

BİTKİLERİN EKONOMİK ÖNEMİNE GENEL BİR BAKIŞ

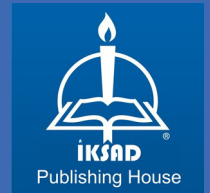
Editörler:

Dr. Öğretim Üyesi Betül GIDİK
Doç. Dr. Hüseyin SERENCAM



Yazarlar:

Doç. Dr. Zehra CAN
Dr. Öğr. Üyesi Sinan KUL
Dr. Öğr. Üyesi Fatma EKMEKYAPAR TORUN
Dr. Öğr. Üyesi Züleyha BİNGÜL
Dr. Öğr. Görevlisi Abdurrahman SEFALI
Arş. Gör. Yakup KARA



BİTKİLERİN EKONOMİK ÖNEMİNE GENEL BİR BAKIŞ

Editör: Dr. Öğretim Üyesi Betül GIDİK

Doç. Dr. Hüseyin SERENCAM

Yazarlar:

Doç. Dr. Zehra CAN

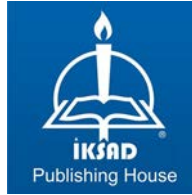
Dr. Öğretim Üyesi Sinan KUL

Dr. Öğretim Üyesi Fatma EKMEKYAPAR TORUN

Dr. Öğretim Üyesi Züleyha BİNGÜL

Dr. Öğretim Görevlisi Abdurrahman SEFALİ

Arş. Gör. Yakup KARA



Copyright © 2019 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced,
distributed, or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording, or other electronic
or mechanical methods, without the prior written permission of the
publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other
noncommercial uses permitted by copyright law. Institution Of
Economic Development And Social
Researches Publications®

(The Licence Number of Pubicator: 2014/31220)

TURKEY TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksad.net

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2019©

ISBN: 978-625-7029-15-5

Cover Design: İbrahim Kaya

December / 2019

Ankara / Turkey

Size = 14,8x 21 cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1

Türkiye’de Bulunan *Brassica* Türlerinin Biyolojisi ve Ekonomik Önemi.....4

BÖLÜM 2

Biyosorpsiyon ve Atıksulardan Ağır Metal Giderimi.....41

BÖLÜM 3

Ekonomik Açıdan Önemli olan Safran (*Crocus sativus* L.) Bitkisinin Biyoaktif Özellikleri.....65

BÖLÜM 4

Hesperis İsatidea (Boiss.) D.A. German & Al-Shehbaz, Bitkisi Üzerine Yapılan Araştırmalar.....85

BÖLÜM 5

Fitoremediasyon.....116

KAYNAKLAR.....133

ÖNSÖZ

Günlük hayatımızda sıkça karşılaştığımız birçok bitkinin bazı faydaları bilinse de ekonomik olarak sağladığı katkılar ve bazı özellikleri tam olarak bilinmemektedir. Çeşitli bitkilerin çok bilinmeyen farklı ekonomik özellikleri ile ilgi beş farklı bölümden oluşan yeni bir kitap ile karşınızdayız.

Her biri birbirinden farklı ve özel ekonomik öneme sahip bitkilerin genel özelliklerini içeren bölümlerde özellikle tıbbi ve aromatik etkileri, boya hammaddesi olarak kullanılmaları, bitkisel yağ elde edilebilmesi ve atık sularından ağır metal, organik ve inorganik maddelerin arıtılması gibi ekonomik özelliklerinden bahsedilmektedir.

Türkiye iklim ve toprak özellikleri bakımından gösterdiği çeşitlilik sayesinde oldukça zengin bir bitki örtüsüne sahiptir.

Dünya da ve ülkemizde son yıllarda ekonomik değeri artan bitkilerin öneminin ve ekonomik özelliklerinin vurgulandığı, kullanım alanlarının ve faydalarının anlatıldığı bölümlerden oluşan bu kitabı keyifle okuyacağınızı umuyorum.

Bu eserin hazırlanmasında emeği geçen kıymetli yazarlarımız Doç. Dr. Zehra CAN, Dr. Öğretim Üyesi Sinan KUL, Dr. Öğretim Üyesi Fatma EKMEKYAPAR TORUN, Dr. Öğretim Üyesi Züleyha BİNGÜL, Dr. Öğretim Görevlisi Abdurrahman SEFALI, Arş. Gör. Yakup KARA'ya, kitabın hazırlanma aşamasında yardımlarını ve desteğini esirgemeyen Sayın Sefa Salih BİLDİRİCİ'ye, yayınlanma aşamasında desteği ve emeği geçen İksad Yayınevi çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

YAYIN EDİTÖRÜ
Dr. Öğretim Üyesi Betül GIDIK
Doç. Dr. Hüseyin SERENCAM
Aralık 2019- Bayburt

BÖLÜM 1:

**TÜRKİYE’DE BULUNAN *BRASSICA* TÜRLERİNİN
BİYOLOJİSİ VE EKONOMİK ÖNEMİ**

Dr. Öğretim Görevlisi Abdurrahman SEFALİ¹

¹ Bayburt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri
Eğitimi Bölümü, Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı,
asefali@bayburt.edu.tr

Giriş

Yaygın kullanım alanlarına sahip olan *Brassicaceae* familyası, dünya genelinde yayılmış olup 325 cinse ait 3740 tür içermektedir (Al-Shehbaz, 2012, Kiefer ve diğerleri 2014, Hohmann ve diğerleri 2015). Familyanın üyeleri en çok Güneybatı Asya'da yayılarak özellikle Türkiye ve İran-Turan bölgesinde çeşitlilik göstermektedir (Koch & Kiefer 2006, Franzke ve ark. 2009, 2011, Karl ve Koch 2013). Bu familyanın kullanım alanlarına bakıldığında gıda amaçlı (yağ ve sebze) ve yakıt (biyodizel) üretme amaçlı kullanımı yaygındır (Mao vd. 2012). Bunlara ek olarak familya üyelerinin genetik ve moleküler çalışmalarda tercih edildiği görülmektedir. Familya üyeleri ağır metal toplayıcı olmaları ve bu metallere tolerans duymaları açısından biyolojinin birçok alanında kullanılmaktadır. *Brassicaceae* familyasının yağ elde edilen bitkileri dendiği zaman ilk akla gelen şüphesiz *Brassica* cinsi olacaktır. Yağ elde etmek üzere bu cins ile birlikte *Erucastrum*, *Diptotaxis*, *Hirschfeldia*, *Eruca*, *Sinapis*, *Sinapidendron*, *Coincya*, *Raphanus* ve *Trachystoma* cinslerine özel önem verilmektedir (Gómez-Campo, 1999). Bazı bitki baharatlarının içeriği ve karışımı göz önüne alındığında *Brassicaceae* familyası tohumlarının, 7000 yıl öncesine kadar kullanımı ve ekimi yapıldığı görülmektedir (Yan, 1990; Watson ve Preedy, 2011). Familya içerisindeki büyük çeşitliliğe rağmen, sadece birkaç cinste yer alan üyeler insanlar tarafından tüketilmektedir (JARC, 2004). Bunlara ek olarak bu familya üyelerinden olan *Alyssum*, *Thlaspi*, *Arabidopsis* ve *Brassica* cinsleri ağır metal

toplayıcılarındandır (Anjum vd., 2012) ve bu özelliklerinden dolayı çevre dostu olarak görülebilirler. Brassicaceae familyası üyelerinden olan, *Arabidopsis thaliana* ve *Brassica* türleri tanınmış model bitkiler olup modern bitki biyolojisinin hemen her alanında bilgi kaynağı olmuşlardır (Anjum vd., 2012).

Taxonomisi

Brassica cinsi dünyada yaklaşık 40 türle temsil edilmekte olup (Zhou, 2001) bu cinsin içerisinde bulunan bazı türlerin diploid veya amfidiploid karyotip özelliklerine sahip olduğu bilinmektedir (Anjum vd., 2012). *Brassica* cinsinin iki alt cinse ait 7 sectionu (*Brassica*, *Rapa*, *Micropodium*, *Brassicoides*, *Sinapistrum*, *Brassicaria* ve *Nasturtiops*) bulunmaktadır (Gómez-Campo, 1999).

Brassica cinsinin genel özelliklerine bakıldığı zaman *Brassicaceae* familyasının genel özellikleri yanı sıra;

Otsu bitkiler olup iki veya çok yıllık olabildikleri gibi nadiren tabanda odunsulaşan çalimsı formlarına da rastlanmaktadır. Genellikle basit tüylülerdir veya çıplaktırlar. Glaukos durum sıklıkla görülmektedir. Gövde düz veya yanlara meyilli olarak çıkar. Genellikle dallanmış bir yapı gösterir. Taban yapraklar saplı basit düz veya derin parçalanmıştır. Gövde yaprakları saplı veya değil, gövdeyi saran bir yapı gösterebilir (aurikül). Çiçeklerde brakte olmaz ve infloresans uzama eğilimindedir. Meyve sapı yatay, gövdeye yaslanmış veya sarkık olabilmektedir. Petaller, sarı, beyaz veya pembe renkli

olabilir. Ovuller 4-50 arası değişmekte olup meyve (*siliqua*) genellikle açılan tiptedir. *Siliqua* köşeli, düz veya segmentli olabilir. Meyvede bazen ikinci bir sap görülebilir. Meyve gaga (ek meyve) yapısından büyüktür. Gagada tohum yoktur veya en fazla 3 tohum bulunur. *Sitillus* genellikle belirgin, *stigma capitata*, düz veya iki loblu. Tohumlarda kanat bulunmaz, çoğunlukla uniseriat özellik gösterip genellikle yuvarlaktır. Tohumlar musilajlı olabilir. *Kotiledonlar conduplicat* yapıdadır.

Özelliklerine sahiptir.

Türkiye’de yayılış gösteren *Brassica* türlerinin *Brassica* L. ve *Brassicaria* (Godr.) Gómez-Campo olmak üzere iki altcins altında toplandıkları ve bu iki altcinsine ait altı sectiona ayrıldıkları görülmektedir. Türkiye toplamda 9 *Brassica* türüne ev sahipliği yapmaktadır (Tablo 1). *B. beytepeensis* Yıld. ve *B. elongata* Ehrh. subsp. *duralii* Yıld. gibi son yıllarda yeni taxon olarak sunulan bitkilerin ise polimorfizm gösteren *B. elongata*’nın varyasyonları oldukları düşünülmektedir.

Tablo 1: Türkiye’de bulunan *Brassica* türlerinin sectionlara göre dağılımı (Gómez-Campo, 1999’dan uyarlanmıştır.)

| Subgenus | Sections | Species |
|---|--------------------------------------|---|
| <i>Brassica</i> L. | <i>Brassica</i> L. | <i>B. oleracea</i> L. <i>B. cretica</i> Lam. |
| | <i>Rapa</i> (Miller) | <i>B. rapa</i> L. |
| | Salmeen | <i>B. napus</i> L. <i>B. juncea</i> (L.) Czern. |
| | <i>Micropodium</i> DC. | <i>B. nigra</i> (L.) Koch |
| | <i>Brassicoides</i> Boiss. | <i>B. deflexa</i> Boiss. |
| | <i>Sinapistrum</i> Willkomm | <i>B. tournefortii</i> Gouan |
| <i>Brassicaria</i> (Godr.) Gómez- Campo | <i>Brassicaria</i> (Godr.) Cosson | <i>B. elongata</i> Ehrh. |

Türkiye’de Bulunan *Brassica* Türlerine Ait Cins Anahtarı

Türkiye’de yayılış gösteren *Brassica* türlerinin yazar tarafından oluşturulmuş güncel anahtarı aşağıda verilmiştir. Bu anahtarda başlıca ayırt edici özelliklere bakıldığında; gövde yaprağının aurikülat durumu, meyve üzerinde segmentler, meyvenin dört köşe olması (*B. nigra*), meyve sapı uzunluğu, meyve sapının durumu (*B. deflexa*), gaga uzunluğu, çiçeklerdeki tomurcuklanma hali (*B. napus* ve *B. rapa*) ve meyvede ikinci bir sapın varlığı (*B. elongata*) dikkat çekicidir.

Ayrıca belirgin bir şekilde çok yıllık olan ve dolayısıyla gövdesi diğer türlere göre kalınlaşmış olan türümüz ise *B. cretica*'dır.

1. Gövde yaprakları auriculat, gövdeye sarılmış en azından kordat veya tabana doğru daralmaz (Şekil 1)

2. Gövde nerdeyse 1 cm çapında, gövde yapraklarında belirgin bir auriculatlık yok. En azından tabana doğru daralmaz (**2. *B. Cretica***)

2. Gövde kalın değil, gövde yaprakları belirgin olarak auriculat

3. Bitki, güçlü bir kültür bitkisidir. Gövde yapraklarının 1/5'inden fazlası gövdeyi sarmaz. Flament ve stamenler tabanda kıvrılmamış düz çıkar. Top lahana, kara lahana, brokoli, karnabahar gibi varyeteleri mevcuttur (**1. *B. Oleracea***)

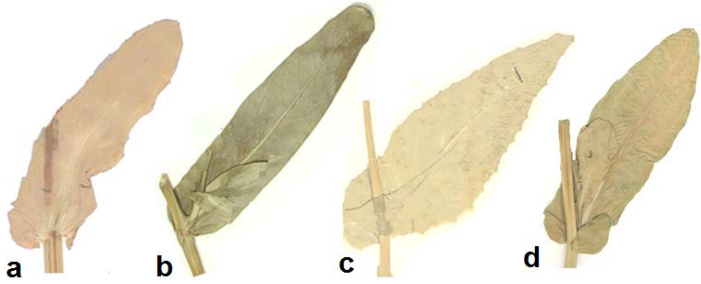
3. Bitkinin genellikle kültür alanlarının dışına çıktığı görülür (yabanileşmiş olabilir). Gövde yapraklarının 2/5'si veya fazlası gövdeyi sarar. Flament ve stamenler tabanda kıvrılmıştır.

4. Yapraklar glaucous, tomurcuklar çiçekleri hafifçe geçer, petal açık sarı veya kirli sarı (Şekil 2) (**4. *B. Napus***)

4. En azından taban yaprakları yeşil, çiçekler tomurcukları bariz bir şekilde geçer, petal parlak veya koyu sarı (Şekil 2) (**3. *B. Rapa***)

1. Gövde yaprakları yukarıdaki gibi değil, en azından yaprak tabanı giderek daralmıştır

5. Pedicel genellikle sepallere eşit veya daha kısadır; meyve sarkık ve adpressed.
6. Meyve belirgin bir şekilde dört köşeli, 15 mm kadar. Gövdeye yaslanmış, meyve sapı erect (Şekil 3) (**6. B. Nigra**)
6. Meyve dört köşeli değil, enine yuvarlağımsı, 30 mm'den uzun. Genellikle sarkık, meyve sapı esnek (Şekil 3) (**7. B. Deflexa**)
5. Pedicel genellikle sepallerden daha uzun; meyve horizontal, nadiren adpressed.
7. Meyvedeki gaga 10 mm'nin üzerinde (**8. B. Tournefortii**)
7. Meyvedeki gaga 10 mm'nin altında
8. Meyvedeki gaga 3 mm, meyvede ikinci bir sap var (**9. B. Elongata**)
8. Meyvedeki gaga 5 – 10 mm, meyvede ikinci bir sap yok (**5. B. Juncea**)



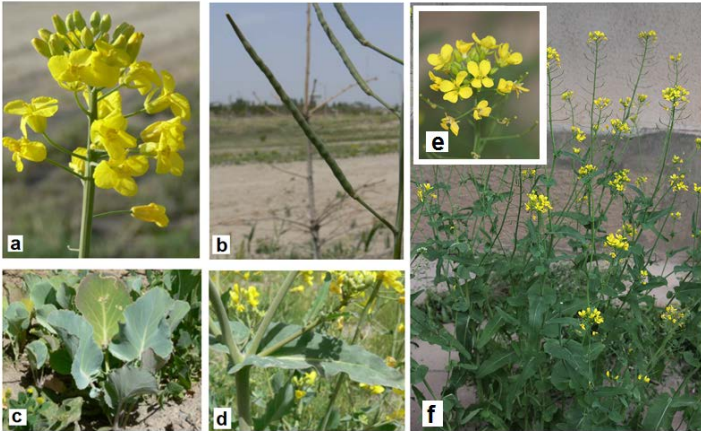
B. oleraceae (Url-1)

B. cretica
(Url-2)

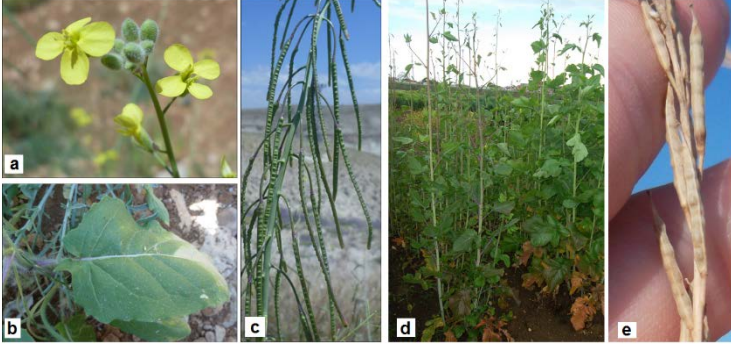
B. rapa
(Url-3)

B.
napus
(Url-4)

Şekil 1. *Brassica* türlerindeki gövde yaprağın aurikulatlığı.



Şekil 2. *B. napus* (Van): a. çiçek, b. meyve, c. taban yapraklar, d. Gövde yaprağı; *B. rapa* (Bayburt): e. çiçek, f. genel görünüm

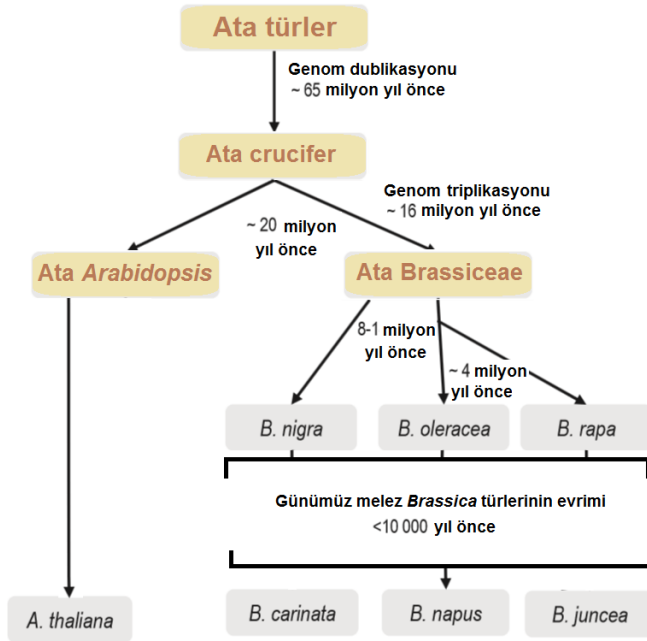


Şekil 3. *B. deflexa* (Malatya): a. çiçek, b. taban yapraklar, c. meyve; *B. nigra* (Kırklareli): d. genel görünüm, e. meyve.

ORİJİN VE ISLAHI

Brassica cinsi Brassicaceae familyası üyelerinden olan *Arabidopsis thaliana* ile yakın akrabadır ve bu akrabalıkları 20 milyon yıl öncesine dayanmaktadır (Yang vd., 1999; Bowers vd., 2003). *A. thaliana*, en az son dört yüzyıldır botanikçiler tarafından bilinmekte olup yaklaşık son yüzyıl boyunca deneysel araştırmalarda kullanılmaktadır (Redei, 1992). 1907 yılında Laibach *A. thaliana*'nın kromozomlarının küçük oluşunu ve sayısını *Brassica* cinsi ile kıyaslayarak *A. thaliana*'nın kromozom sayısının ($2n = 10$) olduğu belirtmiştir (Laibach, 1907). Ayrıca *A. thaliana*'nın çiçekli bitkiler arasında en az kromozoma sahip olmasının (Sparrow vd., 1972; Leutwiler vd., 1984) yanı sıra tekrarlayan DNA dizileri içermesi sebebiyle (Pruitt ve Meyerowitz, 1986) genetik ve moleküler çalışmalarda model olması kaçınılmaz bir hal almıştır (Meyerowitz ve Pruitt, 1985). *A. thaliana*'nın çok fazla araştırılmış ve çalışılmış bir bitki olması, diğer bitkilerin evrimine ve genomlarındaki değişime ışık tutmaktadır. Özellikle *Brassica* cinsinin genom ve evriminin anlaşılmasında *A. thaliana*'nın katkısı büyük olmuştur. Filogenik araştırmalar (Şekil 4), *Brassica* türlerinin 8 milyon yıl önce (Lysak vd., 2005), rapa/oleracea ve nigra soyundan geldiğini göstermektedir (Warwick ve Black, 1991). Son yapılan çalışmalarda ise *Brassica* genomlarının dublikasyonlardan oluştuğunu (Lagercrantz ve Lydiate, 1996) ve *B. nigra* ve *A. thaliana*'nın kromozomları incelenince meydana gelen dublikasyonların sonradan düzenlemelerle bazı kısımlarının kaybolduğu belirlenmiştir (Lagercrantz, 1998). *B.*

oleracea'nin DNA sekansları üzerinde yapılan çalışmalara bakıldığında *A. thaliana*'ya göre genlerde kapsamlı düzenlemelere rastlanmıştır (Gao vd., 2004). *Brassica* genom evrimini açıklamak için tetraploid veya duplika segmentler içeren bir atanın olduğunu gösteren birçok alternatif hipotez geliştirilmiştir (Lukens vd., 2004).



Şekil 4. Günümüz *Brassica* türlerinin *A. thaliana* ile olan akrabalığı ve evrimsel gelişimi (OECD (2016)'dan uyarlanmıştır).

Akdeniz havzasında yetişen ve bir Atlantik bitkisi olan *B. oleracea*, çok sayıda birbiriyle ilişkili türe sahiptir. Hepsinin de kromozon sayısı $n = 9$ olarak görülmektedir. *B. oleracea*'nin yabani tipine sadece Avrupa Atlantik kıyıları boyunca rastlanmaktadır. Bu yabani tip genellikle *B. oleracea* var. *sylvestris* L. olarak isimlendirilir. Bu varyeteyi dünyanın geri kalan kısımlarında kültür formlarından ayırmak oldukça zordur. Dolayısıyla morfolojik olarak ayırt etmek zordur (Gustafsson & Lann-Herrera, 1997) çünkü muhtemelen kültür formlarının ekim alanlarında kaçan bireylerinin yabanileşmiş formlarıdır. *B. oleracea*'nin 4 bin yıl önce ıslah edildiği ve ilk varyetelerinin yaprakları sıklaşmamış lahana (top lahana formunda olmayan) ve kara lahana (kale) olduğu bilinmektedir (Chiang vd., 1993; Herve, 2003). Ülkemizde *B. oleracea*'nin kültür formları mevcuttur. Bu bitkinin varyeteleri incelendiği zaman; top lahana, Brüksel lahanası, karnabahar, brokoli, alabaş (kohlraabi) ve karalahana (kale) bulunmaktadır. Bu varyeteleri sırasıyla üç grup altında toplamak mümkündür;

Yaprak dönüşümüne bağlı olarak; Top lahana (cabbage): Karakteristik olarak bitki yaprakları toplaşmış bir yapı oluşturur. Birçok yaprak incelik yassılaşılarak bu yapıyı sarmaktadır. Kırmızılahana olarak bilinen formu (*B. oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) ise daha küçük olup salatalara renk vermesi için kullanılan bir bitkidir. Brüksel lahanasında bu toplaşmalar yaprak aksillerinde meydana gelmektedir.

İnfloresans dönüşümüne bağlı olarak; Karalahana (kale): Bir ana gövde üzerinde bulunan büyük yapraklı bir bitkidir. Bu büyük yaprakların kullanımı yaygındır. Bazı uç varyetelerde aşırı büyük veya kıvrırcık yapraklı olanları da mevcuttur. Karalahananın infloresansında meydana gelen sıklaşma ve daralma sonucunda karnabahar ve brokoli varyeteleri elde edilir.

Gövde dönüşümüne bağlı olarak; Alabaş (kohlrabi): Alabaş varyetesinde gövde çok fazla şekilde kalınlaşmıştır. Bu gövdeler yemeklerde ve salatalarda kullanılır.

Tablo 2: *B. oleracea*'ye ait varyetelerin gösterimi (Kumar vd., 2015'ten uyarlanmıştır)

| Bilimsel Adı | İngilizce Adı | Türkçe Adı |
|-------------------------------------|------------------|------------------|
| <i>B. oleracea. var. acephala</i> | Kale | Kara Lahana |
| <i>B. oleracea. var. capitata</i> | Cabbage | Top Lahana |
| <i>B. oleracea. var. gemmifera</i> | Brussels sprouts | Brüksel lahanası |
| <i>B. oleracea. var. botrytis</i> | Cauliflower | Karnabahar |
| <i>B. oleracea. var. gongylodes</i> | Kohlrabi | Alabaş |
| <i>B. oleracea. var. italica</i> | Broccoli | Brokoli |

B. napus yani kanola (kolza) ise bir amfidiploid olarak *B. oleracea* x *B. rapa* hibriti olacağı düşünülmektedir (Gómez-Campo, 1999). Kanola, dendiği zaman ilk akla gelen tür *B. napus*'tur, bu bitkinin dünya çapında yağ bitkisi olarak kullanımı yaygındır (Snowdon vd., 2007). *B. rapa* L. (syn. *B. campestris*)'nın, doğal olarak Batı Akdeniz bölgesinden Orta Asya'ya doğru yayılmış olduğu düşünülmektedir ve bu alan boyunca halen mevcuttur (Gómez-Campo & Prakash, 1999). Geniş kapsamlı özellikleriyle ve yabancılaşma yönüyle muhtemelen ilk ıslah edilen *Brassica* türüdür. Birkaç bin yıl önce Batı Akdeniz bölgesinden Orta Asya'ya kadar yayılış alanı içerisinde, köklerinden şalgam, yapraklarından ve genç çiçeklerinden sebze ve tohumlarından yağ elde edilmiş olması muhtemeldir (Gómez-Campo & Prakash, 1999).

