsed by nutritionists for its rich nutrient profile and beneficial health effects. Its vitamins, minerals, and antioxidant compounds make it a vital component of a healthy diet.

Rocket is particularly abundant in vitamins K, A, and C, it also comprises essential minerals like calcium, iron, potassium, and magnesium. These vitamins and minerals support the immune system, maintain bone health, and ensure the proper functioning of various biochemical processes in the body.

Rocket contains compounds with high antioxidant properties, such as flavonoids, glucosinolates, and phenolic compounds. These compounds protect cells by reducing oxidative stress attributed to reactive molecules and lower the risk of chronic diseases.

Rocket is rich in glucosinolates. These compounds can be converted into active compounds such as isothiocyanates in the body, which can inhibit the growth of cancer cells. Thanks to its vitamin K content, rocket supports bone health and reduces the risk of osteoporosis. Its high vitamin A content protects vision health and reduces the risk of age-related macular degeneration. The fiber content regulates digestion and supports gut health.

Research on the antioxidant activities of the rocket plant has further highlighted its positive effects on health. It has been observed that rocket's antioxidant capacity increases when exposed to metal stress. This situation reveals the protective properties of plant antioxidants against environmental stress factors.

Studies measuring the antioxidant activities of rocket plants grown with different metal concentrations have provided important data in understanding this plant's adaptive defense mechanisms. Analyses using DPPH and CUPRAC methods have shown that metal stress can increase antioxidant activity.

Considering the protective effects of antioxidants on health, the importance of consuming such plant sources through diet is emphasized once again. Future studies on the antioxidant activities of different plants and the effects of these activities on human health are crucial for discovering new natural antioxidant sources. Particularly, examining the antioxidant capacities of plants grown under different environmental conditions and stress factors will enhance the knowledge in this field.

In this study, the antioxidant activities of rocket (*Eruca sativa*) cultivated with different concentrations of metals were determined. The research involved growing rocket seeds with various metal solutions (Pb^{+2} , Na^{+} , Fe^{+3} , Co^{+2} , Zn^{+2} , Cd^{+2}) at two different concentrations (15, 50 mg/L). As a control group, rocket plants were grown with only water. The plants were harvested when they reached sufficient size, dried, and extracted with ethanol solvent.

The antioxidative properties of the extracted samples were assessed using the DPPH (1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical) scavenging activity, CUPRAC (Cupric ion reduction capacity) methods and total phenolic content assay. The results were evaluated based on DPPH inhibition value, CUPRAC and total phenolic content assay results.

In the analyses conducted, an increase in antioxidant activities was observed in rocket plants grown with metal solutions compared to the control group. When examining the DPPH inhibition value and CUPRAC analysis results at a concentration of 700 $\mu\text{g/ml}$, an increase was detected in metal concentrations of 15 and 50 mg/L compared to the metal-free control group. Comparing different metal concentrations, it was observed that DPPH and CUPRAC values increased at 15 mg/L metal concentrations, but these values decreased again at 50 mg/L concentrations. These data indicate that the antioxidant activity of the rocket plant increases in response to stress when grown with metal solutions. The highest amount of total phenolic substances was observed in arugula plants grown at Co^{+2} 50 values. In the second place, the lowest value was determined for Zn^{+2} at 50 and Fe^{+3} at 50.

The rocket plant stands out not only as a delicious food source but also for its health benefits and high antioxidant content. In addition to its antioxidant properties, it can be an indispensable part of a healthy diet due to its vitamins and minerals. Future research can further elucidate the health effects of rocket and help us better understand its therapeutic potential.

Keywords: Arugula (*Eruca sativa*), Metal, DPPH, CUPRAC, Total Phenol





1. GİRİŞ

Modern yaşamın kaçınılmaz bir parçası olan çevresel kirlilik, yoğun stres, yanlış beslenme alışkanlıkları ve kimyasal madde kullanımı, tüm canlıların sağlığı üzerinde derin etkiler bırakmaktadır. Bu faktörlerin tümü, canlı organizmaların hücrelerinde serbest radikallerin oluşumunu artıran temel nedenler olarak kabul edilmektedir [1]. Serbest radikaller, eksik elektrona sahip oldukları için son derece reaktif olan ve hücresel bileşenlerle kolayca etkileşime giren moleküllerdir. Bu reaktif oksijen türleri, hücre zarlarına, proteinlere ve DNA'ya zarar vererek oksidatif strese neden olur [2].

Oksidatif stres, serbest radikallerin antioksidan savunma mekanizmalarını aşarak hücrelerde hasara yol açtığı bir durum olarak tanımlanabilir. Oksidatif stresin etkileri arasında hücresel yaşlanma, DNA mutasyonları, protein yapılarının bozulması ve hücre zarlarının hasar görmesi sayılabilir [3]. Bu durum, kanser, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve nörodejeneratif hastalıklar gibi birçok kronik hastalığın gelişiminde kritik bir rol oynar [4]. Dolayısıyla, serbest radikallerin neden olduğu hasarın önlenmesi ve hücre sağlığının korunması için etkili antioksidan savunma mekanizmalarına ihtiyaç vardır.

Antioksidanlar, serbest radikalleri nötralize ederek oksidatif stresi azaltan ve hücreleri koruyan moleküllerdir. Bu bileşikler, vücutta doğal olarak üretilen (endojen) veya dışarıdan besinlerle alınan (eksojen) moleküller olabilir [4]. Antioksidanlar, serbest radikallerle etkileşime girerek onların reaktif özelliklerini ortadan kaldırır ve böylece hücresel hasarı önler. Başlıca antioksidan bileşenler arasında vitaminler (C ve E vitamini), mineraller (selenyum ve çinko), flavonoidler ve fenolik bileşikler bulunur [5].

Antioksidanların insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri geniş çapta araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda, antioksidanların kronik hastalıkların önlenmesinde ve yaşlanma sürecinin yavaşlatılmasında önemli bir rol oynadığı gösterilmiştir [6]. Örneğin, E vitamini ve C vitamini gibi antioksidanların, hücre zarlarını ve DNA'yı oksidatif hasara karşı koruyarak kanser ve kalp hastalıkları riskini azalttığı bilinmektedir [7].

Benzer şekilde, bitkilerde bulunan fenolik bileşiklerin antioksidan aktiviteleri, bu bileşiklerin reaktif oksijen türlerini etkisiz hale getirme kapasiteleri ile ilişkilidir [8].

Bitkiler, doğal antioksidanlar açısından zengin kaynaklar olarak kabul edilir ve bu nedenle sağlıklı beslenmede önemli bir yere sahiptir. Antioksidan özellik gösteren bileşikler, genellikle bitkilerin yapraklarında, çiçeklerinde, tohumlarında ve kabuklarında bulunur [2]. Flavonoidler, fenolik bileşikler, vitaminler ve karotenoidler gibi bileşikler, bitkilerin antioksidan özelliklerini artırır ve bu bileşiklerin sağlık üzerindeki olumlu etkileri geniş bir literatür tarafından desteklenmektedir [9].

Doğal bitkisel ürünlere olan ilgi, son yıllarda giderek artmıştır. Bu artan ilgi, birçok bitkinin antioksidan özelliklerinin daha detaylı bir şekilde araştırılmasına ve sağlık açısından faydalarının ortaya konulmasına zemin hazırlamıştır. Bu bağlamda, roka (*Eruca sativa*) bitkisi, içerdiği yüksek antioksidan özellikler nedeniyle dikkate değer bir bitki olarak öne çıkmaktadır [10].

Roka, Brassicaceae (Turpgiller) ailesine ait, Akdeniz mutfağında yaygın olarak kullanılan ve besleyici özellikleri ile bilinen bir bitkidir. Latince adı *Eruca sativa* olan roka, özellikle salatalarda ve garnitür olarak kullanılmakta, kendine özgü aromatik ve hafif acımsı tadıyla tanınmaktadır. Yaklaşık 20-100 cm yüksekliğe kadar büyüeyebilen roka bitkisi, yeşil yapraklara ve küçük beyaz veya sarımsı çiçeklere sahiptir [8].

Roka bitkisi, A, C ve K vitaminleri açısından zengin olup, aynı zamanda demir, magnezyum, potasyum ve kalsiyum gibi temel mineralleri de içermektedir. Bu vitaminler ve mineraller, bağışıklık sisteminin güçlenmesine katkıda bulunur, kemik sağlığını destekler ve vücuttaki biyokimyasal süreçlerin düzenlenmesine yardımcı olur [10]. Roka bitkisi, içerdiği flavonoidler, glukozinolatlar ve fenolik bileşikler sayesinde güçlü antioksidan özellikler sergiler. Bu bileşikler, hücreleri oksidatif stresin zararlı etkilerine karşı koruyarak, kanser, kalp hastalıkları ve diğer kronik hastalıkların riskini azaltır [9].

Roka bitkisinin antioksidan aktiviteleri üzerine yapılan araştırmalar, bu bitkinin sağlık üzerindeki olumlu etkilerini daha da belirgin hale getirmiştir. Çeşitli çalışmalarda, roka bitkisinin farklı metal konsantrasyonları ile yetiştirilmesi durumunda antioksidan aktivitelerinin arttığı gözlemlenmiştir [11]. Özellikle, DPPH ve CUPRAC gibi antioksidan aktivite ölçüm yöntemleri kullanılarak yapılan analizler, roka bitkisinin

metal stresine karşı adaptif savunma mekanizmalarını harekete geçirdiğini göstermektedir [12].

Bu araştırma kapsamında, farklı konsantrasyonlardaki metallerle yetiştirilen roka bitkisinin (*Eruca sativa*) bitkisinin antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Roka tohumları, çeşitli metal çözeltileri (Pb^{+2} , Na^{+} , Co^{+2} , Cd^{+2} , Fe^{+3} , Zn^{+2}) ile iki farklı konsantrasyonda (15 ve 50 mg/L) yetiştirilmiş ve bu metallerin bitkinin antioksidan kapasitesi üzerindeki etkisi DPPH (1,1-Difenil-2-pikrilhidrazil radikali) giderin kapasitesi, CUPRAC (Bakır (II) iyonunu indirgeme ve toplam fenolik madde tayini metotları kullanılarak incelenmiştir. Kontrol grubu olarak sadece su eklenerek yetiştirilen roka bitkileri kullanılmıştır.

Elde edilen verilerle roka bitkisinin antioksidan kapasitesini etkileyen faktörleri incelenerek, bitkisel antioksidanların insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirilmiştir. Metal stresinin, bitkisel antioksidan aktiviteleri üzerindeki etkilerini anlamak, bu bitkilerin adaptif savunma mekanizmalarını ortaya koymada önemli bir role sahiptir. Gelecek çalışmalarda, farklı bitkilerin antioksidan aktivitelerinin ve bu aktivitelerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin daha derinlemesine araştırılması, yeni doğal antioksidan kaynaklarının keşfi açısından büyük önem taşımaktadır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Serbest Radikaller

Serbest radikaller, hücrelerde doğal biyokimyasal süreçler sırasında oluşan moleküller olup, eksik bir elektrona sahip oldukları için son derece reaktif ve kararsızdırlar. Bu reaktif moleküller, hücrelerde proteinler, lipitler ve DNA gibi önemli biyomoleküllerle etkileşime girerek oksidatif hasara yol açabilir [1].

