



***Brassica elongata* (BRASSICACEAE) BİTKİSİNDE
FENOLİK MADDE İÇERİĞİ VE
ANTIOKSİDAN KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Can KOCADAĞ

Danışman

Doç. Dr. Hakan TERZİ

İkinci Danışman

Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK ANABİLİM DALI

Haziran 2025

Bu tez çalışması 24.FEN.BİL.06 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi
Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

***Brassica elongata* (BRASSICACEAE) BİTKİSİNDE FENOLİK
MADDE İÇERİĞİ VE ANTİOKSİDAN KAPASİTESİNİN
BELİRLENMESİ**

Can KOCADAĞ

Danışman

Doç. Dr. Hakan TERZİ

İkinci Danışman

Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK ANABİLİM DALI

Haziran 2025

TEZ ONAY SAYFASI

Can KOCADAĞ tarafından hazırlanan “*Brassica elongata* (Brassicaceae) bitkisinde fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesinin belirlenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 02/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Hakan TERZİ

İkinci Danışman : Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

Başkan : Prof. Dr. Ahmet SERTESER
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Hakan TERZİ
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Tuba TAŞKAN
Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Eczacılık Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

02 / 06 / 2025

Can KOCADAĞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Brassica elongata (BRASSICACEAE) BİTKİSİNDE FENOLİK MADDE İÇERİĞİ VE ANTİOKSİDAN KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

Can KOCADAĞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan TERZİ

İkinci Danışman: Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

Brassicaceae familyası, dünya genelinde en yaygın tüketilen bitki grupları arasındadır. Çeşitli fenolik bileşikler nedeniyle, araştırmalar giderek potansiyel farmakolojik uygulamalarına odaklanmaktadır. Bu çalışmada, *Brassica elongata*'nın yaprak, çiçek ve meyve dokularından elde edilen metanol ekstraktlarının toplam fenolik ve flavonoid içeriğini ve antioksidan özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Özütlerin antioksidan kapasitesini test etmek için radikal süpürme yeteneği (DPPH), metal iyonu indirgeme potansiyeli (CUPRAC ve FRAP) ve toplam antioksidan kapasite (fosfomolibden) testleri dahil olmak üzere dört test kullanılmıştır. Ayrıca, mevcut fenolik bileşikler tanımlamak için sıvı kromatografisi-tandem kütle spektrometrisi (LC-MS/MS) kullanılmıştır. Bulgular, yaprak özütlерinin en yüksek toplam fenolik ve flavonoid içeriğini sergilediğini, en yüksek içeriğin yaprak (sırasıyla 61,4 mg GAE/g özüt ve 53,2 mg KE/g ekstrakt), çiçek (sırasıyla 31,7 mg GAE/g özüt ve 29,6 mg KE/g ekstrakt) ve meyve (21,2 mg GAE/g ekstrakt ve 44,1 mg KE/g ekstrakt) ekstraktlarından elde edildiğini ortaya koymuştur. Yaprak ekstraktı (221,1 mg AAE/g ekstrakt), çiçek (162,3 mg AAE/g ekstrakt) ve meyve (165,8 mg AAE/g ekstrakt) ekstraktlarından önemli ölçüde daha yüksek toplam antioksidan aktivite göstermiştir. En yüksek DPPH temizleme aktivitesi çiçek (58,6 mg TE/g ekstrakt) ve yaprak (56,9 mg TE/g ekstrakt) ekstraktlarından elde edilmiştir. En yüksek FRAP değerleri çiçek ekstraktlarında (17,3 mg TE/g ekstrakt) belirlenirken, bu değeri meyve (14,8 mg TE/g ekstrakt) ve yaprak

ekstraktı (10,9 mg TE/g ekstrakt) takip etmiştir. Diğer taraftan, en yüksek CUPRAC değeri yaprak ekstraktında (0,48 mM TE/g ekstrakt) belirlenirken, bu değerler çiçek ve meyve ekstraktlarında sırasıyla 0,37 mM TE/g ekstrakt ve 0,33 mM TE/g ekstrakt olarak belirlenmiştir. Tüm dokularda en baskın fenolik bileşik olarak hiperozit belirlenirken en yüksek konsantrasyon (897,7 µg/g ekstrakt) yaprak dokularında belirlenmiştir. Mevcut çalışma, *B. elongata* bitkisinin önemli antioksidan özelliklere sahip olduğunu ve terapötik amaçlar için yeni bir doğal antioksidan olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

2025, x + 60 sayfa

Anahtar Kelimeler: *Brassica elongata*, Antioksidan kapasite, Fenolik bileşikler.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF PHENOLIC SUBSTANCE CONTENT AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF *Brassica elongata* (BRASSICACEAE) PLANTS

Can KOCADAĞ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Molecular Biology and Genetics

Supervisor: Assoc. Prof. Hakan TERZİ

Co-Supervisor: Prof. Mustafa YILDIZ

The Brassicaceae family is among the most widely consumed plant groups worldwide. Due to its various phenolic compounds, research is increasingly focused on their potential pharmacological applications. This study aimed to investigate the total phenolic and flavonoid content and antioxidant properties of methanol extracts obtained from leaf, flower and fruit tissues of *Brassica elongata*. Four tests were used to test the antioxidant capacity of the extracts, including radical scavenging ability (DPPH), metal ion reduction potential (CUPRAC and FRAP) and total antioxidant capacity (phosphomolybdenum) tests. Furthermore, liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) was utilized to identify the phenolic compounds present. The findings revealed that leaf extracts exhibited the highest total content of polyphenols and flavonoids, with highest content obtained from leaf (61,4 mg GAE/g extract and 53,2 mg QE/g extract, respectively), flower (31,7 mg GAE/g extract ve and 29,6 mg QE/g extract, respectively), and fruit (21,2 mg GAE/g extract and 44,1 mg QE/g extract). Leaf extract (221,1 mg AAE/g extract) exerted significantly higher total antioxidant activity than those of flower (162,3 mg AAE/g extract) and fruit (165,8 mg AAE/g extract) extracts. Highest DPPH scavenging activity was obtained from flower (58,6 mg TE/g extract) and leaf (56,9 mg TE/g extract) extracts. The highest FRAP values were determined in flower extracts (17,3 mg TE/g extract), followed by fruit (14,8 mg TE/g extract) and leaf extracts (10,9 mg TE/g extract). On the other hand, the

highest CUPRAC value was determined in leaf extracts (0,48 mM TE/g extract), while these values were determined as 0,37 mM TE/g extract and 0,33 mM TE/g extract in flower and fruit extracts, respectively. While hyperoside was determined as the most dominant phenolic compound in all tissues, the highest concentration (897,7 µg/g extract) was determined in leaf tissues. The current study demonstrated that *B. elongata* plants possesses significant antioxidant capabilities and could be used as a novel natural antioxidant for therapeutic purposes.

2025, x + 60 pages

Key words: *Brassica elongata*, Antioxidant capacity, Phenolic compounds.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusunun belirlenmesi, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Hakan TERZİ'ye ve ikinci danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa YILDIZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmayı 24.FEN.BİL.06 nolu proje ile destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne katkılarından dolayı en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen doktorant Sayın Emre PEHLİVAN'a, Arş. Grv. Saliha AYDIN'a ve yüksek lisans öğrencileri Sayın Mehmet TÜRKMEN'e teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her koşulda yanımda olan sevgili anneme, babama, kardeşime, anneanneme, babaanneme ve tüm sevdiklerime teşekkür ederim.

Can KOCADAĞ
Afyonkarahisar 2025

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 <i>Brassica</i> L. Genusu.....	3
2.2 Sekonder Metabolitler.....	4
2.2.1 Terpenler	5
2.2.2 Fenolik Bileşikler	5
2.2.3 Azot ve Kükürt İçeren Bileşikler	7
2.3 <i>Brassica</i> Türlerinin Fitokimyasal Bileşenleri	8
2.3.1 Brassicaceae Türlerinde Bulunan Terpenler	8
2.3.2 Brassicaceae Türlerinde Bulunan Fenolik Bileşikler	10
2.3.3 Brassicaceae Türlerinde Bulunan Azotlu Bileşikler	11
2.4 <i>Brassica</i> Türlerinin Biyolojik Aktiviteleri.....	13
2.4.1 <i>Brassica</i> Türlerinin Antioksidan Aktiviteleri.....	14
2.4.2 <i>Brassica</i> Türlerinin Antimikrobiyal Aktiviteleri	15
2.4.3 <i>Brassica</i> Türlerinin Antikanser Aktiviteleri.....	18
3. MATERYAL ve METOT	19
3.1 Bitki Materyali	19
3.2 Bitki Dokularından Metanol Ekstraktlarının Hazırlanması	20
3.3 Toplam Fenolik Madde Miktarının Belirlenmesi	20
3.4 Toplam Flavonoid Madde Miktarının Belirlenmesi	20
3.5 Antioksidan Kapasitelerinin Belirlenmesi	21
3.5.1 Toplam Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi	21
3.5.2 DPPH Antiradikal Aktivitenin Belirlenmesi.....	21
3.5.3 Demir İyonu İndirgeyici Antioksidan Potansiyeli (FRAP) Testi.....	21
3.5.4 Bakır (II) İyonu İndirgeyici Antioksidan Kapasite (CUPRAC) Testi	22

3.6 Fenolik Bileşiklerin LC-MS/MS Analizleri	22
3.7 İstatistiki Analizler.....	23
4. BULGULAR	24
4.1 Toplam Fenolik ve Flavonoid Madde İçerikleri	24
4.2 Toplam Antioksidan Kapasite	24
4.3 Serbest Radikal Süpürücü Aktivite.....	25
4.4 Demir ve Bakır İyonu İndirgeyici Antioksidan	26
4.5 Metanol Ekstraktlarının LC-MS/MS Analizleri	26
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	29
6. KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİŞ.....	60

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$\cdot\text{OH}$	Hidroksil Radikali
μL	Mikrolitre
μg	Mikrogram
μM	Mikromolar
H_2O_2	Hidrojen Peroksit
mM	Milimolar
ng	Nanogram

Kısaltmalar

AA	Askorbik asit
AAE	Askorbik asit eşdeğeri
CUPRAC	Bakır iyonu indirgeyici antioksidan kapasite
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
FRAP	Demir iyonu indirgeyici antioksidan potansiyel
GA	Gallik asit
GAE	Gallik asit eşdeğeri
KE	Kersetin eşdeğeri
ROT	Reaktif oksijen türleri
TAK	Toplam antioksidan kapasite
TE	Troloks eşdeğeri

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Bitkilerde sekonder metabolitlerin sınıflandırılması.....	5
Şekil 2.2 Bitkilerde bulunan bazı önemli fenolik bileşikler	6
Şekil 3.1 <i>Brassica elongata</i> Ehrh. bitkisinin genel görünümü.....	19
Şekil 3.2 HPLC analizleri ile elde edilen standart kromatogramı.	23
Şekil 4.1 <i>B. elongata</i> bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının toplam fenolik ve flavonoid madde içerikleri	24
Şekil 4.2 <i>B. elongata</i> bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının toplam antioksidan kapasitesi	25
Şekil 4.3 <i>B. elongata</i> bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının DPPH radikali indirgeme potansiyeli	25
Şekil 4.4 <i>B. elongata</i> bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının FRAP ve CUPRAC değerleri.....	26
Şekil 4.5 <i>B. elongata</i> bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarında belirlenmiş bazı fenolik bileşikler	28

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 <i>Brassica elongata</i> sistematigi	4
Çizelge 4.1 <i>Brassica elongata</i> 'nın yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının LC-MS/MS analizi	27



1. GİRİŞ

Dünya genelinde 300'den fazla cins ve yaklaşık 3500 türden oluşan Brassicaceae ailesi, sağlık açısından zengin fitokimyasal kaynakları olarak kabul edilen çok sayıda türü içermektedir (Cartea vd. 2011). Bu aile içinde *Brassica* L., dünya çapında yaygın olarak yetiştirilen birkaç tür de dahil olmak üzere ekonomik açıdan en önemli cinslerden biridir (Jahangir vd. 2009). Bazı yabani *Brassica* türleri yüzyıllardır Akdeniz diyetinin önemli besin kaynakları olarak kullanılmış olup, çeşitli araştırmalar yenilebilir yabani bitkilerin kültürü yapılan türlere göre besinsel ve tıbbi özelliklerini belgelemiştir (Malfa vd. 2020). Yabani *Brassica* türleri, biyoaktif bileşik kaynakları olarak büyük potansiyele sahiptir ve gerçekten de zorlu çevre koşullarına uyum sağlamaları, bitkilerin kimyasal savunma mekanizması olarak özelleşmiş sekonder metabolitlerin sentezine daha fazla kaynak ayırmalarına yol açmıştır (Sánchez-Mata vd. 2012). *Brassica* türlerinin sağlık açısından iyileştirici etkileri kısmen antioksidan kapasitelerine, özellikle de antioksidan yeteneğe sahip fitokimyasalların ana grubunu temsil eden fenolik bileşiklerin varlığına atfedilmiştir (Doniec vd. 2022, Davi vd. 2023, Malfa vd. 2023).

Brassicaceae türleri karotenoidler, tokoferoller, askorbik asit, glukozinolatlar ve fenolik bileşikler gibi biyoaktif bileşiklerin zengin kaynakları olarak kabul edilmektedir (Cartea vd. 2011). *Brassica* bitkileri, antikanser, antioksidan, anti-inflamatuar ve kardiyoprotektif aktiviteler gibi çeşitli sağlık yararlarıyla bağlantılı biyoaktif fitokimyasalları (çoğunlukla glukozinolatlar ve polifenoller) nedeniyle son zamanlarda ilginç bir araştırma konusu haline gelmiştir (Raiola vd. 2018, Quirante-Moya vd. 2020). Son epidemiyolojik çalışmalar, *Brassica* türleri açısından zengin diyetlerin gastrointestinal sistem (Pena vd. 2022), üriner sistem (Liu vd. 2013), akciğer (Ahmed vd. 2020) ve üreme sistemi (Han vd. 2014) kanserine yakalanma riskinin daha düşük olmasıyla ilişkili olduğuna dair kanıtlar sağlamıştır. Antikanser aktivite genellikle sağlıklı fitokimyasallarla, çoğunlukla turpgillerde bulunan glukozinolatlar ve polifenollerle ilişkilendirilmiştir (Ramirez vd. 2020). Polifenoller, *Brassica* türlerinde bulunan bir diğer büyük fitokimyasal grubudur (Cartea vd. 2011). *Brassica* türlerindeki en yaygın fenolikler, türler arasında nitel ve nicel profilleri önemli ölçüde değişen

flavonoidler (esas olarak flavonoller, ancak aynı zamanda antosiyaninler) ve hidroksisinnamik asitlerdir. Bu türlerdeki başlıca temsili flavonoller, serbest veya şekerlerle konjuge veya farklı hidroksisinnamik asitlerle açillenmiş olarak bulunabilen kersetin, kaemferol ve izoramnetindir. En yaygın hidroksisinnamik asitlerin organik asitlere ve şekerlere farklı şekilde konjüge edilmiş ferulik asit, sinapik asit, kafeik asit ve *p*-kumarik asit olduğu bildirilmiştir (Favela-González vd. 2020, Picchi vd. 2020, Ramirez vd. 2020). İnsan sağlığı için anti-inflamatuar, enzim inhibisyonu, antimikrobiyal, antialerjik, vasküler ve sitotoksik antitümör aktivitesi dahil olmak üzere birçok yararlı özelliğe sahip oldukları bildirilmiştir, ancak polifenoliklerin en önemli etkisi antioksidan aktiviteleridir (Cory vd. 2018).

Brassica elongata Ehrh. İran-Turan ve Avrupa-Sibirya bölgelerine özgüdür (Horn ve Vaughan 1983). Literatürde *B. elongata*'nın antioksidan özelliğini gösteren bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, *B. elongata*'nın yaprak, çiçek ve meyvelerinden elde edilen metanol ekstraktlarının fenolik asit profilinin ortaya konulması ve antioksidan aktivitelerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 *Brassica* L. Genusu

Brassicaceae (Cruciferae) familyası dikotiledon angiosperm grubunda sınıflandırılmaktadır (Chen vd. 2011). Brassicaceae familyası bitkileri, Antarktika hariç tüm kıtalarda bulunabilen dünya çapında geniş bir dağılım göstermektedir (Branca vd. 2012, Pinheiro 2012, Branca vd. 2013, Jiménez-Morales vd. 2014) ve yaklaşık 338 cins ve 3700'den fazla tür içermektedir (Shankar vd. 2019). Brassicaceae familyasının öne çıkan cinsleri arasında *Arabidopsis*, *Brassica*, *Camelina*, *Crambe*, *Glaucocarpum*, *Sinapis* ve *Thlaspi* bulunmaktadır (Abu-Ghannam ve Jaiswal 2015).

Dünya çapındaki geniş dağılımları ve diyetle bol miktarda tüketilmeleri, Brassicaceae bitkilerine önemli besinsel ve ekonomik önem kazandırmaktadır. Çünkü, Brassicaceae familyası, yenilebilir kök, yaprak, sap, tomurcuk, çiçek ve tohumlar içermekte (Rakow 2004) ve bunların ayrı ayrı çok çeşitli kullanımları olan, ayrıca taze sebze, yağ, çeşni, yem ve konserve gıda gibi yan ürünler üreten en yaygın tüketilen bitkileri içermektedir (Fourie vd. 2016). Son yıllarda, Brassicaceae familyası bitkileri anti-obezite, antioksidan, antikanser, antimikrobiyal, anti-inflamatuar ve antidiyabetik aktiviteler de dahil olmak üzere sahip oldukları çeşitli biyolojik aktiviteler yoluyla çeşitli hastalıkların önlenmesi ve tedavisinden sorumlu olan mükemmel bir besin ve fitokimyasal kaynağı oldukları için daha fazla ilgi görmektedir (Shankar vd. 2019, Ramirez vd. 2020, Mattosinhos vd. 2022, Peña vd. 2022).

Brassicaceae familyasının en önemli cinsi olan *Brassica*, tüm kıtalarda tarımsal uygulamada uzun bir geçmişe sahiptir (Dias 2019). Önemli sebzeleri, yağ tohumu ürünlerini ve yem türlerini içermektedir (Salehi vd. 2021). *Brassica* cinsi, içerdiği biyoaktif bileşikler nedeniyle yüksek ekonomik ve tıbbi değere sahip gıda ürünleri için potansiyel bir kaynak oluşturmaktadır (Favela-González vd. 2020, Salehi vd. 2021). *Brassica* bitkileri, antimikrobiyal (Vale vd. 2015), antioksidan (Soengas vd. 2012, Bhandari ve Kwak 2015) ve antikanser (Hafidh vd. 2013, Thangam vd. 2013) aktiviteleri nedeniyle kardiyovasküler sağlığın korunması ve kanser riskinin azaltılması

gibi çeşitli biyolojik özelliklerle ilişkilendirilmektedir. Bu sağlık geliştirici etkiler, vitaminler, mineraller, karbohidratlar, amino asitler ve indol fitoaleksinerler, fenolikler ve glukozinolatlar gibi fitokimyasallar dahil olmak üzere besin maddelerinin ve fitokimyasalların varlığından kaynaklanmaktadır (Jahangir vd. 2009). Ek olarak, *Brassica* türleri fitoaleksinerler, salisilik asit, etilen, H₂O₂ ve jasmonik asit gibi sinyal ve düzenleyici bileşikler içermekte ve sinyal peptitleri patojenik mikroorganizmaların ve otçul hayvanların saldırılarına karşı savunma mekanizması rolünü oynamaktadır (Pedras vd. 2000). *Brassica elongata* Ehrh. bitkisinin sistematığı Çizelge 2.1’de verilmiştir.

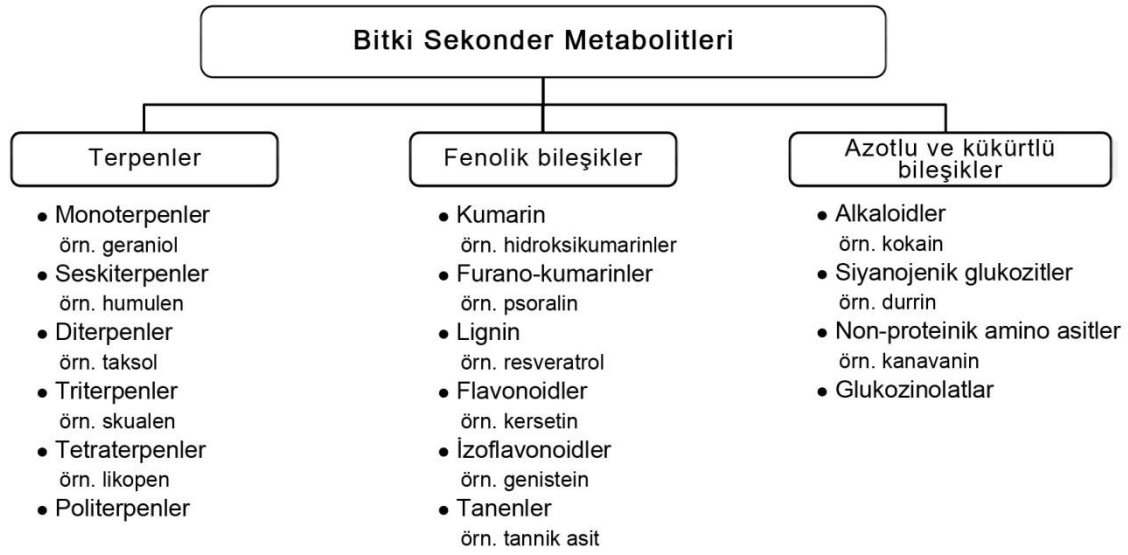
Çizelge 2.1 *Brassica elongata* sistematığı

Alem	Plantae
Altalem	Tracheobionta
Bölüm	Magnoliophyta
Sınıf	Magnoliopsida
Altsınıf	Dilleniidae
Takım	Capparales
Familiya	Brassicaceae
Cins	<i>Brassica</i>
Tür	<i>Brassica elongata</i> Ehrh.