Hindistan'da, *B. juncea*'ya ait tarihsel izlere, arkeolojik kazı bölgelerinde rastlanmış olup M.Ö. 2300 yıl öncesine kadar dayanmaktadır (Prakash ve Hinata, 1980). Ayrıca Çin'de de *B. juncea*'nın uzun bir geçmişi vardır (Chen, 1982). Yaygın olarak Hint Hardalı olarak bilinen *B. juncea*, Hindistan Yarımadası'nda yetişen dominant bir türdür. Asıl üretim amacının yağlık tohum verimi olduğu bilinmektedir (Mustard Crop Survey Report 2014-15). *B. juncea*, amfidiploid olup *B. rapa* x *B. nigra* melezidir. Güney Asya ve Çin'de sebze ve hardal çeşni olarak kullanılmakta olup dünyanın başka yerlerinde ise önemli bir yemeklik yağ kaynağıdır (Gómez-Campo, 1999).

B. carinata, ise bir amfidiplloid olarak *B. oleracea* x *B. nigra* melezi olması muhtemeldir. *B. carinata*'nın Etiyopya'da yerel olarak yetiştirildiği ve burada geniş bir kullanım yelpazesine (yağ, baharat ve tıbbi gibi) sahip olduğu bilinmektedir (Gómez-Campo, 1999). Dolayısıyla bitkinin ıslah edilme amacının başında bu çok yönlü kullanımı olduğu düşünülmektedir (Astley, 1982; Riley ve Belayneh, 1982).

Akdeniz'e özgü bir bitki olan *B. nigra*'nın, tarihsel açıdan, esasen yaygın olmadığı, nadir şekilde ticari ekiminin yapılmış olduğu ve daha çok yabancı popülasyonlardan toplandığı görülmektedir (Kumar vd., 2015). Hipokrat M.Ö. 480'de bu türün kullanımından bahsetmektedir (Gómez-Campo & Prakash, 1999). *Hirschfeldia incana* ($n = 7$) hardalının "nigra" soyu için bir ata olabileceği düşünülmekte olup özellikle meyvedeki gaganın boş olması bu kanıyı güçlendirmektedir (Gómez-Campo & Prakash, 1999).

B. elongata ise Avrupa Florası'na göre, Güneydoğu Avrupa ve Asya'ya özgü bir bitkidir (Tutin ve ark. 1964; Roux ve Guende, 1995). Yani bitki, Güney Rusya, Ukrayna ve Orta Asya Cumhuriyetlerinin yanı sıra Türkiye ve İran'a kadar bir yayılmıştır. *B. deflexa* türünün Türkiye Florası'na göre; Suriye çölü, Türkiye, Irak, Arabistan, İran, Afganistan ve Pakistan'da yayılışı bulunmaktadır (Hedge, 1965). *B. tourneforti* ise "nigra" soyundan geldiği tespit edilmiştir (Gómez-Campo & Prakash, 1999). *B. rapa* ve *B. olerace*'nin kültür bitkisi olarak kullanılan diğer *Brassica* türlerinin teşhinde büyük önem taşıdığı kabul edilmektedir.

SİTOGENETİK

Bitkiler aleminde kromozom sayısında değişimler görölmektedir. Bu değişimlerden biri sde kromozom sayılarının katlar halinde artması durumudur. Kromozom sayısında medya gelen değişimler çoğu canlı için ölümcül olsa da bitkiler için yeni taksonların oluşmasını sağlayan bir mutasyon mahiyetindedir. Bu mutasyonlardan biri de poliploididir. Poliploidi bitkiler aleminin angiosperm (kapalı tohumlu)'lerde yaygın olarak görölmektedir (Leitch ve Bennett, 1997). Bu durum bitkilerin genom evriminin anlaşılmasında anahtar rol oynamaktadır (Wendel, 2000). Brassicaceae familyası içerisinde *Brassicaceae* soyu, monofiletik bir gruptur (Warwick and Black, 1997). 1934'lerde başlayan sitogenetik çalışmalar ile *Brassica* cinsine ait kromozom tipleri ve satellit sayıları gibi durumlar açıklanmaya çalışılmıştır (Banga vd., 2015).

Tarım bitkilerinde, büyük ve iri yapılı bitkiler yerine, bakımının kolay olması açısından, bodur bitkiler daha avantajlıdır. Küçülmüş bitkiler kısa boylu, güçlü saplara sahip olduğundan daha yüksek azotlu gübreler uygulanabilmektedir. Dolayısıyla bu bodur bitkiler yüksek bir hasat indeksine ve adaptasyonuna sahiptir. Bu bağlamda cücelik genlerinin tahıl ürünlerine eklenmesi büyük önem kazanmıştır. Bu durum yeşil devrimin başarılı olmasında oldukça etkilidir (Khush, 2001). Gama ışınları kullanılarak elde edilen *B. napus*'a ait mutasyonlarının da boylarının kıaldığı ve yan dallarının arttığı dolayısıyla üstün verimliliğin sağlandığı görölmüştür (Khatri vd., 2005; Mei vd., 2006). Benzer şekilde gama ışınlarıyla

meydana getirilen mutasyonlar neticesinde meyve açısının raseme yakınlaştırılması (adpressed, *B. nigra* gibi) sonucunda afitlerin büyümesini yavaşlamaktadır (Jambhulkar, 2015). Böylece bitki ilaç kullanılmadan zararlıdan korunmaktadır. Ayrıca *B. napus*'un geniş bir genetik çeşitliliğe sahip olmasından dolayı kültür ve ıslah çalışmalarında kullanılması isabetlidir (Özbek ve Gıdık, 2013). Bir başka mutasyonda ise kök morfolojisinin değişimiyle kuraklığa toleranslı genotiplerin oluşturulması sağlanabilmektedir (Jambhulkar, 2015). *B. rapa*'nın gama ışınları ve ethyl-methanesulfonate (EMS)'ye maruz kalması sonucunda kök uzunluğunun ve büyüklüğünün arttığı gözlemlenmiştir (Basak ve Prasad, 2004). Böylelikle nispeten kurak alanlarda da bitkinin tarımının yapılmasına olanak sağlanmıştır.

TÜRKİYE'DE BULUNAN *BRASSICA* TÜRLERİNE AİT KROMOZOM SAYILARI

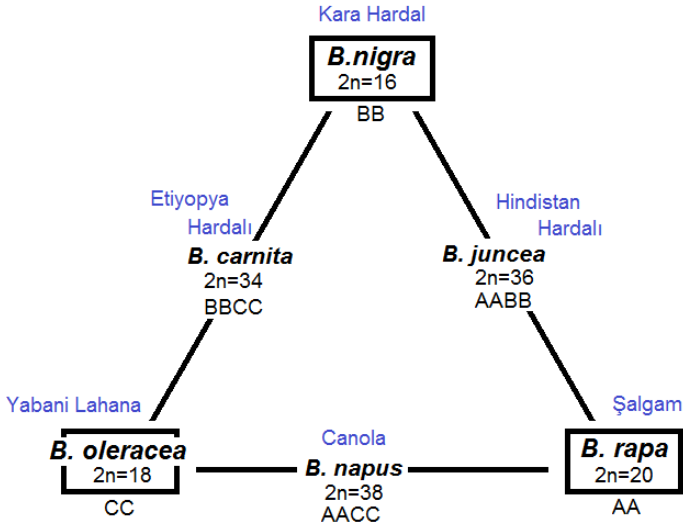
Türkiye’de yayılışı bulunan *Brassica* türleri incelendiği zaman en az kromozom sayısına sahip olan türün *B. deflexa* olduğu, en fazla kromozoma sahip olan türün ise *B. napus* olduğu görülmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Türkiye’de bulunan *Brassica* türlerinin kromozom sayıları

| Brassica Türleri | Kromozom Sayıları | Referans |
|------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <i>B. deflexa</i> Boiss. | n =7 | Warwick & Black,1991 |
| <i>B. nigra</i> (L.) Koch | n =8 | Quiros vd., 1988 |
| <i>B. oleracea</i> L. | n =9 | Vyas vd., 1995 |
| <i>B. cretica</i> Lam. | n =9 | Inomata, 1986 |
| <i>B. tournefortii</i> Gouan | n =10 | Mattsson, 1988 |
| <i>B. elongata</i> Ehrh. | n =11 | Harberd and McArthur, 1980 |
| <i>B. rapa</i> L. | n =10 | Takahata & Hinata, 1983 |
| <i>B. napus</i> L. | n =19 | Kerlan vd., 1993 |
| <i>B. juncea</i> (L.) Czern. | n = 18 | Vyas vd., 1995 |

MELEZLEME

Dünyada ticareti yapılan *B. juncea* (L.) Czern. türünün Davis'in (1965-1985) editörlüğünde yazılan Türkiye ve Doğu Ege Adaları Florası (Flora of Turkey and The East Aegean Islands) isimli eserde yer almadığı görülmektedir. *B. juncea*, amfidiploid olup *B. rapa* x *B. nigra*, hibritidir. Tıpkı *B. juncea* gibi diğer melez amfidiploid bireyler de mevcuttur. Bu bireylerin meydana gelişini U (1935) üçgeninde sunmak daha açıklayıcı olacaktır (Şekil 1). Bu üçgen kenarlarında oluşan melezler dikkate alındığında Etiyopya Hardalı yani *B. carnita*'nın da ülkemizde bulunması ve yabancı habitatlara uyum sağlamış olması oldukça olasıdır. *B. carnita*'nın *B. nigra* ve *B. olerace*'nin amfidiploidi olması ve nihayetinde *B. carnita*'yı oluşturacak *B. nigra* ve *B. olerace*'nin ülkemizde bulunması bu durumu mümkün kılacaktır. *B. carnita*'nın doğal bir hibrit olması bu kanıyı güçlendirmektedir (Kumar vd., 2015). Tarımın hızla geliştiği günümüzde *B. carnita*'nın da ülkemize getirilmesi veya yabancı tohum olarak bulunması da mümkündür.



Şekil 5. U'nun farklı *Brassica* türleri arasındaki ilişkiyi gösteren üçgen (U, 1935).

KİMYASAL KOMPOZİZYONU

Brassica cinsine ait sebze olarak kullanılan bitkilerin; vitamin, mineraller ve liflere ek olarak oldukça fazla sayıda yeni fitokimyasal maddeler içermektedirler (Steinmetz & Potter, 1996). *Brassica* cinsi, yağ eldesi bakımından palmiye ve soya yağından sonra dünyadaki üçüncü önemli yağ kaynağıdır (Anjum vd., 2012). *B. juncea*'nın nerdeyse %98'ine yakını yağ asitlerinden oluşmuş olup geriye kalan kısımlarının ise hidrokarbonlar, steroller, tokoferoller, gliko ve fosfolipitler yanı

sıra tarpinlerden oluştuğu görülmektedir (Sutariya vd., 2011). Besin açısından bakıldığında *Brassica* türleri A ve C vitaminleri bakımından zengin olup çeşitli biyoaktif maddelerin de kaynağıdır (Agnihotri, 2015). *Brassica* cinsi, ağır metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde umut vericidir. Çünkü bu cins iyi bir ağır metal (Cd, Cu, Ni, Pb, U ve Zn gibi) toplayıcısı olup bu metallere karşı dayanıklılığı da mevcuttur (Kumar vd., 1995). Ayrıca *Brassica* türlerinin toksik metallerle karşı toleransı fazla bitkiler geliştirmek için doku kültürü ve transformasyon teknikleri kullanılmaktadır (Palmer vd., 2001). Hatta bazı *B. juncea* soyları topraktaki kurşunu fazlaca toplamak üzere geliştirilmiştir (Kumar vd., 1995).

Fenolik bileşikler, bitkiler aleminde yaygın olarak bulunmaktadır. Moleküler yapısı incelenince fenol benzen halkasına hidroksil grubu (OH-) molekülünün bağlanmasıyla oluştuğu görülmektedir. Brassicaceae familyasının fenolik kompozisyonuna bakıldığında özellikle sebze olarak tüketilen bitkilerin, flavonoidler ve flavonoller içerdiği bilinmektedir. Bunların başlıcaları kamferol, kuersetin ve bunlardan türetilen (sinapik asit gibi) bileşikler olduğu görülmüştür (Cartea vd., 2011). Bu fenolik bileşiklerin insan solunum sistemi hastalıklarından sorumlu olan *Staphylococcus aureus*, *Enterobacter faecalis*, *Bacillus subtilis* ve *Moraxella catarrhalis* gibi bakterileri öldürdüğü (antibakteriyel) belirlenmiştir (Ayaz vd., 2008). Fenolik bileşiklerin iltihaplı hastalıkların iyileşmesini sağladığı ve kalp krizi riskini düşürücü etkisi de bulunmaktadır (Tsao, 2010; Manach, 2005).

Brassicaceae familyasına özgü olarak bulunan acı ve keskin tatlarıyla (Herr ve Büchler, 2010) tanınan glukozinolatlar (GLS) bitkiyi kanserden ve yaralanmalardan korumanın yanı sıra en çok çalışılan biyoaktif bileşiklerdendir (Fimognari ve Hrelia, 2007). GLS'nin yapısı incelendiğinde β -D-tiyoglukoz grubu ve bir yan zincir olarak ise fenilalanin, metionin, triptofan veya dallı-zincirli aminoasitlerden oluştuğu görülmektedir (Çelik ve Köksal, 2013). *Brassica* türlerinde 30'dan fazla GLS bulunmakta (Fahey vd., 2001) olup bu GLS'lerden, Allyl (Sinigrin)'in *B. juncea*, *B. nigra* ve *B. oleracea* türlerinde; 3-Butenyl (Glukonapin)'in *B. rapa* ve *B. juncea* türlerinde; 2-Hydroxy-3-butenyl (Progoitrin) *B. napus* ve *B. oleracea* türlerinde bulunduğu bilinmektedir (Agnihotri, 2015). Bunlara ek olarak 4-Pentenyl (Glucobrassica-napin), 2-Hydroxy-4-pentenyl (Napoleiferin), 3-Indolyl-methyl (Glucobrassicin) ve 4-Hydroxy-3-indolylmethyl (4-Hydroxyglu-cobrassicin) GLS'lerin tüm *Brassica* türlerinde yaygın olarak bulunmaktadır (Agnihotri, 2015).

Brassica cinsinin en yaygın yağ bitkileri *B. rapa* (%41,4), *B. napus* (%40,6) ve *B. juncea* (%39,5)'dir (Raid vd., 2018). Yağda bulunan asitler incelendiği zaman genellikle baskın asitlerin; palmitik asit (C16:0), stearik asit (C18:0), oleik asit (C18:1), linoleik asit (C18:2), linolenik asit (C18:3), Eikosenoik asit (C20:1) ve erusik asit (C22:1) olduğu görülmektedir. Türkiye'de bulunan *Brassica* türlerinin baskın yağ asidi içeriği ve oranlarına bakıldığında tüm türlerde erusik asit miktarının yüksek oranda bulunduğu görülmektedir (Tablo 4). En yüksek erusik asit oranının sırasıyla *B. oleracea* (%58,9), *B. cretica*

(%56,1) ve *B. rapa* (%50,0)'dır. Sadece *B. napus* türünde ise oleik asidin %38,0 oranında baskındır.

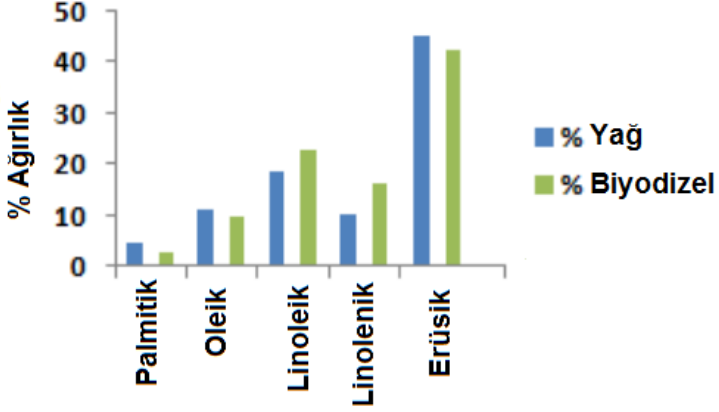
Tablo 4. Türkiye’de bulunan *Brassica* türlerinin baskın yağ asidi içeriği ve oranları.

| Brassica Türleri | Baskın Yağ Asidi | Kaynak |
|------------------------------|-------------------------|-------------------|
| <i>B. deflexa</i> Boiss. | Erüsik asit %27,0 | Casadei vd., 2012 |
| <i>B. nigra</i> (L.) Koch | Erüsik asit %44,3 | Velasco vd., 1998 |
| <i>B. oleracea</i> L. | Erüsik asit %58,9 | Velasco vd., 1998 |
| <i>B. cretica</i> Lam. | Erüsik asit %56,1 | Appelqvist, 1971 |
| <i>B. tournefortii</i> Gouan | Erüsik asit %32,0 | Casadei vd., 2012 |
| <i>B. elongata</i> Ehrh. | Erüsik asit %39,2 | Velasco vd., 1998 |
| <i>B. rapa</i> L. | Erüsik asit %50,0 | Rai vd., 2018 |
| <i>B. napus</i> L. | <u>Oleik asit %38,0</u> | Rai vd., 2018 |
| <i>B. juncea</i> (L.) Czern. | Erüsik asit %49,4 | Rai vd., 2018 |

Erüsik asit Brassicaceae familyası üyelerinde yüksek oranlarda (%60'lara kadar) bulunmakta olup (CONTAM, 2016) özellikle *Brassica* türlerine özgüdür. Bu yağ asidi birçok besin grubunda bulunmaktadır (CONTAM, 2016).

Alternatif yakıt üretimine bağlı olarak; biyodizel üretebilmek için, yüksek oranda erüsik asit içeren bitkiler önemli bir yere sahiptir. Bu bağlamda *Brassica* türlerinin önemi anlaşılmaktadır. Bello ve arkadaşlarının (2019) yaptıkları çalışmada *Brassica* tohumlarının yağ asidi içeriklerinin ve de özellikle erüsik asit oranının biyodizel ile paralellik gösterdiğini

tespit etmişlerdir (Şekil 6) ve bu sonuçların benzer çalışmalarla paralellik gösterdiğini belirtmişlerdir (Bello vd., 2019).



Şekil 6. *B. juncea*'ya ait yağ asidi içeriklerinin biyodizel ile karşılaştırılması (Bello vd., 2019)

SONUÇ

İnsanoğlunun geçmişten günümüze ıslah ettiği bitkilerden bazılarının da *Brassica* türleri olduğu görülmektedir. *Brassica* cinsi dünyada yağ üretimi açısından oldukça önemlidir. Bunun yanı sıra ağır metal toplayıcısı olması sebebiyle çevre dostu bitkilerdir. Bu cinse ait bitkilerde meydana getirilen mutasyon seçeneklerini yüksek verim alınabilmektedir. Özellikle tohumlarda bulunan erusik asit düzeyi biyodizel üretimini mümkün kılacak seviyelerdedir. Yine diğer yağ asidi oranları da insan sağlığını olumlu etkilemektedir. Ülkemizde yabani türlerinin de yer aldığı *Brassica* cinsi, birçok alanda maddi katkılar sağlayabilecek potansiyelindedir. Cinsin yabani, kültür, melez ve yabanileşmiş türlerinin bulunması genetik çalışmalarda ayrı bir öneme sahiptir. Özellikle cinsin tanınmış türlerinde (*B. oleracea* gibi) tekrarlayan DNA sekansları, bitki evrimine ışık tutmaktadır. Dünyada en fazla üzerinde çalışılan bitkilerden olan *A. thaliana* ve *Brassica* türlerinin ülkemizde doğal yayılışı bulunmaktadır. Doğal olarak ülkemizde bulunan bu bitkilerin kültüre alınıp tarımının yapılmasında yüksek verim elde etmenin mümkün olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Agnihotri, A. (2015). 5 Seed Quality Modifications in Oilseed Brassicas. *Brassica Oilseeds: Breeding and Management*, 68.
- Al-Shehbaz, I.A. (2012) A generic and tribal synopsis of the Brassicaceae (Cruciferae). *Taxon* 61: 931–954.
- Anjum, N. A., Gill, S. S., Ahmad, I., Pacheco, M., Duarte, A. C., Umar, S., ... & Pereira, M. E. (2012). The plant family Brassicaceae: An introduction. In *The plant family Brassicaceae* (pp. 1-33). Springer, Dordrecht.
- Appelqvist, L. A. (1971). Lipids in Cruciferae: VIII. The fatty acid composition of seeds of some wild or partially domesticated species. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 48(11), 740-744.
- Astley, D. (1982) Collecting in Ethiopia. *Cruciferae Newsletter* 7, 3–4.
- Ayaz, F. A., Hayırlıoğlu-Ayaz, S., Alpay-Karaoğlu, S., Grúz, J., Valentová, K., Ulrichová, J., & Strnad, M. (2008). Phenolic acid contents of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.) extracts and their antioxidant and antibacterial activities. *Food Chemistry*, 107(1), 19-25.
- Banga, S., Kumar, P.R., Bhajan, R., Singh, D. & Banga S. S. (2015). *Genetics and Breeding. in Brassica oilseeds: Breeding and management*. CABI.
- Basak, S. and Prasad, C. (2004) Screening for root mutant in turnip (*Brassica rapa* L.). *Cruciferae Newsletter* 25, 9–10.

- Bello, E. I., Ayodeji, O. Z., Ogunbayo, S., & Bello, K. (2019). Characterization and Glycerine Analysis of Mustard (*Brassica juncea* L.) Seed Oil and Biodiesel. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 1-8.
- Bowers, J. E., Chapman, B. A., Rong, J., & Paterson, A. H. (2003). Unravelling angiosperm genome evolution by phylogenetic analysis of chromosomal duplication events. *Nature*, 422(6930), 433.
- Cartea, M. E., Francisco, M., Soengas, P., & Velasco, P. (2011). Phenolic compounds in Brassica vegetables. *Molecules*, 16(1), 251-280.
- Casadei, N., Cinti, S., Matteo, R., Iori, R., Lazzeri, L., Malaguti, L., ... & De Nicola, G. R. (2012, November). Characterization of the main glucosinolate content and fatty acid composition in non-food Brassicaceae seeds. In VI International Symposium on Brassicas and XVIII Crucifer Genetics Workshop 1005 (pp. 331-338).
- Chen, S. R. 1982. The origin and differentiation of mustard varieties in Chi- na. *Cruciferae Newsl.* 7, 7-10.
- Chiang, M.S., Chong, C., Landry, R.S. and Crete, R. (1993) Cabbage *Brassica oleracea* subsp. *Capitata*. In: Kallou, G. and Bergh, B.O. (eds) *Genetic Improvement of Vegetable Crops*. Pergamon Press, Oxford, UK, pp. 113–155.
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), Knutsen, H. K., Alexander, J., Barregård, L., Bignami, M., Brüschweiler, B., ... & Hogstrand, C. (2016). Erucic acid in feed and food. *EFSA Journal*, 14(11), e04593.

- Çelik, F., & Köksal, G. (2013). Kanser ve Sülfurafan. Beslenme ve Diyet Dergisi, 41(3), 266-273.
- Davis P.H. (Ed.) 1965-1985. Flora Of Turkey And The East Aegean Islands, Vol. 1-9, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh.
- Fahey, J.W., Zalcmann, A.T. and Talalay, P. 2001. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry* 56:5-51.
- Fimognari, C., & Hrelia, P. (2007). Sulforaphane as a promising molecule for fighting cancer. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 635(2-3), 90-104.
- Franzke, A., German, D., Al-Shehbaz, I.A. & Mummenhoff, K. (2009) *Arabidopsis* family trees: molecular phylogeny and age estimates in Brassicaceae. *Taxon* 58: 425–437
- Franzke, A., Lysak, M.A., Al-Shehbaz, I.A., Koch, M.A. & Mummenhoff, K. (2011) Cabbage family affairs: the evolutionary history of Brassicaceae. *Trends in Plant Science* 16: 108–116.
- Gao, M.Q., Li, G.Y., Yang, B., McCombie, W.R., and Quiros, C.F. (2004). Comparative analysis of a Brassica BAC clone containing several major aliphatic glucosinolate genes with its corresponding Arabidopsis sequence. *Genome* 47, 666–679.
- Gómez-Campo, C., & Prakash, S. (1999). 2 Origin and domestication. In *Developments in plant genetics and breeding* (Vol. 4, pp. 33-58). Elsevier.