Serbest radikallerin oluşumu normal metabolik süreçlerin bir parçası olmasına rağmen, dış etkenler de serbest radikal üretimini artırabilir. Bunlar arasında sigara dumanı, hava kirliliği, radyasyon, bazı ilaçlar ve toksinler yer alır [2].

Oksidatif stres, vücuttaki serbest radikallerin antioksidan savunma mekanizmalarını aşması durumunda ortaya çıkar ve çeşitli hastalıkların gelişiminde kritik rol oynar. Oksidatif stresin etkileri arasında hücresel yaşlanma, kronik hastalıklardan kalp-damar hastalıkları, kanser, şeker ve nörodejeneratif hastalıklar sayılabilir [3].

Serbest radikallerin neden olduğu lipit peroksidasyonu, hücre zarlarının yapısal bütünlüğünü bozar ve hücre fonksiyonlarını olumsuz etkiler [13].

Ayrıca, DNA'da meydana gelen oksidatif hasar, mutasyonlara ve kanser oluşumuna yol açabilir [14].

Antioksidanlar, reaktif molekülleri etkisiz hale getirerek ve oksidatif stresi hafifleten moleküllerdir. Vücutta, çeşitli enzimler; örneğin süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz ve katalaz ile düşük molekül ağırlıklı antioksidanlar (örneğin, C,E vitamini, ve glutatyon) aracılığıyla oksidatif hasara karşı savunma mekanizmaları geliştirir. [4].

Besinlerle alınan antioksidanlar da bu savunma sistemine katkıda bulunur. Özellikle meyve ve sebzeler, flavonoidler, karotenoidler ve polifenoller gibi doğal antioksidan bileşenler açısından zengindir [5].

Serbest radikallerin biyolojik etkileri ve antioksidanların bu etkileri nasıl nötralize ettiği üzerine yapılan araştırmalar, serbest radikallerin sağlık üzerindeki etkilerinin anlaşılmasında önemli ilerlemeler sağlamıştır. Örneğin, beta karoten, likopen ve lutein

gibi karotenoidlerin, serbest radikallerin sebep olduğu hücrel hasarı azaltmada etkili olduğu gösterilmiştir [15].

Aynı şekilde, vitamin E'nin lipit peroksidasyonunu önleyerek hücre zarlarını koruduğu ve oksidatif stresle ilgili olan hastalıkların riskini azalttığı bilinmektedir [7].

Oksidatif hasara yol açan serbest radikallerin etkisini azaltmak için, sağlıklı bir yaşam tarzı ve dengeli beslenme önemlidir. Antioksidan açısından zengin gıdaların tüketilmesi, vücudun doğal savunma mekanizmalarını destekler ve oksidatif stresin zararlarını azaltır [6].

Nikotin içeren maddelerden uzak durmak, alkol tüketimini azaltmak, düzenli spor yaparak ve stresi doğru yöneterek yaşam alışkanlıkları serbest radikal oluşumunu azaltmada etkilidir. [16].

Sonuç olarak, reaktif moleküller ve antioksidanlar arasındaki denge, genel sağlığın korunmasında hayati öneme sahiptir. Oksidatif stresin çeşitli hastalıkların ortaya çıkmasındaki etkisini anlamak, bu hastalıkların önlenmesi ve tedavisi için yeni yaklaşımlar geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Bu nedenle, serbest radikallerin ve antioksidanların biyokimyasal mekanizmalarının daha iyi anlaşılması, sağlık bilimlerinde önemli bir araştırma alanıdır [17].

2.2. Antioksidanlar

Antioksidanlar, serbest radikaller tarafından oluşan oksidatif stresle mücadele ederek hücrelerin korunmasına yardımcı olan moleküllerdir [18].

Bu savunma mekanizması, kronik hastalıkların önlenmesinde ve yaşlanma sürecinin yavaşlatılmasında önemli bir rol oynar [4]. Serbest radikaller, çeşitli metabolik süreçler sırasında veya çevresel faktörlere maruz kalmak sonucu oluşan, hücrelere zarar verebilecek reaktif moleküllerdir. Antioksidanlar, bu zararlı molekülleri nötralize ederek hücrel hasarın önlenmesine yardımcı olur. Antioksidanlar, besinler aracılığıyla doğal olarak alınabileceği gibi, takviyeler yoluyla da sağlanabilir [19].

Antioksidanların genellikle daha güvenli olduğu ve sağlıklı bir beslenme düzeninin olmazsa olmazı olduğu kabul edilmektedir. Sonuç olarak, antioksidanların, hücrel hasarı önleme ve kronik hastalık riskini azaltma potansiyeline sahip önemli moleküller olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, antioksidan alımı konusunda dengeli ve bilinçli bir

yaklaşımın benimsenmesi gerekmektedir. Bu, beslenme yoluyla yeterli miktarlarda antioksidan alımını teşvik ederken, takviye kullanımında ölçülü olmayı içerir [6], [20].

Organizmada, oksidatif strese yol açan çeşitli oksidanlara karşı savunma mekanizmaları bulunur. Bu savunma mekanizmaları, antioksidanlar aracılığıyla serbest radikallerin aşırı üretimini engelleyerek, mevcut serbest radikallerin zararlarını azaltarak veya meydana gelen oksidatif hasarı azaltıp onararak çalışır. Bu savunma sistemlerinin arasında SOD (Süperoksit dismutaz), CAT (Katalaz) ve GPX (Glutasyon peroksidaz) gibi endojen antioksidan enzimler yer alır. Ayrıca, GSH (Glutasyon), seruloplazmin ve transferin gibi metal bağlayıcı proteinler, Cu (Bakır) ve Zn (Çinko) gibi antioksidan özelliğe sahip elementler ile A, E ve C vitaminleri gibi antioksidan vitaminler de bu sistemde önemli rol oynar.

Bu bileşenler, serbest radikallerin olumsuz etkilerini nötralize ederek ve hücre hasarını onararak organizmanın oksidatif strese karşı dirençli olmasını sağlar. Antioksidan savunma sistemi, oksidatif hasarın önlenmesi ve onarımı açısından hayati bir rol oynamaktadır. Bu sebeple, sağlıklı bir yaşam devam ettirmek için bu antioksidanların yeterli düzeyde alınması ve vücutta etkin bir şekilde çalışması büyük önem taşır [21].

Aerobik organizmalar, antioksidan savunma sistemlerine sahip olup, aerobik solunum ve substrat oksidasyonu sırasında oluşan reaktif oksijen türlerinin (ROT) üretimini kontrol altında tutar. Bu savunma mekanizmaları, hidroksil radikalleri ($\bullet\text{OH}$), süperoksit anyonları ($\text{O}_2\bullet^-$) ve H_2O_2 (hidrojen peroksit) gibi reaktif oksijen türlerinin oluşumunu engelleyerek organizmayı korur.

Hem içsel hem de dışsal uyarıcılara yanıt olarak, aerobik organizmalarda bu reaktif oksijen türlerinin küçük miktarları sürekli olarak üretilir. Reaktif oksijen türleri, organizmanın normal metabolik süreçlerinin bir yan ürünü olarak ortaya çıkarken, aşırı üretimlerinin önüne geçilmesi hayati önem taşır. Bu süreçte antioksidan savunma sistemleri, reaktif oksijen türlerinin hücrelere zarar vermesini önleyerek oksidatif stresi azaltır [22,23].

Antioksidanlar, serbest radikallerin oluşumunu sınırlandıran, radikal reaksiyonlarını sonlandıran, oluşmuş radikalleri etkisiz hale getiren ve hasarlı molekülleri ortadan kaldıran maddelerdir. Reaktif oksijen türlerinin üretimi ile antioksidan savunma mekanizmaları arasındaki dengenin bozulması, antioksidanların yetersizliği ve/veya reaktif oksijen türlerinin aşırı miktarda üretilmesi sonucunda oksidatif stresin ortaya

ıkmasına neden olur. Bu dengesizlik, hıresel hasara ve çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilecek oksidatif stresin temel sebebidir [24].

Antioksidanlar, genellikle reaktif oksijen türlerinin oluşumunu engelleyen bileşikler olarak tanımlanır. Antioksidan mekanizmalar, hücre içi ve hücre dışı olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Hücre içi savunma sisteminde yer alan enzimatik antioksidanlar arasında süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GPX) bulunur. Enzim dışı hücre içi antioksidanlar arasında glutatyon (GSH), hücre zarına tutunabilen alfa-tokoferol ve beta-karoten, C vitamini (askorbat), transferin, seruloplazmin ve bilirubin gibi bileşenlerden oluşur. Hücre dışı savunma sistemi ise metallothionein gibi serbest radikal temizleyiciler ve inko (Zn) gibi eser elementlerden meydana gelir [21].

Bitkilerde farklı antioksidan bileşiklerin sentezlendiği bilinmektedir [25]. Doğal antioksidanlar, bitkilerin tohum, yaprak ve gövdeleri gibi doku ve organlarında bulunabilir. Başlıca doğal antioksidanlar arasında karotenoidler, fenoller, vitaminler, flavonoidler, glutatyon gibi metabolitler yer alır. Bitkilerden elde edilen antioksidanlar, tekli ve üçlü oksijen söndürücü, serbest radikal temizleyici, peroksit parçalayıcı, enzim inhibitörleri ve sinerjist olarak görev yaparlar [26].

Sebze ve meyveler, çeşitli antioksidan bileşikler barındırır [27, 28].

Bu antioksidanlar, yapraklarda, çiçeklerde, tohumlarda, kabuklarda ve köklerde bolca bulunur [29].

Yapılan çalışmalarda, meyve ve sebze tüketmenin hastalıkların bulaşma riskini azalttığı, kalp ve damar, kanser hastalıklarında önemli düşüşler sağladığını göstermektedir [30].

2.3. Bazı Antioksidan Maddeler

2.3.1. Askorbik asit

Askorbik asit (C vitamini), insan vücudu için gerekli olan ve suda znebir bir vitamindir.

İnsanlar askorbik asiti sentezleyemedikleri için dışarıdan besinler yoluyla almaları gerekmektedir.

Askorbik asit, birçok biyokimyasal reaksiyonda koenzim olarak işlev görür ve özellikle kollajen sentezi, nörotransmitter biyosentezi ve protein metabolizmasında önemli rol oynar. [31]

Ayrıca C vitamini güçlü bir antioksidan olarak tanınır ve serbest radikallerle etkileşime girerek oksidatif stresi azaltır.