2.2 Sekonder Metabolitler

Bitkiler özellikle organizmanın büyüme, gelişme ve üreme gibi temel işlevlerinde doğrudan yer almayan, ancak hayatta kalmak için gerekli olan ve yırtıcılara karşı savunma veya polinatörleri çekme gibi birden fazla rol oynayan sekonder metabolitler (SM'ler) üretmektedir (Demain ve Fang 2000). Bitkilerden yaklaşık 200.000 SM izole edilmiş ve karakterize edilmiştir (Satish vd. 2020). SM'ler çok sayıda biyolojik aktiviteye sahip olduğu için insan sağlığı ve refahı için son derece önemlidir. Ayrıca, kimyasal ve biyolojik özellikleri nedeniyle SM'ler pigment, kozmetik, antifeedant vb. olarak hizmet etmekte ve birçok başka alanda da önemli rol oynamaktadır (Kabera vd. 2014). Ayrıca, SM'ler bitki savunması, sistemik direnç ve diğer ekolojik işlevlerde de doğrudan rol oynamaktadır (Balunas ve Kinghorn 2005). Sekonder metabolitler biyosentez yollarına göre üç ana sınıfa ayrılmaktadır: terpenler, fenolik bileşikler ve

azot ve kükürt içeren bileşikler (Şekil 2.1) (Twaij ve Hasan 2022).



Şekil 2.1 Bitkilerde sekonder metabolitlerin sınıflandırılması (Twaij ve Hasan 2022'den değiştirilerek)

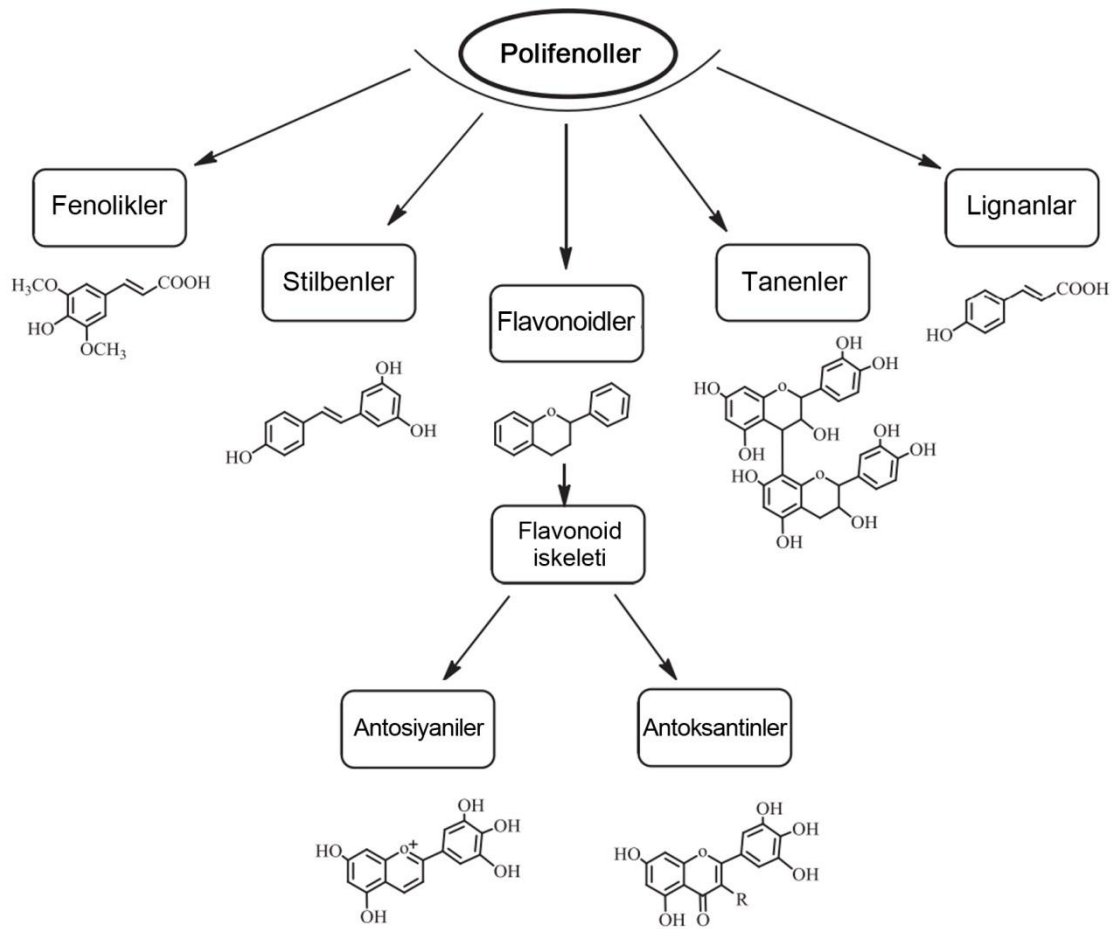
2.2.1 Terpenler

Terpenler hem uçucu olmayan hem de uçucu bileşikleri içeren önemli ve çeşitli bir sekonder metabolit sınıfını oluşturmaktadır. Şu ana kadar 80.000'den fazla terpen bileşiği tanımlanmış ve ilaç ve kozmetik endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Bailly vd. 2020, Frank vd. 2021). Tüm terpenoidler beş karbonlu izopren birimlerinden (C_5H_8) oluşmaktadır. Bu birimlerin sayısına bağlı olarak monoterpenler, seskiterpenler, diterpenler, sesterpenler, triterpenler, tetraterpenler ve politerpenler olarak sınıflandırılmaktadırlar (Nagegowda ve Gupta 2020). Yapılan çalışmalar tıbbi bitkilerdeki terpenoidlerin insan sağlığını destekleyen farmakolojik özelliklere sahip olduğunu göstermektedir (Masyita vd. 2022, Patel vd. 2023). Terpenlerin antioksidan, antienflamatuar, antimikrobiyal, antikanser ve antialerjik özellikler dahil olmak üzere çok çeşitli biyolojik aktivitelere sahip olduğu gösterilmiştir (Adefegha vd. 2022).

2.2.2 Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler, oldukça basit ve düşük moleküler ağırlıklı yapılardan karmaşık polimerik bileşiklere kadar çeşitli yapılar gösteren, bir veya daha fazla hidroksil grubu

bulunan en az bir aromatik halkaya sahip olmakla karakterize edilen geniş bir bitki sekonder metabolit sınıfıdır (Şekil 2.2). Bitkiler aleminde 8000'den fazla fenolik bileşik bildirilmiştir (Cartea vd. 2011). Fenolik bileşikler, lezzet özelliklerinde rol oynamaları, bazı meyve ve sebzelerin renginden sorumlu olmaları ve ayrıca enzimatik bozulmada substrat görevi görmeleri nedeniyle bitkisel gıdaların kalitesi açısından oldukça önemlidir (Todaro vd. 2011, Cheynier 2012). Fenolik bileşikler karbon atomlarının sayısına ve dizilimine göre flavonoidler ve flavonoid olmayanlar olarak ikiye ayrılmaktadır (Cartea vd. 2011, Vergun vd. 2019, Ramirez vd. 2020).



Şekil 2.2 Bitkilerde bulunan bazı önemli fenolik bileşikler (Tijjani vd. 2020'den değiştirilerek).

Flavonoidler fenilpropanoid metabolik yoluyla sentezlenmekte, A, B ve C etiketli üç halkada (C6–C3–C6) düzenlenmiş 15 karbon atomundan oluşmakta (do Nascimento vd. 2022) ve meyve, sebze, ot, sap, tahıl, fındık, çiçek ve tohumlarında yaygın olarak bulunmaktadır (Santos vd. 2017). Flavonoidler, flavonlar, flavononlar, izoflavonlar,

flavonoller, kalkonlar, flavanoller ve antosiyaninler dahil olmak üzere kimyasal yapılarına, doymamışlık derecelerine ve karbon halkasının oksidasyonuna bağlı olarak farklı sınıflara ayrılmaktadır (Pietta vd. 2003, Karak 2019). Şimdiye kadar 10.000'den fazla flavonoid bileşiği izole edilmiş ve tanımlanmıştır (Ullah vd. 2020). Flavonoidler, kardiyovasküler hastalık, kanser ve nörodejeneratif hastalık gibi çeşitli hastalıklar üzerinde olumlu biyokimyasal ve antioksidan etkiler göstermektedir (García-Lafuente vd. 2009). Flavonoidler, çeşitli nutrasötik, farmasötik, tıbbi ve kozmetik uygulamalarda vazgeçilmez bir bileşendir. Bu esas olarak anti-enflamatuar, anti-oksidatif, anti-karsojenik ve anti-mutajenik özelliklerinin yanı sıra anahtar hücrel enzim fonksiyonunu düzenleme özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Panche vd. 2016, Karak 2019).

Flavonoid olmayanlar fenolik bileşikler, fenolik asitler, polifenoller, tanenler, hidroksisinamatlar, stilben ve bunların konjuge türevlerinden oluşmaktadır. Fenolik asitler bitkilerin en kalabalık flavonoid olmayan grubudur (Naboulsi vd. 2018). Fenolik asitlerin iki ana grubu bulunmaktadır: hidroksisinamik asitler (ferulik, kafeik, p-kumarik ve sinapik asitler) ve hidroksibenzoik asitler (gallik, vanilik, siringik ve proto-asetik asitler) (Khoddami vd. 2013).

2.2.3 Azot ve Kükürt İçeren Bileşikler

Alkaloidler, siyanojenik glikozitler ve protein olmayan amino asitler gibi sekonder bitki metabolitleri yapılarında azot birimleri içermekte ve doğal amino asitlerden sentezlenmektedir (Naboulsi vd. 2018). Alkaloidler, 12.000'den fazla izole edilmiş maddeye sahip büyük bir sekonder metabolit grubudur (Thirumurugan vd. 2018). Kükürt içeren sekonder metabolitler grubu GSH, GSL, fitoaleksinler, tionlar, defensinler ve alininleri içermektedir. Bu metabolitler çeşitli patojenlere karşı bitki savunma mekanizmaları üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak etki etmekte ve çok sayıda bitki türünde teşvik edilen çeşitli kimyasal koruma sürecinde yer almaktadır (Grubb ve Abel, 2006, Halkier ve Gershenzon 2006, Burow vd. 2008).

2.3 *Brassica* Türlerinin Fitokimyasal Bileşenleri

Brassica bitkilerinin alkaloid, glikozit, kumarin, flavonoid, fenol, tannin, kinin, indirgeyici şeker, reçine, saponin, steroid, tanen, terpenoid, ksantoprotein, uçucu yağ ve karboksilik asit grubu gibi çeşitli fitokimyasal bileşikler içerdiği gösterilmiştir (Paul vd. 2019). *Brassica* bitkileri, glukozinolatlar ve bunların parçalanma ürünleri ve fenolik bileşikler açısından zengindir (Abbaoui vd. 2018, Mahmud vd. 2019, Shankar vd. 2019). *Brassica* türlerinin polifenol içeriği birbiriyle oldukça benzerlik göstermektedir. *Brassica* türlerinin en yaygın ve çeşitli polifenol grubu flavonoidler ve hidroksisinnamik asitlerdir (Cartea vd. 2011). Karakteristik tat ve kokuları glukozinolatlar ve fenolik bileşiklerden kaynaklanmaktadır. Bu fitokimyasallar antioksidan, antimikrobiyal ve antikanser gibi çeşitli biyolojik özelliklerden sorumludur. *Brassica* bitkilerinde A, B, C vitaminleri ve diğer suda çözünür pigmentler de bulunmaktadır (Chauhan vd. 2016).

2.3.1 Brassicaceae Türlerinde Bulunan Terpenler

Tokoferoller ve tokotrienoller (E vitamini) Brassicaceae bitkilerinde bulunan terpen bileşiklerindendir. Tokoferoller ve tokotrienoller, antioksidan aktiviteye sahip lipitte çözünen bileşiklerdir (Zuta vd. 2007). Podsedeck (2007), *Brassica* bitkilerinde toplam tokoferol ve tokotrienol içeriğinin azalan sırasının brokoli > brokoli filizi > lahanası olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, Kurilich vd. (1999), lahananın diğer Brassicaceae bitkileri arasında α -tokoferol ve γ -tokoferol en iyi kaynak olduğunu bildirmiştir. Bu bileşiklerde yaygın olarak bildirilen biyoaktivite, hidrojen atomu transferi yoluyla antioksidan aktivitedir (Lampi vd. 2002).

Karotenoidler, radikal temizleme aktivitesinden ve antioksidan kapasitesinden sorumlu konjuge çift bağlara sahip kırk karbon atomunun karakteristik yapısına sahip simetrik tetraterpenlerdir. Brassicaceae ailesinde pigmentler (sarı, turuncu veya sarı) olarak işlevleri yaygın olarak değerlendirilmektedir (Jahangir vd. 2009, Flakelar vd. 2017). En temsili karotenoidler β -karoten, α -karoten, γ -karoten ve β -kriptoksantindir; bunlar A vitamininin öncüsü ve antioksidan görevi görmektedir (Frede vd. 2019). Bu bileşikler,

sağlığı iyileştirici özellikleri ve ayrıca tozlayıcıları cezbedici, fotokoruma pigmentleri ve ışık hasat pigmentleri olarak biyolojik işlevleri için kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Benzer şekilde, fenolik bileşiklere, Brassicaceae familyasında karotenoid birikimi çevre, doku tipi ve gelişim aşaması tarafından düzenlenmektedir (Yu vd. 2008, Frede vd. 2019). Bu biyoaktif bileşik grupları Brassicaceae türleri için derinlemesine karakterize edilmemiş olsa da baskın olanların β -karoten ve luteolin olduğu bildirilmiştir, ancak değişken miktarlarda zeaksantin, kriptoksantin, neoksantin ve viyolaksantin de tespit edilmiştir (Nilsson vd. 2006, Guzman vd. 2012, Zhang vd. 2015). Ayrıca, lahana (*Brassica oleracea* L. convar. Acephala var. sabellica), Brüksel lahanası, brokoli, karnabahar, kırmızilahana, beyaz lahana, pakchoi (*Brassica rapa* subsp. *chinensis*) ve alabaş (*Brassica oleracea* var. *ganglyoides*) bitkilerinin karotenoid içerdiği bildirilmiştir (Park vd. 2012, Chun vd. 2018). Kıvırcık lahana, bu bileşiğin en zengin turpgillerden kaynağı olarak kabul edilmekte ve lahanayı yaklaşık 40 kat geride bırakmaktadır (Nilsson vd. 2006). Bunlar arasında, kıvırcık lahana sadece turpgiller arasında değil, aynı zamanda diğer sebzelerle karşılaştırıldığında da yüksek içeriğiyle öne çıkmakta ve bu da karotenoidlerin ana diyet kaynaklarından biri olmasıyla sonuçlanmaktadır (Nilsson vd. 2006, Abdel-Aal vd. 2013, Walsh vd. 2015). Kıvırcık lahananın ana karotenoidlerinin zeaksantin ve luteolin olduğu öne sürülmüştür (Walsh vd. 2015) ancak birkaç kıvırcık lahana çeşidi arasında önemli farklılıklar gözlenmiştir (Mageney vd. 2016). Brassicaceae türleri arasındaki karotenoid profili büyük ölçüde değişmektedir. Örneğin, brokoli esas olarak β -karoten ve luteolin içermekte (Fernández-León vd. 2012), lahana esas olarak luteolin içerirken bunu β -karoten, zeaksantin ve α -karoten takip etmektedir (Kaulmann vd. 2016).

Fitosteroller, izoprenoid grubuna ait olup yapısal olarak kolesterole çok benzerlik gösterse de işlevsel olarak zıttır ve besinsel olarak insan sağlığı için faydalı olan yağın en önemli bileşenlerinden birini oluşturmaktadır (Gül ve Şeker 2006). Brassicaceae, yağ tohumu açısından zengin ve ekonomik açıdan önemli bir bitki ailesi olarak kabul edilmektedir. Brassicaceae türleri arasında kolza tohumu olarak bilinen *Brassica napus* L., 9,79 gr/kg yağ seviyelerine ulaşan en bol doğal fitosterol kaynağıdır (Gül ve Amar 2006). Brassicaceae türleri arasında bir başka zengin fitosterol kaynağı, analiz edilen çeşide göre farklı bileşimler ve fitosterol seviyeleri tespit edilen *Brassica juncea*'dır

(Sharma vd. 2018).

2.3.2 Brassicaceae Türlerinde Bulunan Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşiklerin Brassicaceae türlerinin diyetle tüketimiyle ilişkili antioksidan kapasite, antikarsinojenik güç, anti-agregasyon aktivitesi, detoksifikasyon enzimlerinin aktivasyonu gibi sağlık yararlarına katkıda bulunduğu düşünülmektedir (Cartea vd. 2011). *Brassica* türlerindeki en yaygın ve çeşitli fenolik bileşen grubu basit fenoller, fenolik asitler, flavonoidler ve hidroksisinnamik asitlerdir (Vallejo vd. 2004, Vale vd. 2015). Flavonoller, flavonoidler arasında en önemli grubu oluşturmaktadır. Kersetin, kaempferol, izorhamnetin ve siyanidin bu türlerde en temsili flavonoidlerdir, ancak nitel ve nicel profilleri türler arasında önemli ölçüde değişmektedir. Örneğin, karnabahar ana fenolik bileşikleri kersetin, aglikon ve kateşinlerdir, ancak beyaz lahanada ana bileşik kaempferol glukozitler ve epikateşinlerdir (Li vd. 2018, Fusari vd. 2019). Fenolik profil, incelenen bitki organına göre aynı bitki türü içinde de değişebilmektedir. Örneğin, turpgillerin filizleri, en çok tüketilen bitki organları olan kök ve çiçek salkımlarıyla karşılaştırıldığında 2 ila 10 kat daha fazla fenolik bileşik içermektedir (Baenas vd. 2017a). Fusari vd. (2019), bu botanik ailenin birçok üyesinde güçlü bir antioksidan molekül olduğu yaygın olarak bildirilen *t*-resveratrol-a *p*-terostilben fenolik bileşiğinin önemli düzeylerde bulunduğunu, örneğin roka (*Eruca sativa* L.) yapraklarında 84 µg/g kuru ağırlık düzeyine ulaştığını bildirmiştir (Loedolff vd. 2017, Fusari vd. 2019). Li vd. (2018), 12 farklı turpgillerden sebzenin fenolik profilleri UHPLC-Q-TOF-MS/MS ile belirlemiştir. 16 hidroksisinnamik asit ve türevi ve 58 flavonoid ve türevleri dahil olmak üzere 74 fenolik bileşik tanımlamışlardır. Glikozile edilmiş kersetin, kaempferol ve izoramnetin tanımlanan ana flavonoidler. Hidroksisinnamik asitler arasında bulunan ana bileşikler ferulik, sinapik, kafeik ve *p*-kumarik asitlerdir. Lahananın yüksek oranda hidroksisinnamik asit (46.02 mg/g kuru ağırlık) ve türevlerini, en baskın olanı gentiobiosa ile konjuge ferulik ve sinapik asitleri içerdiği; *B. oleracea* sebzelerinin, *B. rapa* alt türlerine kıyasla bu asitleri daha yüksek miktarda içerdiği vurgulanmıştır (Li vd. 2018). Ferulik asit kırmızı lahana için ana hidroksisinnamik asit olmasına rağmen, turp ve roka yapraklarında bulunmamaktadır (Fusari vd. 2019).

Antosiyaninler, kırmızı lahana ve mor karnabahardaki koyu, zengin mor/kırmızı/mavi renklerden sorumlu suda çözünen bitki pigmentleridir. Bunlar, flavonoidlerin ve polifenollerin başlıca alt sınıflarından biridir. Antosiyaninler, antosiyanidinlerin şeker konjüge formlarıdır. *Brassica* türlerinde pelargonidin, siyanidin, delfinidin, peonidin, petunidin ve malvidin en yaygın olan antosiyaninlerdir (Rodríguez-García vd. 2019). *Brassica* cinsindeki antosiyaninler, bir veya daha fazla sinamik asit içeren alışılmadık derecede karmaşık yapılara sahiptir. Ana antosiyanin türü türler arasında farklılık göstermektedir. Siyanidin-3-sophoroside-5-glukozidin p-kumaril ve feruloil esterleştirilmiş formları karnabaharda baskınken, sinapoyl esteri ise çoğunlukla kırmızı lahanada bulunmaktadır (Lo Scalzo vd. 2008). Kırmızı turp esas olarak aromatik asitlerle aklile edilmiş siyanin ve peonidin antosiyaninler içerirken (Matera vd. 2012), kırmızı lahana ve brokoli esas olarak siyanid glukozit türevleri içermektedir (Moreno vd. 2010). Otsuki (2002), turp köklerinde 6'sı pelargonidin türevlerine karşılık gelen 12 farklı antosiyanin tespit etmiştir. Kırmızı lahana çeşitlerinde, baskın antosiyaninler asile edilmemiş siyanidin-glukozitlerdir (Wiczowski vd. 2013). Genel olarak, bu sonuçlar antosiyaninlerin, diğer fenolik bileşiklerde olduğu gibi, bitkisel türlere, bitki organına ve dikkate alınan türlerin çeşitlerine göre değiştiğini göstermektedir (Ramirez vd. 2020).