- Gustafsson, M. and Lann-r-Herrera, C. 1997. Overview of the Brassica ole- racea complex: their distribution and ecological specifications. In: Vald~s, B., Heywood, V., Raimondo, F. M. and Zohary, D. (eds.), Proc.of three workshops on "Conservation of the wild relatives of Eu- ropean cultivated plants". *Boccone* 7, 27-37.
- Harberd, D. J. and McArthur, E. D. 1980. Meiotic analysis of some species and genus hybrids in the Brassiceae. In: Tsunoda, S., Hinata, K. and G6mez-Campo, C. (eds.), *Brassica crops and wild allies. Bio- logy and breeding*, Japan Sci. Soc. Press, Tokyo, pp. 65-87.
- Hedge, I.C. 1965. Brassica R. Br., In: *Flora of Turkey and the east Aegean Islands*. (Ed.): P.H. Davis. 1: 263-266, Edinburgh, Univ. Press.
- Herr, I., & B6chler, M. W. (2010). Dietary constituents of broccoli and other cruciferous vegetables: implications for prevention and therapy of cancer. *Cancer treatment reviews*, 36(5), 377-383.
- Herve, Y. (2003) Choux. In: Pitrat, M. and Foury, C. (eds) *History de legumes, des origins al'oree du XXI siecle*. INRA, Paris, pp. 222–234.
- Hohmann, N., Wolf, E., Lysak, M. & Koch, M.A (2015) A Time-Calibrated Road Map of Brassicaceae Species Radiation and Evolutionary History. *The Plant Cell* 27 (10): 2770–2784. <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.15.00482>

- IARC (International Agency for Research on Cancer). 2004. IARC Handbooks of Cancer Prevention. Cruciferous Vegetables, Isothiocyanates and Indoles. Vol. 9. IARC Press: Lyon.
- Inomata, N. 1986. Interspecific hybrids between *Brassica campestris* and *B. bourgaei* by ovary culture in vitro. *Cruciferae Newsl.* 11, 14-15.
- Jambhulkar, S. J. (2015). 4 Induced Mutagenesis and Allele Mining. *Brassica Oilseeds: Breeding and Management*, 53.
- Karl, R. & Koch, M.A. (2013) A world-wide perspective on crucifer speciation and evolution: phylogeny, biogeography and trait evolution in tribe Arabideae. *Annals of Botany* 112 (6): 983–1001.
- Kerlan, M. C., Chevre, A. M. and Eber, F. 1993. Interspecific hybrids between a transgenic rapeseed (*Brassica napus*) and related species; cytogenetical characterization and detection of the transgene. *Genome* 36, 1099-1106.
- Khatri, A., Khan, I.A., Siddiqui, M.A., Raza, S. and Nizamani, G.S. (2005) Evaluation of high yielding mutants of *Brassica juncea* cv. S-9 developed through gamma rays and EMS. *Pakistan Journal of Botany* 37, 279–284.
- Khush, G. S. (2001). Green revolution: the way forward. *Nature reviews genetics*, 2(10), 815.
- Kiefer, R.M., Schmickl, R., German, D., Lysak, M., Al-Shehbaz, I.A., Franzke, A., Mummenhoff, K., Stamatakis, A. & Koch, M.A. (2014) BrassiBase: Introduction to a Novel Knowledge

Database on Brassicaceae Evolution. *Plant Cell and Physiology* 55 (1): e3.

Koch, M. & Kiefer, C. (2006) Molecules and migration: biogeographical studies in cruciferous plants. *Plant Systematics and Evolution* 259 (2–4): 121–142.

Kumar, A., Salisbury, P. A., Gurung, A. M., & Barbetti, M. J. (2015). 1 Importance and Origin. *Brassica Oilseeds: Breeding and Management*, 1.

Kumar, P. N., Dushenkov, V., Motto, H., & Raskin, I. (1995). Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental science & technology*, 29(5), 1232-1238.

Lagercrantz, U. (1998). Comparative mapping between *Arabidopsis thaliana* and *Brassica nigra* indicates that *Brassica* genomes have evolved through extensive genome replication accompanied by chromosome fusions and frequent rearrangements. *Genetics* 150, 1217–1228.

Lagercrantz, U., and Lydiate, D. (1996). Comparative genome mapping in *Brassica*. *Genetics* 144, 1903–1910.

Laibach, F. (1907). Zur Frage nach der Individualität der Chromosomen im Pflanzenreich.. (Doctoral dissertation).

Leitch LJ, Bennett MD (1997) Polyploidy in angiosperms. *Trends Plant Sci* 2:470–476

Leutwiler, L. S., Hough-Evans, B. R., & Meyerowitz, E. M. (1984). The DNA of *Arabidopsis thaliana*. *Molecular and General Genetics MGG*, 194(1-2), 15-23.

- Lukens, L.N., Quijada, P.A., Udall, J., Pires, J.C., Schranz, M.E., and Osborn, T.C. (2004). Genomeredundancyand plasticity within ancient and recent Brassica crop species. *Biol. J. Linn. Soc.* 82, 665–674.
- Lysak, M.A., Koch, M.A., Pecinka, A., and Schubert, I. (2005). Chromosome triplication found across the tribe Brassiceae. *Genome Res.* 15, 516–525.
- Manach, C., Williamson, G., Morand, C., Scalbert, A., & Rémésy, C. (2005). Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *The American journal of clinical nutrition*, 81(1), 230S-242S.
- Mao S, Han Y, Wu X, An T, Tang J, Shen J & Li Z (2012). Comparative genomic in situ hybridization analysis of the genomic relationship among *Sinapis arvensis*, *Brassica rapa* and *Brassica nigra*. *Hereditas (Lund)* 149(3): 86-90
- Mattsson, B. 1988. Interspecific crosses within the genus *Brassica* and some related genera. *Sveriges Utsadesforenings Tidskrift* 98, 187-212.
- Mei, D.S., Wang, H.Z., Li, Y.C., Hu, Q., Li, Y.D. and Xu, Y.S. (2006) The discovery and genetic analysis of dwarf mutation 99CDAM in *Brassica napus* L. *Yi Chuan* 28, 851–857.
- Meyerowitz, E. M., & Pruitt, R. E. (1985). *Arabidopsis thaliana* and plant molecular genetics. *Science*, 229(4719), 1214-1218.
- OECD (2016), “Brassica crops (*Brassica* species)”, in *Safety Assessment of Transgenic Organisms in the Environment*,

Volume 5: OECD Consensus Documents, OECD Publishing, Paris. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264253018-6-en>

Özbek, Ö., & Gıdık, B. (2013). Genetic diversity in commercial rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties from Turkey as revealed by RAPD. *Notulae Scientia Biologicae*, 5(1), 114-119.

Palmer CE, Warwick SI, Keller W (2001) Brassicaceae (Cruciferae) family, plant biotechnology, and phytoremediation. *Int J Phytorem* 3:245–287

Prakash, S. and Hinata, K. (1980) Taxonomy, cytogenetics and origin of crop brassicas, a review. *Opera Botanica* 55, 1–57.

Pruitt, R. E., & Meyerowitz, E. M. (1986). Characterization of the genome of *Arabidopsis thaliana*. *Journal of molecular biology*, 187(2), 169-183.

Quiros, c. F., Ochoa, O. and Douches, D. S. 1988. Exploring the role of $n = 7$ species in Brassica evolution: Hybridization with *B. nigra* and *B. oleracea*. *J. Hered.* 79, 351-358.

Rai, G. K., Bagati, S., Rai, P. K., Rai, S. K., & Singh, M. (2018). Fatty Acid Profiling in Rapeseed Mustard (*Brassica* species). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(5), 148-157.

Rédei, G. P., & Koncz, C. (1992). Classical mutagenesis. In: C. Koncz, N.-H. Chua, and J. Schell, eds. *Methods in Arabidopsis research*. World Scientific, Singapore; pp. 16-82.

Retail Research Mustard Crop Survey Report (2014-15).
Disclaimer:http://www.religareonline.com/research/Disclaimer/Disclaimer_rcl.html

- Riley, K.W. and Belayneh, H. (1982) Report from an oil crop collection trip in Ethiopia. *Cruciferae Newsletter* 7, 5–6.
- Roux, J. P. and Guende, G. 1995. *Brassica elongata* Ehrh. subsp, *integrifolia* (Boiss.) Breistr., taxon retrouvé pour la flore de France. *Le Monde des Plantes* 452, 24-26.
- Snowdon R, Lühs W, Friedt W. 2007. Oilseed rape. E. Kole (Ed.), *Series Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, Volume 2, Oilseeds*. Springer, Berlin, pp. 55–114.
- Sparrow, A. H., Price, H. J., & Underbrink, A. G. (1972). A survey of DNA content per cell and per chromosome of prokaryotic and eukaryotic organisms: some evolutionary considerations. In *Brookhaven symposia in biology* (Vol. 23, p. 451).
- Steinmetz KA, Potter JD. 1996. Vegetable, fruit and cancer epidemiology. *Cancer Causes Control*. 2: 325-351.
- Sutariya, D.A., Patel, K.M., Bhadauria, H.S., Vaghela, P.O., Prajapati, D.V. and Parmar, S.K. (2011) Genetic diversity for quality traits in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Journal of Oilseed Brassica* 2(1), 44–47.
- Takahata, Y. and Hinata, K. 1983. Studies on cytodemes in the subtribe Brassicinae. *Tohoku J. Agric. Res.*, 33, 111 -124.
- Tsao, R. (2010). Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients*, 2(12), 1231-1246.
- Tutin, T. G., V. H. Heywood, N. A. Burges, D. H. Valentine, S. M. Walters, and D. A. Webb. 1964. *Flora Europaea*. Cambridge Univer. Press, Cambridge, U.K.

- U, N. (1935) Genome analysis in Brassica with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. Japan Journal of Botany 7, 389–452.
- Url-1 https://www.europeana.eu/portal/en/record/11651/_Botany_L_3251313.html?q=brassica+oleracea#dcId=1572772495827&p=13
- Url-2 https://www.europeana.eu/portal/en/record/11603/ZOBODAT_LANDOOE_AUSTRIA_100294409.html?q=brassica+cretica#dcId=1572772495827&p=2
- Url-3 https://www.europeana.eu/portal/en/record/11656/Botany_U_1164376.html?q=brassica+rapa#dcId=1572772495827&p=32
- Url-4 https://www.europeana.eu/portal/en/record/11614/_K_Herbarium_K000914162.html?q=brassica+napus#dcId=1572772495827&p=2
- Velasco, L., Goffman, F. D., & Becker, H. C. (1998). Variability for the fatty acid composition of the seed oil in a germplasm collection of the genus *Brassica*. Genetic Resources and Crop Evolution, 45(4), 371-382.
- Vyas, P., Prakash, S. and Shivanna, K. R. 1995. Production of wild hybrids and backcross progenies between *Diplotaxis erucoides* and crop brassicas. Theor. Appt. Genet. 90, 549-553.
- Warwick, S. I., & Black, L. D. (1991). Molecular systematics of *Brassica* and allied genera (subtribe Brassicinae, Brassiceae)—chloroplast genome and cytodeme congruence. Theoretical and Applied Genetics, 82(1), 81-92.

- Watson, R. R., & Preedy, V. R. (2011). *Bioactive foods and extracts: Cancer treatment and prevention*. CRC Press.
- Wendel, J.F. 2000. Genome evolution in polyploids. *Plant Mol. Biol.* 42: 225–249.
- Yan, Z. (1990) Overview of rapeseed production and research in China. *Proceedings of the International Canola Conference Potash and Phosphate Institute, Atlanta, Georgia*, pp. 29–35.
- Yang, Y.W., Lai, K.N., Tai, P.Y., and Li, W.H. (1999). Rates of nucleotide substitution in angiosperm mitochondrial DNA sequences and dates of divergence between Brassica and other angiosperm lineages. *J. Mol. Evol.* 48, 597–604.
- Zhou, T. Y. (2001). Brassicaceae. *Flora of China*, 8, 1-193.

BÖLÜM 2:
BİYOSORPSİYON VE ATIKSULARDAN AĞIR METAL
GİDERİMİ

Dr. Öğr. Üyesi Sinan KUL¹
Dr. Öğr. Üyesi Fatma EKMEKYAPAR TORUN²
Dr. Öğr. Üyesi Züleyha BİNGÜL³

¹ Bayburt Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, sinankul@bayburt.edu.tr

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, fyapar@atauni.edu.tr

³ Iğdır Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, zuleyha.bingul@igdir.edu.tr

GİRİŞ

Ülkemizde 2872 nolu çevre kanunu'nda da (değişik: 26/4/2006-5491/2 md.) Verildiği üzere canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde buldukları biyolojik, fiziksel, sosyal, ekonomik ve kültürel ortam çevre olarak adlandırılmaktadır (Anonim, 1983). Çevre kirliliği ise özellikle son yüzyıl içerisinde dünya nüfusunun hızla artması, insanların yaşam standartlarının yükselerek ihtiyaçlarının çeşitlenmesi ve bunun sonucunda da sanayileşmenin hız kazanması gibi nedenlerle içinde yaşadığımız çevre hızla tahrip olması olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2019).

Çevre kirliliğini kirletilen ortamlar dikkate alındığında genel olarak hava, su ve toprak kirliliği olarak üç grupta incelenmek mümkün olup doğal kaynakların insanlar tarafından aşırı ve yanlış kullanılmasıyla ekolojik dengenin bozulmasıyla birlikte hava, su ve toprak gibi alıcı ortamlarda geri dönüşümü mümkün olmayacak şekilde tahribatlar meydana gelmektedir. Dahası atıkların arıtılmadan ve kontrolsüzce alıcı ortamlara verilmesi sonucu oluşan çevre kirliliği, insanların yanı sıra bütün canlıları etkilemekte, çevrenin ve canlıların çeşitli şekilde zarar görmesine ve birçok canlı türünün yok olmasına sebep olmaktadır. Kirlenen kaynakların yeniden doğal haline dönüştürülmesi çoğu zaman kirlenmenin önlenmesinden daha zor ve pahalı olmaktadır.

Bu süreçte çevre kirliliğinin önüne geçilebilmesi için, nüfus artışının ve aşırı tüketimin kontrol altına alınması, kaynakların daha verimli kullanılması ve atıkların tekrar kullanım imkanlarının geliştirilmesi gerekmektedir (Ekmekyapar Kul et al., 2016; Ekmekyapar, 2009; Karpuzcu, 2012).

Ekosistemin en temel kaynağı olarak kabul edilen su insan faaliyetleri ile doğrudan tehdit altında olup çoğunlukla insan eliyle suyun fiziksel kimyasal veya biyolojik özelliklerinde meydana gelen olumsuz değişiklik su kirliliği olarak adlandırılmaktadır. Su kirliliğinin kaynakları ise evsel/endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan katı veya sıvı atıklar, tarımsal ilaçlar, bilinçsiz gübre kullanımı, hayvansal atıklar, toksik maddeler ve ağır metaller olarak sıralanabilmektedir (Çınar, 2008). Su kirliliğinin başlıca sebepleri biyolojik ve kimyasal faktörlerdir. Biyolojik faktörler yeraltı ve yüzey sularında bulunabilen patojen mikroorganizmalar, kimyasal faktörler ise evsel ve endüstriyel atık sular, tarım ilaçları vb. parametrelerdir. Bu faktörlerin su ortamında bulunması gerek su ortamında bulunan canlılar gerekse su ortamından faydalanan canlılar için ciddi sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Dökmeci, 1999).

AĞIR METALLER

Ağır metaller, suya kıyasla nispeten yüksek yoğunluğa sahip metalik elementler olarak tanımlanabilmektedirler (Tchounwou et al., 2012). Günümüzde özellikle sanayi, madencilik ve ulaşım faaliyetleri ağır metal kirliliğinin en önemli sebepleri arasında yer almakta olup canlılar üzerinde toksik etki göstermektedirler (Järup, 2003; Yavuz and Sarıgül, 2016). Fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm³'ten daha yüksek olan 70'e yakın metal, ağır metal olarak kabul edilmektedir (Kahvecioğlu et al., 2003). Son 50 yıl içerisinde yaygın olarak kullanılmakta olan ağır metal terimi için literatürde kesin bir tanım bulunmamakla birlikte ağır metaller ve oluşturdukları bileşiklerin yüksek derecede toksik veya ekotoksik olduklarını varsayma eğilimi bulunmaktadır (Duffus, 2002). Ağır metal olarak adlandırılan metaller, periyodik tablonun 3. ve 16. gruplardaki tüm metallerin 3. ve daha büyük periyotlardaki bir bloğunu içerisinde bulunmakta olup, periyodik tabloda geçiş ve ara geçiş metalleri olarak bilinen metallerdir (Hawkes, 1997). Aslında literatüre çevre kirliliği ile girmiş olan ağır metal terimi kirlenme ve toksisite bakımından bir yan anlam olarak kullanılmakta olup Fe, Mn, Zn, Cu, V, Mo, Co, Ni, Cr, Pb, Be, Cd, Tl, Sb, Se, Sn, Ag, As, Hg, Al en önemli ağır metaller arasında yer almaktadır (Okcu et al., 2009; Yıldız, 2004).

Ağır metaller insanlar tarafından uzun yıllardan beri yapı materyali, taşıma boruları, gıda pişirme ve saklama kapları gibi örnekleri çoğaltılabilecek farklı amaçlarla kullanılmış, fakat sanayi devrimiyle birlikte kullanımındaki ciddi artış sonucunda yüksek miktarlarda ki ağır metallerin doğal kaynaklara karışmasına neden olmuştur. Günümüzde ağır metal kirliliği en önemli çevre sorunları arasında kendine yer edinmiş, endüstri kaynaklı atık sularda ağır metallerin toksik derişimlerinin varlığı önemli çevre problemlerini de beraberinde getirmektedir. Ağır metaller çevreye yüzeysel ve yeraltı suları ve atmosferden taşınarak sucul ortamlara ulaşmakta ve ilk olarak sedimentlerde birirmektedirler. Sedimentlerin adsorpsiyon kapasitelerinin aşılması ile birlikte sucul ortamlarda birikime ve yayılmaya devam etmektedirler. Bu metaller içerisinde özellikle kurşun, kadmiyum civa ve arsenik gibi ağır metaller insanlar ve diğer canlılar üzerinde olumsuzluklara neden olmaktadır. Ağır metallere maruz kalan insanlarda toksik zehirlenmeler, böbrek yetmezliği, akciğer problemleri, baş ve karın ağrısı şikayetleri, sindirim sistemi rahatsızlıkları, kanser vb. hastalıklar gelişebilmektedir (Järup, 2003; Özbolat and Tuli, 2016; Yavuz and Sarıgöl, 2016). Bazı ağır metaller ve sebep oldukları rahatsızlıkların br kısmı Çizelge 1’de gösterilmektedir (Bođa, 2007; Güven et al., 2004; Kahvecioğlu et al., 2003; Kartal et al., 2004; Özbolat and Tuli, 2016).

Çizelge 1. Bazı ağır metaller ve sebep oldukları hastalıklar

| Ağır Metaller | Sebepl Olduğu Hastalıklar |
|---------------|--|
| Civa (Hg) | Aşırı sinirlilik, unutkanlık, güçsüzlük, görme bozuklukları, el, kol, bacaklar ve başta titremeler, böbrek yetmezliği, karaciğer işlev bozukluğu, sinir sistemi, cilt, solunum sistemi, kardiyovasküler sisteminde işlev bozuklukları vb. |
| Kurşun (Pb) | Solunumun ve normal işlevlerin bozulması, anemi, duyu ve motor sinir iletim hızında yavaşlama, saldırgan ve anti sosyal davranışlar, zeka geriliği, hafıza kaybı, öğrenme sorunları, yüksek tansiyon, kemik tümörleri, kolik karın ağrısı, hiperspermi, teratospermi ve hipogonadizm vb. |
| Bakır (Cu) | Kolik karın ağrısı, anemi, öğrenme bozukluğu, hipertansiyon, hipospermi, Wilson hastalığı, cilt ve kemik kusurları vb. |
| Arsenik (As) | Endokrin bozuklukları, kanser, kangren, cilt kanseri, beyin ve kalp dışında damar rahatsızlıkları vb. |
| Kadmiyum (Cd) | Prostat, deri, akciğer, özofagus, burun kanseri vb. |
| Nikel (Ni) | Trakea tahrişi, immünolojik değişim, silia aktivitesi ve immünite baskısında azalma gibi anormal fonksiyonlar, allerjik deri hastalıkları, astım, burun ve gırtlak kanserleri vb. |
| Kobalt (Co) | Akciğer kanseri, mitokondriyal DNA hasarı, kronik bronşit, tümör oluşumu, kanser vb. |
| Çinko (Zn) | Sindirimde sıkıntı, ishal, mide bulantısı, karın ağrısı, uyuşukluk, kas fonksiyonlarında düzensizlik, yazmada zorluk çekme vb. |
| Krom (Cr) | Astım, kan dolaşım sistemi ve sinir sistemi hasarı, deride iritasyon, ülser, böbrek ve karaciğerde hasar vb. |
| Antimon (Sb) | Mide kasılmaları, mide ağrıları, kusma, deride kızarıklık ve açılan yaralar, kalp ritminin bozulması ve sinir sistemi üzerinde düzeltilemez tahribatlar vb. |
| Berilyum (Be) | Beril hastalığı, göğüs ve eklem ağrıları, aşırı kilo kaybı vb. |
| Selenyum (Se) | Saç kaybı, tırnak morfolojisinde değişim, ishal, merkezi sinir sisteminde bozukluklar (felç, parestezi ve hemiflegi), böbrek ve karaciğer hasarları, iştahsızlık, baş ağrısı, selenyum nezlesi vb. |
| Tellür (Te) | Ağızda kuruluk, mide bulantısı vb. |

Ağır metaller insanlar üzerine olduğu gibi diğer canlılar üzerinde de olumsuz etkilere sahiptirler. Mikroorganizmaların yapılarını bozarak yaşam süreçlerinin olumsuz etkilenmesine sebep olmalarının yanısıra mikroorganizmaların ölümü, biyoçeşitliliğin bozulması ve türlerin tamamen ortadan yok olması gibi tehditlere sebep olmaktadır (Yavuz and Sarıgl, 2016).

AĞIR METALLERİN DEŞARJ KAYNAKLARI

Ağır metaller olarak bilinen metaller çevreye farklı endüstri, maden vb. kaynaklardan yayılmaktadırlar. Örneğin kadmiyum şarj edilebilir nikel-kadmiyum pillerde, civa diş tedavisinde, kurşun madencilik ve kazı faaliyetlerinde, arsenik döküm faaliyetlerin yaygın olarak kullanılıp çevreye yayılmakta olup, izelge 2’de ağır metallerin çevreye yayılmasında etkili olan endüstriyel faaliyetler görölmektedir (Kahvecioğlu et al., 2003; Yavuz and Sarıgöl, 2016).

Çizelge 2. Ağır Metallerin evreye Yayılmasında Etkili Olan Endüstriler

| | Cd | Cr | Cu | Hg | Pb | Ni | Sn | Zn |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Kağıt Endüstrisi | - | + | + | + | + | + | - | - |
| Petrokimya Endüstrisi | + | + | - | + | + | - | + | + |
| Klor-Alkali Üretimi | + | + | - | + | + | - | + | + |
| Gübre Endüstrisi | + | + | + | + | + | - | + | + |
| Demir-elik Endüstrisi | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Termik Santraller | + | + | + | + | + | + | + | + |

AĞIR METALLERİN ÇEVRE ÜZERİNE ETKİLERİ

Endüstriyel atıksular, ulaşım araçları, tarımsal ilaçlar vb. etkenler gerek içerdikleri toksik kimyasallar gerekse ağır metal iyonları nedeniyle günümüzde en önemli çevre sorunları arasında yer almaktadırlar.

Atmosferde, toprakta ve su ortamlarında bulunabilen ağır metaller, düşük konsantrasyonlarda bulunmaları halinde bile insan ve diğer canlıların sağlığına zarar vermekte, hastalıklara ve hatta ölümlere yol açabilmektedir. Ağır metal iyonlarının alıcı su ortamına ulaşmasıyla sucul yaşam büyük ölçüde etkilemesinin yanısıra su ortamından bu ağır metallerin uzaklaştırılması da çok yüksek maliyetler gerektiren arıtma tekniklerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Dahası bu metallerin atıksularda bulunması atıksu arıtma tesislerinin arıtma verimini de etkilemekte, sonuç olarak oluşacak çamurun özellikle tarımsal amaçlı kullanımını imkansız hale getirmektedir. Bu sebepler hem doğayı korumak adına, hemde arıtma tesislerinin daha verimli çalışması adına ağır metal içeren atıksuların Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde de verilen sınır değerlerin altına düşürülerek kanalizasyon sistemine deşarj edilmesini gerekli kılmaktadır (Anonim, 2004; Ekmekyapar, 2009).

ATIKSULARDAN AĞIR METALLERİN GİDERİMİ İÇİN GELENEKSEL YÖNTEMLER

Sulu çözeltilerden ağır metallerin giderimi ve geri kazanımı için birçok etkili, hızlı ve ekonomik metot kullanılmıştır (Hamutoğlu et al., 2012). Atık sulardan ağır metallerin uzaklaştırılması için kullanılan bu metotlar; kimyasal koagülasyon (Chareerntanyarak, 1999), ultrafiltrasyon (Barakat and Schmidt, 2010; Landaburu-Aguirre et al., 2009), ters osmoz (Shahalam et al., 2002), nanofiltrasyon (Figoli et al., 2010), elektrodiyaliz (Sadrzadeh et al., 2009), adsorpsiyon (Üçer et al., 2006) ve biyosorpsiyon (Ekmekyapar Kul et al., 2016) olarak sıralanabilir. Bu yöntemlerin kendi aralarında birçok avantajları ve dezavantajları olup bunlar Çizelge 3'te detaylı olarak verilmiştir (Hamutoğlu et al., 2012).

Çizelge 3. Geleneksel Ağır Metal Giderme Yöntemlerinin Avantaj Ve Dezavantajları

| Yöntem | Avantajları | Dezavantajları |
|--|--|--|
| Elektrokimyasal Yöntemler | Metal Geri Kazanımı | Yüksek Maliyet |
| Kimyasal Çöktürme Ve Filtrasyon | Uygulaması Kolay Düşük Maliyet | Atık Çamur Oluşumu Düşük Etkinlik |
| İyon Değişimi | Yüksek Etkinlik Metal Geri Kazanımı | Reçineleri Pahalı Partiküllere Karşı Hassas |
| Buharlaştırma | Saf Metal Geri Kazanımı | Yüksek Maliyet Yüksek Enerji Gereksinimi |
| Ters Osmoz | Saf Metal Geri Kazanımı | Yüksek Maliyet Yüksek Basınç Gereksinimi |

Sulu çözeltilerden ağır metaller çevresel açıdan toksisitenin azaltılması ve ekonomik değeri olan metallerin geri kazanımı amacıyla uzaklaştırılmaktadır. Bu amaçla sulu çözeltilerden ağır metal gideriminde Çizelge 3.3’de de görülebileceği üzere çoğunlukla ikincil arıtmalar gerektiren yöntemler kullanılmaktadır. Son yıllarda, ekonomik, etkili ve güvenli teknolojiler geliştirme adına çalışmalar yoğunlaşmış ve biyosorpsiyon prosesi önem kazanmıştır (Ekmekyapar, 2009).

