



Pınar Aksoy

Muhittin Doğan

Gaziantep University, Gaziantep-Turkey
p-n-r-aksoy@hotmail.com; muhgan@gmail.com

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.3.5A0135	
ORCID ID	0000-0002-9265-0611	0000-0001-5400-8065
CORRESPONDING AUTHOR	Pınar Aksoy	

ALÜMİNYUM TOKSİSİTESİNE *Ocimum basilicum* var. *Purpurascens*'İN FİZYOLOJİK YANITLARI

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, kontrollü şartlarda ve su kültürü ortamında yetiştirilen *Ocimum basilicum* var. *purpurascens* (mor reyhan)'te Al'nin fizyolojik etkilerini değerlendirmektir. Bu ortama alıştırmaya periyodu sonunda, fidelere 0, 5, 25 ve 50 mg/L Al uygulanmıştır. Fideler 12 gün sonra hasat edilmiştir. Al toksisitesinden dolayı fidelerin büyüme ve gelişimleri azalmıştır. Uygulanan derişime bağlı olarak fide yapraklarının K_l-a, K_l-b ve karotenoid miktarı azalmıştır. Ancak, antosiyanin miktarları önemli bir değişim göstermemiştir. Bunun yanında MDA, hidrojen peroksit, toplam fenolik madde ve protein olmayan SH gruplarında derişime bağlı olarak genelde artışlar bulunmuştur. Bu sonuçlar, mor reyhan fidelinde Al tarafından indüklenen oksidatif stresin varlığını gösterebilir.

Anahtar Kelimeler: *Ocimum basilicum* var. *purpurascens*,
Al Toksisitesi, Fizyolojik Etki, Büyüme

PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF *Ocimum basilicum* var. *Purpurascens* TO ALUMINIUM TOXICITY

ABSTRACT

The aim of the present study is to evaluate the physiological effects of Al application on the *O. basilicum* var. *purpurascens* (purple basil) seedlings, which were grown in a climate chamber as hydroponically. After seedlings were acclimatized in nutrient solution, they were supplied with 0, 5, 25 and 50 mg/L Al. After 12 days application, the seedlings were harvested. Because of Al toxicity, growth of the seedlings was reduced. A dose-dependent reduction was found in chl-a, chl-b and carotenoid contents. However, anthocyanin content did not significantly change. Besides, a dose-dependent increase was generally determined on the contents of MDA, H₂O₂, total phenolics and non-protein -SH groups. These results suggest a possible Al-induced oxidative stress in purple ruffles seedling tissues.

Keywords: *Ocimum basilicum* var. *purpurascens*, Al Toxicity, Physiological Effect, Growth

How to Cite:

Aksoy, P. ve Doğan, M., (2020). Alüminyum Toksisitesine *Ocimum basilicum* var. *Purpurascens*'in Fizyolojik Yanıtları, Ecological Life Sciences (NWSAELS), 15(3):85-93, DOI: 10.12739/NWSA.2020.15.3.5A0135.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Metaller doğal olarak topraklarda bulunurlar ve bunlar canlılar için faydalı veya toksik olabilirler. Metal fazlalığı genel olarak bitkiler üzerinde benzer etkiler yaratabilirler. Ancak ayrı metallerin farklı bitkiler üzerinde spesifik etkilerinin görüldüğü pek çok durum söz konusudur [18]. Bitkiler genetik özellikleri veya çevreyle sağladıkları uyum sonucunda kazandıkları özellikleriyle metalce yoğun topraklarda metalin çeşidine göre toleranslı ve hassas olarak gruplandırılır. Toleranslı bitkiler kökten aldıkları metali gövde ve diğer toprak üstü organlarında biriktirebilirler. Bu bitki türleri dokularındaki metalleri toprak üstü dokularında, topraktaki veya biriktirme yapamayan türlerin bulundukları miktardan çok daha yüksek derişimlerde biriktirirler [15].

Alüminyum pek çok kullanım alanı bulunmaktadır. Bu alanlar arasında inşaat, ulaştırma, elektrik elektronik, metal sanayi, mobilya, dekorasyon ürünleri, levha, mutfak gereçleri, soğutucu yapımı, spot ışıklar, ambalaj yapımı, uçak ve bisiklet gibi hafif olması istenen araçların yapımı sayılabilir [24].