Oksidatif stres, hücresel hasara ve kronik hastalıkların gelişimine katkıda bulunur, bu nedenle askorbik asitin antioksidan özellikleri sağlık üzerinde koruyucu bir etkiye sahiptir [32].

Araştırmalar, askorbik asitin bağışıklık sisteminin işlevini de desteklediğini göstermektedir. Özellikle enfeksiyonlara karşı direnç geliştirmede önemli rol oynar.

Hücresel bağışıklık yanıtını artırarak, patojenlerin etkisiz hale getirilmesinde yardımcı olur [33].

Ayrıca, askorbik asit, demir emilimini artırarak anemi riskini azaltır ve kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde potansiyel bir rol oynar. Yapılan klinik çalışmalar, yüksek dozda askorbik asit alımının soğuk algınlığı süresini ve semptomlarını azaltabileceğini ortaya koymuştur [34].

Sonuç olarak, askorbik asit, insan sağlığı için vazgeçilmez bir bileşen olup, düzenli alımı birçok kronik hastalığın önlenmesi ve genel sağlığın korunmasında önemli katkılar sağlar.

2.3.2. Alfa tokoferol (E Vitamini) ile ilgili bilgi

E vitamini, yağda çözünebilen bir vitamindir ve vücudumuz için gerekli roller üstlenir [7].

Hücre zarlarını serbest radikallerin zararlı etkilerinden koruyarak oksidatif stresi azaltır. Alfa tokoferol, özellikle lipoproteinler, hücre membranları ve kan dolaşımındaki lipidler gibi lipid içeren yapıları oksidatif hasardan koruma yeteneği ile bilinir [35].

Bu koruyucu etkiler, kronik hastalıklar olan kalp-damar hastalıkları, kanser ve nörodejeneratif hastalıkların riskini azaltmada kritik rol oynar. [7]. E vitamininin bağışıklık sisteminde pozitif yönde etkileri de geniş çapta belgelenmiştir; özellikle yaşlı bireylerde bağışıklık fonksiyonlarını iyileştirdiği gösterilmiştir [36].

Ayrıca, alfa tokoferol, cilt sağlığını destekler, yara iyileşmesini hızlandırır ve ciltteki yaşlanma belirtilerini azaltır [37].

Alfa tokoferolün eksikliği, kas zayıflığı, koordinasyon bozukluğu ve bağışıklık sisteminin düşmesi gibi sağlık problemlerini de beraber getirir [35].

Bununla birlikte, yüksek dozlarda alfa tokoferol alımı, kanama riskini artırabileceği için dikkatle kullanılmalıdır [7].

E vitamininin besin kaynakları arasında yeşil yapraklı sebzeler, fındık, tohumlar ve bitkisel yağlar bulunur [37].

Besin takviyesi olarak da yaygın biçimde kullanılır ve özellikle diyetlerinde yeterli miktarda E vitamini alamayan bireyler için önemlidir [36]. Alfa tokoferolün biyoaktivitesi ve metabolizması, diyetle alınan diğer besinlerle etkileşimler gösterebilir [37].

E vitamininin antioksidan işlevi, vücutta serbest radikallerin sebep olduğu hasarı önleyerek genel sağlığın korunmasına katkıda bulunur [7].

2.3.3. Beta-caroten (A Vitamini):

Beta karoten, bitkilerde bulunan kırmızı, turuncu ve sarı pigmentlerden biridir ve insan sağlığı için önemli olan provitamin A'nın en yaygın formlarından biridir [38].

Beta karoten, antioksidan özellikleri ile tanınır ve vücutta reaktif moleküllerin neden olduğu hücresel hasarı azaltmada önemli bir rol oynar [39].

Antioksidan olarak, kalp hastalıkları, kanser ve yaşlanma ile ilgili diğer hastalıkların riskini azaltabilir. Beta karotenin bağışıklık sistemi üzerindeki pozitif etkileri de belgelenmiştir; bu bileşen, bağışıklık hücrelerinin fonksiyonunu destekleyerek vücudu enfeksiyonlara karşı korur [40].

Ayrıca, göz sağlığı üzerinde de koruyucu etkileri vardır; Gözde katarakt gibi hastalıkların önlenmesinde fayda sağlar [41].

Beta karotenin, cilt sağlığını iyileştirici etkileri de bulunmaktadır; Güneşin zararlı UV ışınlarına karşı cildi korur ve cildin genel görünümünü iyileştirir [39].

Beta karotenin besin kaynakları arasında havuç, ıspanak, tatlı patates, brokoli, kabak ve kırmızı biber gibi renkli sebzeler yer alır [38].

Ayrıca, bazı meyveler, özellikle mango, papaya ve kayısı da beta karoten açısından zengindir [41].

Beta karoten, vücutta A vitaminine dönüştürülerek kullanılabilir ve bu nedenle A vitamini eksikliği olan kişiler için önemli besin bileşenidir [39].

Yeterli miktarda beta karoten alımı, çocuklarda ve hamile kadınlarda A vitamini eksikliğinin önlenmesine yardımcı olabilir [40].

Bununla birlikte, beta karoten takviyelerinin uzun süreli ve yüksek dozlarda kullanımı, sigara kullananlarda akciğer kanseri riskini artırabileceği için dikkatle değerlendirilmelidir [41].

Beta karotenin vücutta etkin bir şekilde kullanılabilmesi için yağda çözünen bir bileşik olduğu göz önünde bulundurularak, yağ içeren yiyeceklerle birlikte tüketilmesi önerilir [38].

Beta karoten, dengeli ve çeşitli bir diyetin unsuru olarak, genel sağlığın korunmasına ve kronik hastalıkların önlenmesine katkıda bulunur [39].

2.4. Antioksidan Aktivite Metodları

Son yıllarda, antioksidanlar oksidatif stresle bağlantılı hastalıkların önlenmesindeki olumlu etkileri nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Bu ilgi, tüketilen besinlerin antioksidan kapasitelerini keşfetme arzusu ile sağlık, beslenme gibi durumlarda uzmanların yanı sıra halk arasında da artmıştır. Artan bu ilgi, antioksidanlar ve oksidatif stres üzerine yapılan bilimsel makalelerin sayısında önemli bir artışa neden olmuştur [42].

Yapılan araştırmalar incelendiğinde, antioksidan aktivitesinin belirlenmesinde birçok terimlerin kullanıldığı görülmektedir. Bu terimler arasında toplam antioksidan “kapasite, güç, aktivite” gibi ifadeler bulunmaktadır.

Tek bir analiz yönteminin kullanımı, bu yöntem belirli koşullara bağlı olarak belirli reaksiyonlar vereceğinden, reaksiyonların genel olarak “toplam antioksidan aktivitesi” şeklinde genelleme yapmak gerçeği yansıtmayacağı sonuçlara neden olabilir. Bunun yerine, süperoksit giderici aktivite veya demir iyonu indirgeme kapasitesi gibi belirli terimlerin kullanılması tavsiye edilmektedir. Eğer farklı yöntemlerle elde edilen sonuçlar uyumlu ise, genel bir "antioksidan aktivitesi" yorumu yapılabilir [43].

Tayin metotları bu şekilde incelenebilir;

- Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılarak fenolik bileşiklerin toplam miktarının tespiti.
- CUPRAC (Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity) testi ile bakır (II) iyonlarının indirgenme kapasitesinin belirlenmesi.
- Trolox eşdeğerliği kullanılarak maddelerin antioksidan kapasitesinin değerlendirilmesi.
- DPPH yöntemi kullanılarak numunelerin toplam antioksidan potansiyelinin belirlenmesi.
- FRAP testi ile maddelerin ferrik (Fe^{3+}) iyonlarını indirgeme kapasitesinin ölçülmesi.

Bitkilerdeki antioksidan maddelerin moleküler farklılıkları, antioksidan kapasitesinin belirlenmesi için kullanılan yöntemlerin sonuçları arasında tutarlılık olmasını engelleyebilir. Tek metotla çalışmak, antioksidan kapasitesini tam olarak yansıtmayabilir.

Bitkilerin antioksidan aktiviteleri, uygulanacak yöntemle büyük ölçüde bağlıdır ve bitki özütlerinin toplam fenolik bileşik miktarları ile antioksidan aktiviteleri her zaman birbiriyle tamamen uyumlu olmayabilir. “Bu sebeple, daha doğru sonuçlara ulaşabilmek için birden fazla yöntem kullanılmalıdır [44, 45, 46].

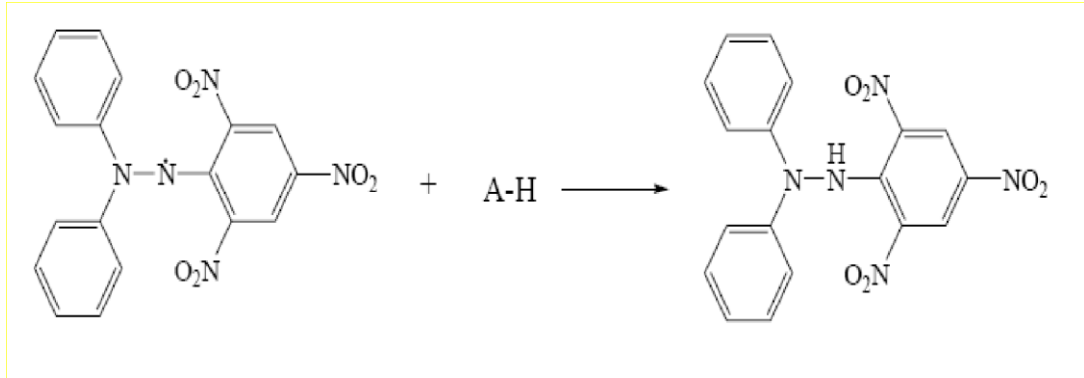
2.4.1. DPPH yöntemi kullanılarak numunelerin toplam antioksidan potansiyelinin tayini

Antioksidanların serbest radikallerini giderme belirlemek için güvenilirliği fazla olan DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) kullanılarak numunelerin toplam antioksidan potansiyelinin belirlenmesi metodudur.

Ticari olarak mevcut olan DPPH, kararlı yapıda bir azot radikali ve sabit radikallerdendir.

Fenolik yapıya sahip antioksidan bileşiklerin aktivitelerine bakmak amacıyla kullanılan sentetik antioksidanlardan biridir. Etil alkoldeki DPPH çözeltisi mor renkte olup, 517 nm’de absorbans ölçümü yapılır. Antioksidanların DPPH çözeltisine ilave edilmesi ile antioksidanlar bileşiklerle indirgenir ve çözeltinin rengi sarıya döner. Bu

nedenle, reaksiyonun ilerlemesi spektrofotometre ile takip edilir. DPPH'nin renginin değişmesi, antioksidan konsantrasyonu ile doğrudan ilişkilidir. [12].



Şekil 2.1. DPPH ile antioksidan madde arasındaki reaksiyon"

DPPH Testinin Artıları ve Eksileri

DPPH yöntemi teknik olarak basit olsa da bazı sakıncaları bulunur.