Biyosorpsiyon prosesi özetle, ölü biyokütlenin hücre duvarı elemanları tarafından pasif olarak alınması olayı olup ağır metallerin arıtılmasında son yıllarda kullanılan ucuz ve alternatif bir prosestir (Beolchini et al., 2001).

BİYOSORPSİYON

Biyosorpsiyon, maddelerin çözeltilerden organik, inorganik ve gaz halinde, çözünür veya çözünmez formlarda biyolojik materyal ya da biyokütle kullanılarak çıkarılması olarak tanımlanabilir. Biyosorpsiyon prosesi fiziko-kimyasal bir proses olup adsorpsiyon, iyon değişimi ve çökeltme gibi mekanizmaları bünyesinde barındırır. Biyosorpsiyon, etkinliği, basitliği, geleneksel iyon değişimi teknolojisine benzerliği, biyokütlenin ucuz ve kolay bulunabilirliği gibi nedenlerden dolayı önemli bir proses olarak biyoteknolojik prosesler arasında kendine yer bulmuştur (Gadd, 2009).

Ağır metal iyonlarının giderilmesinin amaçlandığı bir biyosorpsiyon prosesini kısaca açıklamak gerekirse, katı (sorbent) ve sıvı (solvent) olmak üzere iki fazdan oluşmaktadır. Sıvı faz ağır metal iyonları gibi çözünmüş türleri içermektedir. Ağır metaller katı fazın daha yüksek çekiciliğinden dolayı katı faza çekilip bu faza bağlanırlar ve denge kuruluncaya kadar proses bu şekilde biyosorpsiyona devam eder.

Biyosorpsiyon çalışmalarının çoğunda pratik olarak tüm biyolojik materyaller ortamdan uzaklaştırılması planlanan ağır metal türleri için yüksek bir afiniteye sahiptir. Literatürde sulu çözeltilerden ağır metallerin giderilmesi için bitki ve hayvan biyokütleleri, atık organik çamurlar ve diğer birçok atık biyokütlenin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır (Gadd, 2009). Bu çalışmaların ışığında Çizelge 4.'de biyosorpsiyon prosesinin avantaj ve dezavantajları verilmiştir (Hamutoğlu et al., 2012; Macaskie and Dean, 1989; Matheickal and Yu, 1997).

Çizelge 4. Biyosorpsiyon Prosesinin Avantaj Ve Dezavantajları

| Avantajları | Dezavantajları |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. Ağır metal giderimi için kullanılacak biyokütle veya biyosorbent temin edilmesi ucuz ve kolaydır.2. Biyosorpsiyon için kullanılacak biyokütlenin yaşamsal fonksiyonu olmadığından üreme parametreleri elimine edilebilir.3. Ağır metallerin biyosorpsiyonu iyon değiştiricilerde olduğu gibi çok hızlı ve verimlidir.4. Biyokütle canlı olmadığından dolayı ağır metallerden kaynaklanabilecek toksisiteden etkilenmezler.5. Biyosorpsiyon prosesi sonunda ağır metallerin geri kazanımı mümkündür.6. Sistem matematiksel olarak modellenerek farklı çalışmalar için yol gösterici olabilir. | <ol style="list-style-type: none">1. Biyokütle çok hızlı bir şekilde ağır metale doymun hale geldiğinden yüksek konsantrasyon içeren atıksularda işleminin devamı için ağır metali biyokütle yüzeyinden desorbe etmek gerekir.2. Biyokütle çökmeyi kolaylaştıran metalin değerliğini değiştirme potansiyeline sahip değildir.3. Biyosorpsiyon prosesi pH değişimlerine duyarlıdır.4. Biyokütle cansız olduğundan organik maddeleri metabolik parçalama kabiliyeti mevcut değildir. |

BİYOSORPSİYONU ETKİLEYEN PARAMETRELER

Biyosorpsiyon prosesinin etkili bir şekilde gerçekleşebilmesi ve süreç içerisinde sulu çözeltilerden ağır metallerin giderilmesi biyosorbentin yüzey alanı ve partikül boyutu gibi parametrelerin yanı sıra diğer birçok faktörün değişimine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Ekmekyapar Kul et al., 2016; Ekmekyapar, 2009; Hamutoğlu et al., 2012).

BİYOSORBENT (BİYOKÜTLE) KONSANTRASYONUNUN BİYOSORPSİYON PROSESİNE ETKİSİ

Biyokütle miktarı, biyosorpsiyon prosesine etki eden en önemli faktörlerden birisidir. Proseste başlangıç ağır metal konsantrasyonlarının sabit kalması şartıyla biyosorbent konsantrasyonunun artması dengede biyosorplanan ağır metal konsantrasyonlarını arttırmaktadır. Buna karşın yapılan çalışmalar birim biyokütle ağırlığı başına biyosorplanan ağır metal konsantrasyonlarının miktarlarında azalma olduğunu açık bir şekilde ortaya koymaktadır (Ekmekyapar Kul et al., 2016).

KARIŐTIRMA HIZININ BİYOSORPSİYON PROSESİNE ETKİSİ

Ağır metallerin biyosorpsiyonunu etki eden bir diğer parametre prosesin gerçekleŐtiđi ortamdaki karıŐtırma hızıdır. Biyosorpsiyon prosesi karıŐtırma hızına bağımlı olup film ya da por difüzyonu ile kontrol edilmektedir. KarıŐtırma iŐlemi ile biyosorbent yüzeyindeki sıvı film kalınlığı artacak ve bu noktada film difüzyonu hızı sınırlandıran etmen olacakken, yeterli bir karıŐım meydana gelebilirse film difüzyon hızı, biyosorpsiyon hızını sınırlandıran por difüzyon noktasına doğru arttıracaktır. Bu noktada por difüzyonu hızı sınırlandırdığından dolayı biyosorpsiyon hızıda belli bir karıŐtırma hızı eŐiđini aŐtıđında yavaŐlayacaktır (Hamutoğlu et al., 2012).

BAŞLANGIÇ AğIR METAL KONSANTRASYONUNUN BİYOSORPSİYON PROSESİNE ETKİSİ

Biyosorpsiyon hızı başlangıç ağır metal konsantrasyonlarının bir fonksiyonu olup, düşük konsantrasyonlarda çözelti içerisinde bulunan bütün ağır metal iyonları biyosorbent yüzeyindeki aktif bağlanma bölgeleri ile etkileŐime girmektedirler. Buna karşın başlangıç ağır metal konsantrasyonlarının artması aktif bağlanma bölgelerinin doğgunluğa ulaŐmasına ve sonuç olarak biyosorpsiyon hızının bu noktada sınırlanmasına sebebiyet vermektedir. Kısaca yüksek başlangıç metal konsantrasyonlarındaki düşük verimin nedeni, adsorpsiyon bölgelerinin doğgunluğa ulaŐmıŐ olmasıdır (Ekmekyapar Kul et al., 2016; Özer et al., 2004).

BAŞLANGIÇ PH DEĞERİNİN BİYOSORPSİYON PROSESİNE ETKİSİ

Ortamın pH değeri sulu çözeltilerde ağır metallerin biyosorpsiyonunu etkileyen önemli parametreler arasında yer almaktadır. Sulu çözeltilerde ağır metallerin biyosorpsiyon miktarı asidik pH değerlerinde genellikle yüksektir (Aksu et al., 1995; Ekmekyapar Kul et al., 2016; Topal et al., 2011).

SICAKLIK

Biyosorpsiyon prosesini etkileyen bir diğer faktörde sıcaklık olarak karşımıza çıkmaktadır. Genellikle biyosorpsiyon prosesi endotermik olarak gerçekleşiyorsa ortam sıcaklıklarındaki artış biyosorpsiyon verimini artırırken, sıcaklıklardaki azalmalar biyosorpsiyon verimini azaltmaktadır. Buna karşın biyosorpsiyon prosesi ekzotermik olarak gerçekleşiyor ise biyosorpsiyon verimi sıcaklıkla ters orantılı olarak azalan sıcaklıkla artacak, artan sıcaklıklarda azalacaktır (Benefield et al., 1982; Deng et al., 2007).

PARTİKÜL BOYUTUNUN BİYOSORPSİYON PROSESİNE ETKİSİ

Biyosorbent ve sıvı faz arasında oluşan yüzey alanı, biyosorpsiyon prosesi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Biyosorpsiyon kapasitesi biyosorbentin toplam yüzey alanına bağımlı olup, partikül boyutu azaldıkça toplam yüzey alanı ters orantılı olarak artacağından dolayı biyosorpsiyon kapasitesi artmakta olup partikül boyutu biyosorpsiyon hızını önemli

ölçüde etkilemektedir. Artan partikül boyutlarında ise kullanılabilir biyosorpsiyon bölgelerinin azalmasına neden olacağından biyosorpsiyon veriminin düşmesine neden olmaktadır (Ekmekyapar Kul et al., 2016).

BİYOSORPSİYONDA KULLANILAN BİYOSORBENTLER VE ÖZELLİKLERİ

Biyosorpsiyon, toksik ağır metalleri sulu ortamdan uzaklaştırmak için yararlanılan ucuz ve ölü biyokütle kullanan yararlı bir prostestir. Proseste kullanılabilcek biyosorbentler ise, doğada bol miktarda bulunan atık biyokütle, yosun ve mantar vb. maddeler kullanılarak hazırlanıp, son kurutma ve granülasyon işleminden önce asit ve ya bazlarla yıkanarak ön işleme tabi tutulur ve kullanıma hazır hale gelirler (Kratochvil and Volesky, 1998). Günümüzde algler, bakteriler, fungiler ve diğer ölü biyokütleler biyosorpsiyon proseslerinde biyosorbent olarak sıklıkla kullanılmakta olup Çizelge 5'te yapılan çalışmalara örnekler verilmiştir.

Çizelge 5. Farklı biyosorbentler kullanılarak ağır metallerin biyosorpsiyonu için yapılmış çalışmalar

| Adsorbent | Ağır metal | q_{max} (mg/g) | References |
|---------------------|------------|------------------|-----------------------|
| Codium vermilara | Kadmiyum | 21,8 | (Romera et al., 2007) |
| | Nikel | 13,2 | |
| | Çinko | 23,8 | |
| | Bakır | 16,9 | |
| | Kurşun | 63,3 | |
| Spirogyra insignis | Kadmiyum | 22,9 | |
| | Nikel | 17,5 | |
| | Çinko | 21,1 | |
| | Bakır | 19,3 | |
| | Kurşun | 51,5 | |
| Asparagopsis armata | Kadmiyum | 32,3 | |
| | Nikel | 17,1 | |
| | Çinko | 21,6 | |
| | Bakır | 21,3 | |
| | Kurşun | 63,7 | |
| Chondrus crispus | Kadmiyum | 75,2 | |
| | Nikel | 37,2 | |
| | Çinko | 45,7 | |
| | Bakır | 40,5 | |
| | Kurşun | 204,1 | |
| Ascophyllum nodosum | Kadmiyum | 87,7 | |
| | Nikel | 43,4 | |
| | Çinko | 42,0 | |
| | Bakır | 58,8 | |
| | Kurşun | 178,6 | |
| Fucus spiralis | Kadmiyum | 114,9 | |
| | Nikel | 50,0 | |
| | Çinko | 53,2 | |
| | Bakır | 70,9 | |
| | Kurşun | 204,1 | |

Çizelge 5. Farklı biyosorbentler kullanılarak ağır metallerin biyosorpsiyonu için yapılmış çalışmalar (Devamı)

| Adsorbent | Ağır metal | q_{max} (mg/g) | References |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Oedogonium sp. | Kurşun | 145,0 | (Gupta and Rastogi, 2008) |
| Nostoc sp. | Kurşun | 93,5 | |
| Lentinus sajor-caju (free) | Krom (VI) | 18,9 | (Arica and Bayramoğlu, 2005) |
| Lentinus sajor-caju (immobilized) | Krom (VI) | 32,2 | |
| Durian shell | Krom (VI) | 117 | (Kurniawan et al., 2011) |
| Oedogonium hatei (raw) | Krom (VI) | 31,0 | (Gupta and Rastogi, 2009) |
| Oedogonium hatei (acid treated) | Krom (VI) | 35,2 | |
| Çay fabrikası atığı | Kurşun | 22,11 | (Ekmekyapar, 2009) |
| Meşe palamudu | Mangan | 13,29 | |

Yapılan çalışmalar ışığında elde edilen sonuçlar ölü biyokütle örneklerinin ağır metal iyonlarının biyosorpsiyonunda etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmektedir. Çizelge 5'te verilen değerler incelendiğinde, çevreye zarar vermeden ölü biyokütle (atık) kullanılarak, ekonomik ve hızlı bir yöntem olan biyosorpsiyon işleminin, ağır metal içeren atıksuların arıtılmasında önemli yararlar sağlayacağı görülmektedir.

KAYNAKÇA

- Aksu, Z., Saç, Y., Nourbakhsh, M., Kutsal, T., (1995). Atıksulardaki Bakır (II), Krom (VI) ve Kurşun (II) İyonlarının Çeşitli Mikroorganizmalara Adsorplanarak Giderilmesinin Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi. Tr. J. of Eng. And Environ. Sciences, 19,285-295.
- Anonim, (1983). Çevre Kanunu, in: Cumhurbaşkanlığı, T.C. (Ed.). Resmi Gazete, Ankara, p. 499.
- Anonim, (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, in: Bakanlığı, T.C.Ç.v.Ş. (Ed.). Resmi Gazete.
- Anonim, (2019). Çevre Kirliliği. Türk Dil Kurumu (TDK), Ankara.
- Arıca, M.Y., Bayramoğlu, G., (2005). Cr (VI) biosorption from aqueous solutions using free and immobilized biomass of *Lentinussajor-caju*: preparation and kinetic characterization. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 253, 203-211.
- Benefield, L.D., Judkins, J.F., Weand, B.L., (1982). Process chemistry for water and wastewater treatment. Prentice Hall Inc.
- Beolchini, F., Pagnanelli, F., Veglió, F., (2001). Modeling of copper biosorption by *Arthrobacter* sp. in a UF/MF membrane reactor. Environmental science & technology 35, 3048-3054.
- Boğa, A., (2007). Ağır Metallerin Özellikleri ve Etki Yolları. Arşiv Kaynak Tarama Dergisi 16.
- Çınar, Ö., (2008). Çevre kirliliği ve kontrolü. Nobel Yayın Dağıtım.

- Deng, L., Su, Y., Su, H., Wang, X., Zhu, X., (2007). Sorption and desorption of lead (II) from wastewater by green algae *Cladophora fascicularis*. *Journal of Hazardous Materials* 143, 220-225.
- Dökmeçi, İ., (1999). Toksikoloji. Nobel Tıp Kitapevleri, İstanbul.
- Duffus, J.H., (2002). " Heavy metals" a meaningless term?(IUPAC Technical Report). *Pure and applied chemistry* 74, 793-807.
- Ekmekyapar Kul, Z., Nuhoglu, Y., Kul, S., Nuhoglu, Ç., Ekmekyapar Torun, F., 2016. Mechanism of heavy metal uptake by electron paramagnetic resonance and FTIR: Enhanced manganese (II) removal onto waste acorn of *Quercus ithaburensis*. *Separation Science and Technology* 51, 115-125.
- Ekmekyapar, Z., (2009). Doğal ve İşleme Tabi Tutulmuş Adsorbentler ile Atık Sulardan Ağır Metal Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 28-35.
- Figoli, A., Cassano, A., Criscuoli, A., Mozumder, M.S.I., Uddin, M.T., Islam, M.A., Drioli, E., (2010). Influence of operating parameters on the arsenic removal by nanofiltration. *Water research* 44, 97-104.
- Gadd, G.M., (2009). Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology* 84, 13-28.
- Gupta, V., Rastogi, A., (2009). Biosorption of hexavalent chromium by raw and acid-treated green alga *Oedogonium hatei* from

- aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials* 163, 396-402.
- Gupta, V.K., Rastogi, A., (2008). Biosorption of lead (II) from aqueous solutions by non-living algal biomass *Oedogonium* sp. and *Nostoc* sp.—a comparative study. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 64, 170-178.
- Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Timur, S., (2004). Metallerin çevresel etkileri-III. *Metalurji Dergisi* 138, 64-71.
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.B., Cansaran-Duman, D., Aras, S., (2012). Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları. *Türkiye Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi* 69, 179-244.
- Hawkes, S.J., (1997). What is a "heavy metal"? *Journal of Chemical Education* 74, 1374.
- Järup, L., (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British medical bulletin* 68, 167-182.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., (2003). Metallerin çevresel etkileri-I. *Metalurji Dergisi* 136, 47-53.
- Karpuzcu, M., (2012). Çevre kirlenmesi ve kontrolü. KUBBEALTI PUBLISHING.
- Kartal, G., Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Timur, S., (2004). Metallerin çevresel etkileri-II. *Metalurji Dergisi* 137, 46-51.
- Kratochvil, D., Volesky, B., (1998). Advances in the biosorption of heavy metals. *Trends in biotechnology* 16, 291-300.

- Kurniawan, A., Sisnandy, V.O.A., Trilestari, K., Sunarso, J., Indraswati, N., Ismadji, S., (2011). Performance of durian shell waste as high capacity biosorbent for Cr (VI) removal from synthetic wastewater. *Ecological Engineering* 37, 940-947.
- Macaskie, L., Dean, A., (1989). Microbial metabolism, desolubilization, and deposition of heavy metals: metal uptake by immobilized cells and application to the detoxification of liquid wastes. *Advances in biotechnological processes* 12, 159.
- Matheickal, J., Yu, Q., (1997). Biosorption of lead (II) from aqueous solutions by *Phellinus badius*. *Minerals Engineering* 10, 947-957.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehlivan, M., (2009). Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. *Alinteri Zirai Bilimler Dergisi* 17, 14-26.
- Özbolat, G., Tuli, A., (2016). Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi* 25, 502-521.
- Özer, A., Özer, D., Özer, A., (2004). The adsorption of copper (II) ions on to dehydrated wheat bran (DWB): determination of the equilibrium and thermodynamic parameters. *Process Biochemistry* 39, 2183-2191.
- Romera, E., González, F., Ballester, A., Blázquez, M., Munoz, J., (2007.) Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae. *Bioresource technology* 98, 3344-3353.
- Sadrzadeh, M., Mohammadi, T., Ivakpour, J., Kasiri, N., (2009). Neural network modeling of Pb²⁺ removal from wastewater

using electrodialysis. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 48, 1371-1381.

Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K., Sutton, D.J., (2012). Heavy metal toxicity and the environment, *Molecular, clinical and environmental toxicology*. Springer, pp. 133-164.

Topal, M., Topal, E.I.A., Aslan, S., (2011). Limon kabuğu kullanarak sulu çözeltilerden Cu (II) giderimi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi* 27, 265-270.

Üçer, A., Uyanık, A., Aygün, Ş., (2006). Adsorption of Cu (II), Cd (II), Zn (II), Mn (II) and Fe (III) ions by tannic acid immobilised activated carbon. *Separation and purification technology* 47, 113-118.

Yavuz, O., Sarıgül, N., (2016). Toprak ve sucul ortamlardaki ağır metal kirliliği ve ağır metal dirençli mikroorganizmalar. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 7, 44-51.

Yıldız, N., (2004). Toprak ve Bitki Ekosistemindeki Ağır Metaller. ZT-531. Yüksek Lisans Ders Notları. Erzurum.

BÖLÜM 3:

**EKONOMİK AÇIDAN ÖNEMLİ OLAN SAFRAN
(*CROCUS SATIVUS* L.) BİTKİSİNİN BİYOAKTİF
ÖZELLİKLERİ**

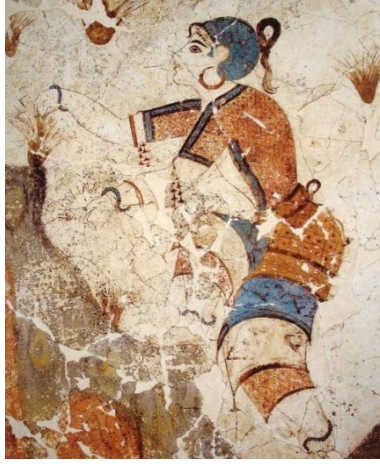
Doç. Dr. Zehra CAN¹
Arş. Gör. Yakup KARA²

¹ Bayburt Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, zehracan61@gmail.com

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, yakupkaraktu.edu.tr

GİRİŞ

Safran, 3000 yıldan beri pek çok uygarlık tarafından bilinen ve kullanılan bir bitkidir. Safran bitkisinin adına ilk defa M.Ö. 7. yy'da yazılan Asurlulardan kalma, Asurbanipalın kaleme aldığı bir botanik kaynakçasında rastlanmıştır (Mousavi ve Bathaie, 2011). Ayrıca Zerdüşt dininde safran çiçeği Zamyad adlı meleğe özgü kabul edilirken, İbrani inancında ise Adem cennetten kovulurken yanına almasına izin verilen birkaç bitki arasında adı geçmektedir (Gezgin, 2010). Eski çağlardan beri pek çok kaynakta adı geçen ve hikayelere konu olan safran, baharat olarak kullanımının yanısıra, boya, parfüm ve şifalı bir bitki olarak da değer taşımaktadır (Mousavi ve Bathaie, 2011).



Şekil 1. Tarihte safran

Crocus sativus L. Iridaceae (Süsengiller) familyasına ait olan, safran adı ile bilinen ve tüm dünyada ve Anadolu'da yaygın bir şekilde baharat olarak kullanılan kıymetli bir bitkidir. Dünyanın pek çok dilinde küçük değişikliklerle kullanılmakta olup, Arapça asıllı zâferân sözü “sarı” anlamına gelmektedir. Bunun yanında, Çince “Fan hung hua”, Fransızca, Almanca ve Türkçe’de “Safran”, Yunanca’da “Zaforá”, Japonca’da da “Safuran” kelimeleri bu bitkiyi tanımlama amacıyla kullanılmıştır (Ceylan, 2005). *Crocus sativus* L.’un stigmaları, kuru stigmalarından elde edilen toz halde baharatı ve bitkinin kendisi safran olarak bilinmektedir. Safranın değerli stigmalarında terpenler, terpenik alkoller, terpen esterleri, krosin, krosetin, pikrokrosin, karotenoitler ve flavonoitler (kersetin ve kemferol) bulunmaktadır (Giaccio, 2004). Safran bitkisi tadını pikrokrosin, kokusunu safranal, rengini ise krosin adı verilen sekonder bileşiklerinden almaktadır. Safran Anadolu’da eski çağlardan beri bilinen ve yaygın bir şekilde yetiştirilen, Osmanlılar döneminde ise yurt dışına bile ihraç edilen bir baharattır. Safran; boya, gıda ve kozmetik gibi çeşitli endüstri dallarında ekonomik olarak geniş kullanım alanının yanı sıra, sahip olduğu önemli farmakolojik etkilerden dolayı da aranan bir tıbbi bitkidir. Bitkinin, yüksek ticari değerine ve kanıtlanmış önemli farmakolojik etkilerine rağmen ülkemizde üretimi giderek azalmakta, bu nedenle kullanım alanları da sınırlı kalmaktadır.



Şekil 2. Safran (*Crocus sativus* L.)

Safran zengin içeriğiyle geleneksel olarak uzun yıllardan beri kullanılmakta ve birçok rahatsızlığa iyi geldiği düşünülmektedir (Abdullaev ve Espinosa-Aguirre, 2004). Antik Akdeniz halkı, parfümcüler, doktorlar, kasabalılar ve saray insanları; merhemlerde, potpurilerde, maskaralarda, kutsal sunaklarda, mutfakta ve tıbbi tedavilerde safranı kullanmışlardır. Lübnan'da bulunan Sidon ve Tyre gibi antik şehirlerde, safran, kumaşların boyanmasında kullanılmıştır. Safranın yaygın kullanım amaçları şunlardır; vücuda zindelik ve ferahlık verme, uykuyu düzenleme, sinir sistemini yatıştırma ve uyarma, gaz problemlerini iyileştirme, kalp çarpıntılarını giderme, mideyi rahatlatma ve hazmı kolaylaştırma, kaşıntıyı ve öksürüğü kesme, kulak ağrısını geçirme, çiğnendiğinde diş etlerini, sürme gibi sürüldüğünde gözleri kuvvetlendirme, koku yoluyla afrodisyak etki gösterme, kadınlarda adet söktürme ya da düzenleme gibi önemli etkilerinin olduğunu sayabiliriz (Ceylan, 2005). Geleneksel kullanımının yanı sıra antikanser, antioksidan, antiastmatik, afrodisyak, cilt sorunları üzerine

etkileri ve sinir sistemine, özellikle de hafıza üzerine olumlu etkileri çalışmalarla desteklenmiştir.

Safran, sonbaharda çiçek açan, 20–30 cm boyunda, çiğdem (*Crocus*) cinsinden soğanlı bir kültür bitkisidir. Soğan kısmı, küre şeklinde, üstten ve alttan hafif basık, çevresi kahverengi kabuklarla örtülmüş durumda, büyüklüğü 2–4 cm çapındadır (Arslan 1986). Toprak üstündeki kısmında, bitkinin iğne şeklinde, ince uzun yaprakları bulunmaktadır. Çiçeklenme, Ekim ayının üçüncü veya dördüncü haftasından başlayarak 15 Kasım'a kadar sürmektedir. Her bir bitkiden ortalama 7–8 adet çiçek alınmaktadır. Çiçekte üç adet erkek organ bulunmaktadır. Erkek organlar sarı renktedir. Çiçeğin asıl önemli olan organı, dişi organdır. Bir adet olan dişi organ yumurtalık (ovary), yumurta borusu ve tepecik (stigma)'dan oluşmaktadır. Stigma kısmı, uzunlukları 2,5–3,5 cm olan, filament de denilen, ipliksi görünümlü olarak üç parçaya ayrılır. Tepecik (stigma) koyu kırmızı renktedir. Bitkinin yararlanılan organı, işte bu üç parçalı olan stigma kısmıdır.