Alüminyum toksisitesi dünyadaki ekilebilir toprakların %40'ında ürün verimliliğini kısıtlayan ana etmenlerden birisidir. Alüminyum, orta asidik veya nötral pH değerlerine sahip topraklarda özellikle çözünmeyen alüminyum silikat veya alüminyum oksitler şeklinde bulunur. Fakat toprak asitliği arttıkça Al'nin fitotoksik formları bitki büyüme ve gelişmesini etkileyen seviyelere ulaşabilmektedir [7].

Alüminyum toksisitesinin en bariz belirtisinden biri de kök gelişiminin engellenmesidir. Bununla birlikte, bitki gövdesinde Al'ye karşı meydana gelen tepkiler ise hücresel boyutta değişimler, stoma boşluklarının küçülmesi, yapraklarında kloroz ve nekrozlar, fotosentetik aktivitede azalma, yaprak sayısı ve boyutu ile gövde biyokütlesindeki azalmalar sayılabilir [6 ve 14].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Sanayi devriminden sonra artan kirleticileri, yaygın bir şekilde çevrede birikerek bütün canlıları tehdit eder seviyelere ulaşmıştır. Bu çevre kirleticilerinden olan metaller de dünya yüzeyindeki bütün canlıların yaşamını olumsuz şekilde etkileyen bir çevre sorunu haline almıştır. Bu tehdit, diğer canlılar gibi bitkiler üzerinde de etkili olmaktadır. Alüminyum, toprak kabuğunda en bol elementlerdendir. Bunun yanında, Al toksisitesi, özellikle asidik topraklarda bitki verimliliğini sınırlandıran başlıca çevresel streslerden biridir. Bu nedenle, sunulan bu çalışma, tıbbi ve aromatik bitki olan *Ocimum basilicum* var. *purpurascens*'in (mor reyhan, mor fesleğen) kontrollü şartlarda ve su kültürü ortamında, Al'nin farklı derişimlerine karşı verdiği bazı fizyolojik yanıtların belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

3.1. Deney Ortamı ve Uygulama (Test Environment and Application)

Mor reyhan (*O. basilicum* var. *purpureascens*) tohumları, çalışmaya başlanmadan önce %5'lik sodyum hipoklorit ile 15 dakika steril edildikten sonra 3 kez distile su ile yıkandı. Daha sonra, bu tohumlar perlit ortamına ekildi. Perlit ortamı ihtiyaç anında distile su ile sulandı. Tohumların çimlendirme çalışması kontrollü şartlarda gerçekleştirildi. Mor reyhan fideleri kontrollü şartlarda (~120 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$ ışık ve $23\pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklık), bir iklimlendirme dolabında (Snijders Scientific) gelişimlerine devam ettirildi. Fidelere uygulanan besin çözeltisi 0.88mM K_2SO_4 , 2mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0.25mM KH_2PO_4 , 1 mM MgSO_4 , 0.11 mM KCl, 100 μM Fe-EDTA, 10 μM H_3BO_3 , 5 μM MnSO_4 , 10 μM ZnSO_4 , 2 μM CuSO_4 ve 0.2 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ içermekteydi. Besin çözeltisi %10'luk konsantrasyonda kullanıldı. Daha sonra, her kapta dört fide olacak

şekilde, mor reyhan fideleri iki litrelik %10'luk besin çözeltisi ihtiva eden su kültürü kaplarında aktarıldı. Su kültürü ortamına alışma dönemi sonunda, fidelere Al'nin 0, 5, 25 ve 50 mg/L'lik konsantrasyonları uygulandı. Uygulama çözeltileri 2 günde bir değiştirilerek yenilendi. On iki günlük Al uygulamasını takiben, fideler hasat edildi. Fidelerin kökleri 3 kez distile su ile yıkandı. Fizyolojik analizlerde kullanılacak fide organları derin dondurucuda muhafaza edildi. Fide organlarının taze ağırlıkları hasat anında, kuru ağırlıkları ise 80°C'de sabit tartıma kadar etüvde kurutulduktan sonra hassas terazi ile belirlendi.

3.2. Fizyolojik Analizler (Physiological Analyses)

Pigment analizleri için yapraklar %80'lik aseton ile homojenize edildi. Daha sonra, santrifüj edilen numunelerin süpernatantları 662, 645 ve 470 nm'de UV/VIS spektrofotometrede (Cintra 202) asetona karşı okundu. Klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid hesaplamaları Lichtentaler ve Wellburn [9]'e göre yapıldı. Antosiyanin analizi Mancinelli vd. [10]'nin saptadıkları yöntemle belirlendi. Antosiyanin hesaplanması şu formülle yapıldı: $A=A_{530}-A_{657}$.