Çoğu antioksidan, peroksil radikalleri ile hızlı reaksiyona girerken, DPPH ile olan reaksiyonları daha yavaş gerçekleşir

Örneğin, C vitamini(askorbik asit) ile tepkime süresi 1,15 dakika, rutin ile ise 103 dakika sürmektedir.

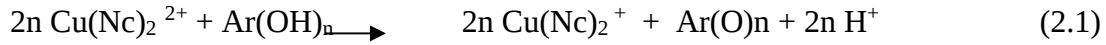
Bu durum, antioksidan etkinliğin tam olarak yansıtlamadığı izlenimini oluşturabilir. Ayrıca, DPPH ile antioksidan maddeler arasındaki reaksiyon hızı DPPH konsantrasyonu ile her zaman doğrusal bir ilişki göstermemektedir. Bu nedenle, antioksidan aktivitelerin değerlendirilmesinde diğer yöntemlerle de desteklenmesi sağlanabilir. [12].[47]

2.4.2. CUPRAC -Bakır (II) iyonunu indirgeme özelliğine sahip antioksidan tayini

"Apak ve çalışma arkadaşlarının kullandığı bu yöntem, Neokuproin-Nc (2,9-dimetil-1,10 fenantrolin) ile Cu (II) arasındaki bakır (II) neokuproin kompleksinin (Cu(II)-Nc), 450 nm'de maksimum absorbans gösteren bakır(I) neokuproin [Cu(I)Nc] şelatına indirgenme kapasitesini kullanarak antioksidan kapasitenin hesaplanmasını sağlar [48].

Çıkan sonuçlara göre, Troloks eşdeğeri antioksidan kapasite (TEAC-CUPRAC) olarak ifade edilir.

Bu yöntem daha sonra, bitki ekstraktları ve insan serumunda toplam antioksidan kapasitenin ölçülmesi amacıyla kuprik iyonu indirgeme potansiyelinin değerlendirilmesiyle geliştirilmiş ve bakır iyonu indirgeme antioksidan kapasitesi (CUPRAC) olarak isimlendirilmiştir. Yeni geliştirilen CUPRAC metodunda, kullanılan neokuproin Cu (II) klorür ile antioksidan polifenoller arasındaki reaksiyon şu şekilde gerçekleşir:"



Denklem:neokuproin cu(II) klorür ile antioksidan polifenoller arasındaki reaksiyon

"Bu reaksiyonda, Ar(O)_n, fenolik yapıdaki antioksidan maddeden türeyen kinon yapısını temsil eder. Reaksiyon sonucunda iki proton açığa çıkar ve Ar(OH)_n yapısındaki hidroksil grubu kinon formuna dönüşür. Cu (II)-Nc, 450 nm'de maksimum absorbans gösteren belirgin bir renk değişimiyle Cu (I)-Nc şelatına indirgenir. Bu süreçte, -OH grubu içeren antioksidan bileşikler 2n-elektron kaynağı olarak işlev görür [49]."

2.4.3. Folin-Ciocalteu reaktifi (FCR) ile toplam fenolik madde tayini

Folin-Ciocalteu reaktifi (FCR), toplam fenolik madde tayininde yaygın olarak kullanılan bir kimyasaldır. Bu yöntem, fenolik bileşiklerin oksidasyonuna dayanır ve mavi renkli bir kompleksin oluşumu ile sonuçlanır [50].

İlk olarak, numune uygun bir çözücü ile ekstrakte edilir ve filtre edilir. Daha sonra, belirli bir hacimde numune alınarak Folin-Ciocalteu reaktifi ile karıştırılır. Karışıma, alkalik bir ortam sağlamak için sodyum karbonat çözeltisi eklenir. Oluşan mavi renkli kompleksin yoğunluğu, bir spektrofotometre kullanılarak 750 nm dalga boyunda ölçülür [51].

Elde edilen absorbans değeri, bir standart eğri kullanılarak toplam fenolik içerik olarak hesaplanır. Genellikle, galik asit standart madde olarak kullanılır ve sonuçlar galik asit eşdeğeri (GAE) cinsinden ifade edilir. Bu yöntem, meyve, sebze, çay ve şarap gibi birçok gıda ve bitki örneğinde fenolik madde miktarının belirlenmesinde yaygın olarak uygulanmaktadır. FCR yöntemi, basit, hızlı ve güvenilir sonuçlar vermesi nedeniyle tercih edilmektedir [52].

2.5. Metallerin Bitkilerdeki Önemi ve Etkisi

Bitkilerin hayatta kalabilmesi ve gelişebilmesi için belirli elementler gereklidir. Bu elementlere “bitki besin elementleri” denilmektedir. Doğal ortamlarında bitkiler, karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kükürt (S), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), demir (Fe), çinko (Zn), manganez (Mn), bakır (Cu), bor (B), klor (Cl) ve molibden (Mo) gibi 16 temel elementi ihtiyaç duyar. Bunun yanı sıra, kobalt (Co), alüminyum (Al), sodyum (Na), silisyum (Si), nikel (Ni) ve vanadyum (V) gibi bazı elementler, yalnızca belirli bitkiler veya süreçler için yararlı olarak kabul edilir. Ancak, çevrede bulunan diğer elementler de bitkilerin bünyesine, yarayışlı formda olduklarında pasif yollarla girebilir. Bu durum, özellikle ağır metallerin bitkiler tarafından alınmasını ve dolayısıyla besin zincirine dahil olmalarını kolaylaştırır. Bu elementler bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerinde toksik etkiler yaratabilir. Ağır metallerin bitki bünyesine girişi ve akabinde insan ve hayvan sağlığı üzerindeki etkileri, ekosistemin dengesini tehdit eder hale gelmiştir [53].

Ağır metaller doğada iki ana kaynaktan gelir: doğal ve insan kaynaklı. Doğal kaynaklar arasında volkanik patlamalar, depremler ve erozyon gibi olaylar sayılabilir. Buna karşın, endüstriyel faaliyetler, tarım, ulaşım ve kentleşme gibi insan faaliyetleri ağır metal kirliliğinde büyük rol oynar. Endüstriyel atıklar, kömür yakılması ve metal üretimi, ağır metal emisyonlarını artıran başlıca insan kaynaklı faktörlerdir. Özellikle sanayi bölgelerinde ve yoğun trafik alanlarında ağır metal birikimi ciddi boyutlara ulaşmıştır. Bu metaller, hava, su ve toprak yoluyla çevreye yayılabilir ve bitkilerin bünyesine girebilir. Bitkiler bu metalleri alarak hem kendileri üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir hem de bu metaller besin zincirine taşınarak insan ve hayvan sağlığını tehdit edebilir. Örneğin, kurşun (Pb) insan faaliyetleri ile çevreye en yaygın şekilde yayılan ilk metal olarak bilinir. Bu metal, atmosfere metal veya bileşik olarak yayıldığından her durumda toksik özellik gösterir ve çevresel kirlilik yaratır [54].

Ağır metaller bitkilerin temel fizyolojik fonksiyonlarını olumsuz etkiler. Kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), nikel (Ni) ve civa (Hg) gibi metaller, düşük konsantrasyonlarda bile toksik olabilir. Örneğin, kadmiyum fotosentezi inhibe edebilir, su kullanımı ve bitki büyümesini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, bakır (Cu) bitki enzimlerinin yapısal ve işlevsel bileşeni olup, eksikliği durumunda bitkilerde büyüme ve gelişme sorunlarına yol açabilir. Bununla birlikte, fazla miktarda bakır bitki dokularında biriktiğinde zehirleyici olabilir ve köklerde bozulmaya neden

olabilir. Çinko (Zn), bitki metabolizması için hayati önem taşır. Karbonhidrat, protein ve RNA sentezinde görev alır. Çinko eksikliği, bitkilerde klorozis (yaprak sararması) ve gelişim geriliğine neden olabilir. Ancak, çinko fazlalığı da toksik olabilir ve bitkilerde büyümeyi yavaşlatabilir. Nikel (Ni), bazı bitkiler için gerekli bir mikrobesein elementi olarak kabul edilir, ancak yüksek konsantrasyonlarda toksisite gösterebilir ve kanserojen etkiler yaratabilir [55], [56].

Toprakta bulunan ağır metallerin biyoyararlılığı, pH, organik madde miktarı ve diğer kimyasal bileşiklerin varlığına bağlıdır. Ağır metaller, toprağın pH'sındaki değişiklikler, organik madde ve gübre yönetimi, uygun bitki seçimi ve fitoremediasyon (bitkilerin toksik elementleri emme yeteneklerinin kullanılması) gibi agronomik uygulamalarla kontrol edilebilir. Özellikle toprak pH'sının ayarlanması ve kireç kullanımı, ağır metallerin hareketliliğini azaltabilir ve bitkiler tarafından alınmasını önleyebilir [57].

Ağır metallerin bitkiler aracılığıyla besin zincirine dahil olması, insan sağlığı üzerinde de olumsuz etkiler yaratır. Kadmiyum, böbrek hasarına, kurşun ise sinir sistemi bozukluklarına yol açabilir. Civa, özellikle metilciva formunda, sinir sistemi üzerinde ciddi toksik etkilere sahip olabilir. Bu nedenle, çevre kirliliğinin kontrol altına alınması, hem bitki hem de insan sağlığı için kritik öneme sahiptir. [58]

2.6. Roka (*Eruca sativa*)

Roka (*Eruca sativa*), Akdeniz bitkisi olarak da bilinen “Brassicaceae” familyasına dahil, tek yıllık bitkidir. Roka yeşil renkli yapraklara ve dik gövdeli bir yapıya sahiptir. Bitkinin meyveleri 12-34 mm boyunda ince ve dardır. Tohumları küçüktür. Çiçekleri ise 2-4 cm boyundadır. Roka yaprakları (*Eruca sativa*) aromatik, baharlı ve hafif hardalımsı tada sahiptir. Yunan ve İslam tıbbında, özellikle mikrop öldürücü ve yangıları önleyici özellikleriyle tanınır. Roka bitkisi büyük oranda A, K ve C vitaminleriyle beraber zengin mineral ve antioksidan moleküller içerdiğinden, birçok hastalıklara karşıda korunmada yardımcı olabilmektedir. [59] Göz enfeksiyonları, gece körlüğü, iskorbüt hastalıkları aynı zamanda iştah açıcı, sindirimi kolaylaştırıcı, mideyi güçlendirici ve hazımsızlığı giderici olarakta etkili olduğu bilinmektedir [60]. Ayrıca, roka yapraklarında bulunan fenolik bileşikler ve glukozinolatlar, antioksidan, antimikrobiyal ve antiinflamatuar özellikler sergiler [61]. Bu nedenle, roka hem besin

değeri hem de sağlığa olan faydaları nedeniyle bilimsel araştırmaların odak noktası olmaktadır.