2.3.3 Brassicaceae Türlerinde Bulunan Azotlu Bileşikler

Alkaloidler, amino asitlerden sentezlenen bitki sekonder metabolitleridir. Bu azotlu bileşikler, diğerleri arasında *Capsella bursa pastoris*, *Lepidium cartilacineum*, *Nasturtium montanum* ve *Raphanus sativus* dahil olmak üzere birçok Brassicaceae türünde bildirilmiştir (Nee 1998). Yenilebilir Brassicaceae alkaloid bileşikleri lahana tohumlarında (Khalid vd. 2014), karnabahar yapraklarında (Yannai 2003), brokoli çiçeklerinde (Shah vd. 2016a) ve kırmızı lahana çiçeklerinde (Chauhan vd. 2016) bildirilmiştir.

Bitkiler aleminde 120'den fazla farklı glukozinolat (GLC) tanımlanmış olmasına rağmen, Brassicaceae'de bu sayı yaklaşık 96'ya ulaşmakta ve bunlardan bazıları belirli bir cins veya türe özgü bulunmaktadır (Anjum vd. 2012). *Brassica* türlerinde bulunan ana glukozinolatlar arasında progoitrin, sinigrin, glukorafanin, tiyosiyanat öncülleri

glucobrassicin ve neoglucobrassicin bulunmaktadır (Bischoff 2016). *Brassica oleracea* yaprakları ~1.000 ppm, filizleri ~3.000 ppm ve *B. nigra* tohumları ~60.000 ppm glukozinolat içermektedir (Burrows ve Tyrrel 2013). *B. rapa*, *B. juncea* ve *B. oleracea* dahil olmak üzere 48 genetik kaynaktan 8 glukozinolat tanımlanmıştır: glukonapin, glukobrassicinapin, progoitrin, glukotropaeolin, glukoeserin, glukonasturtin, glukoberteroin ve glukobrasisin (Rhee vd. 2020). Brassicaceae bitkilerindeki organosülfür (OS) bileşiklerinin varlığı, onları bitki alemindeki diğer bitkilerden ayırmaktadır. Esas olarak iki OS bileşiğinin varlığı ile karakterize edilmektedirler. Bunlardan biri yenilebilir sebzelerin keskinliğinden ve karakteristik tadından sorumlu olan izotiyosiyanatlar (Nor vd. 2020). İzotiyosiyanatlar, glukozinolat-mirosinaz enzim sisteminden elde edilen hidroliz ürünleridir. İzotiyosiyanatlar, glukozinolatın kimyasal yapısına bağlı olarak alifatik, indolik veya aromatik yan zincirlere sahip olabilir. Sülforafan (1-izotiyosiyanato-4-[metilsülfonil] butan) ve fenetil izotiyosiyanat (2-izotiyosiyanatoetilbenzen), brokoli ve su teresinden izole edilen ana izotiyosiyanatlardır (Palliyaguru vd. 2018). İzotiyosiyanat bitki türü ve dokusuna göre değişmektedir (Blažević ve Mastelić 2009, Yi vd. 2016). Örneğin, roka yapraklarında, tespit edilen ana izotiyosiyanat genellikle sativinken (Fechner vd. 2018), roka tohumlarında tespit edilen ana izotiyosiyanat erucin ve sülforafandır (Franco vd. 2016). Turp tohumlarında ve filizlerinde, tespit edilen ana izotiyosiyanat sülforafendiyken (Blažević ve Mastelić 2009, Kuang vd. 2013, Yi vd. 2016, Baenas vd. 2017b), turp köklerinde tespit edilen başlıca izotiyosiyanat rafasatin ve sülforafen olmuştur (Blažević ve Mastelić 2009, Kim vd. 2015). Diğer OS bileşiği ise yapısında kükürt içeren uçucu maddelerin sentezi için öncü görevi gören S-metil sistein sülfoksittir (Fusari vd. 2020). Glukozinolatların varlığı *Brassica* cinsinde kozmopolit olmasına rağmen, konsantrasyonu tür, coğrafi konum, çevresel koşullar, gelişim aşaması ve bitki kısmına göre değişmektedir (Bhandari vd. 2015, Hanschen ve Schreiner 2017, Fusari vd. 2020).

İlk olarak 1940'ta tanımlanmış olan fitoaleksinler çok çeşitli kimyasal yapılara ve anti-kanser özellikler de dahil olmak üzere çeşitli biyoaktivitelere sahip bileşiklerdir. Düşük moleküler ağırlığa sahip ve bitki için önemli bir savunma mekanizması olarak hizmet ettikleri düşünülmektedir (Ahuja vd. 2012, Klein ve Sattely 2017). Fitoaleksinler içeren Brassicaceae üyeleri, diğer bitkiler arasında benzersiz bir yapı sağlayan N ve S atomları

ile C3 ikamelerine sahip bir indolik halka yapısı içermektedir. Fitoaleksinin oluşumu için önerilen biyosentetik yol, GSL'den gelen brassinin oluşumlarını içermektedir; bundan sonra, diğer ilgili fitoaleksinler brassininden üretilmektedir. Klein ve Sattely (2017), brassinin'in oksidatif düzenlenmesi ve yeniden düzenlenmesi sonucu 30'dan fazla bileşiğin ortaya çıktığını bildirmiştir. Yenilebilir turpiller arasında, *Brassica napus* (Pedras vd. 2008), *Brassica oleracea* (Pedras vd. 2006), *Brassica juncea* (Pedras ve Ahiahonu 2005), *Wasabi japonica* (Pedras vd. 1999) ve *Raphanus sativus*'ta (Monde vd. 1995) fitoaleksinler bildirilmiştir.

2.4 *Brassica* Türlerinin Biyolojik Aktiviteleri

Brassicaceae bitkileri son yıllarda fitokimyasal bileşiklerinin doğrudan insan sağlığına faydalı etkilerle ilişkilendirilmesinden dolayı çok fazla ilgi görmektedir. Biyolojik aktivite antikanser, antioksidan, anti-inflamatuar ve kardiyoprotektif aktiviteler gibi farklı sağlık faydalarıyla bağlantılıdır. Bu aktiviteler esas olarak, Brassicaceae bitkilerindeki ana bileşenler olarak kabul edilen ve yapısı, etki mekanizması ve insan hücrelerindeki etkileri açısından en çok çalışılan glukozinolatlar, polifenoller ve triterpenlerin sinerjik etkisinden kaynaklanmaktadır (Šamec ve Salopek-Sondi 2019).

Brassica cinsi, çeşitli biyolojik özelliklerden de sorumlu olan glukozinolatlar ve fenolik bileşikler (Petropoulos vd. 2017) ile karakterize edilmektedir. Sonuç olarak, bu özellikler dünyanın farklı yerlerinde geleneksel tıp uygulamalarında kullanılmaktadır. İtalya'da, *Brassica rupestris* ve *B. oleracea*'nın ısıtılmış yaprakları romatizmal ağrıları tedavi etmek için kullanılmaktadır (Tuttolomondo vd. 2014). Avustralya'da *B. juncea*'nın tohum ve yaprakları ağrı ve artrit/romatizma için kullanılmaktadır (Rahman vd. 2018). Bununla birlikte, *Brassica* tohumlarından elde edilen yağ Pakistan'da tonik ve askariasis hastalığına karşı kullanılmaktadır (Shah vd. 2016b). Hindistan'da *Brassica* yaprakları glikojen sentetazın uyarılması yoluyla hipoglisemik etkileri nedeniyle kullanılmaktadır (Grover vd. 2002). Ek olarak, *B. rapa*'nın fitosterolle zenginleştirilmiş bir poleni, kronik prostatit, inkontinans ve şişmiş eklemler üzerinde iyi bir etki göstermektedir (Wang vd. 2015). Romanya'da *B. napus*'un kökleri ve yaprakları apse, çıban, akne ve egzama tedavisinde kullanılmaktadır (Gilca vd. 2018), *B. rapa* yaprak ve

tohumları Avustralya'da ağrıyan kasları rahatlatmak ve yaraları dezenfekte etmek için kullanılmaktadır (Rahman vd. 2018). Türkiye'de *B. nigra*'nın toprak üstü kısımları öksürük ve bronşit tedavisinde kullanılmaktadır (Güler vd. 2015). Brezilya'da, *B. oleracea* yaprakları tarafından hazırlanan meyve suyu, mide ülserlerinin semptomlarını hafifletmektedir (Gonçalves vd. 2012). Bununla birlikte, *B. oleracea* için en önemli uygulamanın antienflamatuar etkisiyle ilgili olduğu bildirilmiştir (Munns 2003, Guarrera 2005), ancak *B. oleracea* çeşitlerinin cilde uygulandığında tahriş edici kontakt dermatit sergilediği gözlemlenmiştir (Milanesi ve Gola 2016). Bangladeş'te *B. oleracea*'nın kalp hastalıklarını ve kan saflaştırmayı tedavi etmek için de kullanıldığı bildirilmektedir (Emran vd. 2015).

2.4.1 Brassica Türlerinin Antioksidan Aktiviteleri

Serbest radikaller, eksik bir elektrona sahip olan ve elektrokimyasal kararlılıklarını elde etmek için kararlı moleküllerin bir elektronunu yakalama eğiliminde olan çok reaktif atomlar veya atom gruplarıdır ve hücrelere zarar veren bir zincirleme reaksiyon başlatmaktadırlar. Antioksidan ajanlar ise bu serbest radikallerin oluşumunu engelleyerek veya yayılmasını önleyerek etki göstermektedir (Huang vd. 2005, Atasoy vd. 2019). Bitkilerin çoğu sürekli olarak oksidatif strese maruz kalmaktadır. Bu nedenle, hücrelerin oksidasyonunu kontrol etmek için bir antioksidan sistemin geliştirilmesi önemlidir (Agati vd. 2005, Wen vd. 2016). Potansiyel antioksidan aktiviteye sahip bitki SM'leri birçok kemosentetik maddeye doğal alternatifler olarak kabul edilmektedir (Jiang ve Xiong 2016). Bitki materyallerinden elde edilen doğal antioksidanlar esas olarak polifenoller, karotenoidler ve vitaminlerdir (Elshafie vd. 2023). Fenolik bileşikler, ağırlıklı olarak konjuge yapılar olarak bulunan *Brassica* bitkilerinin başlıca antioksidan bileşiklerinden biridir (Vale vd. 2015). Fenolik bileşikler, belirli metallerin varlığında hidrojen peroksit üretimi, elektrofilleri temizleme yeteneği gibi özelliklere sahiptir (Cartea vd. 2011).

Brassica bitkilerinin antioksidan aktiviteleri yapılan çalışmalarda göstermiştir. *In vitro* antioksidan aktiviteleri ölçmek için kullanılan yöntemler esas olarak serbest radikallerin süpürülmesinin kullanımına dayanmaktadır. *Brassica* bitkilerinin bu *in vitro* antioksidan

aktivitesi, *B. oleracea*, *B. rapa*, *B. juncea* ve *B. napus* gibi farklı türler için farklı çalışmalarda bildirilmiştir. *B. oleracea* organik ekstraktlarının antioksidan özelliği büyük ölçüde bildirilmiştir (Lemoine vd. 2010, Cogo vd. 2011, Liang vd. 2019, Le vd. 2019). Sonuçlar, standart antioksidan askorbik asitten bile daha yüksek olan önemli bir antiradikal etki göstermiştir. Ek olarak, aktivite ile toplam fenol içeriği arasında pozitif bir korelasyon kurulmuştur. Bu fenolikler, indirgeyici maddeler, hidrojen donörleri, singlet oksijen söndürücüleri ve metal şelatlayıcılar gibi farklı mekanizmalarla aktivitelerini sergilemektedir (Georgieva vd. 2014). Tanongkankit vd. (2010), *B. oleracea* metanolik ve sulu ekstraktların linoleik asidin otooksidasyonunu engellediğini ve bu aktivitenin *B. oleracea* sulu ekstraktlarında bulunan fenolik bileşikler ile ilişkili olduğunu bildirmiştir (Tanongkankit vd. 2010). *B. rapa* su ekstraktlarının yüksek antioksidan aktivite gösterdiği bildirilmiştir (Pellegrini vd. 2010, Šamec vd. 2011). Bununla birlikte, metanol-sulu ekstrakt (80:20), DPPH-serbest radikal tahlilinin ılımlı bir inhibisyonuna neden olmuştur (Cefola vd. 2010). Bu farklılıklar çözücü türünün, ekstrakte edilen bileşiklerin içeriği ve kalitesi ile doğrudan ilişkili olduğu ile açıklanabilir.

2.4.2 Brassica Türlerinin Antimikrobiyal Aktiviteleri

Farklı bitki türlerinin antimikrobiyal aktivitesi eski zamanlardan beri yaygın olarak bilinmektedir (Koley vd. 2019). Artan mikrobiyal dirence karşı geleneksel tedavilerin yerini alacak iyi stabiliteye ve düşük toksisiteye sahip bir alternatif bulmak için su, organik çözücüler, su/organik çözücü karışımları veya uçucu yağların uygulandığı çeşitli ekstraksiyon prosedürleri geliştirilmiştir (Salehi vd. 2018). Dünya çapında mikrobiyal enfeksiyonlar yüksek morbidite ve mortaliteye neden olmaktadır. Suşların geleneksel antibiyotiklere karşı direnç göstermesi nedeniyle antimikrobiyal ajanlara yönelik yeni arayışlar büyük önem taşımaktadır. Bitkiler tarafından sentezlenen moleküller, direnç oluşturmada yenilikçi terapötik yaklaşımlar için fırsatlar yaratabilen antibakteriyel özelliklere sahip antibiyotik olmayan ilaçlar olabilir. Antimikrobiyal ajan, mikroorganizmaları öldüren veya büyümesini geciktiren maddeler, ilaçlar veya kimyasallar (doğal veya sentetik) için kullanılan bir terimdir. Antimikrobiyaller, tarih boyunca çoğunlukla bakteri ve mantarlardan kimyasal veya fermentatif sentez yoluyla

elde edilmiştir. Bu nedenle, bitki kökenli yeni antimikrobiyal bileşiklerin uygulanması yeni bir araştırma konusudur. Bunlar sentetik moleküllerle karşılaştırılamayacak kadar eşsiz bileşiklerdir. Ayrıca, iyi toleransa sahiplerdir ve hastalar tarafından büyük kabul görmektedirler (Salehi vd. 2019). Günümüzde biyoaktif metabolitlerin harika bir kaynağı olan bitkilerden elde edilen antimikrobiyal ajanların kullanımı her geçen gün büyük ölçüde artmaktadır. Doğal antimikrobiyaller, geleneksel sentetik antibiyotiklerin kötüye kullanımıyla oluşan dirence karşı yeni alternatif antimikrobiyallerin geliştirilmesi için iyi bir seçenek olarak görülmektedir (Salehi vd. 2021).

Moleküllerinde kükürt bulunan bitkilerden elde edilen organik bileşikler, gram pozitif ve gram negatif bakterilere karşı antibakteriyel aktivite göstermektedir. Glukozinolatlar ve bunların mirosinaz enzimi tarafından hidrolizi, farklı mikroorganizmaların büyümesini etkileyen bazı spesifik ürünler oluşturmaktadır (Barbieri vd. 2017). Brassicaceae familyasından sebzeler tarafından üretilen glukozinolatların biyoaktif potansiyeli açıktır ve bu da onları insanlarda ciddi enfeksiyonlara neden olan patojenlerin biyolojik kontrolünde mükemmel adaylar haline getirmektedir. Bununla birlikte, test edilen glukozinolatların çoğu, geleneksel antibiyotiklerle sinerjik olarak etki ederek etkilerini artırmaktadır (Melrose 2019). İzotiyosiyanat gibi parçalanma ürünlerinin mantarlar ve patojenik bakteriler de dahil olmak üzere çok sayıda mikroorganizmaya (*Escherichia*, *Klebsiella*, *Salmonella*, *Bacillus*, *Serratia*, *Staphylococcus* ve *Listeria*) karşı inhibe edici aktivite gösterdiği bildirilmiştir (Alvarez vd. 2015). *Brassica juncea* yağında (%85 allilisotiyosiyanat, %10 bütenil izotiyosiyanat) bulunan glukozinolatların (2 ppm) antifungal aktivite gösterdiği, çavdar ekmeğinde *Penicillium roqueforti*, *P. corylophilum*, *Eurotium repens*, *A. flavus* ve *Endomyces fibuliger*'in büyümesini engellediği bildirilmiştir (Suhr ve Nielsen 2003, Melrose 2019).

Brassica'dan elde edilen bitki ekstraktlarının antimikrobiyal aktiviteleri uzun yıllardır bilinmektedir. *Brassica* bitkilerinin ana antimikrobiyal aktivitesinin, S-alk(en)yl-L-sistein sülfoksit ve glukozinolatlardan kaynaklanan uçucu kükürt bileşiklerinden kaynaklandığı gösterilmiştir (Salehi vd. 2021). Çok sayıda çalışma, *Brassica* bitkilerinin antimikrobiyal aktiviteye sahip bileşikler kaynağı olarak potansiyelini vurgulamıştır

(Sanz-Puig vd. 2015, Vale vd. 2015, Pacheco-Cano vd. 2018). *B. oleracea*'nın aktif fitobileşenleri ve farklı konsantrasyonlarda (50, 100 ve 200 µg/disk dahil) *Aspergillus fumigatus*, *Citrobacter divergens* ve *Klebsiella pneumoniae* suşlarına karşı antimikrobiyal aktiviteleri araştırılmıştır. Sonuçlar, *B. oleracea*'da fitokimyasal olarak terpenoidler, flavonoidler, alkaloidler, fenoller ve tanenlerin varlığını göstermiş ve araştırmacılar, *A. fumigatus* ve *K. pnömoni* için maksimum inhibisyon bölgesinin 200 µg/200 µl konsantrasyonda elde edildiğini bildirmiştir. *Klebsiella pneumoniae* her iki konsantrasyona karşı iyi bir hassasiyet sergilemiş ve *C. divergens* orta hassasiyet göstermiştir (Paul vd. 2012). Başka bir çalışmada, *B. oleracea*'nın seçilen Gram-pozitif ve Gram-negatif bakterilere karşı antimikrobiyal aktivitesi, etanol, metanol, aseton, kloroform ve su dahil olmak üzere farklı ekstraksiyon çözücülerini kullanılarak araştırılmıştır. Ekstraktlar arasında, metanolik ekstraktların diğer ekstraktlara kıyasla tüm mikroorganizmaların büyümesini kontrol etmede daha etkili olduğu bildirilmiştir (Ayshwarya ve Sudha Rameshwari 2015). Bu sonuçlar göz önüne alındığında, *Brassica* bitkilerinin kararlı, biyolojik olarak aktif bileşenlere sahip yeni antimikrobiyal kaynaklarını temsil edebileceği ve doğal antimikrobiyal ajanların önemli bir kaynağı olarak hizmet edebileceği sonucuna varılmaktadır (Salehi vd. 2021).

Ayaz vd. (2008), lahanaya yaprak ve tohumlarının metanol ekstraktlarından elde ettiği kersetin ve kaempferol türevlerinin zengin fenolik fraksiyonlarının gram pozitif bakteriler *Staphylococcus aureus*, *Enterobacter faecalis*, *Bacillus subtilis* ve insanlarda önemli bir solunum yolu patojeni olduğu bilinen Gram negatif bakteri *Moraxella catarrhalis* ve *Candida albicans* ve *C. tropicalis* mayalarının büyümesini etkili bir şekilde inhibe ettiğini bildirmiştir (Ayaz vd. 2008). Jaiswal vd. (2012), farklı ekstraksiyon çözücülerinin antibakteriyel aktivitesini %60 oranında değerlendirmiştir. Bu çalışma, brokoli, Brüksel lahanası ve beyaz lahananın hidroalkolik ekstraktlarının *L. monocytogenes*'in büyümesinde sırasıyla %51,1-%69,1, %33,3-%39,1, %23,2-%34,0 aralığında inhibitör aktiviteye sahip olduğunu göstermiştir (Jaiswal vd. 2012). *Helicobacter pylori* enfeksiyonlarına karşı güçlü bir şekilde bakteri öldürücü olan izotiyosiyanat sülforafaninin dünya çapındaki mide kanseri salgınıyla güçlü bir şekilde ilişkili olduğu gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar, sülforafan açısından zengin brokolinin yüksek oranda tüketilmesinin *Helicobacter pylori* ile enfekte olmuş farelerde ve

insanlarda kolonizasyonu azalttığını ve gastriti hafiflettiğini doğrulamıştır (Yanaka vd. 2009, Yanaka 2017).