Şekil 3. Safran morfolojisi

Safranın iklim isteği asmaya benzerlik gösterir ve rüzgâra karşı korunmuş güney yamaçlarda iyi yetişir. Yaz kuraklıklarına dayanıklıdır. Ayrıca soğanının dona karşı toleransı yüksektir. Vejetasyon dönemindeki serin ve nemli havalar bitkinin gelişmesini olumsuz yönde etkiler. Özellikle çiçeklenme döneminde kuru ve güneşli havaları sever. Bu dönemdeki yağışlar ürünün kalitesini önemli ölçüde düşürür. Çiçekler dona çok hassastır. Safran kumlu, gevşek, taşsız ve iyi drenajlı toprakları sever. Biraz kireçli, tınlı ve killi topraklarda da iyi yetişir. Taban suyu yüksek olan topraklarda gelişimi iyi değildir. Aşırı yağışlarda toprakta biriken suyun soğanları çürütmemesi için hafif meyilli tarlalar tercih edilebilir (Arslan 1986).

Safran tarımında özellikle ilk yılda bitkilerin gelişmesi ve yabancı otların yok edilmesi için toprak işleme çok iyi yapılmalıdır. Genellikle bir yıl önceden toprak nadasa bırakılır. Ertesi yıl ekim zamanının kadar tarla pullukla sürülür ve tırmıklanır. Ülkemizde ekim Ağustos ayının ikinci yarısı ile Eylül ayında yapılır. Tohumluk olarak eski dikimlerdeki soğanların oluşturduğu yavru soğanlar kullanılır. Bu soğanlar pulluğun açtığı çiziye 12–15 cm derinlikte dikkatli bir şekilde bırakılır. Dikim sırasında birkaç erkek işçi pulluk çizgisini temizler, bir işçi soğanları diker, diğer bir işçide üzerlerine yanmış ahır gübresi serper. Böylece eşit derinliğe iyi bir dikim yapılmış olur. Sıra araları 10–20 cm, sıra üzeri de 8–10 cm kadardır. Ekimden sonra toprak bir defa daha tırmıklanır.



Şekil 4. Safran tarlası

Safranın hasat zamanı çiçeklenme devresi olup, yılın iklim şartlarına göre genellikle Ekim ayına rastlar, bazen Kasımın ilk yarısına kadar uzayabilir. Hasat 15–20 gün sürer.

Safranın hasadı çok yorucudur ve genellikle 2 kademedede yapılır. İlk olarak yağışlı olmayan günlerde sabah erkenden henüz açmamış tomurcuklar dikkatle kopartılarak sepetlere konur. Sonra bu tomurcuklar gölge bir yere getirilerek açması için tekrar serilir. İkinci işlem açılmış çiçeklerde tepeciğin alınmasıdır. Stigma küçük bir makasla ve stigma parçalarının ayrıldığı yere yakın kısımdan kesilir. Kesilen parçada kalan dişicik borusu ne kadar kısaysa kalite o kadar iyi, uzunsa o kadar kötüdür. Stigmalar arasında erkek organların da bulunması kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Hasat edilen stigmaların kurutulması da ayrı bir önem taşımaktadır. Safran çiçeklerinin stigmaları koparıldıktan sonra 30°C'ye ayarlanabilen bir kurutucuda 24 saat bekletilir. Sonrasında ışık almayan cam veya tahta saklama kaplarında muhafaza edilmelidir. Daha önceleri Hindistan'da da geleneksel işleme metotlarının kullanılması, uluslararası standartlara uyulmaması, toz ve polenlerle kirlenme olması ve düşük oranda pigment içermesi gibi temel yetersizlikler nedeniyle, üretilen safranın kalitesi düşük olmuştur. Daha sonra çiçek hasat ediciler, hava tasnif ediciler, stigma ve erkek organları ayırıcılar, ışıklı solar kurutucular gibi aletler tasarlanarak, laboratuvarlarda ve safran yetiştirilen alanlarda denenmiştir. Aletlerin kullanıma girmesiyle işçi masraflarından önemli tasarruf sağlanmış ve sonuçta süper kalite ürün yetiştirilmesine başlanmıştır. Safranın verimi yıldan yıla değişir. 3 yıl faydalanılan bir tarlada verim ilk yıl dekara 1 kg kuru stigmaadır. İkinci yıl verim 2–4 kg/dekara yükselir ve 3. yıl tekrar azalarak 1–1,5 kg/dekara düşer. Ortalama 80– 120 bin çiçekten 5 kg yaş stigma, bundan da 1 kg kuru ürün alınır. Çiçek

verimi 80–90 kg/da olup, günde 2,5– 3,5 kg çiçek /da toplanır. Bir kadın işçi saatte 50–60 gr stigmayı çiçekten ayırabilir.



Şekil 5. Safran hasatı

EKONOMİK ÖNEMİ

Boya, gıda ve kozmetik gibi çeşitli alanlarda çok geniş kullanıma sahip olması yanında, önemli farmakolojik etkiler gösteren safranın, yetiştiriciliğinin sürdürülebilir olması çok önemlidir (Nazari ve Keifi, 2007). Safran kısır bir bitki olması nedeniyle tohumla çoğaltılamamaktadır. Bitkinin çoğaltılması kormusları ile vejetatif yolla olmakla birlikte, yetiştirilme süreci gibi toplanma süreci de oldukça zahmetlidir (Göktürk ve Asil, 2018). Ortalama her 150 çiçekten 1 kg safran üretilmektedir. Bir hektar alandan ortalama 6 kg safran elde edilmektedir. Kilosunun fiyatı uluslararası piyasa oldukça yüksektir (Ünaldı, 2007). Çiçekler sabah erken saatlerde, güneş doğmadan toplanıp, toplayıcılar tarafından gölge, serin bir alanda bırakılarak, çiçeklerin açması sağlanmaktadır. Çiçekler açtıktan sonra belirgin hale gelen stigmalar el, cımbız veya makasla ayrılmaktadır. Safran bitkisinden ayrılan stigmalar 50-80 °C'de 30-35 dakika kurutulmaktadır (Baytop, 1999). Droğ kendisinin 100.000 katı suyu boyayabilecek kadar güçlü renk verme özelliğine sahip olduğu gibi keskin-hoş bir kokuya sahiptir (Zheng ve ark., 2016). Safran, pahalı bir droğ olması nedeniyle, yerine başka bitkiler de kullanılmaktadır. Safranın yerine kullanılan bu bitkiler arasında, genellikle aspir (*Carthamus tinctorius*, "Portekiz safranı" ya da "yalancı safran, Amerikan safranı, kır safranı, papağan yemi, boyacı aspiri, haspir) veya zerdeçal (*Curcuma longa*) bulunmaktadır (Baytop, 1999). Ticari değeri ve etkileri göz önüne alındığında, ülkemizde yıllık üretiminin giderek azalan safranın üretimini arttırmak için

çalışmalar yapılmalıdır. Bitkinin vejetatif çoğalmasını sağlayan kormusların sayısını artırmak ve kaliteyi yükseltmek amacı ile çeşitli çalışmalar yapılmakta, ancak bu çalışmalar yeterli düzeye erişememektedir. Biyoteknolojik yöntemler; safran bitkisi için kısa sürede büyük miktarlarda çoğaltım materyali elde etmeyi sağlamakta, ayrıca, krosin, pikrokrosin ve safranal gibi ticari öneme sahip kimyasal maddelerin üretimi için de imkân sunmaktadır.

Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğüne bağlı Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde 2002 tarihinde başlatılan Kuzey Batı Geçit Bölgesi bazı baharat bitkileri entegre ürün yönetimi araştırmaları projesi ile “Safran soğanının hızlı çoğaltılması projesi” başlatılmıştır. Bu proje ülkemiz tarihinde büyük öneme sahiptir. Çünkü safran üretiminin eskiden olduğu gibi çoğaltılması hedeflenmiştir. Safran ve benzer ürünlerin yetiştirilmesi için ilgili çiftçilerimizin teşvik edilmesi sağlanmıştır. Ayrıca üretim alanının sadece Safranbolu ile sınırlı kalmaması sağlanmıştır. Deneme alanlarından elde edilen safranın çeşit olarak piyasaya sürülmesi hedeflenmiştir. Bir başka proje de “Dünyanın En Pahalı Baharatı Safranbolu Safran'ı Yayım Projesi” dir. Bu projenin amacı da, safran üretim miktarlarının yanı sıra üretim yapan kişilerin mesleki bilgi ve deneyimini arttırmaktır. Son olarak yapılan proje ise 2018 yılında sosyal kalkınma ve mali destek kapsamında, Safranbolu Tarım ve Orman İlçe Müdürlüğü'nce projelendirilmiş “Dünya Miras Kentinin Kırmızı Altını Safran” adlı proje olarak faaliyete geçmiştir. Safranın fiyatının pahalı

olması da tüketiminin giderek daha çok azalmaya başlamasına sebep olmuştur. Bu yüzden safran tarımı devlet destekli projelere ihtiyaç duymuş ve bu projelerle yaşıtılmaya çalışılmaktadır.

Dünyadaki talebin çok olması ve ekonomik olarak çok değerli olması safranın tarımını önemli hale getirmiştir. Safrana tarımsal gelir açısından bakıldığında, safranın 1 dönümünden elde edilen gelirle, herhangi bir tarım ürününün 1 dönümünden elde edilen gelir karşılaştırıldığında, safranın çok daha yüksek düzeyde gelir getirdiği görülmüştür. Ayrıca üretilen safranın tamamının ihraç edilme olanağının olması da ülkeyi büyük döviz girdisi sağlaması açısından önemlidir. Örneğin Hindistan'da tüm ihraç mallarından elde edilen toplam gelirin %2'den fazlasının sadece safrana ait olduğu belirlenmiştir.

BIYOAKTİF ÖZELLİKLERİ

Ülkemizde ve dünyada en pahalı baharatlardan biri olan safran (*Crocus Sativus* L.) çiçeklerinin stigmalarından elde edilmektedir. Safran bitkisinin ana bileşenlerini karotenoidler, glikozitler, monoterpenler, aldehitler, pirokrosin, antosiyaninler, flavonoidler, vitaminler (özellikle riboflavin ve tiamin), aminoasitler, proteinler, nişasta ve mineral maddeler oluşturmaktadır (Karimi vd., 2010). Bu bileşenlerin arasında karotenoidlerin en önemli özelliği baharata rengini ve tadını vermesidir. Safranın içerdiği sekonder metoboitler arasında en önemli ve bilinenleri stigmada bulunan krosin, pikrokrosin ve safranaldır. Safran içeriğinde bulunan krosin, suda

çözünebilirliği ve büyüme üzerine inhibe edici etkisi nedeniyle son yıllarda yapılan çalışmalarda kemaröparötik ajan olarak kullanılmaktadır (Escribano vd., 1995). Krosinin, kanserin başlama ve ilerleme aşamalarında dikkate değer inhibisyon etki gösterdiği ayrıca, meme kanser hücrelerinde, pankreas kanser hücrelerinde, insan rabdomiyosarkom hücrelerinin de bulunduğu birçok tümör hücresinde hücre büyümesini engellediği ya da hücreyi ölüme yönlendirdiği tespit edilmiştir (Chen vd., 2015).

Safran bitkisi antik çağlardan beri terapötik özelliğe sahip olduğu kabul edildiğinden geleneksel tıpta bir balgam söktürücü, dizanteri, kızamık, karaciğerin ve safra kesesinin genişlemesi, ürolojik enfeksiyonlar öksürük, mide rahatsızlıkları, astım ve kardiyovasküler rahatsızlıklar gibi rahatsızlıklar dahil olmak üzere birçok insan sağlığı koşulunu tedavi etmek için kullanılmıştır (Assimopoulou vd., 2005). Safran, dünyanın en pahalı baharatları arasında olması, gıda katkı maddesi ve geleneksel bitkisel ilaç olarak kullanılmasının yanısıra son yıllarda safran bitkisi ile yapılan çalışmalarda antikanser, antitümoral, sitotoksik, antiinflamatuvar özelliği sahip olduğu tespit edilmiştir (Nair vd., 1995; Hosseinzadeh ve Younesi, 2002).

Safran polifenol ve flavonoidce oldukça zengin bir bitkidir. Karimi vd., (2010) yapmış oldukları çalışmada safran bitkisinin farklı çözücüler kullanılarak antioksidan ve fenolik kompozisyonu belirlemiştir. Üç farklı çözücü kullanılmış,

metanolik çözücünün toplam fenolik madde miktarı 6.54 mgGAE/g toplam flavonoid madde miktarı ise 5.88 mgRE/g olarak tespit edilmiştir. Ayrıca majör bileşen olarak da gallik asit ve pyrogallol belirlenmiştir. Başka bir çalışmada *in vivo* olarak safran bitkisinden %80'lik etanolik ekstrak hazırlanmış 300 mg/kg dozda sıçanlara enjekte edilmiştir. Bulgularda safranın karaciğer kanserine yol açan oksidatif hasarı baskılayarak antioksidan etki gösterdiği tespit edilmiştir (Amin vd., 2011).

Assimopoulou vd., (2005)'de Yunanistan'da yetişen safran (*Crocus sativus* L.) bitkisinin metanolik ekstraktı hazırlanarak farklı konsantrasyonlarda ki DPPH aktivitesi belirlenmiştir. Hazırlanan metanolik safran ekstraktının 2000 ppm'nin üzerinde yüksek antioksidan aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Baba vd., (2015)'de yapmış oldukları çalışmada safran bitkisinin yaprak, stigma ve soğan kısmının LC-MS ile kimyasal içeriği ve antioksidan aktivitesi incelenmiş. Ana bileşenleri kaempferol, taksifolin, naringenin flavonoidler, krosin, krosetin ve bunların türevlerinin içeren apokarotenoidler olduğu tespit edilmiş. Stigmanın kısmının etanolik ekstraktı en yüksek fenolik ve flavonoid içeriğine sahip olduğu belirlenmiş, ayrıca klorofil hasarını, lipid peroksidasyonunu ve bitkilerde protein oksidasyonunu azalttığını tespit edilmiş. Ayrıca bakteri ve mayadaki H₂O₂ kaynaklı oksidatif stres toleransını hafiflettiği tespit edilmiştir.

Mousavi vd., (2010)'da safran ekstraktı ve crosinin reaktif oksijen türlerine bağı yüksek glukozun neden olduğu PC12 hücrelerinde toksisite üzerine koruyucu etkisi üzerine çalışma yapılmış. Glukozun (13.5 ve 27 mg/mL), PC12 hücrelerinin hücre canlılığını 4 gün sonra azalttığını gösterdi. Safran ekstresi (5 ve 25 mg/mL), krosin (10 ve 50 IM) ve GSH (10 IM) bu toksisiteyi azaltabilir. Glikoz toksisitesi, safran, krosin ve GSH ön arıtımı ile azalmış ROS üretiminin artması ile uyumluydu. Bu sonuçlar safran ve karotenoid krosinlerin diyabetik nöropati tedavisinde potansiyel olarak faydalı olabileceğini sonucuna varılmıştır.

Rajaei vd., (2013)'de yapılan hayvan çalışmasında *Crocus sativus* L.'nin farmakolojik olarak aktif bileşeni olan krosinin streptozotosine bağı diyabetik sıçanlarda antihiperглиsemik ve antioksidan etkisi incelenmiştir. Sıçanlara 6 hafta boyunca krosin verildi. Süre sonunda karaciğer ve böbrekte tiyobarbitürik asit reaktif madde (TBARS) ve total tiyol (SH) gruplarının seviyeleri ölçülmüştür. Diyabet oluşturulan sıçanlarda krosin verilen grupta kan glukoz seviyesinin önemli ölçüde azaldığı ayrıca karaciğer ve böbreklerde TBARS seviyelerinde önemli artış olduğu, karaciğerde toplam tiyol konsantrasyonlarında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Safran *Crocus sativus* L. ve bunlarla ilişkili karotenoid içerikleri, son yıllarda özellikle kansere karşı kemo-koruyucu potansiyeli için biyomedikal özellikleri için yoğun bir şekilde çalışılmaktadır (Abdullaev, 2002). Garc-Olmo vd., (1999)'da

safran bitkisinin stigmalarından elde edilen glikosillenmiş bir karotenoid olan krosin ile kolon kanseri olan sıçanlarda ki etkisi incelenmiş. Krosin ile tedavi edilen dişi sıçanlarda tümör büyümesi yavaşlamış, ancak erkek sıçanlarda anlamlı bir antitümör etkisi bulunmamıştır. Krosinle tedavi edilen hayvanlardan elde edilen tüm böbrek örneklerinde akut tübüler nekroz saptanmış, ancak serumun biyokimyasal analizi ile hafif nefrotoksisite bulguları tespit edilmiştir. *In-vitro* analizlerde krosin, insan ve hayvan adenokarsinom hücreleri üzerinde güçlü bir sitotoksik etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Abdullaev, F.I. (2002). Cancer chemopreventive and tumoricidal properties of saffron (*Crocus sativus* L.). *Exp Biol Med* Maywood, 227:20–5.
- Abdullaev, F.I., Espinosa-Aguirre, J.J. (2004). Biomedical Properties Of Saffron And Its Potential Use in Cancer Therapy and Chemoprevention Trials, *Cancer Detection and Prevention*, 28, 426432.
- Amin, A., Hamza, A.A., Bajbouj, K., Ashraf, S., Daoud, S. (2011). Saffron: A Potential Candidate for A Novel Anticancer Drug Against Hepatocellular Carcinoma, *Hepatology*, 54(3), 857-867.
- Arslan, N. (1986). Kaybolmaya Yüz Tutan Bir Kültür Safran Tarımı. *Ziraat Mühendisliği Dergisi* Yayın No:51 Ankara.
- Assimopoulou, A.N., Sinakos, Z. ve Papageorgiou, V. (2005). Radical scavenging activity of *Crocus sativus* L. extract and its bioactive constituents. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 19(11), 997-1000.
- Baba, S. A., Malik, A. H., Wani, Z. A., Mohiuddin, T., Shah, Z., Abbas, N., Ashraf, N. (2015). Phytochemical analysis and antioxidant activity of different tissue types of *Crocus sativus* and oxidative stress alleviating potential of saffron extract in plants, bacteria, and yeast. *South African Journal of Botany*, 99, 80-87.

- Baytop, T. (1999). Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi Geçmişte ve Bugün, 2. Baskı, İstanbul, Nobel Tıp Kitapevleri, s.20-30.
- Ceylan, Ö. (2005). Taşranın Altın Çiçeği Safran, Osmanlı Tarihi Araştırmaları XXVI, Prof. Dr.Mehmet Çavuşoğlu’na Armağan II, İstanbul. s. 2-11.
- Chen, S., Zhao, S., Wang, X., Zhang, L., Jiang, E., Gu, Y., Shangguan, J.A., Zhao, H., Lv, T., Yu, Z. (2015). Crocin inhibits cell proliferation and enhances cisplatin and pemetrexed chemosensitivity in lung cancer cells. *Translational Lung Cancer Research*, 4 (6): 775-783.
- Escribano J, Alonso LG, Prados CM, Fernandez AJ, 1995. Crocin, safranal and picrocrocin from saffron (*Crocus sativus* L.) inhibit the growth of human cancer cells in vitro. *Cancer Letters*, 100:23-90.
- Gezgin, D. (2010). Bitki Mitosları, Sel yayıncılık, İstanbul, s. 161-162
- Giaccio, M. (2004). Crocetin from Saffron: An Active Component of An Ancient Spice. *Critical Reviews Food Science Nutrition*. 44, 155-172.
- Göktürk, E., Asil, H. (2018). Hatay/Kırnkan’da Yetiştirilen Safran (*Crocus sativus* L.) Stigmasının Ekstraktının GC-MS Analizi, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(3), 317 – 321.
- Hosseinzadeh, H., Younesi, H. M. (2002). Antinociceptive and anti-inflammatory effects of *Crocus sativus* L. stigma and petal extracts in mice. *BMC pharmacology*, 2(1), 7.

- Nazari, S.H., Keifi, N. (2007). Saffron and Various Fraud Manners in Its Production and Trades, Saffron Biology and Technology, s.1.
- Hosseinzadeh, H., Younesi, H. M. (2002). Antinociceptive and anti-inflammatory effects of *Crocus sativus* L. stigma and petal extracts in mice. *BMC pharmacology*, 2(1), 7.
- Karimi, E., Oskoueian, E., Hendra, R., Jaafar, H. Z. (2010). Evaluation of *Crocus sativus* L. stigma phenolic and flavonoid compounds and its antioxidant activity. *Molecules*, 15(9), 6244-6256.
- Mousavi, S., Bathaie, Z. (2011). Historical Uses of Saffron: Identifying Potential New Avenues for Modern Research, *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 1(2), 57- 66.
- Nair, S. C., Kurumboor, S. K., Hasegawa, J. H. (1995). Saffron chemoprevention in biology and medicine: a review. *Cancer Biotherapy & Radiopharmaceuticals*, 10(4), 257-264.
- Rajaei, Z., Hadjzadeh, M. A. R., Nemati, H., Hosseini, M., Ahmadi, M., Shafiee, S. (2013). Antihyperglycemic and antioxidant activity of crocin in streptozotocin-induced diabetic rats. *Journal of medicinal food*, 16(3), 206-210.
- Ünaldı, Ü. E. (2007). Tehdit Ve Tehlike Altında Bir Kültür Bitkisi: Safran (*Crocus sativus* L.). *Journal of Social Science*, 53.
- Zheng, J., Zhou, Y., Li, Y., Xu, D.P., Li, S., Li, H.B. (2016). Spices for Prevention and Treatment of Cancers, *Nutrients*, 12 (8), s.8.

BÖLÜM 4:

***HESPERİS İSATİDEA* (BOİSS.) D.A. GERMAN & AL-SHEHBAZ, BİTKİSİ ÜZERİNE YAPILAN ARAŞTIRMALAR**

Dr. Öğretim Görevlisi Abdurrahman SEFALİ¹

¹ Bayburt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı, asefali@bayburt.edu.tr

GİRİŞ

Türkiye 12.000 çeşit bitkinin yetiştiği zengin bir ülkedir. Avrupa kıtasında bulunan endemik bitki sayısı 2750 takson iken ülkemizde 3778 takson kadardır (Ekim vd., 2000; Erik ve Tarıkahya, 2004). Ülkemize özgü bitkilerin fazla sayıda bulunması ve dolayısıyla bu bitkilerin kendi coğrafyamızda kültüre alınabilmesi oldukça önem arz eden bir konudur. Türkiye’de endemik bitkiler üzerine yapılmış çalışmalar incelendiğinde daha yapılması gereken birçok çalışma olduğu bilinmektedir (Şenkul ve Kaya, 2017). Ülkemizin dördüncü büyük bitki familyası olan ve endemik bitki üyeleri bakımından dikkat çeken, Brassicaceae familyası birçok alanda çalışılan türler içermektedir. Bu familya dünyada 325 cinse ait 3740 türle temsil edilmektedir (Al-Shehbaz 2012; Kiefer et al. 2014; Hohmann et al. 2015). Ülkemizde ise bu familyanın 91 cinse ait 660 taksonu bulunmaktadır (Al-Shehbaz vd., 2007). Adaptasyon özelliği yüksek olan Brassicaceae üyeleri, Antartika kıtası hariç dünya geneline yayılmıştır. Dolayısıyla dünyanın çoğu bölgesinde hemen her türlü habitata adapte olmuş endemik veya nadir türlere rastlamak mümkündür. Dünya genelinde yayılışı bulunan Brassicaceae üyelerinin insanlar tarafından çeşitli kullanımları mevcuttur. Bu familya üyelerinin yağ, sebze ve yakıt (biyodizel) üretme amaçlı kullanımı görülmektedir (Mao vd. 2012). Büyük çeşitlilik gösteren Brassicaceae familyası üyelerinin farklı görünüm ve çekicilikte olanları ise süs bitkisi olarak kullanılabilir (Tewari ve Mithen, 1999).

Familyanın en önemli süs bitkilerine bakıldığında; sarışebboy (*Erysimum cheiri* (L.) Crantz), akşam yıldızı (*Hesperis matronalis* L.), dolunayotu (*Lunaria annua* L.), akgüzel (*Lobularia maritima* (L.) Desv.), şebboy (*Matthiola incana* (L.) R. Br.) ve obrizya (*Aubrieta deltoidea* (L.) DC.) gibi türlerin yanı sıra, *Arabis*, *Aethionema*, *Alyssum*, *Brassica*, *Draba* ve *Iberis* cinslerine ait bazı türlerin de bulunduğu görülmüştür (Al-Shehbaz, 1984). Türkiye’de ise *Alyssum*, *Aethionema* ve *Cheiranthus* türlerinin kültürü ve tarımının yapılması önem arz etmektedir (Budak vd., 2011; Yılmaz ve Yılmaz, 2009; Özen vd., 1998). Gösterişli çiçekleri ve güzel kokusuyla dikkat çeken, *Hesperis isatidea* (Boiss.) D.A. German & Al-Shehbaz, bitkisi de Brassicaceae familyası üyelerindedir.