Şekil 2.2. Roka bitkisi (*Eruca sativa*)

2.7. Literatür Taraması

Roka bitkisi üzerine yapılan çalışmalar, bitkinin besin değeri ve sağlığa olan faydaları üzerine yoğunlaşmıştır.

Örneğin;Roka yapraklarının bol miktarda C vitamini içermesi nedeniyle antioksidan kapasitesinin yüksek olduğunu belirtmiştir [62].

Literatürde yapılan araştırmalarda, roka bitkisinin yüksek oranlarda antioksidan aktivite gösterdiği belirtilmektedir [63], [64].

2018’de Bulgaristan’da yapılan bir çalışmada iki farklı ülkeden elde edilen rokanın (Italian E. sativa, Bulgarian E. sativa) antioksidan değerleri kıyaslanmıştır. Buna göre İtalyan rokanın toplam fenolik içeriğin daha yüksek olmasına rağmen analiz sonuçları karşılaştırıldığında üç analizle test edilen antioksidan aktivitenin daha düşük çıktığı görülmüştür. Roka bitkilerinde yüksek antioksidan etki DPPH ve FRAP yöntemleriyle de gösterilmiştir. Bunun nedeni fenolik bileşiklerin her bir yöntemde farklı antioksidan aktiviteye sahip olmasından kaynaklandığını öngörülmüştür. CUPRAC değerlerine baktığımızda antioksidan aktivitesinin değerlerinin yaklaşık olarak benzer olduğu gözlemlenmiştir [63]. Yaptığımız çalışmada da elde edilen sonuçlar, literatürdeki çalışmalarla paralellik göstermektedir.



3. MATERYAL VE METOD

3.1. Bitkinin Yetiştirilmesi

Roka bitki tohumları Sakarya’da bulunan Öncü tohumdan temin edildi. Bir miktar toprak korucuk mahallesinin çevresinden bir miktarda marketten toprak alınarak karıştırıldı daha sonra saksılara ekildi. Roka bitkisi (*Eruca sativa*) bitkisi saksılara ekildi. Roka bitkisi (*Eruca sativa*) farklı konsantrasyonlardaki metallerle yetiştirildi. 2 ay sonra yeterli büyüklüğe gelen yapraklar toplandı (Şekil 3.1). Toplanan bitkisel materyal, 45 °C sıcaklıkta etüvde kurutuldu. Daha sonra doğrayıcı toz haline getirildi. Bitki ile çözücü oranı 1:20 olarak ayarlanarak, etanol çözücü olarak kullanıldı. Bu karışım 8 saat boyunca 250 rpm’de çalkantılı su banyosunda ekstrakte edildi. Belirli bir sürenin sonunda, çözelti Whatman süzgeç kağıdı kullanılarak süzüldü. Süzüntüler, 50 °C’de bir evaporatörde çözücüleri uçurularak işlendi ve kalan katı madde tartılıp stok çözeltiler oluşturuldu. Hazırlanan stok çözeltiler, 5000 rpm hızında 15 dakika santrifüj edilerek çökeltilerinden ayrıldı ve ardından buzdolabında muhafaza edildi.



Şekil 3.1. Ekilen rokalar

3.2. Kimyasal Materyaller

Uygulamada kullandığımız kimyasal maddeler yüksek saflıkta bulunmaktadır. Su kaynakları, distile edilerek elde edilmiştir. 3,4,5-trihidroksibenzoik asit (GA) ve 3,3',4',5,7-pentahidroksiflavanon (QE), Sigma-Aldrich Kimya Şirketi'nden temin edilmiştir.

Etanol, etil asetat, metanol, asetik asit, aseton, gibi diğer çözücüler ise Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından tedarik edildi. Folin-Ciocalteu fenol reaktifi ve sodyum karbonat dahil diğer kimyasallar da aynı firmadan temin edilmiştir.

3.3. Kullanılan Aletler

Analizlerde kullanılan ekipmanlar arasında Shimadzu kayıt spektrofotometresi, RÜCHI Rotavapor ve B-114 RÜCHI Su Banyosu B-480 buharlaştırıcı, yüksek hassasiyetli terazi (AND GR-200), Arçelik marka soğutucu, karıştırıcılar (vorteks) (Vortex 2 GENIE ve SHAKER QL861), blender, pH metre, santrifüj cihazları, otomatik pipetler, etüv ve Bandelin Sonorex ultrasonik banyo."

3.4. Kullanılan Ana Çözelti Hazırlama Süreci

3.4.1. Fenolik madde tayini için hazırlanan çözeltiler

Yüzde 20'lik sodyum karbonat çözeltisi: 20 gram sodyum karbonat, 100 ml saf su içerisinde çözülme işlemi uygulandı. Yüzde 10'luk FCR'nin hazırlanması: 10 ml Folin-Ciocalteu reaktifi, 100 ml distile suda çözüldü.

3.4.2. DPPH serbest radikal giderme aktivitesi için kullanılan solüsyonlar

0.1 milimolar DPPH çözeltisi hazırlamak için, 4 mg DPPH tartılıp 100 ml etanol içerisinde çözüldü.

3.4.3. Bakır (II) iyonlarının indirgenmesi ile antioksidan kapasite tayini için kullanılan çözeltiler

"0.01 M CuCl_2 çözeltisi hazırlamak için, 67,25 mg CuCl_2 alınarak 50 ml distile suda çözülmüştür. $7,5 \times 10^{-3}$ M etanolik neokuprin çözeltisi elde etmek amacıyla, 78 mg Neokuprin tartılarak 50 ml etanolde çözülmüştür. pH 6,5 olacak şekilde 1 M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ tampon çözeltisi hazırlamak için, 7,7 g $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ alınmış ve 80 ml saf suda çözülmüştür. pH değeri pH-metresi ile 6,5'e ayarlandıktan sonra, toplam hacim saf su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır.

3.5. Uygulanan Yöntemler ve Kalibrasyon Grafikleri

3.5.1. DPPH serbest radikali giderim aktivitesi tayini

Bitki özütleri ve standart maddelerin serbest radikal giderme aktiviteleri, DPPH serbest radikali kullanılarak tespit edilmiştir. Kullanılan yöntem, modifiye edilmiştir.

Troloks ve BHT standart yöntem olarak tercih edildi.

Numuneler, 100, 200, 300, 500, 700 µg arasında 5 farklı konsantrasyonlarda 1 ml örnekler, üzerine 4 ml DPPH çözeltisi eklenerek hazırlandı. Kontrol olarak 1 ml etil alkol kullanıldı, blank olarak ise etanol kullanıldı.

Oda sıcaklığında 30 dakika inkübasyon yapıldıktan sonra, absorbans değerleri 517 nm'de ölçüldü. Örneklerin absorbans sonuçları kontrol grubuyla karşılaştırılarak analiz edildi. Konsantrasyon arttıkça absorbansın azalması beklenmekteydi, çünkü düşen absorbans, kalan DPPH çözeltisi miktarını, yani serbest radikal giderme aktivitesini göstermekteydi. Serbest radikal giderme aktivitesi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı:"

$$\text{DPPH Giderim Aktivitesi (\% İnhibisyon)} = \frac{A_{\text{Kontrol}} - A_{\text{Örnek}}}{A_{\text{Kontrol}}} \times 100 \quad (2.2)$$

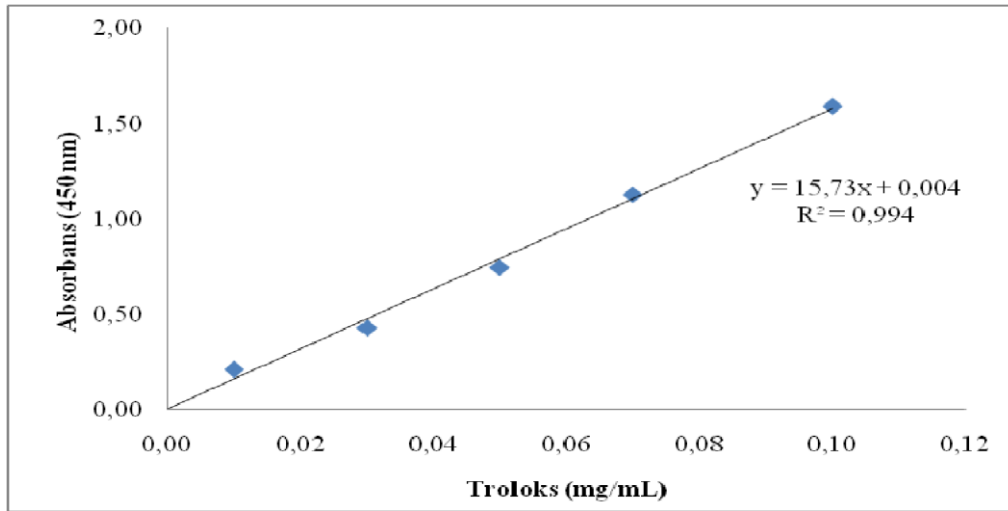
A_{Kontrol} kontrolün absorbans değeri $A_{\text{Örnek}}$ örnek absorbans değeridir.

Denklem 1: Serbest radikal giderme aktivitesi formülü

3.5.2. Bakır (II) iyonu indirgeme yöntemi ile antioksidan kapasite ölçümü (CUPRAC)"

Güçlü ve ark. (2006) tarafından gerçekleştirilen Bakır (II) İyonu İndirgeme Yöntemiyle Antioksidan Kapasite Tayini (CUPRAC) çalışmasında, her biri 1 ml olan 0,01 M CuCl₂, 7,5x10⁻³ M neokuproin ve pH 7'de 1 M amonyum asetat tamponu çözeltileri kullanılmıştır. Üzerine, son hacim 4.1 ml olacak şekilde, 600 µL ekstre çözeltisi ve 500 µL ekstre çözgeni eklenmiş ve iyice karıştırılmıştır. Kapalı tüpler, oda sıcaklığında 30 dakika inkübe edildikten sonra 450 nm'de absorbans ölçümleri yapılmıştır. Troloks, BHT ve C vitamini standart olarak kullanılmıştır [65].

"Troloks standardı için belirlenen grafiğin eğimi ile örneklerin grafikleri karşılaştırılarak, CUPRAC aktivitesi TEACCUPRAC olarak ifade edilmiştir."



Şekil 3.2. Troloks standardının kalibrasyon eğrisi

3.5.3. Folin yöntemiyle toplam fenolik madde tayini

Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılarak ekstraktlardaki toplam fenol miktarı belirlenmiştir [66]. Yöntem, modifiye edilerek uygulanmıştır. Etil asetat ve metanol ekstraktlarının çözeltileri metanol ile, etanol ve aseton ekstraktlarının çözeltileri ise etanol ile hazırlanmıştır. Standart eğri için gallik asit standardı kullanılmıştır. Gallik asit çözeltileri ultra saf suda hazırlanmıştır. Farklı konsantrasyonlarda (100,200,300 mg/mL) gallik asit çözeltileri hazırlanmış ve 750 nm'de absorbans değerleri y-ekseninde, konsantrasyon değerleri ise x-ekseninde gösterilerek bir standart eğri oluşturulmuştur. Elde edilen standart egride absorbansın konsantrasyon ile doğru orantılı olduğu belirlenmiş ve bu ilişki $y=2.7331x+0.0161$ olarak ifade edilmiştir. Bu standart eğriye göre bitki ekstraktlarındaki toplam fenolik madde miktarı mg gallik asit / g ekstre olarak hesaplanmıştır.