2.4.3 *Brassica* Türlerinin Antikanser Aktiviteleri

2-pirolidinonun *B. oleracea*'nın yapraklarında bulunan potansiyel antikanser aktivitesine sahip aktif bir bileşik olduğu gösterilmiştir. Bu bileşik, proliferatör hücrelerini inhibe edebilir, hücre proliferasyonunda, hücre canlılığında, HeLa'da (24 saatte IC50 2,5 µg/ml ve 48 saatte 1,5 µg/ml) ve PC-3 kanser hücrelerinde (IC50 24 saatte 3,0 µg/ml ve 48 saatte 2,0 µg/ml) önemli bir apoptoz indüksiyonuna neden olmaktadır (Thangam vd. 2013). Ayrıca, hem östrojen reseptörü (ER) pozitif hem de ER-negatif insan meme kanseri hücre hatlarında turpgil sebze suyunun (5 ve 10 ml/L) tedavisi CDK6 seviyelerini azalttığı ve DNA sentezini doza bağlı bir şekilde azaltarak ER hücrelerinde CDK6 inhibitörü p27 seviyesini artırdığı bildirilmiştir. Bu veriler, turpgil sebzelerin kemoprevensiyon ve antiproliferatif aktivite için yararlı olabilecek önemli bir bileşik kaynağı olduğunu göstermektedir (Brandi vd. 2005). Ek olarak, hardal (*B. juncea*) yapraklarının etanolik ekstraktlarının HCT116 kolorektal karsinom ve H1299 küçük hücreli olmayan akciğer karsinom hücreleri üzerindeki etkisi *in vitro* olarak araştırılmıştır. Her iki hücre hattında da hardal yaprakları ekstraktının uygulaması, vasküler endotel hücre büyüme faktörü ve temel fibroblast büyüme faktörünün salgılanmasını açıkça bastırmıştır. Bu çalışma, hardal yaprakları ekstraktının kolon (72 saatte IC50 253 µg/ml ve 96 saatte 153 µg/ml) ve akciğer kanserlerine (72 saatte 700 µg/ml ve 96 saatte 130 µg/ml) karşı *in vitro* anti-kanser aktiviteleri göstermiştir (Kwak vd. 2016). *B. oleracea* (Kırmızı lahana) ekstraktının HeLa ve HepG2 hücreleri üzerinde etkili antikanser aktiviteleri ortaya konulmuştur. Ekstrakt uygulamasından sonra seçicilik indeksi (SI) değerleri, HeLa hücrelerinin (10.88 ± 0.82) önemli ölçüde belirginken, HepG2'nin (8.93 ± 0.81) daha az dikkat çekici olduğunu ve uygulama yapılmayan hücrelere kıyasla tümör nekroz faktörü (TNF)- α seviyesini artırdığı gösterilmiştir. Çalışma, ekstraktın apoptoza neden olduğunu ve kanserli hücrelerden doza ve zamana bağlı bir şekilde TNF- α sentezini indüklediğini ortaya koymuştur (Hafidh vd. 2013).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Bitki Materyali

Brassica elongata Ehrh. bitkisine ait topraküstü (yaprak, çiçek ve meyve dokuları) kısımları Afyon Kocatepe Üniversitesi Ahmet Necdet Sezer yerleşkesindeki araziden toplanmıştır (Şekil 3.1). Bitki dokuları laboratuvar ortamında ışık görmeyecek şekilde benç üzerinde kurutulmuştur. Kurutulmuş bitki dokuları toplam fenolik madde ve flavonoid içeriği, antioksidan kapasite ve fenolik madde kompozisyonun belirlenmesi için kullanılmıştır.



Şekil 3.1 *Brassica elongata* Ehrh. bitkisinin genel görünümü.

3.2 Bitki Dokularından Metanol Ekstraktlarının Hazırlanması

Kurutulmuş yaprak dokusunun 2'şer gramı öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiş, ardından dokular ağız kapaklı cam şişelere konulmuş ve her birine 20 mL metanol eklenmiştir. Karışım, 15 dakika boyunca çalkalayıcıda karıştırılmıştır (del Bano vd. 2003). Elde edilen karışım, 24 saat +4°C'de inkübe edilmiş ve ardından filtre kağıdı kullanılarak süzümüştür. Elde edilen süzöntü vakumlu evaporatörde +50°C'de kurutulmuş ve kullanılıncaya kadar +4°C'de muhafaza edilmiştir (del Bano vd. 2003).

3.3 Toplam Fenolik Madde Miktarının Belirlenmesi

Toplam fenolik madde miktarı, Folin-Ciocalteu kolorimetrik yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir (Singleton ve Rossi 1965). Farklı dokulara ait ekstrakt çözeltilerinden (1 mg/mL) 100 µL, vidalı kapaklı cam deney tüplerine alınmış ve ardından sırasıyla 2,4 mL distile su, 200 µL Folin-Ciocalteu reaktörü, 600 µL %20 sodyum karbonat (Na_2CO_3) ve 700 µL distile su ilave edilerek karıştırılmıştır. Reaksiyon karışımı, oda sıcaklığında karanlık bir ortamda 2 saat süreyle inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda, 760 nm dalga boyunda absorbans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, gallik asit (GA) ile oluşturulan (1, 0.5, 0.25, 0.125 ve 0.0625 mg/mL metanolde) kalibrasyon eğrisi aracılığıyla hesaplanmış ve gallik asit eşdeğeri (mg GAE/g ekstre) olarak ifade edilmiştir.

3.4 Toplam Flavonoid Madde Miktarının Belirlenmesi

Toplam flavonoid içeriği, alüminyum klorür kolorimetrik yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Pourmorad vd. 2006). Her bir doku için 1000 µL ekstrakt çözeltisi (1 mg/mL) deney tüplerine alınmış; ardından sırasıyla 200 µL %10 alüminyum klorür (AlCl_3) ve 200 µL 1 M potasyum asetat ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$) eklenmiştir. Reaksiyon karışımları, oda sıcaklığında karanlık bir ortamda 30 dakika süreyle inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında, 415 nm dalga boyunda absorbans değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, kersetin (10 – 50 µg/mL) ile oluşturulan kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmış ve kersetin eşdeğeri (mg KE/g ekstre) olarak belirlenmiştir.

3.5 Antioksidan Kapasitelerinin Belirlenmesi

3.5.1 Toplam Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi

Fosfomolibdenyum yöntemi toplam antioksidan kapasitesinin (TAK) belirlenmesi için kullanılmıştır (Prieto vd. 1999). Ekstre çözeltileri (1 mg/mL) ve standart askorbik asit (AsA) çözeltilerinden 400 µL cam tüplere konulmuş ve üzerine 4 mL ayıraç çözeltisi (0.6 M sülfürik asit, 28 mM sodyum fosfat ve 4 mM amonyum molibdat) eklenip vortekslenmiştir. Karışım, 95°C'de 90 dakika süreyle inkübe edilmiştir. Karışımların absorbans değerleri 695 nm'de ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, askorbik asit (AA) ile oluşturulan kalibrasyon eğrisine dayanarak hesaplanmış ve AA eşdeğeri (mg AAE/g ekstre) olarak ifade edilmiştir.

3.5.2 DPPH Antiradikal Aktivitenin Belirlenmesi

Ekstraktların antiradikal aktivitesi, DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Lee vd. 1998). Deney tüplerine 80 µL 1 mg/mL konsantrasyonda ekstre çözeltileri eklenmiş ve üzerine 2000 µL 0.1 mM DPPH çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım oda sıcaklığında 30 dakika karanlık ortamda inkübe edilmiştir. Elde edilen karışımların absorbans değerleri 517 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Referans standardı olarak troloks kullanılmış ve sonuçlar, kuru ekstre başına troloks eşdeğerleri (mg TE/g ekstre) olarak ifade edilmiştir.

3.5.3 Demir İyonu İndirgeyici Antioksidan Potansiyeli (FRAP) Testi

Ekstraktların demir iyonu indirgeyici antioksidan kapasitesi, $[\text{Fe (III) (TPTZ)}_2]^{+3}$ 'ün antioksidan bir madde tarafından $[\text{Fe (II) (TPTZ)}_2]^{+2}$ 'ye indirgenmesi temel alınarak değerlendirilmiştir (Tuberoso vd. 2010). Bu amaçla, 1800 µL FRAP reaktifi, 60 µL ekstrakt çözeltisi (0.5 mg/mL) ve standart troloks çözeltisi (0, 50, 100, 250, 500 ve 750 µM) ile karıştırılmış, ardından 10 dakika boyunca 37°C'de inkübe edilmiştir ve absorbans değeri 593 nm'de ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, troloks eşdeğeri (mg TE/g ekstre) şeklinde ifade edilmiştir.

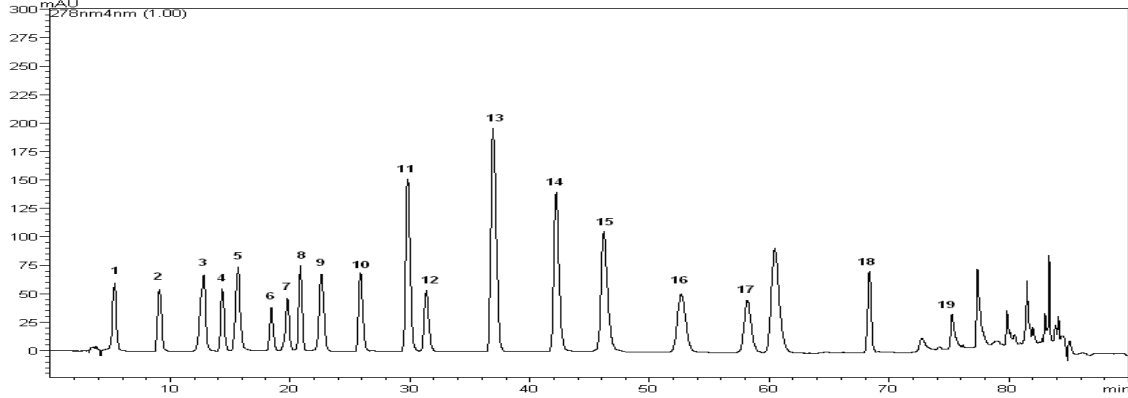
3.5.4 Bakır (II) İyonu İndirgeyici Antioksidan Kapasite (CUPRAC) Testi

Bu çalışmada, ekstraktların bakır (II) iyonunu indirgeme yeteneği, Cu^{2+} indirgeyici kapasiteye dayanan toplam antioksidan kapasite ölçüm yöntemiyle değerlendirilmiştir (Apak vd. 2006). Deney için, 10 mM CuCl_2 , 7,5 mM neokuproin (2,9-dimetil-1,10-fenantrolin) ve 1 mM amonyum asetat tampon çözeltisinden (pH 7.0) 1'er mL alınmış ve bunlara 100 μL (1 mg/mL) ekstrakt çözeltisi ile 1000 μL distile su eklenerek karıştırılmıştır. Elde edilen karışım, oda sıcaklığında 30 dakika inkübe edilmiş ve ardından 450 nm'deki absorbans değeri ölçülmüştür. Bu işlem, standart olarak kullanılan 1 mM troloks çözeltisi için de tekrar edilmiştir. Ekstraktların ve standardın bakır iyonunu indirgeyici kapasitesi, troloks bileşiğinin molar absorpsiyon katsayısı ($\epsilon = 16.700 \text{ L mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar mM TE/g ekstre cinsinden ifade edilmiştir.

3.6 Fenolik Bileşiklerin LC-MS/MS Analizleri

Fenolik bileşiklerin kalitatif ve kantitatif analizleri, Agilent 1260 Infinity sıvı kromatografi (LC) sistemi ile bağlantılı Agilent 6420 Triple Quadrupole LC-MS/MS (Agilent Technologies, ABD) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kromatografik ayırım, Poroshell 120 EC-C18 kolon ($4.6 \times 100 \text{ mm}$, $2.7 \mu\text{m}$) kullanılarak sağlanmıştır. Enjeksiyon hacmi 2 μL olarak belirlenmiştir. Mobil faz olarak %0.1 formik asit içeren su (A eluenti) ve metanol (B eluenti) kullanılmıştır. Aşağıda belirtilen gradiyent programı uygulanmıştır: 0–3. dakikalar: %98 A / %2 B, 3–6. dakikalar: %2 $\rightarrow$ %25 B, 6–10. dakikalar: %25 $\rightarrow$ %50 B, 10–14. dakikalar: %50 $\rightarrow$ %95 B, 14–17. dakikalar: %95 B, 17–17.5. dakikalar: %95 $\rightarrow$ %2 B. Toplam analiz süresi 21 dakika olarak belirlenmiş ve akış hızı 0.4 mL/dak olarak ayarlanmıştır. Kolon sıcaklığı 25 $^{\circ}\text{C}$ 'de sabitlenmiştir. MS/MS dedeksiyonu pozitif ve negatif elektrosprey iyonizasyon (ESI) modlarında gerçekleştirilmiştir. Cihaz, 4000 V kapiler voltaj ile çalıştırılmıştır. Nebulizatör gazı olarak 15 psi basınçta azot gazı, taşıyıcı gaz olarak ise 300 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 11 L/dak hızla yine azot gazı kullanılmıştır. Fenolik bileşiklerin kantitatif belirlenmesinde, her bileşik için 25, 50, 100, 250, 500 ve 1000 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonlarında hazırlanan standart çözeltiler kullanılarak altı noktalı kalibrasyon

eğrileri oluşturulmuştur. Tüm bileşenler için elde edilen kalibrasyon eğrilerinin korelasyon katsayısı ($R^2 \geq 0.990$) olarak bulunmuştur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 HPLC analizleri ile elde edilen standart kromatogramı. 1: Gallik asit, 2: protokateşik asit, 3: kateşin, 4: *p*-hidroksi benzoik asit, 5: klorojenik asit, 6: kafeik asit, 7: epikateşin, 8: şiringik asit, 9: vanilin, 10: *p*-kumarik asit, 11: ferulik asit, 12: sinapinik asit, 13: benzoik asit, 14: *o*-kumaric asit, 15: rutin, 16: hesperidin, 17: rozmarinik asit, 18: sinnamik asit, 19: luteolin.

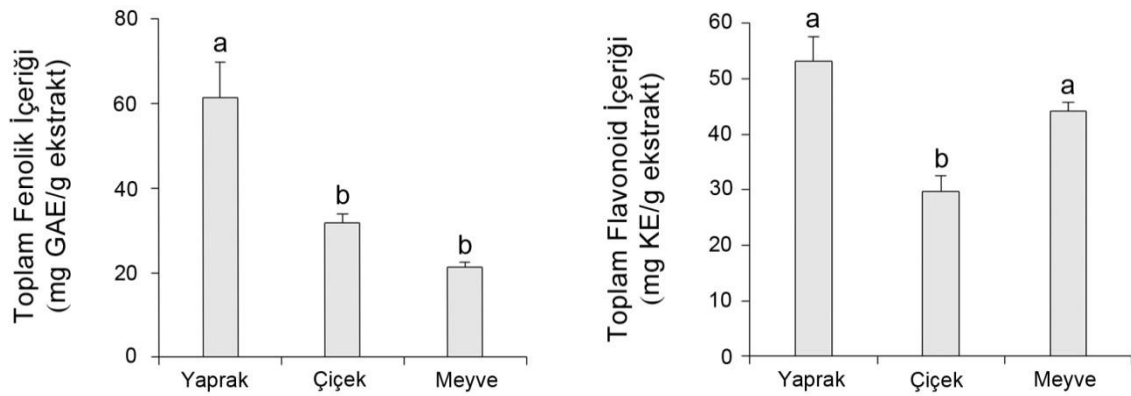
3.7 İstatistiki Analizler

Denemelerden elde edilen veriler en az üç tekrarlı olarak düzenlenmiş iki bağımsız denemeden elde edilmiştir. Analizlerden elde edilen veriler SPSS paket programı (SPSS ver. 22, Chicago, IL, USA) kullanılarak analiz edilmiştir. Analizlerden elde edilen ortalamalar arasındaki önemli farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi (DMRT) ile belirlenmiştir ($P < 0.05$).

4. BULGULAR

4.1 Toplam Fenolik ve Flavonoid Madde İçerikleri

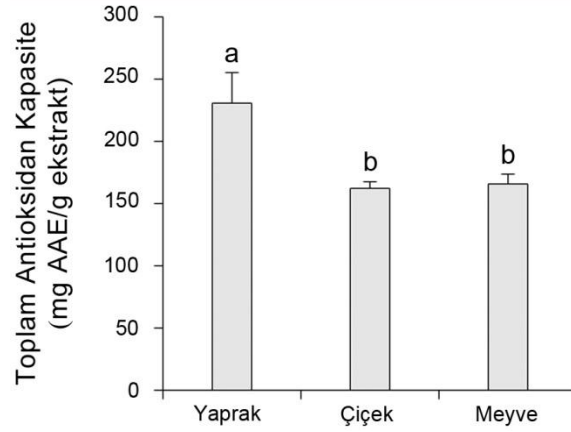
B. elongata bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının toplam fenolik ve flavonoid içerikleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Yaprak dokusunda toplam fenolik içeriği 61,4 mg GAE/g ekstrakt ile en yüksek değer olarak belirlenirken, çiçek ve meyve dokularında sırasıyla 31,7 mg GAE/g ekstrakt ve 21,2 mg GAE/g ekstrakt olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, en yüksek toplam flavonoid içeriği 53,2 mg KE/g ekstrakt ile yaprak dokusunda belirlenirken, bunu 44,1 mg KE/g ekstrakt ile meyve ve 29,6 mg KE/g ekstrakt ile çiçek dokuları izlemiştir.



Şekil 4.1 *B. elongata* bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının toplam fenolik ve flavonoid madde içerikleri. Farklı harfler (a–b), DMRT analizine göre ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki farklılıkları göstermektedir ($P<0.05$).

4.2 Toplam Antioksidan Kapasite

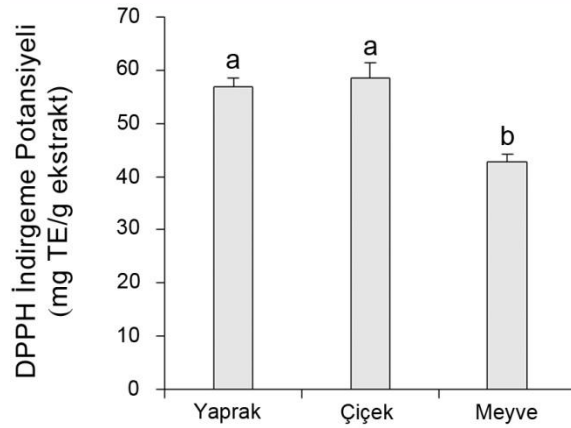
B. elongata bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının toplam antioksidan kapasitesi Şekil 4.2’de verilmiştir. En yüksek toplam antioksidan kapasite, yaprak dokusunda 221,1 mg AAE/g ekstrakt olarak belirlenirken, çiçek ve meyve ekstraktlarında bu değer sırasıyla 162,3 mg AAE/g ekstrakt ve 165,8 mg AAE/g ekstrakt olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2 *B. elongata* bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının toplam antioksidan kapasitesi. Farklı harfler (a–b), DMRT analizine göre ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki farklılıkları göstermektedir ($P<0.05$).

4.3 Serbest Radikal Süpürücü Aktivite

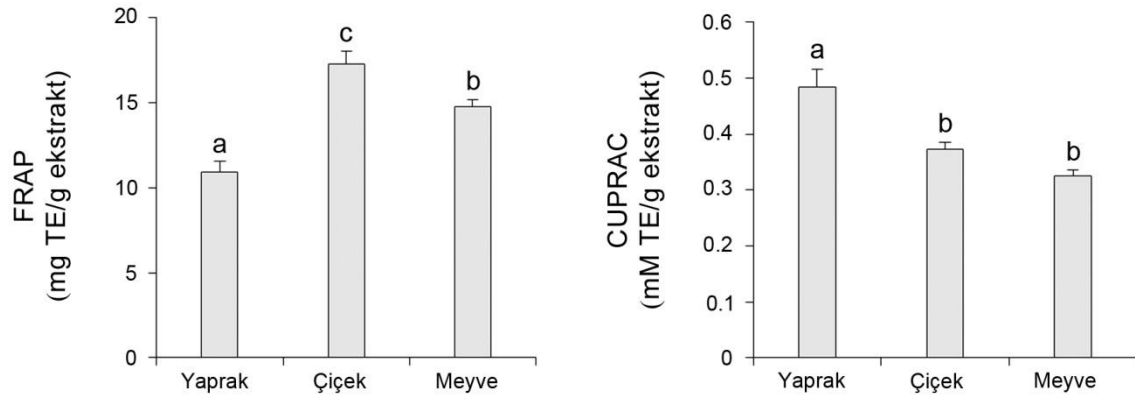
B. elongata bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının DPPH indirgeme potansiyelleri Şekil 4.3'te verilmiştir. En yüksek DPPH indirgeme potansiyeli 58,6 mg TE/g ekstrakt değeri ile çiçek dokularında belirlenirken bu değeri 56,9 mg TE/g ekstrakt ile yaprak ve 42,9 mg TE/g ekstrakt ile meyve ekstraktları takip etmiştir.



Şekil 4.3 *B. elongata* bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının DPPH radikali indirgeme potansiyeli. Farklı harfler (a–b), DMRT analizine göre ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki farklılıkları göstermektedir ($P<0.05$).

4.4 Demir ve Bakır İyonu İndirgeyici Antioksidan

B. elongata bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının FRAP ve CUPRAC değerleri Şekil 4.4'de verilmiştir. En yüksek FRAP değerleri çiçek ekstraktlarında 17,3 mg TE/g ekstrakt olarak belirlenirken, bu değeri 14,8 mg TE/g ekstrakt ile meyve ekstraktı ve 10,9 mg TE/g ekstrakt ile yaprak ekstraktı takip etmiştir. Diğer taraftan, en yüksek CUPRAC değeri 0,48 mM TE/g ekstrakt ile yaprak ekstraktında belirlenirken, bu değerler çiçek ve meyve ekstraktlarında sırasıyla 0,37 mM TE/g ekstrakt ve 0,33 mM TE/g ekstrakt olarak belirlenmiştir



Şekil 4.4 *B. elongata* bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının FRAP ve CUPRAC değerleri. Farklı harfler (a–c), DMRT analizine göre ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki farklılıkları göstermektedir ($P<0.05$).