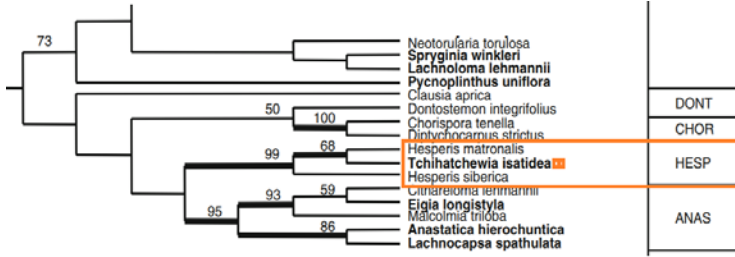
H. isatidea türünün dahil olduğu *Hesperis* Linnaeus cinsi karakteristik olarak tek hücreli basit glandlı tüylere sahiptir (Al-Shehbaz vd., 2006). Bu cins; Avrupa (orta kısımlarının yanı sıra Avrupa’nın güneyinde ve doğusunda), Asya (güneybatısından orta kısımlarına ve kuzeyine kadar) ve Kafkaslar’a kadar yayılmıştır (Duran 2008, Aras ve ark. 2009). Bu yayılış alanı içerisindeki taxon sayısı tartışmalı bir şekilde 30 ile 56 tür arasında değişmektedir (Farouji vd., 2018). Türkiye’de *Hesperis* cinsi 28 tür ve 33 takson ile temsil edilmekte olup (Farouji vd., 2018) bu taksonların 27’si endemiktir. Bu durum Türkiye’nin *Hesperis* cinsinin gen merkezi olması ihtimalini güçlendirmektedir.

Cinse ait bazı türlerin istilacı (Annen, 2007; Bradley vd., 2010), bazılarının tarım zararlıları için taşıyıcı (konak) (Hartman ve Nelson, 2000) ve bazılarının ise tıbbi kullanımı (terletici ve idrar sökücü) olduğu bildirilmiştir (Baytop, 1999).

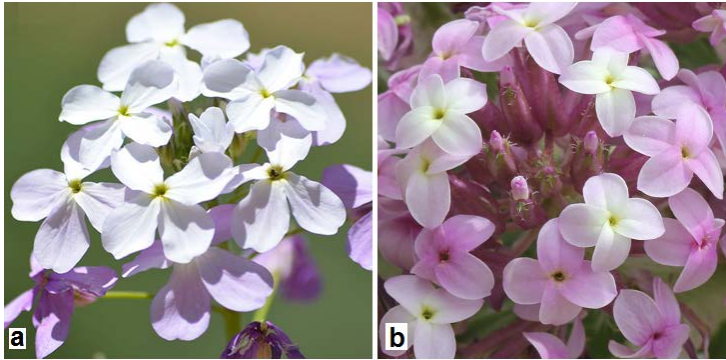
ADLANDIRMA İLE İLGİLİ TARTIŞMALAR

Hesperis isatidea sistematik açıdan izole olmuş bir paleoendemik bitkidir (Khatun vd., 2012). Bitki ilk olarak Erzincan ilimizden Tchichatscheff tarafından toplanmış ve Boissier (1866) tarafından *Tchihatchewia isatidea* olarak bilim dünyasına tanıtılmıştır. Daha sonrasında *Tchihatchewia* cins isminin fosil bir damarlı bir bitkiye zaten verilmiş olduğu tespit edilince bitkinin adı Rauschert (1982) tarafından *Neotchihatchewia* olarak değiştirilmiştir. Böylece bitkinin bilimsel ismi *Neotchihatchewia isatidea* olarak yenilenmiş ancak *Tchihatchewia* cinsi aslında (Tchichatscheff 1860: 292) 1860 yılında yayınlandığından (Stafleu ve Cowan, 1986) tekrar *Tchihatchewia isatidea* olarak düzenlenmiştir (Al-Shehbaz vd., 2007). Bu düzenlemeden sonra Warwick vd., (2010), yaptığı moleküler filogeni araştırmasıyla bu türün *Hesperis matronalis* Linnaeus (1753: 663) ve *H. sibirica* Linnaeus (1753: 663) arasında kaldığını tespit etmiştir (Şekil 1-2). Ancak bu durum *Tchihatchewia isatidea*'nın meyve yapısının silikuya yerine ters yumurtamsı- eliptik ve sarkık olması nedeniyle *Hesperis* cinsine dahil olamayacağı kanısı oluşturmaktadır. German ve Al-Shehbaz (2018), *Tchihatchewia isatidea*'nın *Hesperis* cinsine dahil edilme sebebini, çiçek ve yaprak gibi karakterlerin

benzerliğine vurgu yapıp özellikle meyve yapısını *H. breviscapa* Boissier (1842: 67), *H. kotschyi* Boissier (1856: 21), ve *H. thyrsoides* Boissier (1867: 234), türlerinin meyve yapılarıyla kıyaslayarak açıklamıştır. Sonuç olarak bitkinin ismi *Hesperis isatidea* olarak güncellenmiştir.



Şekil 1. *Hesperis isatidea* (=Tchihatchewia isatidea)'nın ITS temelli filogenik konumu (Warwick vd., 2010).



Şekil 2. *T. isatidea*'nın *Hesperis* içerisinde değerlendirilmesiyle ilgili olarak çiçek benzerliği; a. *H. matronalis* ve b. *H. isatidea* (= *T. isatidea*)

**TÜRÜN BETİMİ: *HESPERİS İSATİDEA* (BOİSS.) D.A.
GERMAN & AL-SHEHBAZ**

Türkçe adları: Boyaçiçeği veya Allıgelin

Sinonim: *Tchihatchewia isatidea* Boiss.,

Neotchihatchewia isatidea (Boiss.) Rauschert

Bitki Brassicaceae familyasının genel özelliklerini taşımanın yanında;

Bitki, iki veya çok yıllık bir otsudur. Gövde uzunluğu 40 cm'ye kadar çıkabilmekte yükselici veya yükselici eğik büyümektedir, içi boş ve tüylüdür. Taban yapraklar 10 x 2 cm kadar olabilmekte, saplı ve genellikle ters mızrağımsıdır. Gövde yaprakları 6 x 1 cm kadar olabilmekte, genellikle sesil olup kenarları serrat veya lobumsu. Çiçek durumu bileşik salkımdır. Çarpıcı çiçekler güzel kokuludur. Sepallerde sakkatlık mevcuttur. Petaller 2 cm'ye yaklaşmaktadır, kırmızımsı mor veya bunların açık renkli tonlarıdır. Meyve 2.5 cm uzunlukta ve 5 mm kadar genişlikte olup obovat veya dar eliptik şekillidir. Meyveler kanatlarla birlikte geniş ve yassılaştırmış bir görünüm almıştır ve açılmaya tiptedir. Meyve erken dönemde basit veya çatalı tüylü olup olgunlaşınca tüysüz olma eğilimindedir. Tohum bir iki adet olup musilaj içermez.

özelliklerine sahiptir (Şekil 3).

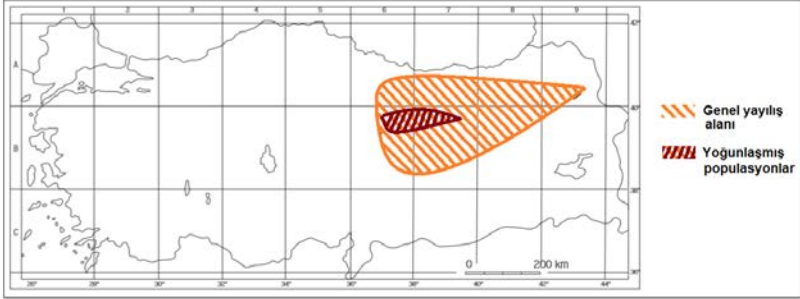
Bunlara ek olarak GÜNGÖR vd., (2018) yaptıkları çalışmada bitkinin kök uzunluğu (30 cm) ve çapını (1-3 cm) belirleyerek; tohumların 3-4 mm, ovat şekilli ve açık kahverengi olduklarını ve yine aynı çalışmada bitkinin polenlerinin trikolpat, ornemantasyonunun granülat ve polen şeklinin ise subprolat olduğunu belirlemişlerdir.



Şekil 3. *Hesperis matronalis*'nin genel görünümü (Bayburt): a. çiçekli durum ve b. meyveli durum

BİTKİNİN YAYILIŞ ALANI

Bitki genel olarak Türkiye'nin doğusunda yayılış göstermektedir (Şekil 4). Cullen (1965), bitkinin, Giresun, Gümüşhane, Erzurum, Sivas, Elazığ, Tunceli ve Erzincan illerimizde bulunduğunu belirtmiştir. Son kayıtlarla birlikte bitkinin, Türkiye'nin Orta Karadeniz, Doğu Karadeniz ile Orta Kızılırmak ve Yukarı Fırat bölümlerinde bulunduğu görülmektedir (Url-1). Bitkinin yoğun popülasyonlarına Sivas ve Erzincan illerimizde rastlanmaktadır (Mutlu ve Dönmez, 2003). Bitki dağlık bölgeleri tercih ederek, 900- 1900 m rakımlarda bulunmaktadır (Aslay vd., 2013).



Şekil 4. *Hesperis isatidea*'nın Türkiye'deki yayılış alanı.

BİTKİNİN HABİTATI

Bitki, eğimli, erozyona açık ve erozyonla tahrip olmuş alanları tercih etmektedir. Mineralce zayıf olan bu topraklarda (Mutlu ve Dönmez, 2003) ve tepelerin genellikle yola bakan çayıllık alanlarında görülmektedir (Şekil 5-6).



Şekil 5. *Hesperis matronalis*'nin habitatu (hareketli taşlar)



Şekil 6. *Hesperis matronalis*'nin erozyona uğramış alanlardaki görünümü (Erzurum)

BİTKİNİN TEHLİKE KATEGORİSİ

Endemik bir tür olan *Hesperis matronalis*, Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı'nda tehlike kategorisi VU (Vulnerable = Duyarlı) yani tehlikeye karşı hassas olarak belirtilmiştir (Ekim vd., 2000). Türün yayılış alanının nispeten geniş olması ve bu alanların genellikle yerleşim yeri, tarım ya da diğer nedenlerle kullanılmaması sebebiyle yakın gelecekte tür için önemli bir tehdit unsuru görülmemektedir (Güngör vd., 2018).

BİTKİNİN KULLANIMI

Anadolu’da doğal olarak yetişen bitkiler, tarih boyunca, başta ilaç yapımı olmak üzere birçok amaçla kullanılmıştır. Endemik olmasına rağmen nispeten geniş bir yayılışa sahip olan *H. isatidea* yöresel olarak boya maddesi ve ilaç yapmak üzere kullanılmaktadır. Bitkinin kullanım şekilleri (Tablo 1).

Tablo 1. *Hesperis isatidea* bitkisinin yöresel kullanımı

| Kullanılan kısım | Amaç | Kullanış şekli | Kaynak |
|------------------|---------------------------------|---|--|
| Çiçek | Boya maddesi | Çiçekler boya elde edilmek üzere kullanılır. | Baytop (1994) |
| Kök | İlaç yapımı (yara iyileştirici) | Bitkinin kökleri farklı bitkilerle (<i>Hesperis schischkinii</i> Tzvele ve <i>Pistacia atlantica</i> Desf.) karıştırılarak kullanılır. | Tuzlacı ve Doğan (2010), Altundağ ve Öztürk (2011) |

BİTKİNİN ISLAHI

Bitkiler ıslah edilirken, kalıtsal değişimler meydana getirerek bu bitkileri daha kullanışlı ve yararlı yapmak amaçlanmıştır. Bu bağlamda bitkilerin, yiyecek, lif, ilaç, yem ve yapı malzemesi üretmenin yanı sıra peyzaj ve estetik gayelerle kültür çalışmaları yapılmaktadır (Acquaah, 2012). Aslay vd., (2013) yaptıkları ıslah çalışmasında 19 farklı lokaliteden *H. isatidea* bitkisinden örnekler alarak bitkinin generatif üreme özelliklerini değerlendirmişlerdir. Bu çalışma neticesinde doğadaki bitkilerden daha uzun boylu ve farklı renkte çiçekleri (çiçeklerde renkli damarlar gibi) olan bireyler elde etmişlerdir. Benzer bir şekilde bir başka kültüre alma araştırmasında da bitkinin istenilen morfolojik karakterlerinde büyüme tespit edilmiştir (Gümüşçü vd., 2013). *H. isatidea*'ya % 0.5 dozluk colchicine uygulamasıyla bitkinin petallerinde büyüme olduğu belirlenmiştir (Aslay vd., 2013).

Estetik açıdan peyzaj amaçlı kullanılan bitkilerin ekildikten kısa bir süre sonra çiçek açmaları ve bu çiçeklerin uzun süre devam etmesi beklenmektedir. Gümüşçü vd., (2013) *H. isatidea*'nın çiçeklenme döneminin kısa olmadığını ve düzenli üreme programlarıyla bitkinin çiçeklenme süresinin arttırılabileceğini ileri sürmektedir. Bitki başına düşen tohum sayısının kültür bitkilerine uygun olduğu saptanmıştır (Gümüşçü vd., 2013)

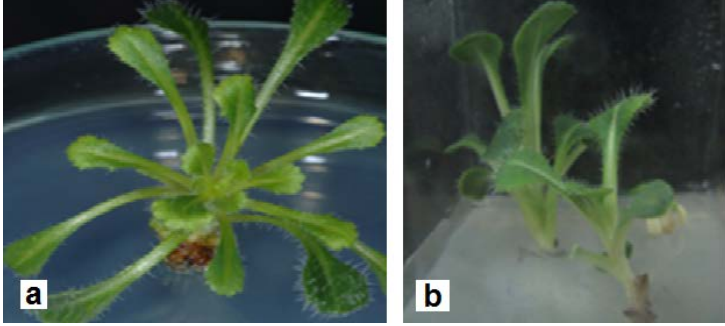
BİTKİNİN ÇİMLENMESİ

H. isatidea bitkisi tohumlarının normal şartlar altında çimlenmediği ancak ıslak-soğutma işlemiyle 15°C (% 77.41) ve çimlenme sıcaklığının 20°C (% 77.41) üzerinde olması gerektiğini tespit edilmiştir (Aslay vd., 2013). Tohumlarda çimlenme için 15°C ile 70-80 günlük soğutmanın en iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Tohumların çimlenme oranının % 65 olduğu görülmüştür.

DOKU KÜLTÜRÜ ÇALIŞMALARI

Koruma altında ve nesli tehlike altında olan türler için birçok üretim çalışmaları mevcuttur. Bunlardan en önemlisi de doku kültürü çalışmalarıdır. Doku kültürü çalışmalarıyla, üretiminde zorluk çekilen bitkilerin vejetatif kısımlarından daha hızlı ve daha seri bir şekilde yeni bitkiler elde edilebilmektedir (Galle, 1987; Dinçer vd., 2016). *H. isatidea* VU tehlike kategorisinde olan bir türdür ve uzun gelecekte türün neslinin tehlikeye düşmesi olasıdır. Dolayısıyla, bu türün in vitro çoğaltılması ticari üretim ve germplazm korunumu için değerli olabilir. Gümüşçü vd., (2008) yaptıkları çalışmada, Murashige ve Skoog ortamı (MS) üzerinde bitkinin olgunlaşmamış embriyolarının, N6-benzilamino-purin (BAP) ve -naftalenetik asit (NAA) ile desteklenerek ekimini yapmışlardır. Primordiyaların 5-6 hafta içerisinde görülmeye başladığı ve 10-12. Haftalarda ise normal sürgün oluşumunu gözlemlemişlerdir. Daha sonra bu sürgün uçlarında organojenez oluşumu; BAP (0.5, 1.0 ve 2.0 mg/l), kinetin (KIN) (0.5, 1.0 ve 2.0 mg/l) ve thidiazuron (TDZ) (0.05, 0.10 ve 0.50 mg/l) ilave edilen kültürlerde gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonucunda ise gövde

oluşumunun (3.73) ve gövde başına köklenmenin (3.66, köklenme oranı = %53) meydana geldiği görülmüş olup bu bitkilerin hayatta kalma oranının % 53 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. *Hesperis matronalis*'ya ait; a. gövde oluşumu MS ile 2,0 mg/l BAP ve b. kök oluşumu MS ile 0.25 mg/l IBA (Gümüşçü vd., 2008).

KARYOLOJİK OLARAK *HESPERİS İSATİDEA*

H. matronalis türünün kromozom sayısının, $n = 7$, kromozomlarında satellit olmadığı ve kromozom formülünün ise $3m + 1sm + 3st$ olduğu belirlenmiştir ($m =$ median, $sm =$ submedian ve $st =$ subterminal) (Güngör vd., 2018).

BİTKİNİN KİMYASAL İÇERİĞİ

H. matronalis zengin bir kimyasal içeriğe sahiptir (Zengin vd., 2018). Bitkinin kimyasal içeriğinde genel olarak, yağlar (doymuş-doymamış), yağ asitleri, fenolik bileşikler,

glukosinolatlar ve vitaminler gibi önemli birçok kimyasal bulunmaktadır.

YAĞ ASİTLERİ

Yağlar bir molekül gliserol ve üç molekül yağ asidinin birleşmesiyle meydana gelirler. Yağı meydana getiren gliserol tüm yağlarda ortak olmasına rağmen yağ asitleri bitkiden bitkiye değişiklik göstermektedir (Baydar, 2000). Araştırmaya konu olan *H. isatidea*'nın tohumlarındaki yağ oranının %20,74 olduğu ve yağ asitlerinin %92,3'ü doymamış, %7,60'ının ise doymuş yağ asitleri olduğu saptanmıştır (Rahimi vd., 2018). Yağ asidi oranlarının ise palmitik asit (4.92), stearik asit (2.34), oleik asit (18.2), linoleik asit (20.3) ve ω -3 linolenik asit (52.8-59.8) olduğu belirlenmiştir (Rahimi vd., 2018).

Bitkide en fazla orana sahip olan ω -3 linolenik asit (52.8-59.8), hayati öneme sahip olup kalp damar hastalıklarına iyi geldiği ve koleströlü düşücü etkisinin olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (Cunnane vd., 1993; Williams, 2000; Barceló-Coblijn ve Murphy, 2009; Pan vd., 2012). Linolenik asitin eksikliğinde ise yavaş büyüme, görme zayıflıkları, öğrenmede güçlük, dikkat eksikliği, kol ve bacaklarda uyuşma gibi durumlar gözlenmektedir (Konukoğlu, 2008). Ayrıca linolenik asit diyetlerde az miktarda bulunduğundan (Harris, 1984) *H. isatidea* bitkisi bu bağlamda önem arz etmektedir. Yüksek dozda alınan linolenik asit yarar sağlamamaktadır (Sacks, 1995).

FENOLİK BİLEŞİKLER

Fenolik bileşikler insan sağlığı için hayati öneme sahip olup tümör, kanser, astım, ülser, damar sertliği, depresyon ve fertilitate gibi daha birçok durumda olumlu etkilere sahiptirler (Bulgakov vd., 2012; Karthikkumar vd., 2012). *H. isatidea*'nın zengin bir kimyasal içeriğe sahip olup (Tablo 2) bitkinin etil asetat, matanolik ve sulu ekstraktlarındaki fenolik içerikler analiz edilince en fazla rosmarinik asit (570 µg/g), ferulik asit (336 µg/g) ve (+) – kateşin (340 µg/g)'e rastlanmıştır (Zengin vd., 2018).

Tablo 2: *H. isatidea* bitkisinin fenolik içeriği (Zengin vd., 2018)

| Fenolik içerik | Etil asetat (ekstrakt) | Metanol (ekstrakt) | Su (ekstrakt) |
|--------------------------------|------------------------|--------------------|-----------------|
| Protokatekuik asit | 14 µg/g | 24 µg/g | Ke |
| (+) - Kateşin | Ke | Ke | 340 µg/g |
| <i>p</i> -hidroksibenzoik asit | 54 µg/g | Ke | Ke |
| Epikateşin | 32 µg/g | Ke | 188 µg/g |
| Siringik asit | 6 µg/g | 42 µg/g | 86 µg/g |
| Vanilin | 4 µg/g | Ke | Ke |
| <i>p</i> -kumarik asit | 48 µg/g | 72 µg/g | 20 µg/g |
| Ferulik asit | 50 µg/g | 336 µg/g | 18 µg/g |
| Benzoik asit | 34 µg/g | Ke | 54 µg/g |
| <i>o</i> -kumarik asit | 4 µg/g | 30 µg/g | 4 µg/g |
| Rosmarinik asit | Ke | 570 µg/g | Ke |
| Sinamik asit | 14 µg/g | 34 µg/g | 50 µg/g |
| Kuersetin | 68 µg/g | 100 µg/g | Ke |
| Apigenin | 184 µg/g | 182 µg/g | Ke |

Ke:kontrol edilmemiş

Bu zengin fenolik içeriklerin reaktif oksijen/azot türlerinin yarattığı prooksidanlar ve antioksidanlar arasındaki dengesizliği (oksidatif stres) bertaraf ettiğine dair çalışmalar mevcuttur (Giada,2013; Shalaby ve Horwitz, 2015). Rosmarinik asitin *H. isatidea*'da yüksek oranda bulunması bitkinin kimyasal açıdan önemini ortaya koymaktadır. Çünkü umut verici bir yapıya sahip olan rosmarinik asit, kanser ve tümör önleyici özelliklerinin yanı sıra çoklu ilaç direncini kaldırmak için ayrıca tedavi edici özelliğe de sahiptir (Krajčovičová ve Meluš, 2013). Aynı şekilde bitkinin zengin içeriği metanolik ekstraktının, α -amilaz, α -glukosidaz, asetilkolinesteraz ve tirozinaz enzim aktivitesi üzerinde etkilidir (Zengin vd., 2018). *H. isatidea*'nın etil asetat, matanolik ve su ekstraktlarının antioksidant etkileri tespit edilmiş olup özellikle su ekstraktının indirgeyici özelliği mevcuttur (Zengin vd., 2018). Aynı şekilde Allıgelin bitkisinin çiçek ve yapraklarında indirgenmiş glutatyon miktarının 1867,8 $\mu\text{g/g}$ olduğu tespit edilmiştir (Birişik vd., 2013). Karaciğerde bol miktarda bulunan glutatyon, glutamat, sistein ve glisin aminoasitlerinden sentezlenebilen bir tripeptittir. Glutatyon serbest radikaller ve peroksitlerle tepkimeye girerek hücreleri oksidatif hasara karşı korumaktadır (Öztürk vd., 2001).

VİTAMİNLER

Vitaminler eser miktarlarda ihtiyaç duyulan organik moleküller olmasına rağmen tüm canlılar için hayati öneme sahiptir. *H. isatidea* bitkisinin yaprak ve çiçeklerinde çeşitli vitaminlerin bulunduğu ve özellikle de başta C vitamini olmak üzere B6 ve B1 vitaminleri açısından iyi bir kaynak olduğu belirlenmiştir (Birişik vd., 2013). Allıgelin bitkisinin yaprak ve çiçeklerinde bulunan vitaminlere Tablo 3'te yer verilmiştir.

Tablo 3. *H. isatidea* bitkisinin yaprak ve çiçeklerinde bulunan vitaminler (Birişik vd., (2013)'ten uyarlanmıştır.)

| Vitaminler (µg/g) | Yaprak | Çiçek | Vitaminin Başlıca Görevi |
|-------------------|--------|-------|--|
| C vitamini | 282.9 | 194.7 | İndirgeyici özelliği güçlü bir antioksidant. |
| B6 vitamini | 97.3 | 98.9 | Protein ve karbonhidrat metabolizmasında görev alır. |
| B1 vitamini | 98.9 | 52.3 | Karbonhidratların glikoza dönüştürülmesinde görevlidir. |
| B3 vitamini | 24.3 | 27.6 | Besinlerin enerjiye dönüştürülmesinde rol alır. |
| B2 vitamini | 20.2 | 10.5 | Protein, yağ ve karbonhidratların enerjiye dönüştürülmesinde görevlidir. |
| Beta karoten | 2.1 | 14.7 | |
| Folikasit | 7.3 | 10.4 | |
| A vitamini | 0.6 | 1.8 | |
| E vitamini | 0.5 | 4.0 | |
| Likopen | - | 0.4 | |

NİKEL MİNERALİ

Erzurum ilinden alınmış, ultrabazik topraklarda yetişen, *H. isatidea*'nın nikel oranının 135 µl/g olduğu görülmüştür (Reeves vd., 1980). Nikelin insan sağlığına olumsuz etkileri olduğu, deriyi tahriş etmesinin yanı sıra kalp-damar sistemine oldukça zararlı ve kanserojen bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Kartal vd., 2004). Buna rağmen yapılan çalışmalarla nikelin faydalı yönlerine de vurgu yapılmaktadır. Örneğin nikelin baklagil tarımında etkili olmasıdır (Habashi, 1997). Buna ek olarak nikelin insan sağlığına yararlı olduğunu ve özellikle insan bağırsaklarında yaşayan mikroorganizmaların yaşamı için önem arz ettiğini gösteren çalışmalar da mevcuttur (Zambelli ve Ciurli, 2013).

BİTKİNİN ANTİBAKTERİYEL ÖZELLİKLERİ

Tunç vd., (2015) yaptıkları araştırmada, *H. isatidea* bitkisinin topraküstü kısımlarını kullanarak elde ettikleri ekstraktın antibakteriyel aktivitesine bakmışlardır. Bu çalışmada *Hesperis isatidea*'nın; *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella typhimurium*, *Streptococcus mutans*, *Streptococcus mitis*, *Streptococcus salivarius* ve *Staphylococcus epidermidis* bakterilerine karşı etki durumunu değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda *H. isatidea* ekstraktının sadece *Staphylococcus aureus* bakterisine karşı etkili olduğu tespit edilmiştir.