Örnekler için 0.5 ml ekstrakt, 2.5 ml %10'luk (h/h) suda Folin-Ciocalteu reaktifi ve 7.5 ml %20'lik (a/h) suda sodyum karbonat çözeltisi deney tüpüne eklenmiş ve karışım 2 saat 30 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. Aynı işlem gallik asit için de yapılmıştır. Süre sonunda, numune ve standart çözeltilerin absorbansları 750 nm'de UV Spektrofotometresi ile ölçülmüştür. Kontrol olarak, bitki numunesi yerine her bir çözücünün kendi blank çözeltileri kullanılmıştır. Analizler her bir deneme için üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan çalışmalarda antioksidan etkisi bulunan bitkiler üzerine pek çok çalışma yapılmış ve bu çalışmalara da yenileri eklenmektedir. Bitkiler flavonoid, karotenoid ve fenolik bileşik bakımından oldukça zengin olması çalışmaları da beraberinde getirmektedir.

Besinlerin oksidatif stres karşıtı aktiviteleri ve serbest radikal temizleyici bileşenlerinin profili, tıp ve diyetisyenlerin yanı sıra sağlık ve biyokimya araştırmacılarının da çalışmalarına katılmıştır.

Besinlerin, özellikle bitkisel öğelerin geniş çeşitliliği nedeniyle her bir oksidasyon önleyici bileşiğin tanımlanması, ayrılması ve belirlenmesi maliyetli ve zordur. Bu durum, toplam oksidan giderici etkinliği ölçen yöntemlerin önemini artırmaktadır. Ancak, çok az sayıda kimyasal reaksiyona dayalı toplam oksidan giderici etkinlik tayini, gerçekçi yansıtmayabilir ve geçersiz sonuçlara yol açabilir. Bu sebeple, toplam antioksidan kapasitesini belirlemek amacıyla farklı yöntemler tasarlanmıştır. Metotlar arasında büyük farklılıklar vardır ve bu konuda çok sayıda yayın ve geliştirilmiş yöntem olmasına rağmen, bir görüş birliğine ulaşılamamıştır.

4.1. DPPH Radikal İndirgeme Aktivitesi Sonuçları

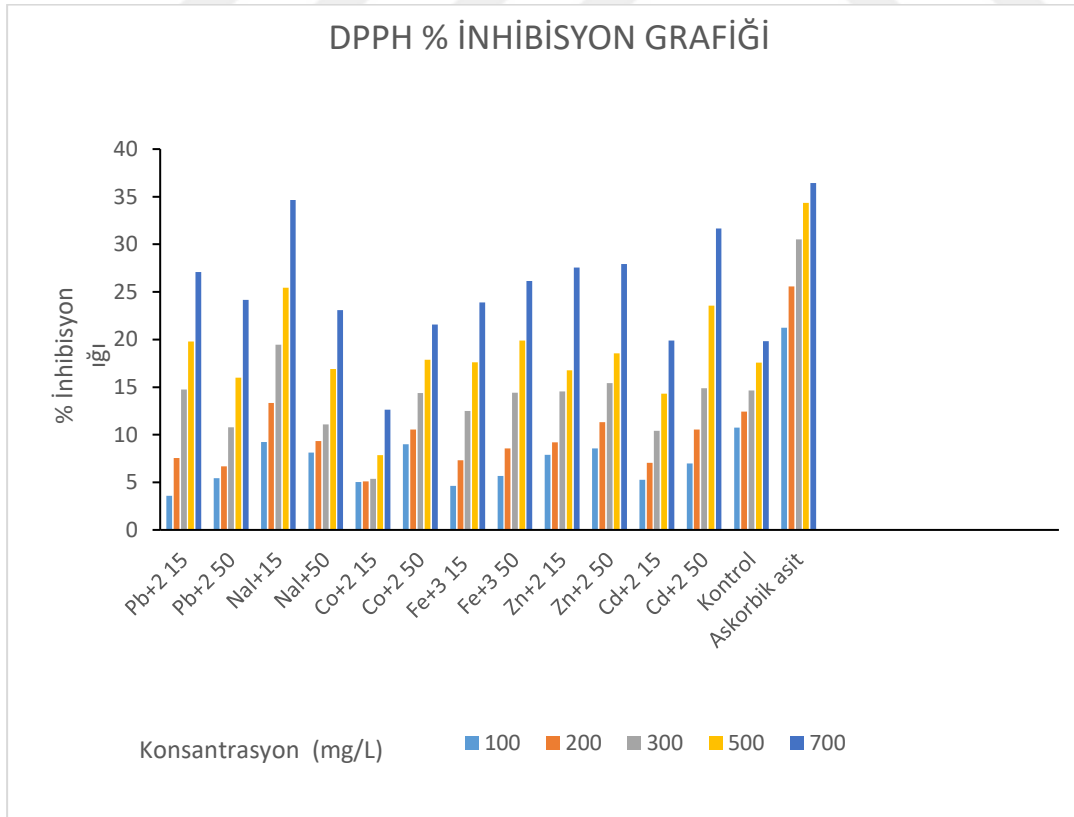
Bitki özütlerinin DPPH serbest radikal temizleme etkinliği, 100, 200, 300, 500 ve 700 µg/ml konsantrasyonlarında ölçülmüştür. “Standart olarak troloksa göre karşılaştırılarak yapıldı. En yüksek DPPH giderim aktivitesi 700 µg/ml konsantrasyon ile Na⁺(15) de %34,64 olarak bulunmuştur. Genel olarak metal ilavesi ile DPPH giderim aktivitesi kontrole oranla arttığı belirlenmiştir.

Tablo 4.1. DPPH giderim aktivitesi sonucu % inhibisyon değerleri

Konsantrasyon (µg/ml)	Pb ⁺² (15)	Pb ⁺² (50)	Nal ⁺ (15)	Nal ⁺ (50)	Kontrol	Askorbik asit
100	3,60±0,09	5,42±0,16	9,25±0,33	8,12±0,24	10,73±0,23	21,23±0,01
200	7,56±0,16	6,67±0,31	13,34±0,16	9,32±0,033	12,43±0,24	25,56±0,02
300	14,75±0,04	10,77±0,34	19,44±0,12	11,08±0,11	14,66±0,33	30,52±0,04
500	19,78±0,14	15,78±0,20	25,45±0,13	16,89±0,15	17,56±0,03	34,36±0,01
700	27,1±0,21	24,16±0,22	34,64±0,31	23,10±0,18	19,83±0,08	36,45±0,01

Tablo 4.2. DPPH giderim aktivitesi sonucu % inhibisyon değerleri

Konsantra syon (µg/ml)	Co ⁺² 15	Co ⁺² 50	Fe ⁺³ 15	Fe ⁺³ 50	Zn ⁺² 15	Zn ⁺² 50	Cd ⁺² 15	Cd ⁺² 50
100	5,02±0,08	8,99±0,21	4,63±0,32	5,67±0,23	7,90±0,01	8,56±0,11	5,25±0,24	6,98±0,04
200	5,1±0,01	10,13±0,03	7,45±0,06	8,76±0,25	11,23±0,04	9,65±0,35	6,23±0,21	7,89±0,001
300	5,35±0,04	14,39±0,034	12,49±0,013	14,41±0,31	14,54±0,09	15,41±0,89	10,42±0,13	14,88±0,01
500	7,43±0,12	16,56±0,021	18,34±0,012	19,98±0,15	18,65±0,08	19,21±0,31	13,43±0,12	18,91±0,12
700	12,63±0,20	21,59±0,22	23,91±0,18	26,14±0,15	27,55±0,07	27,93±0,32	19,88±0,15	31,67±0,21

**Şekil 4.1.** DPPH % İnhibisyon grafiği

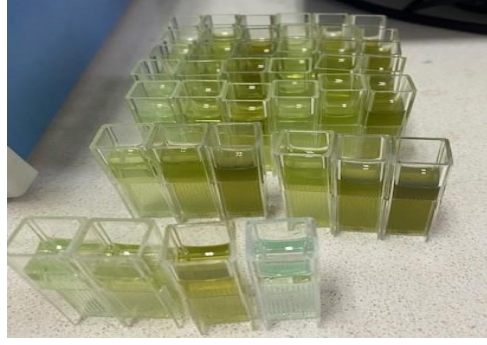
4.2. Bakır (II) İyonlarının İndirgenmesi ile Antioksidan Kapasitesinin Ölçüm Sonuçları (CUPRAC)"

"CUPRAC yöntemi kullanılarak analiz edilen örnek özütleri ve standart oksidatif stres karşıtı bileşiklerin çeşitli konsantrasyonlarına karşılık gelen absorban grafikleri oluşturuldu ve bu grafiklerin eğim değerleri karşılaştırıldı."

Standart ayıraç ve doğru denklemleri tablo gösterildi.