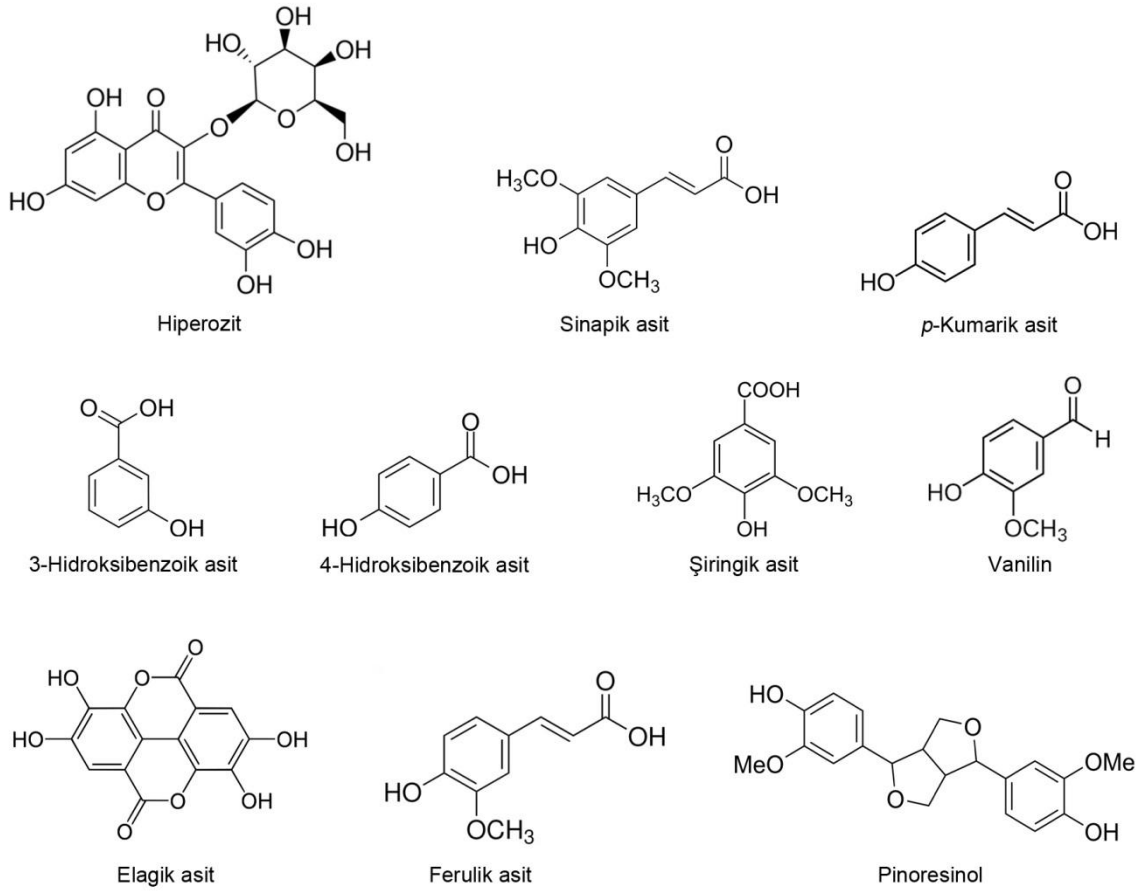
4.5 Metanol Ekstraktlarının LC-MS/MS Analizleri

Yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının sıvı kromatografisi tandem kütle spektrometrisi (LC-MS/MS) analizi ile elde edilmiş fenolik asit kompozisyonu Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bununla birlikte, yüksek konsantrasyonlarda belirlenen bazı fenolik bileşiklerin kimyasal yapıları Şekil 4.5'te verilmiştir. Tüm dokularda en baskın fenolik bileşik olarak hiperozit belirlenirken en yüksek konsantrasyon yaprak dokularında belirlenmiştir. Diğer dokulara göre yaprak dokularında elagik asit (48.02 $\mu\text{g/g}$), ferulik asit (26.23 $\mu\text{g/g}$), klorojenik asit (7.77 $\mu\text{g/g}$) ve (-)-epikateşin (7.07 $\mu\text{g/g}$) en yüksek konsantrasyonlarda belirlenirken, apigenin 7-glukozit (2.13 $\mu\text{g/g}$) sadece yaprak dokularında belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 *Brassica elongata*'nın yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarının LC-MS/MS analizi

Bileşik	RT	Yaprak	Çiçek	Meyve
		µg / g		
3,4-Dihidroksifenilasetik asit	11,009	0.53 ± 0.03	0.083 ± 0.02	0.25 ± 0.02
Pirokatekol	11,180	1.66 ± 0.12	ND	1.09 ± 0.06
Klorojenik asit	11,833	7.77 ± 1.46	2.05 ± 0.23	2.07 ± 0.03
3-Hidroksibenzoik asit	12,313	19.61 ± 0.30	100.43 ± 1.79	7.65 ± 0.87
4-Hidroksibenzoik asit	12,305	20.38 ± 0.66	94.29 ± 2.21	7.60 ± 0.40
(-)-Epikateşin	12,283	7.07 ± 1.49	5.57 ± 1.89	2.36 ± 0.11
Homovanilik asit	12,538	ND	ND	9.28 ± 0.21
Şiringik asit	12,863	71.80 ± 1.30	87.56 ± 3.60	34.47 ± 7.38
Vanilin	13,236	27.20 ± 1.67	32.90 ± 1.46	19.30 ± 1.22
Verbaskozit	14,109	ND	1.22 ± 0.13	ND
p-Kumarik asit	13,931	47.09 ± 4.39	159.99 ± 1.96	19.82 ± 1.31
Sinapik asit	13,937	6.46 ± 1.87	211.96 ± 4.06	55.99 ± 4.38
Ferulik asit	14,037	26.23 ± 0.80	20.62 ± 0.31	24.28 ± 0.52
Luteolin 7-glukozit	14,311	ND	ND	7,53 ± 0.34
Hiperozit	14,535	897.7 ± 44.96	839.4 ± 5.23	504.1 ± 11.21
Rozmarinik asit	14,580	2.40 ± 0.21	0.65 ± 0.078	0.377 ± 0.019
Apigenin 7-glukozit	14,813	2.13 ± 0.10	ND	ND
Elagik asit	14,950	48.02 ± 12.19	21.28 ± 1.04	19.70 ± 1.68
2-Hidroksisinnamik asit	14,902	0.33 ± 0.009	0.41 ± 0.006	0.34 ± 0.017
Pinoresinol	14,933	13.02 ± 0.22	17.80 ± 0.29	12.44 ± 0.66
Eriyodiktiyol	15,228	1.95 ± 0.06	0.37 ± 0.01	0.27 ± 0.02
Kersetin	15,684	6.19 ± 0.20	9.80 ± 0.59	0.94 ± 0.17
Kaemferol	16,219	ND	18.36 ± 0.69	ND

Diğer dokulara göre çiçek dokusunda sinapik asit (211.96 µg/g), p-kumarik asit (159.99 µg/g), 3-hidroksibenzoik asit (100.43 µg/g), 4-hidroksibenzoik asit (94.29 µg/g), şiringik asit (87.56 µg/g), vanilin (32.90 µg/g), pinoresinol (17.80 µg/g) ve kersetin (9.80 µg/g) en yüksek konsantrasyonlarda belirlenirken, kaemferol (18.36 µg/g) ve verbaskozit (1.22 µg/g) sadece yaprak dokularında belirlenmiştir. Diğer taraftan, homovanilik asit (9.28 µg/g) ve luteolin 7-glukozit (7.53 µg/g) sadece meyve ekstraktlarına belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Yaprak, çiçek ve meyve dokularındaki baskın fenolik bileşiklerin kimyasal yapıları Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 *B. elongata* bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve dokularına ait metanol ekstraktlarında belirlenmiş bazı fenolik bileşikler.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Fenolik bileşiklerin insan sağlığı üzerinde faydalı biyolojik etkiler gösterdiği iyi bilinmektedir. Birçok epidemiyolojik araştırma, polifenol açısından zengin bitki ürünlerinin uzun süreli tüketiminin kanser, kardiyovasküler hastalık, obezite ve nörodejeneratif bozukluklar gibi kronik hastalıkların önlenmesinde önemli bir rol oynadığını güçlü bir şekilde ileri sürmektedir (Cory vd. 2018, Rahman vd. 2022). Son yıllarda, Brassicaceae ailesine ait birkaç takson, sağlık üzerine faydalı etkileri olan biyoaktif fitokimyasallar içerdikleri için ilgi çekici bir araştırma konusu olmuştur. Bu aile içinde, *Brassica* L., dünya çapında yaygın olarak yetiştirilen birkaç tür de dahil olmak üzere ekonomik açıdan en önemli cinslerden biridir (Jahangir vd. 2009). Bununla birlikte, *Brassica* türlerinin sağlık üzerin olan olumlu etkileri kısmen antioksidan kapasitelerine atfedilmiştir ve bu kapasite esas olarak antioksidan yeteneğe sahip fitokimyasalların ana grubunu temsil eden fenolik bileşiklerin varlığıyla ilişkilendirilmiştir (Doniec vd. 2022, Lučić vd. 2023). Fenoller, fenolik asitler, flavonoidler, tanenler ve lignanlar dahil olmak üzere fenolik bileşiklerin, doğal antioksidanların ana sınıfını temsil ettiği iyi bilinmektedir. Fenolik bileşikler mükemmel nükleofiller olan fenolik grupların varlığı nedeniyle radikal temizleyiciler olarak ve serbest radikallere bağlanarak oksidasyon reaksiyonunu kesintiye uğratan lipid peroksidasyon inhibitörleri olmak üzere birkaç şekilde antioksidan etki göstermektedir. Ek olarak, fenolik bileşikler oksidasyonu indükleyebilen metal iyonlarının şelatlama ajanları olarak da fonksiyon görmektedirler (Han vd. 2008, Mladenka vd. 2011).

Folin–Ciocâlțu testi, bitki özütlerindeki toplam fenolik bileşiklerin nicel analizi için yaygın olarak kullanılan bir prosedürdür. Folin–Ciocâlțu reaktifi ile fenolikler arasındaki elektron transfer reaksiyonlarına dayanan ve 765 nm'de maksimum emilim sağlayan mavi bir kromofor oluşumuna yol açan bir kolorimetrik yöntemdir. Genellikle, gallik asit (GA) referans standart bileşiği olarak kullanılır ve sonuçlar genellikle gallik asit eşdeğeri olarak ifade edilir (Munteanu ve Apetrei 2021). Çoğu durumda, bitki ekstraktlarının antioksidan özellikleri ile toplam fenolik içerikleri iyi bir korelasyona sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmada *B. elongata* bitkilerinin yaprak, çiçek ve meyve dokularından elde edilen metanol ekstraktlarının toplam fenolik içerikleri belirlenmiştir.

Folin-Ciocalteu testinin sonuçları, yaprak ekstraktının en yüksek toplam fenolik madde içeriğine (61,4 mg GAE/g ekstrakt) sahip olduğunu gösterirken, bu değerleri sırasıyla çiçek (31,7 mg GAE/g ekstrakt) ve meyve (21,2 mg GAE/g ekstrakt) ekstraktları izlemiştir. Miceli vd. (2020), *B. incana* bitkisinin yaprak ve çiçek ekstraktlarının toplam fenolik içeriğinin sırasıyla 37,2 ve 27,9 mg GAE/g ekstrakt olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, Davi vd. (2023), *B. fruticulosa* yapraklarının metanol ekstraktlarındaki toplam fenolik madde içeriğinin 107,4 mg gallik asit eşdeğeri olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan, endemik *Odontorrhena floribunda* (Brassicaceae) bitkilerinin metanol ekstraktlarında en yüksek içerik gövde dokularında (27,59 mg GAE/g ekstrakt) belirlenirken en düşük içerik yaprak dokularında (7,50 mg GAE/g ekstrakt) belirlenmiştir (Salık vd. 2024). *Cardaria draba* ve *Descurainia sophia* bitkilerinde en yüksek toplam fenolik madde içeriğinin aseton (sırasıyla 31,67 ve 30,41 mg GAE/g ekstrakt) ve daha sonra metanol ekstraktlarında (sırasıyla 18,41 ve 11,48 mg GAE/g ekstrakt) olduğu bildirilmiştir (Mahomoodally vd. 2018). Bununla birlikte, araştırmamızda en yüksek toplam flavonoid içeriği yaprak dokusunda (53,2 mg KE/g ekstrakt) belirlenirken, bunu meyve (44,1 mg KE/g ekstrakt) ve çiçek (29,6 mg KE/g ekstrakt) dokuları izlemiştir. Mahomoodally vd. (2018), *C. draba* ve *D. sophia* bitkilerinden elde edilen metanol ekstraktlarında toplam fenolik içeriğini rutin eşdeğeri olarak sırasıyla 22,21 mg RE/g ekstrakt 27,67 mg RE/g ekstrakt olarak belirlemiştir. Bitkinin antioksidan kapasitesinin, bitkide bulunan biyoaktif bileşiklerin türü ve miktarı, genetik ve coğrafi alan ve çevresel faktörlerden etkilenebildiği bildirilmiştir (Ulusoy vd. 2021). Ayrıca, çalışmamızda bitkinin çeşitli kısımlarından elde edilen metanol ekstraktlarının farklı fenolik içeriklere sahip olduğu belirlenmiştir. Fenolik bileşikler, aromatik yapıları içerisinde hidroksil gruplarının varlığı ile karakterize edilir ve bu bileşiklerin ekstraksiyonu, polarite, moleküler bileşim, konsantrasyon ve mevcut hidroksil grupları ve aromatik halkaların sayısı dahil olmak üzere çok sayıda faktöre bağlıdır. Bununla birlikte, kullanılan çözücünün ekstrakte edilen fenoliklerin verimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabildiği ileri sürülmüştür (Hikmawanti vd. 2020).

Antioksidanlar, reaktif oksijen türleri tarafından hücre yapıları ve moleküllerinin oksidatif hasarına karşı koyarak ve nihayetinde diyabet, kanser, Parkinson, Alzheimer ve kardiyovasküler bozukluklar gibi çok çeşitli hastalıkların önlenmesine katkıda

bulunarak insan sağlığında önemli bir role sahiptir (Vona vd. 2021). Bir fitokompleksin antioksidan aktivitesinin, bileşenlerinin ve etkileşimlerinin karmaşık yapısı nedeniyle tek bir yöntemle tahmin edilemeyeceği iyi bilinmektedir. Bitki bazlı fitokimyasalların *in vivo* antioksidan olarak etki ettiği çeşitli mekanizmaları hesaba katmak için, farklı etki mekanizmalarına dayalı birden fazla tipte antioksidan kapasite ölçümü yapmak gerekmektedir (Kotha vd. 2022). Bu nedenle, *B. elongata* yaprak, çiçek ve meyve ekstraktlarının antioksidan potansiyeli fosfomolibden testi, metal iyonu indirgeyici güç deneyleri (FRAP ve CUPRAC) ve DPPH radikali indirgeyici güç deneyi kullanılarak araştırılmıştır. Fosfomolibden (toplam antioksidan kapasite) testi, toplam antioksidan ölçümlerinden biri olup, tüm antioksidan bileşiklerin ölçümde etkin rol oynayabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, fosfomolibden testi, asidik koşullar altında antioksidan bileşikler tarafından Mo(VI)'nın Mo(V)'e dönüştürülmesini içermektedir (Prieto vd. 1999). *B. elongata* ekstraktlarında en yüksek toplam antioksidan kapasite, yaprak dokusunda (221,1 mg AAE/g ekstrakt) belirlenirken, bu değeri çiçek (162,3 mg AAE/g ekstrakt) ve meyve (165,8 mg AAE/g ekstrakt) ekstraktları takip etmiştir. Mahomoodally vd. (2018), *C. draba* metanol ekstraktının, aseton ve sulu ekstraktlara göre daha yüksek toplam antioksidan kapasiteye (309,75 mg AAE/g ekstrakt) sahip olduğunu buna karşın, *D. sophia* aseton ekstraktlarının daha yüksek kapasite (302,77 mg AE/g ekstrakt) gösterdiğini bildirmiştir. Bununla birlikte, fenolik bileşikler açısından zengin ekstraktların fosfomolibden analizinde daha aktif olduğu bildirilmiştir (Elkhamlichia vd. 2017, Batool vd. 2019). Ayrıca, fosfomolibden yöntemi ile genellikle askorbik asit, α -tokoferol ve karotenoidler gibi fenolik olmayan antioksidanların da tespit edilebildiği rapor edilmiştir (Diwan vd. 2012). Bu nedenle sonuçlarımız, *B. elongata* ekstraktlarının bu tür fenolik olmayan metabolitler açısından da zengin olduğunu göstermektedir.

DPPH testi, bitki ekstraktlarının potansiyellerini belirlemek için en yaygın kullanılan antioksidan testlerden biridir. Bu yöntemde, bir antioksidan, kararlı bir serbest radikal olan DPPH[•] (λ_{max} =517 nm) ile reaksiyona girerek molekülün renginin değışmesine neden olmaktadır. *B. elongata* yaprak ve çiçek ekstraktlarının DPPH indirgeme potansiyeli (sırasıyla 56,9 ve 58,6 mg TE/g ekstrakt) yüksek bulunmuştur. Fenolik bileşiklerin antioksidan özellikleriyle iyi bilinmektedir ve *Brassica* türlerinin farklı

ekstraktlarında DPPH radikal temizleme aktivitesi daha önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Miceli vd. 2020, Malfa vd. 2023, Salık vd. 2024). Mevcut araştırmada, çiçek ekstraktlarının yaprak dokularına göre daha düşük seviyede toplam fenolik ve flavonoid içermesine karşın benzer seviyede DPPH indirgeme potansiyeline sahip olması farklı bileşik kompozisyonlarının bu mekanizmada etkili olabileceğini göstermektedir.

Demir indirgeyici antioksidan potansiyeli (FRAP) ve bakır indirgeyici antioksidan kapasitesi (CUPRAC), antioksidan özelliklerin değerlendirilmesinde kullanılan temel yöntemlerdir. Bu testlerde, antioksidanların elektron verme yeteneğinden faydalanarak demir ve bakır iyonlarının indirgenmesi sağlanmaktadır. İndirgeme kapasitesi, aynı zamanda bir antioksidanın etkinliğinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Llorent-Martinez vd. 2017). FRAP testi, ekstraktların antioksidan potansiyelini, TPTZ-Fe(III) bileşimini TPTZ-Fe(II) kompleksine indirgeme yeteneği ile değerlendirmektedir (Benzie ve Strain 1996). CUPRAC testi, antioksidanların varlığında Cu^{2+} -neokuproin kompleksinin azaltılmasıyla ekstraktın absorbansındaki azalmanın ölçülmesine dayanmaktadır (Tohma vd. 2016). Mevcut bulgular, *B. elongata*'nın farklı ekstraktları arasında çiçek dokusunun en güçlü demir indirgeyici etkiyi (17,3 mg TE/g ekstrakt) gösterdiğini, buna karşın yaprak ekstraktının ise en güçlü bakır indirgeyici etkiyi (0,48 mM TE/g ekstrakt) gösterdiğini ortaya koymuştur. Salık vd. (2024), *O. floribunda* bitkisinin kök ve gövde dokularından elde edilen etanol ve metanol ekstraktlarının yaprak dokularına göre daha yüksek CUPRAC aktivitesine sahip olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, *C. draba*'nın farklı çözücü ekstraktları arasında metanol ekstraktının en güçlü bakır ve demir indirgeyici etkiye (sırasıyla 37.67 ve 96.88 mg TE/g ekstrakt) sahip olduğu, *D. sophia* için ise aseton ekstraktının CUPRAC deneyinde en etkili olduğunu (40.60 mg TE/g ekstrakt) ve sulu ekstraktın en güçlü demir indirgeyici güce (109.17 mg TE/g ekstrakt) sahip olduğu ortaya konulmuştur (Mahomoodally vd. 2018). Bu bulgular ayrıca fenolikler ve flavonoidler dışında muhtemelen diğer sekonder bileşiklerin de metal iyonu indirgeyici aktiviteden sorumlu olduğunu göstermektedir.

B. elongata yaprak, çiçek ve meyve ekstraktlarının LC-MS/MS analizi, başlıca fenolik bileşiklerin varlığını ortaya koymuştur. Test edilen 33 fenolik bileşenden 19'u yaprak ve

çiçek ekstraktlarında mevcutken, 20'si meyve ekstraktında belirlenmiştir. Yaprak ekstraktında en bol bulunan bileşikler hiperozit (897.7 µg/g ekstrakt), elagik asit (48.02 µg/g ekstrakt) ve ferulik asit (26,23 µg/g ekstrakt) olarak belirlenirken, çiçek ekstraktlarında sinapik asit (211.96 µg/g ekstrakt), *p*-kumarik asit (159.99 µg/g ekstrakt), 3-hidroksibenzoik asit (100.43 µg/g ekstrakt), 4-hidroksibenzoik asit (94.29 µg/g ekstrakt), şiringik asit (87.59 µg/g ekstrakt) ve vanilin asit (32.90 µg/g ekstrakt) en bol bulunan bileşikler olarak belirlenmiştir. Mahomoodally vd. (2018), *C. draba* metanol ekstraktında en bol bulunan bileşiklerin verbazkozit (14997,92 µg/g ekstrakt), klorojenik asit (8442,13 µg/g ekstrakt), apigenin 7-glukozid (262,72 µg/g ekstrakt) ve 4-hidroksibenzoik asit (228,13 µg/g ekstrakt) olduğunu, *D. sophia* ekstraktında ise hesperidin (93,35 µg/g ekstrakt), hiperozid (82,99 µg/g ekstrakt) ve klorojenik asit (73,98 µg/g ekstrakt) olduğunu bildirmiştir.