S.aureus'un yol açtığı enfeksiyonların her zaman yaygın olacağı ve ciddiyetini koruyacağı bir gerçektir (Tong vd., 2015). Bunun sebebinin sadece bakterinin direnç kazanması değil farklı enfeksiyonel durumların da ortaya çıkmasıdır (Tong vd., 2015). *S.aureus*'un antibiyotik direnci ilk olarak 1930'larda başlamış olup halen devam etmektedir (Sancak, 2011). Özellikle metisiline dirençli *S.aureus* enfeksiyonlarının yoğun bakım ünitelerinde arttığı rapor edilmiştir (Culos vd., 2013; Ippolito, 2010). *S.aureus*'un başlıca meydana getirdiği enfeksiyonların başında; deri ve yumuşak doku enfeksiyonları, pnömoni, solunum yolu enfeksiyonları, kan akımı enfeksiyonları ve cerrahi yara enfeksiyonları bulunmaktadır (Rehm ve Tice, 2010; Sancak, 2011). Dolayısıyla *H. isatidea* bitkisinin, ekstraktlarının *S.aureus*'a karşı (Tunç vd., 2015) kullanılabirliği oldukça önemlidir.

SONUÇ

H. isatidea bitkisinin, doğal bir antibakteriyel olarak kullanılabilirliği yanı sıra gıda, kozmetik endüstrisinde ve eczacılıkta değerlendirilebileceği önerilmektedir (Tunç vd., 2015). Bitki, fenolik bileşikler, yağ asitleri, vitaminler ve antioksidant yönleriyle oldukça zengin bir kimyasal içeriğe sahiptir. Ülkemize özgü olan ve doğal olarak verimsiz topraklarda dahi kolayca yetişebilen bu bitkinin tıbbi ve ekonomik yönleri değerlendirilmelidir. Doku kültürü ve ıslah çalışmalarında olumlu sonuçlar elde edilen *H. isatidea*, güzel kokusu, çarpıcı çiçekleri ve gösterişli yapısıyla peyzaj bitkisi olarak değerlendirilebilir. *H. isatidea*, her yönüyle önemli bir doğal değerimizdir.

KAYNAKLAR

- Acquaah, G. (2012). Principles of plant genetics and breeding. Wiley-Blackwell Publishing: UK.
- Altundağ, E., Öztürk, M. (2011). Ethnomedicinal studies on the plant resources of east Anatolia, Turkey. (The 2nd International Geography Symposium-Mediterranean Environment 2010). Procedia - Social and Behavioral Sciences. 19: 756-777.
- Al-Shehbaz, I. A. (1984). The tribes of Cruciferae (Brassicaceae) in the southeastern United States. Journal of the Arnold Arboretum, 65(3), 343-373.
- Al-Shehbaz, I. A., Mutlu, B., Dönmez, A. A. 2007. The Brassicaceae (Cruciferae) of Turkey, updated. Turkish Journal of Botany, 31, 327-336.
- Al-Shehbaz, I.A. (2012). A generic and tribal synopsis of the Brassicaceae (Cruciferae). Taxon 61: 931–954.
- Al-Shehbaz, I.A., Beilstein, M.A. & Kellogg, E.A. (2006). Systematics and phylogeny of the Brassicaceae (Cruciferae): An overview. Plant Systematics and Evolution 259: 89–120.
- Annen, C. (2007). Wisconsin Department of Natural Resources invasive plant factsheet: *Hesperis Matronalis*.
- Aras, S., Duran, A., Yenilmez, G. & Duman, D.C. (2009). Genetic relationships among some *Hesperis L.* (Brassicaceae) species from Turkey assessed by RAPD analysis. African Journal of Biotechnology 8: 3128–3134.

- Aslay, M., Tekşen, M., Cukadar, K. & Unlu, HM. (2013). morphology and germination of *Tchihatchewia isatidea* Boiss. Brassicaceae. Botany Research Journal, 6(1):6-8.
- Barceló-Coblijn, G., & Murphy, E. J. (2009). Alpha-linolenic acid and its conversion to longer chain n- 3 fatty acids: Benefits for human health and a role in maintaining tissue n- 3 fatty acid levels. Progress in lipid research, 48(6), 355-374.
- Baydar, H., (2000). Bitkilerde yağ sentezi, kalitesi ve kaliteyi artırmada ıslahın önemi. Ekin Dergisi, 11: 50-57.
- Baytop, T. (1994). Türkçe bitki adları sözlüğü (Vol. 578). Turk DIL Kurumu.
- Baytop, T. (1999). Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi: Geçmişte ve Bugün. Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul, Türkiye.
- Birişik, A., Karataş, F., Yılmaz, S., & Özdemir, F. A. (2013). Boya çiçeği (*Neotchihatchewia isatidea*) bitkisindeki vitaminler ile glutatyon miktarlarının araştırılması, Fırat Unv. Journal of Science 25(1), 1-5,2013
- Boissier E. (1866). Tchichatscheff PA, editor. Asie Mineure Bot, vol. 1; p. 292.
- Budak F, Zaimoğlu Z, Bağcı N (2011). Uptake and translocation of hexavalent chromium by selected species of ornamental plants. Polish J. Environ. Stud. 20(4): 857-862.
- Bulgakov, VP., Inyushkina, YV, Fedoreyev, SA. (2012). Rosmarinic acid and its derivatives: biotechnology and applications. Crit Rev Biotechnol 32:203–217

- Bradley, B. A., Blumenthal, D. M., Wilcove, D. S., & Ziska, L. H. (2010). Predicting plant invasions in an era of global change. *Trends in ecology & evolution*, 25(5), 310-318.
- Cullen, J. (1965). *Hesperis L.* In: Davis, P.H. (Ed.) *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Vol. 1. University Press, Edinburgh, pp. 452-460.
- Culos, K. A., Cannon, J. P., & Grim, S. A. (2013). Alternative agents to vancomycin for the treatment of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infections. *American journal of therapeutics*, 20(2), 200-212.
- Cunnane, S. C., Ganguli, S., Menard, C., Liede, A. C., Hamadeh, M. J., Chen, Z. Y., ... & Jenkins, D. J. (1993). High α -linolenic acid flaxseed (*Linum usitatissimum*): some nutritional properties in humans. *British Journal of Nutrition*, 69(2), 443-453.
- Dinçer, D., Bekçi, B., & Bekiryazıcı, F. (2016). Türkiye'deki Doğal Bitki Türlerinin Üretiminde Doku Kültürü Tekniklerinin Kullanımı. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 295-302.
- Duran, A. (2008). Two new species with pendulous fruits in *Hesperis* (Brassicaceae) from South Anatolia, Turkey. *Novon: A Journal for Botanical Nomenclature* 18: 453-463. <https://doi.org/10.3417/2006175>
- Ekim, T., Koyuncu, M., Vural, M., Duman, H., Aytaç, Z., Adıgüzel, N. (2000). *Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı*. Van 100. Yıl Üniversitesi, Van.
- Erik, S., & Tarıkahya, B. (2004). Türkiye florası üzerine. *Kebikeç*, 17(1), 139-163.

- Farouji, AE., Khodayari, H., Assadi, M., Özüdoğru, B., Çetin, Ö., Mummenhoff, K., Bhattacharya S. (2018). Numerical taxonomy contributes to delimitation of Iranian and Turkish *Hesperis* L. (Brassicaceae) species. *Phytotaxa*, 367(2), 101-119.
- Galle, F. C. (1987). *Azaleas: Revised and enlarged edition*. Portland: Timber Press.
- German, D. A., & Al-Shehbaz, I. A. (2018). A reconsideration of *Pseudofortuynia* and *Tchihatchewia* as synonyms of *Sisymbrium* and *Hesperis*, respectively (Brassicaceae). *Phytotaxa*, 334(1), 95-98.
- Giada, M. D. L. R. (2013). Food phenolic compounds: main classes, sources and their antioxidant power. Oxidative stress and chronic degenerative diseases—A role for antioxidants. *InTech*, 87-112.
- Gümüşçü, A., Arslan, N., Uranbey, S., & Çalışkan, M. (2013). Some Morphological and Agronomical Characteristics of Genus of Turkey: *Tchihatchewia isatidea* Boiss. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 3(2), 30-37.
- Gümüşçü, A., Çöçü, S., Uranbey, S., İpek, A., Çaliskan, M., & Arslan, N. (2008). In vitro micro-propagation of endangered ornamental plant-*Neotchihatchewia isatidea* (Boiss.) Rauschert. *African Journal of Biotechnology*, 7(3) 234-238.
- Güngör, A., Dogan, G., Kıran, Y., & Evren, H. (2018). Crucifer'den Endemik Bir Tür Olan *Hesperis isatidea* (Boiss.) DA German & Al-Shehbaz Üzerine Taksonomik Notlar. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 66-73.

- Habashi, F. (1997). Handbook of extractive metallurgy, volume. Light Metals, 19(20), 21-22.
- Harris, W. S., Connor, W. E., & Lindsey, S. (1984). Will dietary ω -3 fatty acids change the composition of human milk?. The American journal of clinical nutrition, 40(4), 780-785.
- Hartman, R. L., Nelson, B.E. (2000). Working List of Invasive Vascular Plants of Wyoming with Vernacular Names from Major Works, University of Wyoming: Rocky Mountain Herbarium.
<http://www.rmh.uwyo.edu/wyinvasives/wyweeds.pdf>.
- Hohmann, N., Wolf, E., Lysak, M. & Koch, M.A (2015). A Time-Calibrated Road Map of Brassicaceae Species Radiation and Evolutionary History. The Plant Cell 27 (10): 2770–2784.
<http://dx.doi.org/10.1105/tpc.15.00482>
- Ippolito, G., Leone, S., Lauria, F. N., Nicastri, E., & Wenzel, R. P. (2010). Methicillin-resistant Staphylococcus aureus: the superbug. International journal of infectious diseases, 14, S7-S11.
- Kartal, G., Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., & Timur, S. (2004). Metallerin çevresel etkileri-II. Metalurji Dergisi, 137, 46-51.
- Karthikkumar, V., Sivagami, G., Vinothkumar, R., Rajkumar, D., Nalini, N. (2012). Modulatory efficacy of rosmarinic acid on premalignant lesions and antioxidant status in 1,2-dimethylhydrazine induced rat colon carcinogenesis. Environ Toxicol Pharmacol 34(3):949–958

- Khatun, S., Parlak, K. U., Polat, R., & Cakilcioglu, U. (2012). The endemic and rare plants of Maden (Elazig) and their uses in traditional medicine. *Journal of Herbal Medicine*, 2(3), 68-75.
- Kiefer, R.M., Schmickl, R., German, D., Lysak, M., Al-Shehbaz, I.A., Franzke, A., Mummenhoff, K., Stamatakis, A. & Koch, M.A. (2014). BrassiBase: Introduction to a Novel Knowledge Database on Brassicaceae Evolution. *Plant Cell and Physiology* 55 (1): e3.
- Konukoğlu, D. (2008). Omega-3 ve omega-6 yağ asitlerinin özellikleri, etkileri ve kardiyovasküler hastalıklar ile ilişkiler. *Türkiye Aile Hekimliği Dergisi*, 12(3), 121-129.
- Krajčovičová, Z., & Meluš, V. (2013). Bioactivity and potential health benefits of Rosmarinic acid. *Univ Rev*, 7(2), 8-14.
- Mao, S., Han, Y., Wu, X., An, T., Tang, J., Shen, J., & Li, Z. (2012). Comparative genomic in situ hybridization analysis of the genomic relationship among *Sinapis arvensis*, *Brassica rapa* and *Brassica nigra*. *Hereditas (Lund)* 149(3): 86-90
- Mutlu, B., Dönmez, AA. (2003). Boyaçiçeği (*Neotchihatchewia isatidea* (Boiss.) Rauschert) Lahanagiller (Brassicaceae / Cruciferae). *The Karaca Arboretum Magazine*, 7(2): 75-80.
- Özen F, Kılınç M, Uz S (1998). The ornamental plants in the Kurupelit Campus area of Samsun Ondokuz Mayıs University. *Çev-Kor Journal (in Turkish)*, 7(27): 26-30.
- Öztürk, M., Güzelhan, Y., Sayar, K., & Tüzün, Ü. (2001). Yaygın gelişimsel bozukluğu olan çocuklarda plazma malondialdehit ve glutatyon düzeylerinin araştırılması. *Bull Clin Psychopharmacol*, 11, 155-159.

- Pan, A., Chen, M., Chowdhury, R., Wu, J. H., Sun, Q., Campos, H., ... & Hu, F. B. (2012). α -Linolenic acid and risk of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis. *The American journal of clinical nutrition*, 96(6), 1262-1273.
- Rahimi, A., Arslan, N., Kıralan, M., & Hassanien, M. F. R. (2018). Omega fatty acids in Turkish *Neotrichia isatidea* (Boiss.) Rauschert seed oil.
- Rauschert, S. (1982). *Nomina nova generica et combinationes novae Spermatophytorum et Pteridophytorum*. *Taxon*, 554-563.
- Reeves, R. D., Brooks, R. R., & Press, J. R. (1980). Nickel accumulation by species of *Peltaria* Jacq.(Cruciferae). *Taxon*, 29(5-6), 629-633.
- Rehm, S. J., & Tice, A. (2010). *Staphylococcus aureus*: methicillin-susceptible *S. aureus* to methicillin-resistant *S. aureus* and vancomycin-resistant *S. aureus*. *Clinical Infectious Diseases*, 51(Supplement_2), S176-S182.
- Rollins, R.C. (1993) *The Cruciferae of continental North America: Systematics of the Mustard Family from the Arctic to Panama*. University Press, Stanford, California, 976 pp.
- Sacks, F. M., Stone, P. H., Gibson, C. M., Silverman, D. I., Rosner, B., Pasternak, R. C., & HARP Research Group. (1995). Controlled trial of fish oil for regression of human coronary atherosclerosis. *Journal of the American College of Cardiology*, 25(7), 1492-1498.
- Sancak, B. (2011). *Staphylococcus aureus* ve antibiyotik direnci. *Mikrobiyol Bul*, 45(3), 565-76.

- Shalaby, S., & Horwitz, B. A. (2015). Plant phenolic compounds and oxidative stress: integrated signals in fungal–plant interactions. *Current genetics*, 61(3), 347-357.
- Stafleu, F. A., Cowan, R. S. (1986). *Taxonomic literature* 4nd ed. Bohn, Scheltema & Holkema, Utrecht.
- Şenkul, Ç., & Kaya, S. (2017). Türkiye endemik bitkilerinin coğrafi dağılışı. *Türk Coğrafya Dergisi*, (69), 109-120.
- Tewari, J. P., & Mithen, R. F. (1999). 12 Diseases. In *Developments in Plant Genetics and Breeding* (Vol. 4, pp. 375-411). Elsevier.
- Tong, S. Y., Davis, J. S., Eichenberger, E., Holland, T. L., & Fowler, V. G. (2015). *Staphylococcus aureus* infections: epidemiology, pathophysiology, clinical manifestations, and management. *Clinical microbiology reviews*, 28(3), 603-661.
- Tunç, K., Hoş, A., & Kaya, E. (2015). Antibacterial Properties of *Tchihatchewia isatidea* Boiss. from Turkey. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 8(2), 01-02.
- Tuzlacı, E., & Doğan, A. (2010). Turkish folk medicinal plants, IX: Ovacık (Tunceli). *Marmara Pharmaceutical Journal*, 14(3), 136-143.
- Url-1: Bizim Bitkiler® (2019). Version 3.1. Published on the Internet; <http://www.bizimbitkiler.org.tr/v3/demo/details.php?id=4282&t=1> (accessed 14th November).
- Warwick, S. I., Mummenhoff, K., Sauder, C. A., Koch, M. A., & Al-Shehbaz, I. A. (2010). Closing the gaps: phylogenetic relationships in the Brassicaceae based on DNA sequence data of nuclear ribosomal ITS region. *Plant Systematics and Evolution*, 285(3-4), 209-232.

- Williams, C. M. (2000, May). Dietary fatty acids and human health. In *Annales de zootechnie* (Vol. 49, No. 3, pp. 165-180). EDP Sciences.
- Yilmaz, H., Yilmaz, H. (2009). Use of native plants in landscape planning of roadside banks under extreme climatic conditions in eastern Anatolia, Turkey. *Int. J. Biodiversity Sci. Manage.* 5(2): 102-113.
- Zambelli, B., & Ciurli, S. (2013). Nickel and human health. In *Interrelations between essential metal ions and human diseases* (pp. 321-357). Springer, Dordrecht.
- Zengin, G., Abdallah, H. H., Dogan, A., Mollica, A., Aumeeruddy-Elalfi, Z., & Mahomoodally, M. F. (2018). Phenolic components and assessment of biological properties of *Tchihatchewia isatidea* Boiss. extracts: Docking and functional approaches for designing novel products. *Food and chemical toxicology*, 111, 423-431.

BÖLÜM 5:

FİTOREMEDİASYON

Dr. Öğr. Üyesi Züleyha BİNGÜL¹

Dr. Öğr. Üyesi Fatma EKMEKYAPAR TORUN²

Dr. Öğr. Üyesi Sinan KUL³

¹ Iğdır Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, zuleyha.bingul@igdir.edu.tr

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, fyapar@atauni.edu.tr

³ Bayburt Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, sinankul@bayburt.edu.tr

GİRİŞ

Hızlı nüfus artışına paralel olarak gelişen sanayi ve kentleşme insan ve çevre sağlığını olumsuz yönde etkileyen çeşitli kirleticilerin oluşmasına neden olmaktadır. Çevreye yayılan bu kirleticilerin giderilmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Fitoremediasyon da bu yöntemlerden biridir. Terim olarak fitoremediasyon, bitki anlamına gelen “fito” kelimesi ile iyileştirme anlamına gelen “remediation” kelimelerinden türemiştir ve bitkisel iyileştirme, bitkisel arıtım ya da yeşil ıslah olarak da kullanılmaktadır.

Fitoremediasyon organik ve inorganik kirleticilerin kirlilik oluşturduğu ortamlardan bitkiler kullanılarak giderilme teknolojisidir. Bazıları kanserojen, çoğu ise toksik olan organik kirleticiler (çok halkalı aromatik hidrokarbonlar, poliklorlu bifeniller, pestisitler) insan faaliyetleri sonucu oluşmaktadır. Organik kirleticiler fitoremediasyon yöntemi ile bitkiler tarafından doğrudan bozunabilir, parçalanabilir ve uçucu hale gelebilir ya da bitki bünyesinde stabilize edilebilir. İnorganik kirleticiler (kurşun, nikel, kobalt, krom, sezyum, bor, uranyum) yerkabuğunda ve atmosferde doğal olarak bulunmakla birlikte; madencilik, sanayi, trafik gibi insan faaliyetleri sonucu da çevreye salınmakta ve toksisiteye neden olmaktadır. İnorganik kirleticiler bozunamaz, ancak fitoremediasyon ile bitki dokularında biriktirilebilir ve stabilize edilebilir (Mahar et al., 2016; Salt et al., 1998).

Fitoremediasyon, kirleticileri topraktan, sudan ve havadan temizlemek için kullanılabilir (Ma et al., 2016). Tarımsal alanlarda, endüstriyel alanlarda organik ve ağır metaller ile kirlenen toprak, belediye atıksuları, endüstriyel atıksular, sızıntı suları ve yeraltı suları fitoremediasyon ile kirleticilerden arındırılabilir. Ayrıca, bitkiler iç ve dış mekandaki havayı CO₂, SO₂, uçucu hidrokarbonlar ve ozondan filtrelemek için de kullanılabilir (Şekil 1).

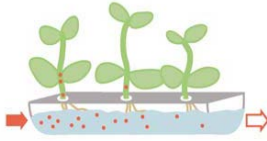
Fitoremediasyon başarısı, bitki türü ve yaşı, kirletici türü, ortamın kirlilik seviyesi, kirleticiye maruz kalma süresi, kirleticilerin erişilebilir ve kullanılabilir olması, bitkilerin kirleticiyi absorbe edebilme, parçalayabilme ve biriktirme yeteneği ile pH gibi birçok faktöre bağlıdır.

Fitoremediasyon yöntemini uygulamadan önce kirlilik seviyesi, arazi için uygun bitki türlerinin seçimi, kirletici özellikleri, bitki ekimi ve kontrolü, ortamın özellikleri, kirletici biriktiren bitkilere ne yapılacağına planlanmasına dikkat edilmelidir (Aliyeva, 2014; Ay, 2019).

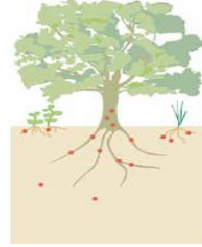
Fitoremediasyonda bitki seçerken bitkinin dikildiği ortamdaki kirleticilere tolerans seviyesi, kirleticileri taşıma, biriktirme ve giderme kapasitesi, kök derinliği ve karakteristiği, iklim koşullarına dayanıklılığı, büyüme hızı, biyokütle verimi, habitat tercihi, pH ve tuzluluğa toleransı dikkate alınması gereken özelliklerdir (Sing et al., 2012).

Fitoremediasyonda hiperakümülatör adı verilen yüksek konsantrasyonda ağır metal tutma yeteneğine sahip olan bitkiler kullanılmaktadır (Yang et al., 2005; Peer et al., 2006). Yaklaşık 500 bitki hiperakümülatör olarak tanımlanmıştır (Sarma, 2011).

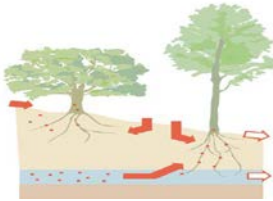
Fabaceae Lamiaceae, Brassicaceae, Asteraceae bu özelliğe sahip bitkilere dir. Hiperakümülatör olarak bilinen bu bitkiler ot, çalı ve ağaç türlerinden olup, fitoremediasyon uygulamalarında yüksek büyüme hızı, çevresel strese daha fazla uyum ve yüksek biyokütle oluşturma nedenleriyle otlar, çalı ve ağaçlardan daha fazla tercih edilmektedirler (Aliyeva, 2014). Fitoremediasyonda metallerin toprak içerisindeki hareketlerini arttırmak ve bitki bünyesi tarafından alınmasını kolaylaştırmak için toprağa şelat ilavesi yapılmaktadır. (Kılıç ve İpek, 2019). Nitro, EDTA, hümik asit ve pridin bu amaç için şelat olarak kullanılmaktadır.



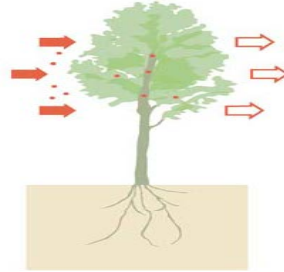
Yüzey suyu arıtımı



Toprak kirliliği giderimi



Yeraltı suyu arıtımı



Hava filtrasyonu

Şekil 1. Fitoremediasyon yöntemi ile kirlenmiş su, toprak ve havanın iyileştirilmesi (Pilon-Smits, 2005).

FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Fitoremediasyon yönteminin geleneksel iyileştirme yöntemlerine kıyasla avantajları şunlardır (Dietz and Schnoor, 2001; Farraji et al., 2016; Mohammed and M-Ridha, 2019)

AVANTAJLARI

- Düşük maliyetli ve ekonomik bir yöntemdir.
- Birden fazla kirletici ile kirlenmiş sahaları iyileştirme potansiyeline sahiptir.
- Yerinde uygulanabilir bir yöntemdir ve kirleticilerin yayılma riski düşüktür.
- Çok çeşitli organik ve inorganik kirleticilere uygulanabilir.
- Çevre dostu bir yöntemdir, uygulama sırasında doğal ortama zarar vermez.
- Geleneksel yöntemlere göre daha estetik bir yöntemdir.
- Uygulanması ve bakımı kolaydır. Pahalı ekipman ve uzman personel gerektirmez. Ayrıca bitkiler ucuz ve yenilenebilir bir kaynaktır.
- Değerli metallerin yeniden kullanılmasına imkân sağlamaktadır.

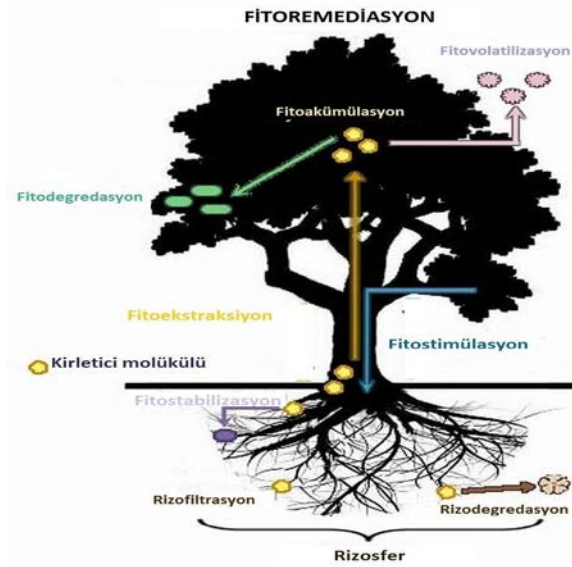
DEZAVANTAJLARI

Fitoremediasyon yönteminin avantajlarıyla birlikte dezavantajları da vardır. Bunlar (Dietz and Schnoor, 2001; Farraji et al., 2016; Mohammed and M-Ridha, 2019; Kocaer ve Başkaya, 2003);

- İyileştirme bitki köklerinin ulaşabileceği bölgeyle sınırlıdır.
- Fitoremediasyon bitkinin büyümesine bağlı olduğundan iyileştirme süresi uzundur.
- Düşük ve orta seviyede kirlenmiş bölgeler için uygundur.
- Bitkilerin canlı kalması ve büyümesi toprak ve iklim koşullarından etkilendiğinden her ortamda uygulanmaz.
- Fitoremediasyon bitki kapasitesine bağlı olduğundan tam arıtım gerçekleşmez.
- Tüm bileşikler için uygun değildir.
- Biyolojik birikim ile kirleticiler besin zincirine geçebilmektedir.
- Fitoremediasyonda kirleticilerin yeraltı sularına sızmasını engellemek tamamen mümkün olmamaktadır.