Tablo 4.3. CUPRAC sonucu numunelerin TEAC_{CUPRAC} (TEAC, $\mu\text{M TE/g dw}$) değerleri

Numuneler	Eğim	TEAC _{CUPRAC}
Askorbik asit Askorbik Asit	14,627	0,929
Troloks Troloks	15,733	1
Pb ²⁺ 15	314,1	19,96
Pb ²⁺ 50	304,72	19,36
NaCl ⁺ 15	504,11	32,0415
NaCl ⁺ 50	430,3	27,3501
Fe ⁺³ 15	99,102	6,29
Fe ⁺³ 50	338,3	21,502
Co ⁺² 15	174,96	11,1205
Co ⁺² 50	239,58	15,2278
Cd ⁺² 15	0,327	0,0207
Cd ⁺² 50	0,4846	0,0308
Zn ⁺² 15	424,23	26,9643
Zn ⁺² 50	434,32	27,4785
Kontrol	157,57	10,015

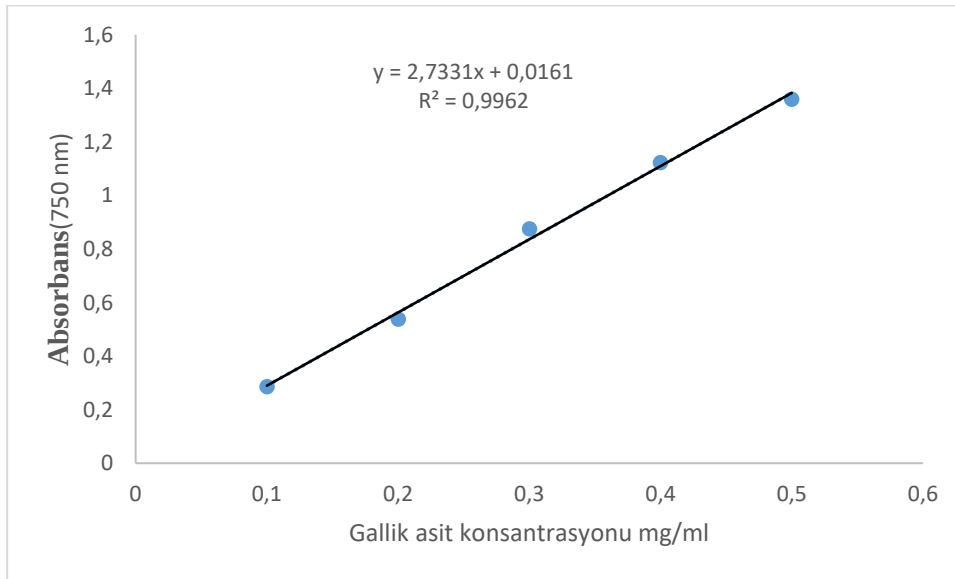


Şekil 4.2. CUPRAC tayini için inkübasyon sonucu numuneler

CUPRAC yöntemi sonuçlarına göre, metallerle muamele edilen roka bitkilerinin TEACCUPRAC değerlerinde önemli artışlar gözlemlenmiştir. Özellikle Zn^{+2} ve $NaCl^+$ iyonları ile muamele edilen bitkiler, en yüksek antioksidan kapasite değerlerine ulaşmıştır. Bu sonuçlar, metal iyonlarının roka bitkisinin antioksidan kapasitesini artırmada etkili olduğunu ve farklı metallerin bu etkiyi farklı derecelerde gösterdiğini ortaya koymaktadır.

4.3. Folin Yöntemiyle Toplam Fenolik Madde Tayini Sonuçları

Folin-Ciocalteu reaktifi ile gerçekleştirilen toplam fenolik bileşik ölçümlerinde en yaygın olarak kullanılan referans madde gallik asittir. Elde ettiğimiz standart çalışma grafiği tablo da gösterilmiştir. Gallik asit standart grafiğinden elde edilen doğru denklemi; $y = 2,7331x + 0,0161$ değerindedir.



Şekil 4.3. Toplam fenolik madde tayininde standart olarak kullanılan gallik asitin kalibrasyon eğrisi

Tablo 5.4.'de bu kalibrasyon denklemi kullanılarak bitki ekstraktlarındaki toplam fenolik madde tayini gallik asite eş değeri olarak mg fenolik madde/gram ekstre şeklinde hesaplanmış sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.4. Bitki ekstrelerinin toplam fenolik miktarları (Fenolik madde miktarı: gallik asite eşdeğeri olup birimi mg fenolik madde / gram ekstre olarak ifade edildi. Sonuçlar 3 paralel testin ortalaması olup, standart sapma değerleri göz önüne alındı.)

Pb ²⁺ 15	11,02
Pb ²⁺ 50	13,46
NaCl ⁺ 15	13,58
NaCl ⁺ 50	12,92
Fe ⁺³ 15	9,05
Fe ⁺³ 50	4,75
Co ⁺² 15	15,19
Co ⁺² 50	18,40
Cd ⁺² 15	4,86
Cd ⁺² 50	13,30
Zn ⁺² 15	9,64
Zn ⁺² 50	13,96
Kontrol	6,02

Toplam fenolik madde miktarı en yüksek Co⁺² 50 değerinde yetiştirilen roka bitkisinde gözlenmiştir. İkinci sırada ise Zn⁺² 50 değerinde ve Fe⁺³ 50 de ise en düşük değeri tespit edilmiştir.



5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Roka bitkisinin (*Eruca sativa*) farklı konsantrasyondaki metallere yetiştirilerek antioksidan aktiviteleri belirlenmiştir. Bu amaçla roka tohumları iki farklı konsantrasyonunda hazırlanmış metal çözeltileri ve kontrol olarak da sadece su ilave edilerek yetiştirilmiştir.

Metal çözeltiler Pb^{+2} 15 ve 50 mg/L, Na^{+} 15 ve 50 mg/L, Zn^{+2} ve 50 mg/L, Fe^{+3} 15 ve 50 mg/L, Co^{+2} 15 ve 50 mg/L, Cd^{+2} 15 ve 50 mg/L, konsantrasyonlarda suda hazırlanmıştır. Yeterli büyüklüğe ulaşan bitki hasat edilerek kurutulmuş ve etanol çözücüsü ile ekstrakte edilerek oksidatif stres karşıtı etkinlik, DPPH (1,1-Difenil-2-pikrilhidrazil radikali) serbest radikal temizleme etkinliği ve CUPRAC (Bakır (II) iyonu indirgeme kapasitesi) metotları kullanılarak tespit edilmiştir. Ayrıca toplam fenolik madde içerikleri ve fenolik madde profilleri ortaya konularak antioksidan aktiviteleri belirlenmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde de DPPH inhibisyon değeri ile CUPRAC analiz sonuçları 700 μ g/ml konsantrasyonunda incelendiğinde metalsiz kontrole oranla 15 ve 50 mg/L Pb^{+2} , Cd^{+2} , Co^{+2} , Fe^{+3} , Zn^{+2} , Na^{+} metali konsantrasyonunda değerlerin arttığı tespit edilmiştir.

Farklı metal konsantrasyonları kıyaslandığında ise 15 mg/L metal konsantrasyonlarının DPPH ve CUPRAC değerlerinin arttığı ancak 50 mg/L ise tekrar azaldığı görülmüştür.

Toplam fenolik madde sonuçları incelendiğinde en yüksek değerin Co^{+2} 50 ile yetiştirilen roka bitkisinde olduğu belirlenmiştir. İkinci sırada ise Zn^{+2} 50 değerinde gözlemlenmiştir. Fe^{+3} 50 de ise toplam fenolik madde miktarının en düşük değerde olduğu tespit edilmiştir.

Sonuçlara göre roka bitkisinin metal çözeltileri ile yetiştirildiğinde antioksidan aktivitesinin strese bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir.



KAYNAKÇA

- [1] Valko, M., Rhodes, C. J., Moncol, J., Izakovic, M., & Mazur, M. (2007). Free Radicals, Metals And Antioxidants In Oxidative Stress-Induced Cancer. *Chemico-Biological Interactions*, 160(1), 1-40. Doi: 10.1016/J.Cbi.2005.12.009
- [2] Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free Radicals, Antioxidants And Functional Foods: Impact On Human Health. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118. Doi: 10.4103/0973-7847.70902
- [3] Betteridge, D. J. (2000). What Is Oxidative Stress? *Metabolism*, 49(2 Suppl 1), 3-8. Doi: 10.1016/S0026-0495(00)80077-3
- [4] Sies, H. (1997). Oxidative Stress: Oxidants And Antioxidants. *Experimental Physiology*, 82(2), 291-295.
- [5] Prior, R. L., & Cao, G. (2000). Antioxidant Phytochemicals In Fruits And Vegetables: Diet And Health Implications. *Horticultural Science*, 35(4), 588-592. Doi: 10.21273/Hortsci.35.4.588
- [6] Halliwell, B. (1996). Antioxidants In Human Health And Disease. *Annual Review Of Nutrition*, 16(1), 33-50. Doi: 10.1146/Annurev.Nu.16.070196.000341
- [7] Traber, M. G., & Atkinson, J. (2007). Vitamin E, Antioxidant And Nothing More. *Free Radical Biology And Medicine*, 43(1), 4-15. Doi:10.1016/J.Freeradbiomed.2007.03.024
- [8] Villatoro-Pulido, M., Priego-Capote, F., & De Castro, M. D. L. (2012). Comparison Of Ultra-High-Performance Liquid Chromatography-Time-Of-Flight Mass Spectrometry Analysis Of Rocket (*Eruca Sativa*) Leaf Extracts Obtained With Different Extraction Methods. *Analytica Chimica Acta*, 712, 22-31.
- [9] Kim, S. J., Kawaharada, C., Jin, S., Hashimoto, M., & Shiwaku, K. (2007). Antioxidative Activity Of Polyphenolics In Leaves Of Brassica Vegetables. *Biofactors*, 30(1), 77-79.
- [10] Yaniv, Z., Schwarzbach, A., & Reuveni, O. (1998). Effect Of Aqueous Extracts Of *Rosmarinus Officinalis* L. Sage (*Salvia Fruticosa* Mill.) And Spearmint (*Mentha Spicata* L.) On Spore Germination Of Plant Pathogenic Fungi. *Phytoparasitica*, 26(4), 281-286.
- [11] Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). Novel Total Antioxidant Capacity Index For Dietary Polyphenols And Vitamins C And E, Using Their Cupric Ion Reducing Capability In The Presence Of Neocuproine: Cuprac Method. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 52(26), 7970-7981. Doi: 10.1021/Jf048741x

- [12] Molyneux, P. (2004). The Use of The Stable Free Radical Diphenylpicrylhydrazyl (Dpph) For Estimating Antioxidant Activity. Songklanakarin Journal Of Science And Technology, 26(2), 211-219. [Link] (<https://Rdo.Psu.Ac.Th/Sjstweb/Journal/26-2/07dpph.Pdf>)
- [13] Yagi, K. (1987). Lipid Peroxides and Human Diseases. Chemistry And Physics of Lipids, 45(2-4), 337-351. Doi: 10.1016/0009-3084(87)90071-5
- [14] Cooke, M. S., Evans, M. D., Dizdaroglu, M., & Lunec, J. (2003). Oxidative Dna Damage: Mechanisms, Mutation, And Disease. Faseb Journal, 17(10), 1195-1214. Doi: 10.1096/Fj.02-0752rev
- [15] Paiva, S. A., & Russell, R. M. (1999). Beta-Carotene And Other Carotenoids as Antioxidants. Journal Of the American College of Nutrition, 18(5), 426-433. Doi: 10.1080/07315724.1999.10718880
- [16] Pryor, W. A., & Stone, K. (1993). Oxidants In Cigarette Smoke: Radicals, Hydrogen Peroxide, Peroxynitrate, And Peroxynitrite. Annals Of The New York Academy of Sciences, 686(1), 12-27. Doi: 10.1111/J.1749-6632.1993.Tb39148.X
- [17] Finkel, T., & Holbrook, N. J. (2000). Oxidants, Oxidative Stress and The Biology of Ageing. Nature, 408(6809), 239-247. Doi: 10.1038/35041687
- [18] Pham-Huy, L. A., He, H., & Pham-Huy, C. (2008). Free Radicals, Antioxidants In Disease And Health. International Journal Of Biomedical Science: Ijbs, 4(2), 89-96.)
- [19] Carochio, M., & Ferreira, I. C. F. R. (2013). A Review On Antioxidants, Prooxidants And Related Controversy: Natural And Synthetic Compounds, Screening And Analysis Methodologies And Future Perspectives. Food And Chemical Toxicology, 51, 15-25.
- [20] Free Radicals, Antioxidants And Functional Foods: Impact On Human Health. Pharmacognosy Reviews, 4(8), 118-126.
- [21] Düzgüner, V., Deneysel Olarak Diyabet Olusturulan Tavsanlarda Çinkonun Lipid Peroksidasyonu ve Antioksidan Sistem Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, M.K.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Fizyoloji (Vet) Anabilim Dalı, 2005.
- [22] Hurst, R., Bao, Y., Jemth, P., Mannervik, B., Williamson, G., Phospholipid Hydroperoxide Glutathione Peroxidase Activity Of Rat Class Theta Glutathione Transferase T2-2, Biochem Soc Trans, 1997; 25: S559.
- [23] Mills, Em., Takeda, K., Yu, Zx., Et Al. Nerve Growth Factor Treatment Prevents The Increase In Superoxide Produced By Epidermal Growth Factor In Pc12 Cells, J Biol Chem, 1998; 273:22165-8.
- [24] Eren E., Bazı Soğans Bitkilerin Antioksidan Aktivitelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2011.
- [25] Ramarathnam, N., Osawa, T., Namiki, M. And Kawakishi, S., Chemical Studies On Novel Rice Hull Antioxidants. 1. Isolation, Fractionation, And Partial Characterization. J. Agric. Food Chem., 1988; 36, 732-737.
- [26] Larson, R. A., The Antioxidants Of Higher Plants. Pytochemistry, 1988; 27 (4), 969-978.