Fenolik bileşikler arasında hiperozit (Hyp) tüm dokulardan en bol bulunan bileşik olarak belirlenmiştir. Hiperin veya kersetin-3-O-galaktozid olarak da bilinen Hyp, Hypericaceae, Rosaceae ve Platycodon familyalarının üyeleri de dahil olmak üzere çeşitli bitki türlerinde bol miktarda bulunan bir flavonoid glikozittir (Wang vd. 2023). Hyp, bamyı (Yang vd. 2021), alıç (Liu vd. 2011), kızılçık (Gudžinskaitė vd. 2020) ve *Hypericum perforatum* (Sarikurkcu vd. 2020) gibi çeşitli bitki türlerinde yaygın olarak bulunmaktadır. Hyp'nin terapötik etkileri kapsamlı bir şekilde kanıtlanmıştır ve organ koruyucu (Cao vd. 2020), anti-fibrozis (Huang vd. 2020), anti-kanser (Hu vd. 2020), anti-depresan (Orzelska-Górka vd. 2019) ve anti-diyabetik (Zhang vd. 2021) etkilere sahip olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, Hyp'nin reaktif oksijen türlerinin aşırı üretimini azaltarak adacık β hücresi fonksiyonunu koruma yeteneği sergilediği ve böylece tip 2 diyabetin önlenmesine katkıda bulunduğu bildirilmiştir (Chen vd. 2022). Hyp'nin nörolojik bozukluklardaki potansiyel rolü, özellikle depresyon ve serebrovasküler rahatsızlıkları hafifletmede etkili olduğu gösterilmiştir (Nguyen vd. 2024). Ayrıca Hyp'nin kanser hücrelerinin büyümesini ve çoğalmasını engellediği gösterilmiştir (Aubrey vd. 2018). Örneğin, Hyp'nin kanser hücre döngüsü durmasını sağlayan bir tümör baskılayıcı olan P53'ün ve onun alt akış (downstream) transkripsiyon faktörü P21'in doz bağımlı bir şekilde ekspresyonunu artırdığı bildirilmiştir. Ek olarak, akciğer ve insan kolorektal kanser hücrelerinin G1/S ve G2/M fazlarında siklin bağımlı

protein kinazlar (*CDK4* ve *CDK6*), *Siklin-D1* ve *c-Myc* genlerinin ifadesinin, Hyp uygulamasını takiben inhibe olduğu bildirilmiştir (Liu vd. 2016, Zhang vd. 2017, Li vd. 2018). Ayrıca, Hyp'in, pankreas kanseri (Li vd. 2016) ve serviks kanseri hücrelerinde (Guo vd. 2019) NF- κ B ve onun alt akış gen ürünlerini (*c-Myc*, siklin D1 ve COX-2) azalan yönde düzenleyerek büyüme ve çoğalmayı engellediği gösterilmiştir. Sonuç olarak, Hyp birçok hastalığın tedavisi için ümit verici potansiyele sahip bir flavonoiddir ve gıda besin takviyesi veya ilaç olarak geliştirilebilir.

Sinapik asit (SA), en yaygın hidroksisinnamik asitlerden biridir ve buğday, çeltik, baharatlar ve turunçgiller gibi bitkilerde yaygın olarak bulunmaktadır (Chen 2016). Kimyasal olarak SA, 3,5-dimetoksi-4-hidroksisinnamik asittir (Hosny vd. 2018) ve SA serbest formda veya ester formunda da bulunabilmektedir (Nićiforović ve Abramović 2014). Klinik öncesi ve in vitro çalışmalar, SA'nın antioksidan, anti-kanser, anti-inflamatuar, kardiyoprotektif, reno-protektif, hepatoprotektif, nöroprotektif, antikarsinogenik, anti-diyabetik ve anti-bakteriyel özelliklerini göstermiştir (Pandi ve Kalappan 2021). SA, radikal temizleyici olarak etkili bir şekilde işlev gören önemli bir zincir kırıcı antioksidan olarak kabul edilmektedir (Cos vd. 2002). SA'nın anti-inflamatuar etkisinin arkasındaki mekanizmanın, iNOS, COX-2 ve pro-inflamatuar sitokinlerin üretimini inhibe ederek makrofajlardaki NF- κ B aktivitesinin düzenlenmesi yoluyla olduğu bulunmuştur (Yun vd. 2008). Bununla birlikte, SA'nın apoptotik hücre ölümü ve hücre döngüsü durması yoluyla kanser hücresi büyümesini inhibe ettiği gösterilmiştir (Eroğlu vd. 2018). SA'nın diyabetik sıçanlarda GLUT 4 ekspresyonunu artırarak veya PLC-PKC yoluyla glikoz alımını artırarak anti-diyabetik aktivite gösterebildiği bildirilmiştir (Janakiraman vd. 2015). Ayrıca SA'nın Nrf2/HO-1 aracılı yolu düzenleyerek antioksidan, anti-inflamatuar, anti-apoptotik aktivitesinin, anti-diyabetik aktivitesinde hayati bir rol oynadığı bildirilmiştir (Alaofi 2020). SA'nın antioksidan fonksiyonunun hepatoprotektif etkisinde hayati bir rol oynadığı bulunmuştur (Pari ve Jalaludeen 2011). Bin Jordan (2020), SA'nın sıçanlarda kardiyoprotektif rolünü göstermiş ve oksidatif stresin baskılanması ve inflamasyon ve apoptozisin düzenlenmesinin SA'nın kardiyoprotektif rolünün arkasındaki etki mekanizması olduğu bulunmuştur. SA'nın hipertansif sıçanlarda oksidatif stresi ve miyokardiyal fibrozu etkili bir şekilde azalttığı gösterilmiş ve anti-hipertansif ve

kardiyoprotektif aktivitesi araştırılmıştır (Quinn vd. 2017). Sonuç olarak, SA'nın belirgin farmakolojik ve terapötik etkilerinin yanı sıra bilinen yan etkilerinin olmaması, bu kimyasalı hem fonksiyonel gıda hem de yapay ilaçlara alternatif olarak kullanılabilen çok etkili bir bileşik haline getirmektedir.

4-hidroksisinamik asit olarak da bilinen *p*-kumarik asit (*p*-KA), esas olarak meyvelerde, sebzelerde ve buğdaygil bitkilerinde esterleşmiş veya serbest asit formunda bulunmaktadır (Mussatto vd. 2007). Çok sayıda deneysel ve klinik çalışma, *p*-KA'nın anti-oksidatif, anti-mikrobiyal, anti-tümör ve anti-inflamatuar aktivitelere sahip olduğunu ve dolayısıyla gıda, sağlık, kozmetik ve ilaç endüstrilerinde uygulama için büyük potansiyel sergilediğini bildirmiştir (Kheiry vd. 2019). Son çalışmalar *p*-KA'nın tümör hücrelerinin çoğalmasını ve göçünü engelleme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir. Örneğin, *p*-KA'nın insan akciğer kanseri A549 hücrelerinin ve kolon adenokarsinomu HT29-D4 hücrelerinin çoğalmasını ve göçünü doza bağlı bir şekilde engellediği bildirilmiştir (Nasr Bouzaiene vd. 2015). Ayrıca *p*-KA'nın 1,2-dimetilhidrazine maruz kalan sıçanlarda detoksifikasyon ve apoptotik etkilerini iyileştirerek polip oluşumunu engellediği bildirilmiştir (Sharma vd. 2019). Hu vd. (2020), *p*-KA'nın melanom B16 ve A375 hücrelerinde hücre çoğalmasını engellediğini ve mitokondri aracılı bir sinyal yolu aracılığıyla apoptozu indüklediğini göstermiştir. Bununla birlikte, *p*-KA'nın diğer farmakolojik etkileri arasında melanin üretiminin inhibisyonu yer almaktadır. *p*-KA'nın yapısı, tirozinin yapısına benzerdir ve melanin üretimini katalize eden önemli bir enzim olan tirozinazdaki aktif bölge için rekabet etmektedirler (Arruda vd. 2020). *p*-KA'nın, tirozinaz aktivitesini inhibe ederek hücrelerde melanin oluşumunu inhibe ettiği bilinmektedir. Ayrıca, *p*-KA'nın *Alicyclobacillus acidoterrestris* bakterilerinin hücre büyümesi ve spor çimlenmesi üzerinde inhibitör etki gösterebileceği bildirilmiştir (Li vd. 2022). Sonuç olarak, *p*-KA ve konjugatlarının gıda, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde uygulanmasının teşvik edilmesi için gelecekteki çalışmalar *p*-KA'nın farmakokinetik özelliklerine odaklanmalıdır.

Mevcut çalışmanın sonuçları, *B. elongata* bitkisinin yaprak, çiçek ve meyve ekstraktlarının önemli antioksidan aktiviteler gösterdiğini ve toplam fenolik ve

flavonoid içeriği bakımından zengin olduğunu göstermiştir. Yaprak metanol ekstraktının, iek ve meyve ekstraktlarına kıyasla daha fazla toplam fenolik ve flavonoid içeriğine sahip olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, yaprak ekstraktı TAK ve CUPRAC açısından en güçlü antioksidan aktiviteyi gösterirken, iek ekstraktı en yüksek DPPH temizleme aktivitesi ve FRAP kapasitesi göstermiştir. Mevcut bulgular, *B. elongata*'nın potansiyel farmakolojik özelliklere sahip biyoaktif bileşikleri içeren önemli bir tıbbi bitki olarak kabul edilebileceğini göstermektedir. Yaprak ekstraktında en bol bulunan bileşikler hiperozit ve elagik asit iken, iek ekstraktında hiperozit, sinapik asit ve *p*-kumarik asit en bol bulunan bileşikler olarak belirlenmiştir. Gelecekteki araştırmaların, bu bileşiklerin terapötik etkileri altında yatan etki mekanizmalarını belirlemeyi amaçlaması önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abbaoui B, Lucas C R, Riedl K M, Clinton S K, Mortazavi A, 2018, Cruciferous Vegetables, Isothiocyanates, and Bladder Cancer Prevention, *Molecular Nutrition & Food Research*, 62, 1800079.
- Abdel-Aal, E S M, Akhtar H, Zaheer K, Ali R, 2013, Dietary Sources of Lutein and Zeaxanthin Carotenoids and Their Role in Eye Health, *Nutrients*, 5, 1169–1185.
- Abu-Ghannam N, Jaiswal A, 2015, Blanching as A Treatment Process: EFFECT on Polyphenols and Antioxidant Capacity of Cabbage. In V. Preedy (Ed.), *Processing and Impact on Active Components in Food* (35–43), London.
- Adefegha S A, Oboh G, Oluokun O O, 2022, Chapter 11 – Food Bioactives: The Food Image Behind the Curtain of Health Promotion and Prevention against Several Degenerative Diseases, *Studies in Natural Products Chemistry*, 72, 391–421.
- Agati G, Matteini P, Goti A, Tattini M, Tattini M, 2005, Chloroplast Located flavonoids can Scavenge Singlet Oxygen. *New Phytologist*, 174, 77–89.
- Ahmed A G, Hussein U K, Ahmed A E, Kim K M, Mahmoud H M, Hammouda O, vd., 2020, Mustard Seed (*Brassica nigra*) Extract Exhibits Antiproliferative Effect against Human Lung Cancer Cells through Differential Regulation of Apoptosis, Cell Cycle, Migration, and Invasion, *Molecules*, 25, 2069.
- Ahuja I, Kissen R, Bones A M, 2012, Phytoalexins in Defense against Pathogens, *Trends in Plant Science*, 17, 73–90.
- Alaofi A L, 2020, Sinapic Acid Ameliorates the Progression of Streptozotocin (STZ)-Induced Diabetic Nephropathy in Rats via NRF2/HO-1 Mediated Pathways, *Frontiers in Pharmacology*, 23, 1119.
- Alvarez M V, Moreira M del R, Roura, S I, Ayala-Zavala J F, González-Aguilar G A, 2015, Using Natural Antimicrobials to Enhance the Safety and Quality of Fresh and Processed Fruits and Vegetables: Types of Antimicrobials. In T. M. Taylor (Ed.), *Handbook of natural Antimicrobials for Food Safety and Quality* (287–313), Cambridge.
- Alves F S, Cruz J N, de Farias Ramos I N, do Nascimento Brandão D L, Queiroz R N da Silva G V, vd., 2022, Evaluation of Antimicrobial Activity and Cytotoxicity effects of extracts of *Piper nigrum* L. and piperine, *Separations*, 10, 21–39.

- Anjum N A, Gill S S, Ahmad I, Pacheco M, Duarte A C, Umar S, vd., 2012, The Plant Family Brassicaceae: An Introduction. In The Plant Family Brassicaceae: Contribution Towards Phytoremediation; Anjum, N.A., Ahmad, I., Pereira, M.E., Duarte, A.C., Umar, S., Khan, N.A., Eds.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, (1–33).
- Apak R, Güçlü K, Özyürek M, Esin Karademir S, Erçağ E, 2006, The Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity and Polyphenolic Content of Some Herbal Teas, International Journal of Food Sciences and Nutrition, 57, 292–304.
- Arruda C, Ribeiro V P, Almeida M O, Mejia J A A, Casoti R, Bastos J K, 2020, Effect of Light, Oxygen and Temperature on the Stability of Artepillin C and P-coumaric Acid from Brazilian Green Propolis, Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 178, 112922.
- Atasoy A D, Yesilnacar M I, Atasoy A F, 2019, Essential Element Contents of Turkish Black Tea. In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), Non-Alcoholic Beverages (63–72). Duxford.
- Aubrey B J, Kelly G L, Janic A, Herold M J, Strasser A, 2018, How Does p53 Induce Apoptosis and How Does this Relate to p53-mediated Tumour Suppression? Cell Death and Differentiation, 25, 104–113.
- Ayaz F, Hayirlioglu-Ayaz S, Alpaya-Karaohlu S, Grúz J, Valentová K, Ulrichová J, vd., 2008, Phenolic Acid Contents of Kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.) Extracts and Their Antioxidant and Antibacterial Activities, Food Chemistry, 107, 19–25.
- Ayshwarya M, Sudha Rameshwari K, 2015, Antimicrobial Activity of the Plant Extracts of *Brassica oleracea* var. *Capitata rubra*, Journal of International Academic Research for Multidisciplinary, 3, 149–156.
- Baenas N, Fusari C, Moreno D A, Valero D, García-Viguera C, 2017, Biostimulation of Bioactive Compounds in Radish Sprouts (*Raphanus sativus* ‘Rambo’) by Priming Seeds and Spray Treatments with Elicitors, ISHS Acta Horticulturae, 659–663.
- Baenas N, Gómez-Jodar I, Moreno D A, García-Viguera C, Periago P M, 2017, Broccoli and Radish Sprouts are Safe and Rich in Bioactive Phytochemicals, Postharvest Biology and Technology, 127, 60–67.
- Balunas M J, Kinghorn A D, 2005, Drug Discovery from Medicinal Plants, Life

Sciences, 78(5), 431-441.

- Barbieri R, Coppo E, Marchese A, Daglia M, Sobarzo-Sánchez E, Nabavi S F, vd., 2017, Phytochemicals for Human Disease: An Update on Plant-Derived Compounds Antibacterial Activity, Microbiological Research, 196, 44–68.
- Batool R, Khan M R, Sajid M, Ali S, Zahra Z, 2019, Estimation of Phytochemical Constituents and *in vitro* Antioxidant Potencies of *Brachychiton Populneus* (Schott & Endl.) R Br, BMC Chemistry 13, 1–15.
- Benzie I F, Strain J J, 1996, The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay, Analytical Biochemistry, 239, 70–76.
- Bhandari S R, Jo J S, Lee J G, 2015, Comparison of Glucosinolate Profiles in Different Tissues of Nine Brassica Crops, Molecules, 20, 15827–15841.
- Bhandari S R, Kwak J H, 2015, Chemical Composition and Antioxidant Activity in Different tissues of *Brassica* vegetables, Molecules, 20, 1228-1243.
- Bin Jordan Y A, Ansari M A, Raish M, Alkharfy K M, Ahad A, Al-Jenoobi F I, vd., 2020, Sinapic Acid Ameliorates Oxidative Stress, Inflammation, and Apoptosis in Acute Doxorubicin-Induced Cardiotoxicity via the NF- κ B-Mediated Pathway, BioMed Research International, 10, 921796.
- Bischoff K L, 2016, Glucosinolates, In Gupta R C (Ed.), Nutraceuticals: Efficacy, Safety and Toxicity, San Diego, pp. 551–554.
- Branca F, Argento S, Alessandro T, 2012, Assessing Genetic Reserves in Sicily (Italy): The Brassica Wild Relatives Case Study. In Agrobiodiversity Conservation: Securing the Diversity of Crop Wild Relatives and Landraces, 52-58.
- Branca F, Chiarenza L, Ragusa L, Argento S, 2013, Morphological Characterization of the ECPGR Wild Brassica Species Collection, Acta Horticulturae, 1005, 157–164.
- Branca F, Argento S, Alessandro T, 2012, Assessing genetic reserves in Sicily (Italy): The Brassica wild relatives case study. In Agrobiodiversity Conservation: Securing the Diversity of Crop Wild Relatives and Landraces; Maxted, N., Ehsan Dullloo, M., Ford-Lloyd, B.V., Frese, L., Iriondo, J.M., Pinheiro de Carvalho, M.A.A., Eds.; CABI: Wallingford, Oxfordshire, (52–58).
- Brandi G, Schiavano G F, Zaffaroni N, De Marco C, Paiardini M, Cervasi B, vd., 2005, Mechanisms of Action and Antiproliferative Properties of *Brassica oleracea* Juice

- in Human Breast Cancer Cell Lines, *The Journal of Nutrition*, 135, 1503–1509.
- Burow M, Wittstock U, Gershenzon J, 2008, Sulfur-containing Secondary Metabolites and Their Role in Plant Defense, In: Hell R, Dahl C, Knaff D, Leustek T (eds) *Sulfur Metabolism in Phototrophic Organisms, Advances in Photosynthesis and Respiration*, vol 27, Springer, Dordrecht.
- Burrows G E, Tyrl R J, 2013, *Toxic Plants of North America*, 2nd edn. Wiley-Blackwell, Ames, IA.
- Cao J, Tang C, Gao M, Rui Y, Zhang J, Wang L, vd., 2020 Hyperoside Alleviates Epilepsy-Induced Neuronal Damage by Enhancing Antioxidant Levels and Reducing Autophagy, *Journal of Ethnopharmacology*, 257, 112884.
- Cartea M E, Francisco M, Soengas P, Velasco P, 2011, Phenolic Compounds in *Brassica* Vegetables, *Molecules*, 16, 251–280.
- Cefola M, Amodio M L, Cornacchia R, Rinaldi R, Vanadia S, Colelli G, 2010, Effect of Atmosphere Composition on The Quality of Ready-to-Use Broccoli Raab (*Brassica rapa* L.), *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 789–797.
- Chauhan E S T, Tiwari A, Singh A, 2016, Phytochemical Screening of Red Cabbage (*Brassica oleracea*) Powder and Juice—A Comparative Study, *Journal of Medicinal Plants Studies*, 4, 196–199.
- Chen C, 2016, Sinapic Acid and Its Derivatives as Medicine in Oxidative Stress-Induced Diseases and Aging, *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 3571614.
- Chen S, Nelson M N, Chèvre A M, Jenczewski E, Li Z, Mason A S, vd., 2011, Trigenomic Bridges for *Brassica* Improvement, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30, 524–547.
- Chen X, Famurewa A C, Tang J, Olatunde O O, Olatunji O J, 2022, Hyperoside Attenuates Neuroinflammation, Cognitive Impairment and Oxidative Stress via Suppressing TNF- α /NF- κ B/caspase-3 Signaling in Type 2 Diabetes Rats, *Nutritional Neuroscience*, 25, 1774–1784.
- Cheynier V, 2012, Phenolic Compounds: From Plants to Foods, *Phytochemistry Reviews*, 11, 153–177.
- Chun J H, Kim N H, Seo M S, Jin M, Park S U, Arasu M V, vd., 2018, Molecular Characterization of Glucosinolates and Carotenoid Biosynthetic Genes in Chinese

- Cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*), Saudi Journal of Biological Sciences, 2018, 25, 71–82.
- Cogo S L P, Chaves F C, Schirmer M A, Zambiasi R C, Nora L, Silva J A, vd., 2011, Low Soil Water Content during Growth Contributes to Preservation of Green Colour and Bioactive Compounds of Cold-stored Broccoli (*Brassica oleraceae* L.) Florets, Postharvest Biology and Technology, 60, 158–163.
- Cory H, Passarelli S, Szeto J, Tamez M, Mattei J, 2018, The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review, Frontiers in Nutrition, 5, 87.
- Cos P, Rajan P, Vedernikova I, Calomme M, Pieters L, Vlietinck A J, 2002, *In vitro* Antioxidant Profile of Phenolic Acid Derivatives, Free Radical Research, 36, 711–716.
- Del Bano M J, Lorente J, Castillo J, Benavente–García O, Del Rio J A, Ortuño A, vd., 2003, Phenolic Diterpenes, Flavones, and Rosmarinic Acid Distribution During the Development of Leaves, Flowers, Stems, and Roots of *Rosmarinus officinalis*, Antioxidant Activity, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51, 4247–4253.
- Demain A, Fang L A, 2000, The natural Functions of Secondary Metabolites, Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, 69, 1-39.
- Dias J, 2019, Nutritional Quality and Effect on Disease Prevention of Vegetables, Food and Nutrition Sciences, 10, 369–402.
- Diwan, Renuka, Shinde, Amit, Malpathak, Nutan, 2012, Phytochemical Composition and Antioxidant Potential of *Ruta graveolens* L. *In Vitro* Culture Lines, Journal of Botany, 685427.
- Doniec J, Florkiewicz A, Socha R, Filipiak-Florkiewicz A, 2022, Polyphenolic Acid Content in *Brassica* Vegetables during Hydrothermal Treatment with Salt Addition, Journal of Food Processing and Preservation, 46, e16219.
- Elkhamlichia A, El Hajajia H, Farajb H, Alamib A, El Balia B, Lachkara M, 2017, Phytochemical Screening and Evaluation of Antioxidant and Antibacterial Activities of Seeds and Pods Extracts of *Calycotome villosa* subsp. Journal of Applied Pharmaceutical Science, 7, 192–198.
- Elshafie H S, Camele I, Mohamed A A, 2023, A Comprehensive Review on the Biological, Agricultural and Pharmaceutical Properties of Secondary Metabolites