FİTOREMEDİASYON MEKANİZMALARI

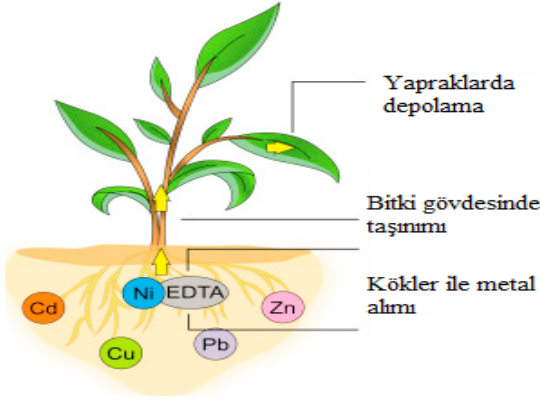
Fitoremediasyon uygulaması, bitki kökü ile mikroorganizmaların birlikte faaliyet gösterdiği birbirinden farklı mekanizmalar ile gerçekleşmektedir. Farklı ortamlarda gerçekleşen bu mekanizmalar fitodegradasyon, fitostabilizasyon, fitoekstraksiyon, fitovolatizasyon, rizofiltrasyon, rizodegradasyon, vejetatif örtü sistemleri, hidrolik kontrol ve kıyı tampon şeritleri olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Fitoremediasyon mekanizmaları (Velázquez-Fernández et al., 2012).

FİTOEKSTRAKSİYON

Fitoekstraksiyon, kirleticilerin bitki kökleri tarafından emilip, bunların bitkinin toprak üstü kısımları olan gövde ve yapraklara taşınması ve daha sonra hasat edilerek yok edilmesini içeren en yaygın fitoremediasyon tekniğidir (Pajevic et al., 2016; Longley, 2007).

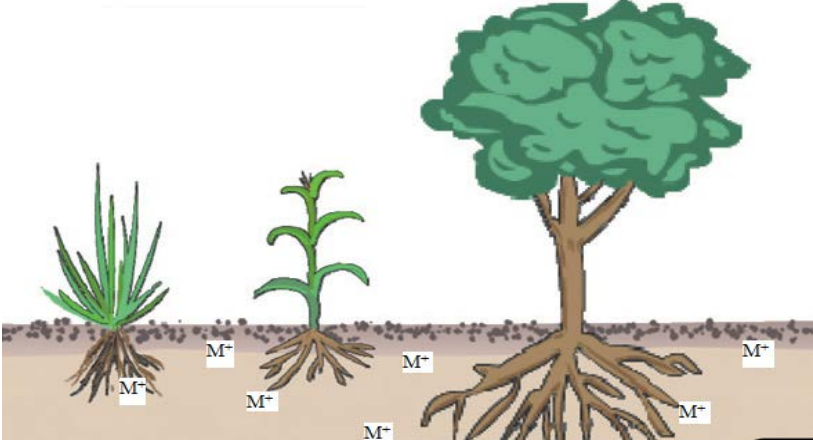


Şekil 3. Fitoekstraksiyon yöntemi (Ghori et al., 2016)

Fitoekstraksiyon genelde toprak, sediment ve sudan kirleticilerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Zn, Cu, Ni, Pb, Cd gibi ağır metal kirliliğinin düşük veya orta seviyede olduğu alanlarda yerinde uygulanan bir tekniktir. Bu yöntemde bünyelerinde diğer türlere göre en az 100 kat daha fazla toksik madde biriktirebilen hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır. Fitoekstraksiyonda kullanılan bitkiler hasat edildikten sonra kurutma, yakıp kül haline getirme, kompostlama veya depolama ile bertaraf edilir ya da madde geri kazanımı için kullanılır.

FİTOSTABİLİZASYON

Fitostabilizasyonda, topraktaki inorganik kirleticiler hareketsiz hale getirilerek su veya toz ile taşınmaları engellenir (Gil-Loiza et al., 2016). Topraktaki kirleticilerin stabil hale getirildiği fitostabilizasyon kirleticilerin hareketsizleştirilmesi, kökler tarafından biriktirilmesi, köklerin yüzeyine yapışması veya bitkinin kök bölgesinde çökmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Bu teknoloji, pestisitler ve hidrokarbonlar gibi organik kirleticilerin, bu kirletici maddelerin toksik olmayan formlara dönüşümünü hızlandıran bitki kökleriyle ilişkili mikrobiyal aktivite yoluyla bozulmasını artırabilir (Berti ve Cunningham, 2000).

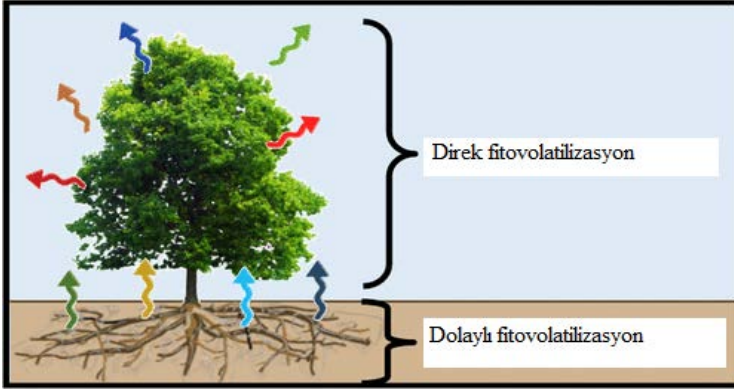


Şekil 4. Fitostabilizasyon yöntemi (Bolan et al., 2011)

Fitostabilizasyon, kökler içinde kirletici maddeleri immobilize ederek kirleticinin rüzgâr ve su erozyonu, sızıntı ve toprağın dağılması yoluyla sahayı kirletmesini önler. Fitostabilizasyonda kirlenmiş toprak yüzeyi, rüzgâr ve suya maruz kalmayı azaltmak, insanlar veya hayvanlarla doğrudan temas etmesini önlemek için bitki örtüsü ile örtülmektedir (Frerot et al., 2006). Bu teknoloji daha fazla işlem gerektiren ikincil atık üretmez. Aynı zamanda toprak verimliliğini artırır, böylece ekosistem restorasyonunu sağlar. Bununla birlikte, kirletici maddeler yerinde bırakıldığı için, en uygun stabilizasyon koşullarının korunmasını sağlamak için saha düzenli olarak izlenmelidir. Toprak değişiklikleri hareketsizleştirmeyi arttırmak için kullanılıyorsa, etkinliklerini korumak için periyodik olarak yeniden uygulanması gerekebilir (Bolan et al., 2011).

FİTOVOLATİLİZASYON

Fitovolatilizasyon, kirleticilerin atmosfere hareketini içerir. Bitki kökleri tarafından alınan kirleticilerin değişik formlara dönüştürülerek transpirasyon ile atmosfere salınımıdır.

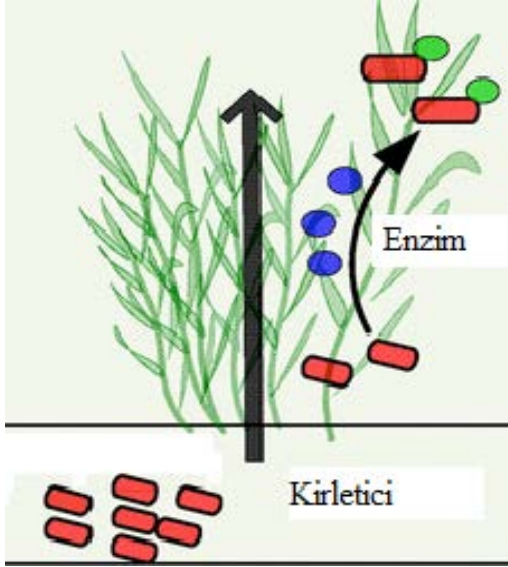


Şekil 5. Fitovolatilizasyon yöntemi (Limer and Burken, 2016).

Bu yöntem yeraltı suları, toprak ve sediment iyileştirmede uygulanmaktadır. Selenyum, arsenik, civa gibi inorganik kirleticiler ile tetrakloroetan, triklorometan ve tetraklorometan gibi organik kirleticilerin giderilmesinde kullanılabilir. Bu tekniğin en büyük avantajı, kirleticinin daha az toksik bir maddeye dönüştürülerek atmosfere verilmesidir. Ancak, modifiye edilmiş maddenin yine de potansiyel toksik madde olarak atmosferde yayılma olasılığı vardır (Kumar et al., 2017; Mohammed et al., 2019; Srivastav et al., 201; Kalkan vd., 2011).

FİTODEGRADASYON

Fitodegradasyon, kirleticilerin topraktan, sedimentten, yeraltı veya yüzey suyundan, bitki kökü tarafından alındıktan sonra ürettiği ve salıverdiği enzimler yoluyla parçalanması ve bozunması anlamına gelir. Fitodegradasyon, klorlu bileşikler, herbisitler, pestisitler, fenol ve mühimmatlar gibi bazı organik kirleticilerin gideriminde uygulanmaktadır (Saravanan et al., 2019; Basu et al., 2018).



Şekil 6. Fitodegradasyon yöntemi (He et al., 2017).

RİZOFİLTRASYON

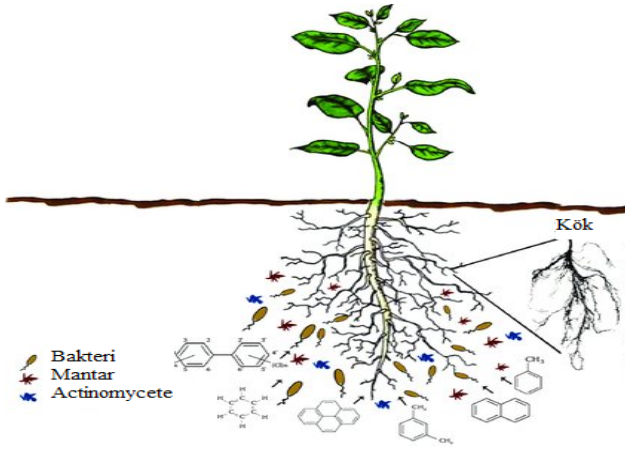
Rizofiltrasyon, organik ve inorganik kirleticilerin yeraltı suyu, yüzey suyu ve atıksudan bitkiler tarafından adsorpsiyon ile uzaklaştırıldığı bir fitoremediasyon yöntemidir. Bu işlem bitkilerin kök sistemi ve diğer toprağa batık organları aracılığıyla gerçekleşmektedir. Kirleticiler köklerde adsorbe veya absorbe edilmiş şekilde kalır. Bu teknikte seçilen bitkiler yüksek miktarda kirletici biriktirebilmeli, düşük maliyetli olmalı ve minimum düzeyde ikincil atık üretmelidir. Rizofiltrasyonda, ilk olarak, bitkiler büyük bir kök sistemi elde etmek için temiz suda büyütülür. Çok büyük bir kök sistemi geliştirildikten sonra, bitki köküne adapte olmak için kirli su verilir. Bitkiler daha sonra, kök kütle sisteminin biriktiği ve sudaki kirleticileri aldığı kirli alana yerleştirilir. Kök kütleleri kirletici maddelere doymun hale geldiğinde, bitkiler toplanır ve güvenli bir şekilde imha edilir (Dimitroula et al., 2015; Clay and Pichtel, 2019; Abdel-Shafy and Mansour, 2018).



Şekil 7. Rizofiltrasyon yöntemi (Abdel-Shafy and Mansour, 2018).

RİZODEGRADASYON

Rizodegradasyon, organik kirleticilerin kök bölgesinde mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanmasıdır (Lu et al., 2011; Kaimi et al., 2007). Rizosferde, rizodegradasyon bitki-mikrop-kirletici etkileşimlerinden kaynaklanır. Genel olarak, bitki kökleri karbon ve azot kaynağı olup, karbonhidrat, karboksilik ve amino asitler bulunmaktadır. Bu durum mikrobiyal popülasyonları uyarmakta ve artan aktivite organik kirleticilerin biyolojik olarak parçalanmasına neden olmaktadır. Bu işlem genelde bakteri, mantar ve mayalar tarafından yapılmaktadır. Rizodegradasyon esnasında, mikroorganizmalar bitki köklerinin biyolojik aktivitelerini artırır, toprağı gevşetir ve ardından havalandırma ve suyun taşınması için yollar açar. Rizodegradasyon yerinde olan bir süreçtir, kirleticinin bitkinin diğer kısımlarına ya da atmosfere taşınımı diğer yöntemlere göre daha azdır (Dzantor, 2007; Abdel-Shafy and Mansour, 2018).



Şekil 8. Rizodegradasyon yöntemi (Abdel-Shafy and Mansour, 2018).

HİDROLİK KONTROL

Hidrolik kontrol özellikle yeraltı sularında ve ayrıca toprak ve sedimentte kirleticilerin kontrolü için uygulanan bir fitoremediasyon yöntemidir. Bu yöntemde, bitki kullanılarak kirleticilerin taşınması engellenmektedir. Hidrolik kontrol uygulamalarında genellikle yüksek miktarlarda su geçirme kabiliyetine sahip olan ve böylece sahadaki mevcut su dengesini etkileyebilen köklü bitkiler kullanılmaktadır. Hidrolik kontrol yönteminde transpirasyonun artmasıyla kirleticilerin vadoz bölgesinden sızması ve yeraltı suyunda yer alan kirletici madde taşınımı azaltmaktadır (Etim, 2012). Bu yaklaşım, radyoaktif maddeleri sızdıran bölgelerin sınırlandırılmasında etkili olabilir (Dushemkov, 2003). Hidrolik kontrol yönteminin en önemli dezavantajı iklime bağlı olarak bitkinin su alımının değişmesidir (Kalkan vd., 2011).

VEJETATİF ÖRTÜ SİSTEMLERİ

Vejetatif örtü sistemleri yönteminde kirletici toprak yüzeyindeki bitki örtüsü ile kontrol altına alınmaktadır. Uzun ömürlü ve yenilenebilir bir yapı olan vejetatif örtü sistemleri, çevresel riskleri olan malzemelerin içinde veya üzerinde büyür. Vejetatif örtü iki çeşittir. Birincisinde, bitki topraktaki su kaybını en aza indirir ve kirletici elementlerin yıkama oluşumuna indirgenemeyeceği veya taşınmaz hale gelemeyecekleri şekilde su tutma kapasitesini en üst düzeye çıkarır. İkincisinde bitki, örtü olarak su filtrasyonunu en aza indirir ve alt tabakadaki kirliliğin bozulmasını sağlar (Adıloğlu, 2014). Ayrıca yüzey erozyonunu önler ve az miktarda da olsa gaz emilimini sağlar. Katı atık düzenli depolama alanlarında alternatif örtü olarak da kullanılmaktadır (Trapp and Karlson, 2001). Bu yöntemin en önemli dezavantajı, uygun bitki örtüsünü sağlamak için gereken uzun süreli bakım ve kontrolü sürdürme ihtiyacıdır (Adıloğlu, 2014).

KIYI TAMPON ŞERİTLERİ

Kıyı tampon şeritleri, yeraltı suyu ve yüzeysel sularından kirleticiler ile tarlalardan besin maddelerinin akışını önlemek için akarsu kıyılarına kıyı boyunca yapılan bitki ekme işlemidir. Bu yöntem ile herbisit yükü azalmakta, erozyon kontrol edilmektedir. Bu yöntemde genellikle kavak kullanılmaktadır (Trapp and Karlson, 2001; Hamutoğlu vd., 2012).

FİTOREMEDİASYONDAN SONRA BİTKİLERİN BERTARAFI

Fitoremediasyon teknolojisi ile bir yandan toprak, su ve hava temizlenirken diğeryandan kirlenmiş bitkiler oluşmakta ve bu nedenle fitoremediasyon nihai bir giderim yöntemi olarak düşünülmemektedir (Stals et al., 2010). Fitoremediasyon sonucu ortaya çıkan bitkiler yakılarak ya da depolanarak bertaraf edilmektedir. Ancak gübre olarak değerlendirilmesi ve metal geri kazanımında kullanılması da mümkündür (Yıldırım, 2016). Termokimyasal prosesler arasında biyokütleyi enerji ve ürünlere dönüştüren piroliz yöntemi de fitoremediasyon sonucu ortaya çıkan bitkiler için iyi bir alternatiftir (Özkan et al., 2016).

KAYNAKLAR

- Abdel-Shafy, H., Mansour, M.S.M., (2018). Phytoremediation for the Elimination of Metals, Pesticides, PAHs, and Other Pollutants from Wastewater and Soil. In: *Phytobiont and Ecosystem Restitution*. Springer, Singapore. 101-136.
- Adıloğlu, S., (2014). Amendment of Heavy Metal Pollution in Agricultural Lands With Phytoremediation Techniques. *IAAOJ, Scientific Science*, 2(2): 37-40.
- Aliyeva, G., (2014). Fitoremediasyon Yöntemi (Bitki) ile Sucul Sistemlerin İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 135 sayfa.
- Ay, İ., (2019). Ağır Metal Şelasyonunda Fitoremediasyon Tekniği ve Uygulamada Etkili Makrofitler. *MedFAR.*, 2(3) :77-82.
- Basu, S., Rabara, R.C., Negi, S., Shukla, P., (2018). Engineering PGPMOs through gene editing and systems biology: a solution for phytoremediation? *Trends in Biotechnology*. 36 (5): 499–510.
- Berti, W. R., Cunningham, S. D. (2000). Phytostabilization of metals. *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment*. 71–88. Wiley, New York.
- Bolan, N.S., Park, J.H., Robinson, B., Naidu, R., Huh, K.Y., (2011). Phytostabilization: A Green Approach to Contaminant Containment. *Advances in Agronomy*, 112: 145-203.
- Chang, L., (2017). Heavy metal pollution control technology-phytoremediation in China.

- Clay, L., Pichtel, J., (2019). Treatment of Simulated Oil and Gas Produced Water via Pilot-Scale Rhizofiltration and Constructed Wetlands. *International Journal of Environmental Research* (2019) 13:185–198
- Dietz, A., Schnoor J.L., (2001). Advances in Phytoremediation. *Environmental Health Perspectives* 109(1): 163-168.
- Dimitroula, H., Syranidou, E., Manousaki, E., Nikolaidis, N.P., Karatzas, G.P., Kalogerakis, N., (2015). Mitigation measures for chromium-VI contaminated groundwater –The role of endophytic bacteria in rhizofiltration. *Journal of Hazardous Materials* 281: 114–120.
- Dushenkov, S., (2003). Trends in phytoremediation of radionuclides. *Plant and Soil* 249: 167–175.
- Dzantor, E.K., (2007). Phytoremediation: the state of rhizosphere 'engineering'for accelerated rhizodegradation of xenobiotic contaminants. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 82:228 – 232
- Etim, E. E., (2012). Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review. *International Journal of Environment and Bioenergy*, 2(3): 120-136.
- Farraji, H., Zaman, N.Q., Tajuddin, R.M., Faraji, H., (2016). Advantages and Disadvantages of Phytoremediation: A Concise Review. *Int J Env Tech Sci* 2: 69–75.
- Frerot, H., Lefebvre, C., Gruber, W., Collin, C., Dos Santos, A., Escarre, J., (2006). Specific interactions between local metalicolous plants improve the phytostabilization of mine soils. *Plant and Soil*, 282: 53–65.

- Ghori, Z., Iftikhar, H., Bhatti, M.F., Minullah, N., Sharma, I., Kazi, A.G., Ahmad, P., (2016). - Phytoextraction: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Soil. *Plant Metal Interaction Emerging Remediation Techniques Chapter 15*, 385-409
- Gil-Loaiza, J., White, S.A., Root, R.A., Solís-Dominguez, F.A., Hammond, C.M., Chorover, J., Maier, R.M., (2016). Phytostabilization of mine tailings using compost-assisted directplanting: Translating greenhouse results to thefield. *Science of the Total Environment*, 565: 461-461.
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.B., Cansaran-Duman, D., Aras, S., (2012). Biyosorpsiyon, Adsorpsiyon ve Fitoremediasyon Yöntemleri ve Uygulamaları. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(4): 235-253.
- He, Y., Langenhoff, A., Sutton, N., Rijnaarts, H., Blokland, M., Chen, F., Huberand, C., Schröder, P., (2017). Metabolism of ibuprofen by *Phragmites australis*: uptake and phytodegradation. *Environmental Science Technology*, 51 (8), 4576–4584.
- Kaimi, E., Mukaidani, T., Tamaki, M., (2007). Effect of Rhizodegradation in Diesel-Contaminated Soil Under Different Soil Conditions. *Plant Production Science*, 10(1) : 105-111.
- Kalkan, H., Orman, Ş., Kaplan M., (2011). Kirlenmiş Arazilerin Islah Edilmesinde Fitoremidasyon Tekniği, *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25 (4): 103-108.
- Kılıç, D.D., İpek, A., (2019). Bazı Tarım Bitkileri Kullanılarak Arıtma Çamurundan Kurşun Kirliliğinin Şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1): 458-467.

- Kocaer, F.O., Başkaya, H.S., (2003). Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Uygulanan Teknolojiler. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakóltesi Dergisi, 8(1): 121-131.
- Kumar, S.S.S., Kadier, A., Malyan, S.K., Ahmad, A., Bishnoi, N.R., (2017). Phytoremediation and Rhizoremediation: Uptake, Mobilization and Sequestration of Heavy Metals by Plants. In: Singh DP, ed. Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives. Vol. 2. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 367–394.
- Limmer, M., Burken, J., (2016). Phytovolatilization of Organic Contaminants. Environmental Science & Technology, 50: 6632–6643.
- Longley, K., (2007). The Feasibility of Poplars for Phytoremediation of TCE Contaminated Groundwater: A Cost-Effective and Natural Alternative Means of Groundwater Treatment Master Thesis of Environmental Studies The Evergreen State College.
- Lu, H., Zhang, Y., Liu, B., Liu, J., Ye, J., Yan, C., (2011). Rhizodegradation gradients of phenanthrene and pyrene in sediment of mangrove (*Kandelia candel* (L.) Druce). Journal of Hazardous Materials, 196: 263-269.
- Ma, Y., Rajkumar, M., Zhang, C., Freitas, H., (2016). Beneficial role of bacterial endophytes in heavy metal phytoremediation. Journal of Environmental Management 174: 14-25.
- Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Awasthi, M.K., Lahori, A.H., Wang, Q., Li, R., Zhang, Z., (2016). Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety. 126: 111–121.

- Mohammed, O.N., M-Ridha, M.J. (2019). Phytoremediation of organic pollutants in wastewater using native plants. *Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences* 26(2): 54–65.
- Özkan, A., Banar, M., Günkaya, Z., Kulaç, A., Yalçın, G., Taşpınar, K., Altay, A., (2016). Fitoremediasyon ve piroliz işlemlerinin ardışık uygulamasıyla kadmiyum stabilizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6): 497-502.
- Pajevic, S., Borisev, M., Nikolic, N., Arsenov, D.D., Orlovic, S., Zupunski, M., (2016). Phytoextraction of Heavy Metals by Fast- Growing Trees: A Review. *Phytoremediation Management of Environmental Contaminants*, 3: 29-64.
- Peer, W.A., Baxter, I.R., Richards, E.L., Freeman, J.L., Murphy, A.S., (2006). Phytoremediation and hyperaccumulator plants. In *Molecular Biology of Metal Homeostasis and Detoxification*. 299– 340. Springer, Berlin, Germany.
- Pilon-Smits, 2005. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Biol.*, www.annualreviews.org, 56: 15-39.
- Saravanan, A., Jeevanantham, S., Narayanan, A.V., Kumar, P.S., Yaashikaa, P.R., Mathan Muthu, C.M., (2019). Rhizoremediation – A promising tool for the removal of soil contaminants: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 103543.
- Salt, D.E., Smith, R.D., Raskin, I., (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 49: 643–668.

- Sarma, H., (2011). Metal hyperaccumulation in plants: a review focusing on phytoremediation technology. *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(2), 118-138.
- Singh, D., Tiwari, A., Gupta, R., (2012). Phytoremediation of Lead from Wastewater Using Aquatic Plants, *Journal of Agricultural Technology*, 8(1): 1-11.
- Srivastav, A., Yadav, K. K., Yadav, S., Gupta, N., Singh, J. K. et al. (2018). Nano-phytoremediation of pollutants from contaminated soil environment: Current scenario and future prospects. In: Ansari, A. A. et al. (eds.), *Phytoremediation*, pp. 383-401. Springer Nature Switzerland.
- Stals, M., Thijssen, E., Vangronsveld, J., Carleer, R., Schreurs, S., Yperman, J., (2010). Flash pyrolysis of heavy metal contaminated biomass from phytoremediation: Influence of temperature, entrained flow and wood/leaves blended pyrolysis on the behaviour of heavy metals. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 87: 1-7.
- Trapp, S., Karlson, U., (2001). Aspects of phytoremediation of organic pollutants. *Journal of Soils and Sediments*, 1(1): 37-43.
- Velazquez-Fernandez, J.B., Martinez-Rizo, A.B., Ramirez-Sandoval, M., ve Dominguez-Ojeda, D., (2012), *Biodegradation and Bioremediation of Organic Pesticides. Pesticides - Recent Trends in Pesticide Residue Assay*.
- Verma, P., George, K.V., Singh, H.V., Singh, S.K., Juwarkar, A., Singh, R.N., (2006). Modeling rhizofiltration: heavy-metal uptake by plant roots. *Environmental Modeling and Assessment*, 11: 387-394.

Yang, X., Feng, Y., He, Z., Stoffellab, P.J., (2005). Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18(4): 339-353.

Yıldırım, D., (2016). Fitoremediasyon Sonrası Yabani Hint Yağı (*Ricinus comimnus*) ve Aspir (*Carthamus tinctorius*) Bitkilerinin Biyokütlesinden Toksik Metallerin Elektrokimyasal Yöntemle Giderimi ve Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi.



IKSAD
Publishing House



978-625-7029-15-5