- [27] Cao, G., Sofic, E. And Prior, P., Antioxidant And Prooxidant Behavior Of Flavonoids: Structure-Activity Relationships. *Free Radical Biol. Med.*, 1997; 22, 749-760
- [28] Wang, H., Cao, G. And Prior, R.L., Total Antioxidant Capacity Of Fruits. *J .Aric. Food Chem.*, 1996; 44, 701-705.
- [29] Pratt, D.E., Hudson, B.J.F., Natural Antioxidants Not Exploited Commercially In Food Antioxidants.; Hudson B.J F.; Ed.; Elsevier; Amsterdam, 1990; 17-192.
- [30] Ak T., Curcumin'in Antioksidan Ve Antiradikal Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2006.
- [31] Carr, A. C., & Maggini, S. (2017). Vitamin C And Immune Function. *Nutrients*, 9(11), 1211. <https://doi.org/10.3390/Nu9111211>
- [32] Jacob, R. A., & Sotoudeh, G. (2002). Vitamin C Function And Status In Chronic Disease. *Nutrition In Clinical Care*, 5(2), 66-74. <https://doi.org/10.1046/J.1523-5408.2002.00005.X>
- [33] Wintergerst, E. S., Maggini, S., & Hornig, D. H. (2006). Contribution Of Selected Vitamins And Trace Elements To Immune Function. *Annals Of Nutrition And Metabolism*, 50(2), 85-94. <https://doi.org/10.1159/000090495>
- [34] Hemilä, H. (2017). Vitamin C And Infections. *Nutrients*, 9(4), 339. <https://doi.org/10.3390/Nu9040339>
- [35] Brigelius-Flohé, R., & Traber, M. G. (1999). Vitamin E: Function And Metabolism. *Faseb Journal*, 13(10), 1145-1155. Doi: 10.1096/Fasebj.13.10.1145
- [36] Meydani, S. N., Han, S. N., & Hamer, D. H. (2005). Vitamin E And İmmune Response İn The Aged: Molecular Mechanisms And Clinical İmplications. *Immunological Reviews*, 205(1), 269-284. Doi: 10.1111/J.0105-2896.2005.00280.X
- [37] Niki, E., Traber, M. G., & Yokoyama, T. (2012). Vitamin E: Beyond Antioxidant Function. *Journal Of Nutritional Science And Vitaminology*, 58(6), 391-401. Doi: 10.3177/Jnsv.58.391
- [38] Olson, J. A. (1999). Carotenoids And Human Health. *Archives Of Biochemistry And Biophysics*, 385(1), 1-3. Doi: 10.1006/Abbi.1999.3751
- [39] Krinsky, N. I., & Johnson, E. J. (2005). Carotenoid Actions And Their Relation To Health And Disease. *Molecular Aspects Of Medicine*, 26(6), 459-516. Doi: 10.1016/J.Mam.2005.10.001
- [40] Tanaka, T., Shnimizu, M., & Moriwaki, H. (2012). Cancer Chemoprevention By Carotenoids. *Molecules*, 17(3), 3202-3242. Doi: 10.3390/Molecules17033202
- [41] Rao, A. V., & Rao, L. G. (2007). Carotenoids And Human Health. *Pharmacological Research*, 55(3), 207-216. Doi: 10.1016/J.Phrs.2007.01.012
- [42] İşbılır Ş.S., Yaprakları Salata-Baharat Olarak Tüketilen Bazı Bitkilerin Antioksidan Aktivitelerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne 2008.

- [43] Citation: Boo, Y.C. Ascorbic Acid (Vitamin C) As A Cosmeceutical To Increase Dermal Collagen For Skin Antiaging Purposes: Emerging Combination Therapies. *Antioxidants* 2022, 11, 1663. <https://doi.org/10.3390/Antiox11091663>)
- [44] Dorman, H. J. D, Peltoketo, A., Hiltunen, R. And Tikkanen, M. J., Characterization of The Antioxidant Properties Of De-Odorized Aqueous Extracts From Selected Lamiaceae Herbs, *Food Chemistry*, 2003; 83(2): 255-262.
- [45] Miliauskas, G., Venskutonis, P. R. And Van Beek, T. A., Screening Of Radical Scavenging Activity Of Some Medicinal And Aromatic Plant Extracts, *Food Chemistry*, 2004; 85 (2): 231-237.
- [46] Trouillas, P., Calliste, C. A., Allais, D. P., Simon, A., Marfak, A., Delage, C. And Duroux, J. L., Antioxidant, Antiinflammatory And Antiproliferative Properties Of Sixteen Water Plant Extracts Used In The Limousin Countryside As Herbal Teas, *Food Chemistry*, 2003; 80(3): 399-407.
- [47] Blois M. S., Antioxidant Determinations by The Use of a Stable Free Radical, *Nature*, 1958; 181: 1199–1200.
- [48] Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). Novel Total Antioxidant Capacity Index for Dietary Polyphenols and Vitamins C And E, Using Their Cupric Ion Reducing Capability in The Presence of Neocuproine: Cuprac Method. *Journal Of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 7970-7981. Doi: 10.1021/Jf048741x
- [49] Ardağ, A., Antioksidan Kapasite Tayin Yöntemlerinin Analitik Açidan Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Analitik Anabilim Dalı, 2008.
- [50] Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry Of Total Phenolics With Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal Of Enology And Viticulture*, 16(3), 144-158.
- [51] Ainsworth, E. A., & Gillespie, K. M. (2007). Estimation Of Total Phenolic Content And Other Oxidation Substrates In Plant Tissues Using Folin-Ciocalteu Reagent. *Nature Protocols*, 2(4), 875-877.
- [52] Slinkard, K., & Singleton, V. L. (1977). Total Phenol Analysis: Automation And Comparison With Manual Methods. *American Journal Of Enology And Viticulture*, 28(1), 49-55.
- [53] Yıldız, N. (2001). Toprak Kirleticisi Bazı Ağır Metallerin Belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*.
- [54] Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. (2007). Metallerin Çevresel Etkileri. *Metalurji Dergisi*.
- [55] Zheljazkov, V.D., Nielsen, N.E. (1996). Effect of Heavy Metals on Peppermint and Commint. *Plant and Soil*.
- [56] Çıngı, F. (2007). Eser Elementler. Erişim adresi: www.firochromis.com
- [57] Yıldız, N. (2003). Toprak ve Bitki Ekosistemindeki Ağır Metaller. *Atatürk Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma Merkezi Müdürlüğü Erzurum*.

- [58] Munzuroğlu, Ö., Geçkil, H. (2002). Effects of Metals on Seed Germination and Growth. *Environmental Contamination and Toxicology*
- [59] Bağbahçe Dergisi, Kasım-Aralık 68.Sayısı ,2016
- [60] Yaniv Ve Ark. 1998, Chun Ve Ark. 2015
- [61] Kim, H., Moon, J.Y., Kim, H., Lee, D.S., Cho, M., Choi, H.K., ... & Cho, S.K. (2007). Antioxidant And Antiproliferative Activities Of Water Extract Of 9 Edible Herbs. *Life Sciences*, 79(20), 1676-1682.
- [62] Villatoro-Pulido, M., Priego-Capote, F., & Álvarez-Sánchez, B. (2012). Comprehensive Characterization Of The Nutritional And Bioactive Properties Of *Eruca Sativa* Mill. *Journal Of Food Composition And Analysis*, 28(2), 104-115. Doi: 10.1016/J.Jfca.2012.07.001
- [63] Antioxidant Activity And Mineral Content Of Rocket (*Eruca Sativa*) Plant From Italian And Bulgarian Origins Georgi Matev^{1,2}, Petya Dimitrova², Nadezhda Petkova³, Ivan Ivanov³ And Dasha Mihaylova⁴-Doi: 10.15414/Jmbfs.2018.8.2.756-759
- [64] Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü- Yaprakları Salata-Baharat Olarak Tüketilen Bazı Bitkilerin Antioksidan Aktivitelerinin İncelenmesi-Arş Gör. Şebnem Selen İşbilir Doktora Tez-Edirne 2008
- [65] Güçlü, K., Altun, M., Özyürek, M., Karademir, S. E. And Apak, R., Antioxidant Capacity Of Fresh, Sun-And Sulphited-Dried Malatya Apricot (*Prunus armeniaca*) Assayed By Cuprac, Abts/ Teac And Folin Methods; *International Journal Of Food Science And Technology*, 2006; 41: 76- 85.
- [66] Gamez-Meza, N., Noriega - Rodriguez, J.A., Medina-Juarez, L.A., Ortega - Garcia,J., Cazarez - Casanova, R., Anguloguerrero, O.: *J.A.O.C.S.*, 1999; 76, 1445.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Esra KOCABAY

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2015, Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Kocabay S., Arabacı G. (2024, 27-28, Nisan. Metal Etkisi Uygulanarak Yetiştirilen Roka (*Eruca Sativa*) Bitkisinin Antioksidan Aktivitesinin Belirlenmesi 4. Uluslararası Boğaziçi Bilimsel Çalışmalar Kongresi, İstanbul, Türkiye

DİĞER ESERLER:

- Metal Etkisi Uygulanarak Yetiştirilen Roka (*Eruca Sativa*) Bitkisinin Antioksidan Aktivitesinin Belirlenmesi Esra KOCABAY