- Based-Plant Origin, International Journal of Molecular Sciences, 24, 3266.
- Emran T B, Rahman M A, Uddin M M N, Rahman M M, Uddin M Z, Dash R, vd., 2015, Effects of organic extracts and their different fractions of five Bangladeshi plants on *in vitro* thrombolysis, BMC Complementary and Alternative Medicine, 15, 128.
- Eroğlu C, Avcı E, Vural H, Kurar E, 2018, Anticancer Mechanism of Sinapic Acid in PC-3 and LNCaP Human Prostate Cancer Cell Lines, Gene, 10, 127–134.
- Favela-González K M, Hernández-Almanza A Y, De la Fuente-Salcido N M, 2020, The Value of Bioactive Compounds of Cruciferous Vegetables (*Brassica*) as Antimicrobials and Antioxidants: A review, Journal of Food Biochemistry, 44, 13414.
- Favela-González K M, Hernández-Almanza A Y, De la Fuente-Salcido N M, 2020, The Value of Bioactive Compounds of Cruciferous Vegetables (*Brassica*) as Antimicrobials and Antioxidants: A Review, Journal of Food Biochemistry, 44, e13414.
- Fechner J, Kaufmann M, Herz C, Eisenschmidt D, Lamy E, Kroh L W, vd., 2018, The Major Glucosinolate Hydrolysis Product in Rocket (*Eruca sativa* L.), Sativin, is 1,3-Thiazepane-2-Thione: Elucidation of Structure, Bioactivity, and Stability Compared to Other Rocket Isothiocyanates, Food Chemistry, 261, 57–65.
- Fernández-León M F, Fernández-León A M, Lozano M, Ayuso M C, González-Gómez D, 2012, Identification, Quantification and Comparison of The Principal Bioactive Compounds and External Quality Parameters of Two Broccoli cultivars, Journal of Functional Foods, 4, 465–473.
- Flakelar C L, Prenzler P D, Luckett D J, Howitt J A, Doran G, 2017, A Rapid Method for The Simultaneous Quantification of the Major Tocopherols, Carotenoids, Free and Esterified Sterols in Canola (*Brassica napus*) Oil using Normal Phase Liquid Chromatography. Food Chemistry, 214, 147–155.
- Fourie H, Ahuja P, Lammers J, Daneel M, 2016, Brassicacea-Based Management Strategies as an Alternative to Combat Nematode Pests: A Synopsis, Crop Protection, 80, 21–41.
- Franco P, Spinozzi S, Pagnotta E, Lazzeri L, Ugolini L, Camborata C, vd., 2016, Development of a Liquid Chromatography–Electrospray Ionization–Tandem

- Mass Spectrometry Method for The Simultaneous Analysis of Intact Glucosinolates and Isothiocyanates in Brassicaceae Seeds and Functional Foods, *Journal of Chromatography A*, 1428, 154–161.
- Frank L, Wenig M, Ghirardo A, 2021, Isoprene and β -caryophyllene Confer Plant Resistance via Different Plant Internal Signalling Pathways, *Plant, Cell & Environment*, 44, 1151–1164.
- Frede K, Schreiner M, Baldermann S, 2019, Light Quality-Induced Changes of Carotenoid Composition in Pak Choi *Brassica rapa* ssp. *Chinensis*, *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 193, 18–30.
- Fusari C M, Nazareno M A, Locatelli D A, Fontana A, Vanesa Beretta, Camargo A B, 2020, Phytochemical Profile and Functionality of Brassicaceae Species, *Food Bioscience*, 36, 100606.
- Fusari C M, Beretta H V, Locatelli D A, Nazareno M A, Camargo A B, 2019, Seasonal Isothiocyanates Variation and Market Avail Ability of Brassicaceae Species Consumed in Mendoza, *Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias*, 51, 403–408.
- Garcia-Lafuente A, Guillamon E, Villares A, Rostagno M A, Martinez J A, 2009, Flavonoids as Anti-Inflammatory Agents: Implications in Cancer and Cardiovascular Disease, *Inflammation Research*, 58, 537–552.
- Georgieva S, Christova-Bagdassarian V, Atanassova M, 2014, Comparative Evaluation of the Polyphenol Composition and Antioxidant Capacity of Propolis and *echinacea purpurea*, *Journal of Experimental and Integrative Medicine*, 4, 51.
- Gilca M, Tiplica G S, Salavastru, C M, 2018, Traditional and Ethnobotanical Dermatology Practices in Romania and Other Eastern European countries, *Clinics in Dermatology*, 36, 338–352.
- Gonçalves Á L M, Lemos M, Niero R, de Andrade S F, Maistro E L, 2012, Evaluation of The Genotoxic and Antigenotoxic Potential of *Brassica oleracea* L. var. *acephala* D.C. in Different Cells of Mice, *Journal of Ethnopharmacology*, 143, 740–745.
- Grover J K, Yadav S, Vats V, 2002, Medicinal Plants of INDIA with Anti-Diabetic Potential, *Journal of Ethnopharmacology*, 81, 81-100.
- Grubb C, Abel S, 2006, Glucosinolate Metabolism and its Control, *Trends Plant*

Science, 11, 89-100.

- Guarrera P M, 2005, Traditional Phytotherapy in Central Italy (Marche, Abruzzo, and Latium), *Fitoterapia*, 76, 1–25.
- Gudžinskaitė I E, Stackevičienė M, Liaudanskas K, Zymonė V, Žvikas J, Viškelis R, vd., 2020, Variability in the Qualitative and Quantitative Composition and Content of Phenolic Compounds in the Fruit of Introduced American Cranberry (*accinium macrocarpon aiton*), *Plants*, 9, 1379.
- Guo W H, Yu L, Zhang X, Chen Y, Liu Y, Wang vd., 2019, Effect of Hyperoside on Cervical Cancer Cells and Transcriptome Analysis of Differentially Expressed Genes, *Cancer Cell International*, 19, 235.
- Guzman I, Yousef G G, Brown A F, 2012, Simultaneous Extraction and Quantitation of Carotenoids, Chlorophylls, and Tocopherols in Brassica Vegetables, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 7238–7244.
- Gül M K, Şeker M, 2006, Comparative Analysis of Phytosterol Components from Rapeseed (*Brassica napus* L.) and Olive (*Olea europaea* L.) Varieties, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108, 759–765.
- Güler B, Kümüştekin G, Uğurlu E, 2015, Contribution to the Traditional Uses of Medicinal Plants of Turgutlu (Manisa – Turkey), *Journal of Ethnopharmacology*, 176, 102–108.
- Hafidh R R, Abdulmir A S, Abu Bakar F, Jalilian F A, Jahanshiri F, Abas F, vd., 2013, Novel Anticancer Activity and Anticancer Mechanisms of *Brassica oleracea* L. var. capitata *F. rubra*, *European Journal of Integrative Medicine*, 5, 450–464.
- Halkier B A, Gershenzon J, 2006, Biology and Biochemistry of Glucosinolates, *Annual Review of Plant Biology*, 57, 303-333.
- Han B, Li X, Yu T, 2014, Cruciferous Vegetables Consumption and The Risk of Ovarian Cancer: A Meta-Analysis of Observational Studies, *Diagnostic Pathology*, 9, 7.
- Han H, Baik B K, 2008, Antioxidant Activity and Phenolic Content of Lentils (*Lens culinaris*), Chickpeas (*Cicer arietinum* L.), Peas (*Pisum sativum* L.) and Soybeans (*Glycine max*), and Their Quantitative Changes during Processing, *International Journal of Food Science & Technology*, 43, 1971–1978.
- Hanschen F S, Schreiner M, 2017, Isothiocyanates, Nitriles, and Epithionitriles from

- Glucosinolates are Affected by Genotype and Developmental Stage in *Brassica oleracea* Varieties, *Frontiers in Plant Science*, 8, 1095.
- Hikmawanti N P E, Hanani E, Sapitri Y, Ningrum W, 2020, Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Different Extracts of *Cordia sebestena* L. Leaves *Pharmacognosy Journal*, 12, 1311–1316.
- Horn P J, Vaughan J G. 1983, Seed Glucosinolates of Fourteen Wild *Brassica* species, *Phytochemistry*, 22, 465–470.
- Hosny H, El Gohary N, Saad E, Handoussa H, El Nashar R M, 2018, Isolation of Sinapic Acid from Broccoli Using Molecularly Imprinted Polymer, *Journal of Separation Science*, 41, 1164–1172.
- Hu X, Yang Z, Liu W, Pan Z, Zhang X, Li M, vd., 2020, The Anti-tumor Effects of p-Coumaric Acid on Melanoma A375 and B16 Cells, *Frontiers in Oncology*, 10, 558414.
- Hu Z, Zhao P, Xu H, 2020, Hyperoside Exhibits Anticancer Activity in Non-Small Cell Lung Cancer Cells with T790M Mutations by Upregulating FoxO1 via CCAT1. *Oncology Reports* 43, 617–624.
- Huang D, Ou B, Prior R L, 2005, The Chemistry Behind Antioxidant Capacity Assays, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1841–1856.
- Huang J, Tong X, Hang L Z, Zhang Y, Wang L, Wang D, vd., 2020, Hyperoside Attenuates Bleomycin-Induced Pulmonary Fibrosis Development in Mice, *Frontiers in Pharmacology*, 11, 550955.
- Jahangir M, Kim H K, Choi Y H, Verpoorte R, 2009, Health Affecting Compounds in Brassicaceae, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8, 31–43.
- Jahangir M, Kim H K, Choi Y H, Verpoorte R, 2009, Health-affecting Compounds in *Brassicaceae*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8, 31–43.
- Jaiswal A K, Abu-ghannam N, Gupta S, 2012, A Comparative Study on The Polyphenolic Content, Antibacterial Activity and Antioxidant Capacity of Different Solvent Extracts of *Brassica oleracea* Vegetables, *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 223–231.
- Janakiraman K, Kathiresan S, Mariadoss A V, 2015, Influence of Sinapic Acid on

- Induction of Apoptosis in Human Laryngeal Carcinoma Cell Line, *International Journal of Modern Research and Reviews*, 2, 165–170
- Jiang J, Xiong Y L, 2016 Natural Antioxidants as Food and Feed Additives to Promote Health Benefits and Quality of Meat Products: A Review, *Meat Science*, 120: 107–117.
- Jiménez-Morales P, Sánchez-León G, Vargas-Rincón C, 2014, La Producción de Metabolitos Secundarios en la Familia Brassicaceae, *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 9, 282.
- Kabera J N, Semana E, Mussa A R, He X, 2014, Plant Secondary Metabolites: Biosynthesis, Classification, Function and Pharmacological Properties, *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2, 377-392.
- Karak P, 2019, Biological Activities of Flavonoids: An Overview, *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 31567–1574.
- Kaulmann A, André C M, Schneider Y J, Homann L, Bohn T, 2016, Carotenoid and Polyphenol Bioaccessibility and Cellular Uptake from Plum and Cabbage Varieties, *Food Chemistry*, 197, 325–332.
- Khalid A, Mohammed A D, Al-Maliki M E, 2014, Effect of Phenolic and Alkaloid Compounds Extracted from *Brassica oleracea* var. Capitata Seed on Glucose Level in Blood of Alloxan-Induced Diabetes Rabbits, *World Journal of Experimental Biosciences*, 4, 24–29.
- Khoddami A, Wilkes M A, Roberts T H, 2013, Techniques for Analysis of Plant Phenolic compounds. *Molecules*, 18, 2328–2375.
- Kim J W, Kim M B, Lim S B, 2015, Formation and Stabilization of Raphasatin and Sulforaphene from Radish Roots by Endogenous Enzymolysis, *Preventive Nutrition and Food Science*, 20, 119–125.
- Klein A P, Sattely E S, 2017, Biosynthesis of Cabbage Phytoalexins from Indole Glucosinolate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114, 1910–1915.
- Koley H, Howlader D R, Bhaumik U, 2019, Assessment of Antimicrobial Activity of Different Phytochemicals against Enteric Diseases in Different Animal Models, In M. S. A. Khan, I. Ahmad, & D. Chattopadhyay (Eds.), *New look to phytomedicine* (563–580). London.

- Kotha R R, Tareq F S, Yildiz, E, Luthria D L, 2022, Oxidative Stress and Antioxidants—A critical Review on *in vitro* Antioxidant Assays, Antioxidants, 11, 2388.
- Kuang P, Song D, Yuan Q, Yi R, Lv X, Liang H, 2013, Separation and Purification of Sulfuraphene from Radish Seeds Using Macroporous Resin and Preparative High-Performance Liquid Chromatography, Food Chemistry, 136, 342–347.
- Kurilich A C, Tsau G J, Brown A, Howard L, Klein B P, Jeery E H, vd., 1999, Carotene, Tocopherol, and Ascorbate Contents in Subspecies of *Brassica oleracea*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47, 1576–1581.
- Kwak Y, Lee J, Ju, J, 2016, Anti-Cancer Activities of *Brassica juncea* Leaves *in vitro*. EXCLI Journal, 15, 699–710.
- Lampi A M, Kamal-Eldin A, Piironen V, 2002, Tocopherols and Tocotrienols from Oil and Cereal Grains, Functional Foods: Biochemical and Processing Aspects, 1–38.
- Lee S C, Lee S W, Kim K S, Lee T J, Kim D H, Kim J C, 1998, O-Alkylation of Phenol Derivatives over Basic Zeolites, Catalysis Today, 44, 253–258.
- Lemoine M L, Civello P M, Martínez G A, Chaves A R, 2007, Influence of Postharvest UV-C Treatment on Refrigerated Storage of Minimally Processed Broccoli (*Brassica oleracea* var. Italica), Journal of the Science of Food and Agriculture, 87, 1132-1139.
- Li J P, Liao X H, Xiang Y, Yao A, Song R H, Zhang Z J, vd., 2018, Hyperoside and Let-7a-5p Synergistically Inhibits Lung Cancer Cell Proliferation via Inducing G1/S phase Arrest, Gene, 679, 232–640.
- Li J, Zhao N, Xu R, Li G, Dong H, Wang B, vd., 2022, Deciphering the Antibacterial Activity and Mechanism of p-Coumaric Acid against *Alicyclobacillus acidoterrestris* and Its Application in Apple Juice, International Journal of Food Microbiology, 378, 109822.
- Li Y, Wang Y, Li L, Kong R, Pan S, Ji L, vd., 2016, Hyperoside Induces Apoptosis and Inhibits Growth in Pancreatic Cancer via Bcl-2 Family and NF-κB Signaling Pathway both *in vitro* and *in vivo*, Tumour Biology: The Journal of the International Society for Oncodevelopmental Biology and Medicine, 37, 7345–7355.
- Li Z, Lee H W, Liang X, Liang D, Wang Q, Huang D, vd., 2018, Profiling of Phenolic

- Compounds and Antioxidant Activity of 12 Cruciferous Vegetables, *Molecules*, 23, 1–16.
- Liang J L, Yeow C C, Teo K C, Gnanaraj C, Chang Y P, 2019, Valorizing cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata) and Capsicum (*Capsicum annuum* L.) wastes: *In vitro* Health-Promoting Activities, *Journal of Food Science and Technology*, 56, 4696–4704.
- Liu B, Mao Q, Wang X, Zhou F, Luo J, Wang, C, vd., 2013, Cruciferous Vegetables Consumption and Risk of Renal Cell Carcinoma: A Meta-Analysis, *Nutrition and Cancer*, 65, 668–676.
- Liu P, Kallio H, Lü D, Zhou C, Yang B, 2011, Quantitative Analysis of Phenolic Compounds in Chinese Hawthorn (*Crataegus spp.*) Fruits by High Performance Liquid Chromatography-Electrospray Ionisation Mass Spectrometry. *Food Chemistry* 127, 1370–1377.
- Liu Y H, Liu G H, Mei J J, Wang J, 2016, The Preventive Effects of Hyperoside on Lung Cancer *in vitro* by Inducing Apoptosis and Inhibiting Proliferation through Caspase-3 and P53 Signaling Pathway, *Biomedicine & Pharmacotherapy = Biomedecine & Pharmacotherapie*, 83, 381–391.
- Llorent–Martínez E J, Ortega–Barrales P, Zengin G, Mocan A, Simirgiotis M J, Ceylan R, vd., 2017, Evaluation of Antioxidant Potential, Enzyme Inhibition Activity and Phenolic Profile of *Lathyrus cicera* and *Lathyrus digitatus*: Potential Sources of Bioactive Compounds for the Food Industry, *Food and Chemical Toxicology*, 107, 609–619.
- Lo Scalzo R, Genna A, Branca F, Chedin M, Chassaigne H, 2008, Anthocyanin Composition of Cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. Botrytis) and Cabbage (*B. oleracea* L. var. Capitata) and Its Stability in Relation to Thermal Treatments. *Food Chemistry*, 107, 136–144.
- Loedolff B, Brooks J, Stander M, Peters S, Kossmann J, 2017, High Light Bio-Fortification Stimulates *de novo* Synthesis of Resveratrol in *Diplotaxis tenuifolia* (wild rocket) Micro-Greens, *Functional Food in Health and Disease* 7, 859–872.
- Lučić D, Pavlović I, Brkljačić L, Bogdanović S, Farkaš V, Cedilak A, vd., 2023, Antioxidant and Antiproliferative Activities of Kale (*Brassica oleracea* L. var. acephala DC.) and Wild Cabbage (*Brassica incana* Ten.) Polyphenolic Extracts,

Molecules, 28, 1840.

- Magney V, Baldermann S, Albach, D C, 2016, Intraspecific Variation in Carotenoids of *Brassica oleracea* var. *Sabellica*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64, 3251–3257.
- Mahmud N, Sana S, Al-fuad S, Rana S, Ahmed S, Al Mamun A, vd., 2019, Perspective of Bioactive Constituents and Medicinal Effects of Some Bangladeshi Indigenous Leafy Vegetables: A review, Pharmacology, 3, 40–57.
- Mahomoodally M F, Zengin G, Aumeeruddy M Z, Sezgin M, Aktumsek A, 2018, Phytochemical Profile and Antioxidant Properties of Two Brassicaceae Species: *Cardaria draba* subsp. *draba* and *Descurainia Sophia*, Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 16, 453–458.
- Malfa G A, Pappalardo F, Miceli N, Taviano, M F, Ronsisvalle S, Tomasello B, vd., 2023, Chemical, Antioxidant and Biological Studies of *Brassica incana* subsp. *raimondoi* (Brassicaceae) Leaf Extract, Molecules, 28, 1254.
- Masyita A, Mustika Sari R, Dwi Astuti A, Yasir B, Rahma Rumata N, Bin E T, vd., 2022, Terpenes and Terpenoids as Main Bioactive Compounds of Essential Oils, Their Roles in Human Health and Potential Application as Natural Food Preservatives, Food Chemistry, 13, 100217.
- Matera R, Gabbanini S, De Nicola G R, Iori R, Petrillo G, Valgimigli L, 2012, Identification and Analysis of Isothiocyanates and New Acylated Anthocyanins in The Juice of *Raphanus sativus* cv. Sango sprouts, Food Chemistry, 133, 563–572.
- Mattosinhos P D S, Sarandy M M, Novaes R D, Esposito D, Goncalves R V, 2022, Anti-Inflammatory, Antioxidant, and Skin Regenerative Potential of Secondary Metabolites from Plants of The Brassicaceae Family: A Systematic Review of *in vitro* and *in vivo* Preclinical Evidence (Biological Activities Brassicaceae Skin Diseases), Antioxidants, 11, 1346.
- Maxted N, Ehsan Dulloo M, Ford-Lloyd B V, Frese L, Branca F, Lucia R, vd., 2013, The Glucosinolates and Variation of Antioxidant Compounds in Seeds and Sprouts of Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) and Rocket (*Eruca sativa* L.) in Relation to Temperature and Germinative Stage, Acta Horticulturae, 1005, 271–278.
- Melrose J, 2019, The Glucosinolates: A Sulphur Glucoside Family of Mustard Anti-

- Tumour and Antimicrobial Phytochemicals of Potential Therapeutic Application, *Biomedicines*, 7, 1–27.
- Miceli N, Cavò E, Ragusa M, Cacciola F, Mondello L, Dugo L, vd., 2020, *Brassica incana* Ten. (*Brassicaceae*): Phenolic Constituents, Antioxidant and Cytotoxic Properties of The Leaf and Flowering Top extracts, *Molecules*, 25, 1461.
- Milanesi N, Gola M, 2016, Irritant Contact Dermatitis caused by Savoy Cabbage, *Contact Dermatitis*, 74, 60–61.
- Mladenka P, Macáková K, Filipský T, Zatloukalová L, Jahodář L, Bovicelli P, 2011, In vitro Analysis of Iron Chelating Activity of Flavonoids, *Journal of Inorganic Biochemistry*, 105, 693–701.
- Monde K, Takasugi M, Shirata A, 1995, Three Sulphur-Containing Stress Metabolites from Japanese Radish, *Phytochemistry*, 39, 581–586.
- Moreno D A, Pérez-Balibrea S, Ferreres F, Gil-Izquierdo Á, García-Viguera C, 2010, Acylated Anthocyanins in Broccoli Sprouts, *Food Chemistry*, 123, 358–363.
- Munns A, 2003, Cabbage Leaves: Cabbage Leaves can Help Inflammation of Any Body Part. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 327(7412), 451.
- Munteanu I G, Apetrei C, 2021, Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A review, *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 3380.
- Mussatto S I, Dragone G, Roberto I C, 2007, Ferulic and P-Coumaric Acids Extraction by Alkaline Hydrolysis of Brewer's Spent Grain, *Industrial Crops and Products*, 25, 231-237.
- Naboulsi I, Aboulmouhajir A, Kouisni L, 2018, Plants Extracts and Secondary Metabolites, Their Extraction Methods and Use in Agriculture for Controlling Crop Stresses and Improving Productivity: A Review, *Academia Journal of Medicinal Plants*, 6, 223–240.
- Nagegowda D A, Gupta P, 2020, Advances in Biosynthesis, Regulation, and Metabolic Engineering of Plant Specialized Terpenoids, *Plant Science*, 294, 110457.
- Nasr Bouzaiene N, Kilani Jaziri S, Kovacic H, Chekir-Ghedira L, Ghedira K, Luis J, 2015, The effects of caffeic, coumaric and ferulic acids on proliferation, superoxide production, adhesion and migration of human tumor cells *in vitro*, *European Journal of Pharmacology*, 766, 99–105.
- Nee M, 1998, *Plant Alkaloids: A Guide to Their Discovery and Distribution*; Rauf,

- R.F., Ed.; Brittonia: New York.
- Nguyen L T T, Le X T, Nguyen H T, Nguyen T V, Pham H N T, Pham A V T, vd., 2024, Kaempferol-3-O-(2"-O-galloyl- β -d-glucopyranoside): a Novel Neuroprotective Agent from *Diospyros kaki* against Cerebral Ischemia—Induced Brain Injury, *Journal of Natural Medicines*, 78, 312–327.
- Nićiforović N, Abramović H, 2014, Sinapic Acid and Its Derivatives: Natural Sources and Bioactivity, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 13, 34–51.
- Nilsson J, Olsson K, Engqvist G, Ekvall J, Olsson M, Nyman M, vd., 2006, Variation in The Content of Glucosinolates, Hydroxycinnamic acids, Carotenoids, Total Antioxidant Capacity and Low-Molecular-Weight Carbohydrates in *Brassica* Vegetables, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 528–538.
- Nor N D M, Lignou S, Bell L, Houston-Price, C, Harvey K, Methven L, 2020, The Relationship between Glucosinolates and The Sensory Characteristics of Steamed-Pureed Turnip (*Brassica Rapa* subsp. *Rapa* L.), *Food*, 9, 1719.
- Orzelska-Górka J, Szewczyk K, Gawrońska-Grzywacz M, Kędzierska E, Głowacka E, Herbet, 2019, Monoaminergic System is Implicated in The Antidepressant-Like Effect of Hyperoside and Protocatechuic acid isolated from *Impatiens glandulifera* Royle in Mice, *Neurochemistry International*, 128, 206–614.
- Otsuki T, Matsufuji H, Takeda M, Toyoda M, Goda Y, 2002, Acylated Anthocyanins from Red Radish (*Raphanus sativus* L.), *Phytochemistry*, 60, 79–87.
- Pacheco-Cano R D, Salcedo-Hernández R, López-Meza J E, Bideshi D K, Barboa-Coral J E, 2018, Antimicrobial activity of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) Cultivar Avenger against Pathogenic Bacteria, Phytopathogenic Filamentous Fungi, and Yeast, *Journal of Applied Microbiology*, 124, 126–135.
- Panche A N, Diwan A D, Chandra S R, 2016, Flavonoids: An Overview, *Journal of Nutritional Science*, 5, e47.
- Pandi A, Kalappan V M, 2021, Pharmacological and Therapeutic Applications of Sinapic Acid—An Updated Review, *Molecular Biology Reports*, 48, 3733–3745.
- Pari L, Mohamed Jalaludeen A, 2011, Protective Role of Sinapic Acid against Arsenic: Induced Toxicity in Rats, *Chemico-Biological Interactions*, 194, 40–47.
- Park W T, Kim J K, Park S, Lee S W, Li X, Kim Y B, vd., 2012, Metabolic Profiling of

- Glucosinolates, Anthocyanins, Carotenoids, and Other Secondary Metabolites in Kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 8111–8116.
- Patel H K, Gomes E N, Wu Q, Patel N, Kobayashi D Y, Wang C, vd., 2023, Volatile Metabolites from New Cultivars of Catnip and Oregano as Potential Antibacterial and Insect Repellent Agents, *Frontiers in Plant Science*, 14, 1124305.
- Paul S, Geng C A, Yang T H, Yang Y P, Chen J J, 2019, Phytochemical and Health-Beneficial Progress of Turnip (*Brassica rapa*), *Journal of Food Science*, 84, 19–30.
- Pedras M S C, Adio A M, Suchy M, Okinyo D P O, Zheng Q A, Jha M, vd., 2006, Detection, Characterization and Identification of Crucifer Phytoalexins Using High-Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detection and Electrospray Ionization Mass Spectrometry, *Journal of Chromatography A*, 1133, 172–183
- Pedras M S C, Ahiahonu P W K, 2005, Metabolism and Detoxification of Phytoalexins and Analogs by Phytopathogenic fungi, *Phytochemistry*, 66, 391–411.
- Pedras M S C, Okanga F I, Zaharia I L, Khan A Q, 2000, Phytoalexins from Crucifers: Synthesis, Biosynthesis, and Biotrans Formation, *Phytochemistry*, 53, 161–176.
- Pedras M S C, Sorensen J L, Okanga F I, Zaharia I L, 1999, Wasalexins A and B, New Phytoalexins from Wasabi: Isolation, Synthesis, and Antifungal Activity, *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 9, 3015–3020.
- Pedras, M S C, Zheng Q A, Gadagi R S, Rimmer S R, 2008 Phytoalexins and polar Metabolites from The Oilseeds Canola and Rapeseed: Differential Metabolic Responses to The Biotroph *Albugo candida* and to Abiotic Stress, *Phytochemistry*, 69, 894–910.
- Pellegrini N, Chiavaro E, Gardana C, Mazzeo T, Contino D, Gallo M, vd., 2010, Effect of Different Cooking Methods on Color, Phytochemical Concentration, and Antioxidant Capacity of Raw and Frozen *Brassica* Vegetables, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 4310–4321.
- Pena M, Guzman A., Martinez, R., Mesas, C., Prados, J., Porres, vd., 2022, Preventive Effects of Brassicaceae Family for Colon Cancer Prevention: A Focus on *in vitro* Studies, *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 151, 113145.

- Petropoulos S, Di Gioia F, Ntatsi G, 2017, Vegetable Organosulfur Compounds and Their Health Promoting Effects, *Current Pharmaceutical Design*, 23, 2850–2875.
- Picchi V, Lo Scalzo R, Tava A, Doria F, Argento S, Toscano S, vd., 2020, Phytochemical Characterization and *in vitro* Antioxidant Properties of Four *Brassica* Wild Species from Italy, *Molecules*, 25, 3495.
- Pietta P, Minoggio M, Bramati L, 2003, Plant Polyphenols: Structure, Occurrence and Bioactivity, *Studies in Natural Products Chemistry*, 28, 257–312.
- Pinheiro de Carvalho M Â, 2012 *Agrobiodiversity Conservation: Securing the Diversity of Crop Wild Relatives and Landraces*; CABI: Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Podsdek A, 2007, Natural Antioxidants and Antioxidant Capacity of *Brassica* Vegetables: A Review, *LWT— Food Science Technology*, 40, 1–11.
- Pourmorad F, Hosseinimehr S J, Shahabimajd N, 2006, Antioxidant Activity, Phenol and Flavonoid Contents of Some Selected Iranian Medicinal Plants, *African Journal of Biotechnology*, 5, 1142–1145.
- Prieto P, Pineda M, Aguilar M, 1999, Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E, *Analytical Biochemistry*, 269, 337–341.
- Quinn L, Gray S G, Meaney S, Finn S, McLoughlin P, Hayes M, 2017, Extraction and Quantification of Sinapinic Acid from Irish Rapeseed Meal and Assessment of Angiotensin-I Converting Enzyme (ACE-I) Inhibitory Activity, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65, 6886–6892.
- Quirante-Moya S, García-Ibañez P, Quirante-Moya F, Villaño D, Moreno D A, 2020, The Role of *Brassica* Bioactives on Human Health: Are We Studying It The Right Way? *Molecules*, 25, 1591.
- Rahman M M, Rahaman M S, Islam M R, Rahman F, Mithi F M, vd., 2022, Role of Phenolic Compounds in Human Disease: Current Knowledge and Future Prospects, *Molecules*, 27, 233.
- Rahman M, Khatun A, Liu L, Barkla B J, 2018, Brassicaceae Mustards: Traditional and Agronomic Uses in Australia and New Zealand, *Molecules*, 23, 1–18.
- Raiola A, Errico A, Petruk G, Monti D M, Barone A, Rigano M M, 2018, Bioactive Compounds in Brassicaceae Vegetables with a Role in The Prevention of Chronic

Diseases, *Molecules*, 23, 15.

Rakow G, 2004, Species Origin and Economic Importance of *Brassica*, In: *Brassica*. Springer, pp 3–11.

Ramírez D, Abellán-Victorio A, Beretta V, Camargo A, Moreno D A, 2020, Functional Ingredients from Brassicaceae Species: Overview and Perspectives *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 1–21.

Ramírez D, Abellán-Victorio A, Beretta V, Camargo A, Moreno D A, 2020, Functional Ingredients from Brassicaceae Species: Overview and Perspectives, *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 1998.

Rhee, J H, Choi S, Lee J E, Hur O S, Ro N Y, Hwang A J, vd., 2020, Glucosinolate Content in *Brassica* Genetic Resources and Their Distribution Pattern within and between Inner, Middle, and Outer Leaves, *Plants*, 9, 1421.

Rodríguez-García C, Sánchez-Quesada C, Toledo E, Delgado-Rodríguez M, Gaforio J J, 2019, Naturally Lignan-Rich Foods: A Dietary Tool for Health Promotion? *Molecules*, 24, 917.

Salehi B, Krochmal-Marczak B, Skiba D, Patra J K, Das S K, Das G, 2019, *Convolvulus* plant—A Comprehensive Review from Phytochemical Composition to Pharmacy, *Phytotherapy Research*, 34, 315–328.

Salehi B, Quispe C, Butnariu M, Sarac I, Marmouzi I, Kamle M, vd., 2021, Phytotherapy and Food Applications from *Brassica* Genus, *Phytotherapy Research*, 35, 3590–3609.

Salehi B, Sharopov F, Martorell M, Rajkovic J, Ademiluyi A, Sharifi Rad M, 2018, Phytochemicals in *Helicobacter pylori* infections: What are we doing now? *International Journal of Molecular Sciences*, 19(8), 2361.

Salık Y, Eroglu P, Zengin G, Binzet R, 2024, Assessment and Comparison of Phytochemical Constituents and Biological Activities of Endemic *Odonterrhena Floribunda* (Brassicaceae) from Türkiye, *International Journal of Environmental Health Research*, In press.

Šamec D, Pavlović I, Salopek-Sondi B, 2017, White cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata *f. alba*): Botanical, Phytochemical and Pharmacological Overview. *Phytochemistry Reviews*, 16, 117–135.

Šamec D, Salopek-Sondi B, 2019, Cruciferous (Brassicaceae) vegetables. In S.

- Mohammad Nabavi & A. Sanches Silva (Eds.), Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements (195–202). San Diego
- Sánchez-Mata M C, Cabrera Loera R D, Morales P, Fernández-Ruiz V, Cámara M, Díez Marqués C, 2012, Wild vegetables of the Mediterranean Area as Valuable Sources of Bioactive Compounds, Genetic Resources and Crop Evolution, 59, 431–443.
- Santos E L, Maia, B H L N S, Ferriani A P, Teixeira S D, 2017, Flavonoids-From Biosynthesis to Human Health, Books on Demand: Norderstedt, Germany.
- Shankar S, Segaran G, Sundar R D V, Settu S, Sathiavelu M, 2019, Brassicaceae - A Classical Review on Its Pharmacological Activities, International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research, 55(1), 107–113.
- Sarikurkcü C, Locatelli M, Tartaglia A, Ferrone V, Juszczak A M, Ozer M S, 2020, Enzyme and Biological Activities of The Water Extracts from The Plants *Aesculus Hippocastanum*, *Olea europaea* and *Hypericum perforatum* That Are Used as Folk Remedies in Turkey, Molecules, 25,1202.
- Satish L, Kamle M, Keren G, Patil CD, Yehezkel G, Barak Z E, vd., 2020, *Agrobacterium tumefaciens*-Mediated Genetic Transformation of the Ect-Endo Mycorrhizal Fungus *Terfezia boudieri*, Genes, 11, 1293.
- Shah M A, Sarker M M R, Gousuddin M, 2016, Antidiabetic Potential of *Brassica oleracea* var. in Type 2 Diabetic Sprague Dawley (sd) Rats, International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research, 8, 462–469.
- Shah Z A, Hameed A, Ahmed A, Simjee S U, Jabeen A, Ullah A, 2016, Cytotoxic and Anti-Inflammatory Salicin Glycosides from Leaves of *Salix acmophylla*. Phytochemistry Letters, 17, 107–113.
- Shankar S, Segaran G, Sundar R D V, Settu S, Sathiavelu M, 2019, Brassicaceae- A Classical Review on Its Pharmacological Activities, International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research, 55(1), 107–113.
- Sharma A, Rai P K, Prasad S, 2018, GC–MS Detection and Determination of Major Volatile Compounds in *Brassica juncea* L. Leaves and Seeds, Microchemical Journal, 138, 488–493.
- Sharma S H, Rajamanickam V, Nagarajan S, 2019, Supplementation of p-coumaric acid exhibits chemopreventive effect via induction of Nrf2 in a short-term preclinical

- model of colon cancer, *European Journal of Cancer Prevention*, 28, 472–82.
- Singleton V L, Rossi J A, 1965, Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic–Phosphotungstic Acid Reagents, *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158.
- Soengas P, Cartea M E, Francisco M, Sotelo T, Velasco P, 2012, New Insights into Antioxidant Activity of *Brassica* crops, *Food Chemistry*, 134, 725–733.
- Suhr K I, Nielsen P V, 2003, Antifungal Activity of Essential Oils Evaluated by Two Different Application Techniques Against Rye Bread Spoilage Fungi, *Journal of Applied Microbiology*, 94, 665–674.
- Tanongkankit Y, Chiewchan N, Devahastin S, 2010, Effect of Processing on Antioxidants and Their Activity in Dietary Fiber Powder from Cabbage Outer Leaves, *Drying Technology*, 28, 1063–1071.
- Thangam R, Suresh V, Rajkumar M, Vincent J D, Gunasekaran P, Anbazhagan C, vd., 2013, Antioxidant and *in vitro* Anticancer Effect of 2-Pyrrolidinone Rich Fraction of *Brassica oleracea* var. Capitata through Induction of Apoptosis in Human Cancer Cells, *Phytotherapy Research*, 27, 1664–1670.
- Thirumurugan D, Cholarajan A, Raja S S S, Vijayakumar R, 2018, An Introductory Chapter: Secondary Metabolites, InTech.
- Tijjani H, Zangoma M H, Mohammed Z S, Obidola S M, Egbuna C, Abdulai S I, 2020, Polyphenols: Classifications, Biosynthesis and Bioactivities. In: Egbuna, C., Dable Tupas, G. (eds) *Functional Foods and Nutraceuticals*, Springer, Cham. (389-414).
- Todaro A, Cavallaro R, Argento S, Branca F, Spagna G, 2011, Study and Characterization of Polyphenol Oxidase from Eggplant (*Solanum melongena* L.), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 11244–11248.
- Tohma H, Köksal E, Kılıç Ö, Alan Y, Ma Y, Gülçin I, vd., 2016, RP-HPLC/MS/MS Analysis of The Phenolic Compounds, Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Salvia* L. Species, *Antioxidants*, 5, 1–5.
- Tuberoso C I G, Rosa A, Bifulco E, Melis M P, Atzeri A, Pirisi F M, vd., 2010, Chemical Composition and Antioxidant Activities of *Myrtus communis* L. Berries Extracts, *Food Chemistry*, 123, 1242–1251.
- Tuttolomondo T, Licata M, Leto C, Bonsangue G, Letizia Gargano M, Venturella G,

- vd., 2014, Popular Uses of Wild Plant Species for Medicinal Purposes in the Nebrodi Regional Park (North-Eastern Sicily, Italy), *Journal of Ethnopharmacology*, 157, 21–37.
- Twaij B M, Hasan M N, 2022, Bioactive Secondary Metabolites from Plant Sources: Types, Synthesis, and Their Therapeutic Uses, *International Journal of Plant Biology*, 13, 4–14.
- Ullah A, Munir S, Badshah S L, Khan N, Ghani L, Poulson B G, vd., 2020, Important Flavonoids and Their Role as A Therapeutic Agent, *Molecules*, 25, 5243.
- Ulusoy H, Ceylan Ş, Peker H, 2021, Determination of Antioxidant and Antimicrobial Activity of Sweetgum (*Liquidambar orientalis*) Leaf, a Medicinal Plant, *Polímeros*, 31, e2021015.
- Vale A P P, Santos J, Melia N, Peixoto V, Brito N V V, Oliveira M B P P P, 2015, Phytochemical Composition and Antimicrobial Properties of Four Varieties of *Brassica oleracea* Sprouts. *Food Control*, 55, 248–256.
- Vale A P, Santos J, Melia N, Peixoto V, Brito N V, Oliveira M B P P, 2015, Phytochemical Composition and Antimicrobial Properties of Four Varieties of *Brassica oleracea* Sprouts, *Food Control*, 55, 248–256.
- Vallejo F, Tomás-Barberán F A, Ferreres F, 2004, Characterisation of Flavonols in Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica) by Liquid Chromatography – UV Diode-Array Detection – Electrospray Ionisation Mass Spectrometry, *Journal of Chromatography A*, 1054, 181–193.
- Vergun O M, Rakhmetov D B, Shymanska O V, Fishchenko V, Ivanisova E, Brindza J, 2019, Leaves Extracts of Selected Crops, *Plant Introduction*, 4, 82–88.
- Vona R., Pallotta L, Cappelletti M, Severi C, Matarrese P, 2021, The Impact of Oxidative Stress in Human Pathology: Focus on Gastrointestinal Disorders, *Antioxidants*, 10, 201.
- Walsh, R P, Bartlett H, Eperjesi, F, 2015, Variation in Carotenoid Content of Kale and Other Vegetables: A Review of Pre- and Post-Harvest Effects, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 9677–9682.
- Wang K, Zhang H, Yuan L, Li X, Cai Y, 2023, Potential Implications of Hyperoside on Oxidative Stress-Induced Human Diseases: A Comprehensive Review, *Journal of Inflammation Research*, 4503–4526.

- Wang R, Kobayashi Y, Lin Y, Rauwald H W, Fang L, Qiao H, vd., 2015, A Phytosterol Enriched Refined Extract of *Brassica campestris* L. Pollen Significantly Improves Benign Prostatic Hyperplasia (BPH) in A Rat Model as Compared to the Classical TCM Pollen Preparation Qianlie Kang Pule'an Tablets, *Phytomedicine*, 22, 145–152.
- Wen P, Zhu D H, Wu H, Zong M H, Jing Y R, Han S Y, 2016, Encapsulation of Cinnamon Essential Oil in Electrospun Nanofibrous Film for Active Food Packaging, *Food Control*, 59, 366–376.
- Wiczowski W, Szawara-Nowak D, Topolska J, 2013, Red Cabbage Anthocyanins: Profile, Isolation, Identification, and Antioxidant Activity, *Food Research International*, 51, 303–309.
- Yanaka A, 2017, Role of Sulforaphane in Protection of Gastrointes Tinal Tract against *H. pylori* and NSAID-Induced Oxidative Stress, *Current Pharmaceutical Design*, 23, 4066–4075.
- Yanaka A, Fahey J W, Fukumoto A, Nakayama M, Inoue S, Zhang S, vd., 2009, Dietary Sulforaphane-Rich Broccoli Sprouts Reduce Colonization and Attenuate Gastritis in *Helicobacter pylori*-in Fected Mice and Humans, *Cancer Prevention Research*, 2, 353–360.
- Yang Q, Song Z, Dong B, Niu L, Cao H, Li H, vd., 2021, Hyperoside Regulates its Own Biosynthesis via MYB30 in Promoting Reproductive Development and Seed Set in okra, *Plant Physiology*, 185,951–968.
- Yannai S, 2003, *Dictionary of Food*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
- Yi G, Lim S, Chae W B, Park J E, Park H R Lee E J, vd., 2016, Root Glucosinolate Profiles for Screening of Radish (*Raphanus sativus* L.) Genetic Resources, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 61–70.
- Yu B, Lydiate D J, Young L W, Schäfer U A, Hannoufa A J T R, 2008, Enhancing the Carotenoid Content of *Brassica napus* Seeds by Downregulating Lycopene Epsilon Cyclase, *Transgenic Research*, 17, 573–585.
- Yun KJ, Koh DJ, Kim SH, Park SJ, Ryu JH, Kim DG, vd., 2008, Anti-Inflammatory Effects of Sinapic Acid through The Suppression of Inducible Nitric Oxide Synthase, Cyclooxygenase-2, and Proinflammatory Cytokines Expressions via Nuclear Factor-kappaB Inactivation, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,

56, 10265–10272.

- Zhang B, Liu C, Wang Y, Yao X, Wang F, Wu J, vd., 2015, Disruption of a Carotenoid Cleavage Dioxygenase 4 Gene Converts flower Colour from White to Yellow in *Brassica* species, *New Phytologist*, 206, 1513–1526.
- Zhang Y, Dong H, Zhang J, Zhang L, 2017, Inhibitory Effect of Hyperoside Isolated from *Zanthoxylum bungeanum* Leaves on SW620 Human Colorectal Cancer Cells via Induction of The p53 Signaling Pathway and Apoptosis, *Molecular Medicine Reports*, 16, 1125–1132.
- Zhang Y, Yu X, Wang M, Y. Ding Y, Guo H, Liu J, 2021. Hyperoside from *Z. bungeanum* Leaves Restores Insulin Secretion and Mitochondrial Function by Regulating Pancreatic Cellular Redox Status in Diabetic Mice, *Free Radical Biology & Medicine*, 162, 412–422.
- Zuta P C, Simpson B K, Zhao X, Leclerc L, 2007, The Effect of α -Tocopherol on The Oxidation of Mackerel Oil, *Food Chemistry*, 100, 800–807.