Fenolik bileşiklerin belirlenmesi Ratkevicius vd. [17]'ne göre yapıldı. Homojenize edilen taze fide materyalinin süpernatantından 50 µl alınarak son hacim 1 ml olacak şekilde %3'lük sodyum karbonat ve 0.3 N Folin-Ciocalteu eklenerek oda sıcaklığında 20 dakika bekletildi. Daha sonra bu örnekler 765 nm'de spektrofotometrede okundu. Sonuçlar gallik asit standart değişimleri ile absorbanları arasındaki doğrusal ilişki kullanılarak hesaplandı. Protein olmayan SH grupların belirlenmesi için homojenize edilen taze fide organları santrifüj edildi. Süpernatanttan 0.5 ml alındı ve üzerine 5 mM etilen diamintetra asetik asit (EDTA) içeren 150 Mm'luk fosfor tamponu (pH 7.4) eklendi. Sonra bu örnek üzerine 0.5 ml 6mM'luk dithio nitro benzoik asit (DNTB) eklendi ve çalkalandı. 20 dakikalık bekleme periyodu sonunda örnekler spektrofotometrede 412nm'de okundu [5]. Mor reyhan fide organlarının H₂O₂ içerikleri Sergiev vd. [21]'ne göre belirlendi. Santrifüj edilen örneklerden 0.5ml alındı. Üzerine 0.5ml fosfor tamponu ve 1M'luk KI'dan 1ml eklendi. Bu karışım 390nm'de spektrofotometrede okundu. Mor reyhan fidelerinin kök, gövde ve yapraklarının MDA analizleri için, örnekler %10'luk TCA'da homojenize edildi. Bu numuneler 20 dakika boyunca santrifüj edildi. Sonra 2ml süpernatanttan alınarak üzerine 2ml tiyobarbutirik asit eklendi ve 95°C'de 30 dakika su banyosunda bekletildi. Bu işlemi takiben numuneler buzlu su ortamında şok soğutuldu. MDA miktarının belirlenmesi için örnekler spektrofotometrede 532, 600 ve 450nm'de okundu [25]. Kurutulmuş örnekler tartılıp 50 mL'lik erlene konuldu. Üzerine 10mL konsantre HNO₃ ilave edildi. Örnekler ısıtıcı tablada mineralize edildikten sonra, 1 M HCl içerisinde çözdürüldü. Örneklerdeki Al değişimleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi (Perkin Elmer Elan DRC-E) kullanılarak belirlendi.

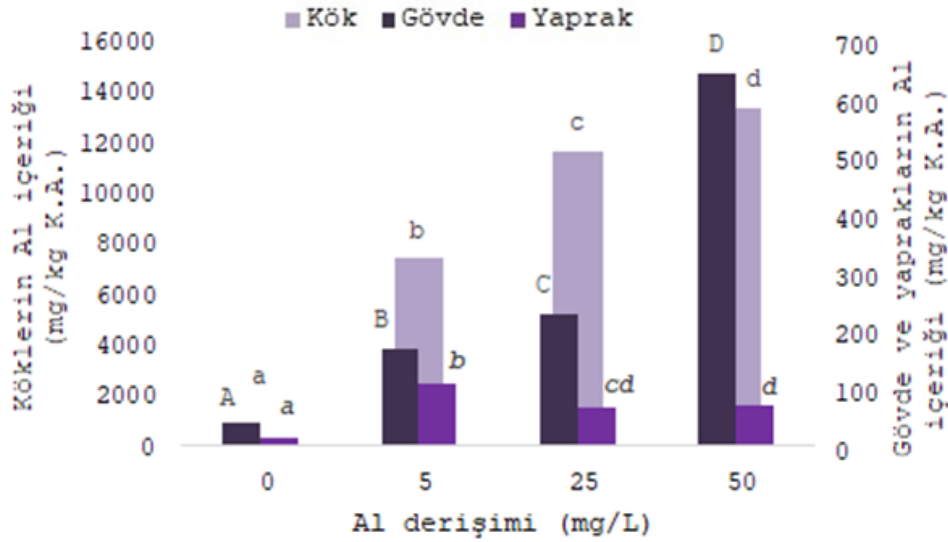
3.3. Data Analizi (Data Analysis)

Araştırma bulgularının istatistiksel analizi SPSS (SPSS 11.0 for Windows) paket programı kullanılarak yapıldı. Hangi grubun ya da grupların farklı olduğunu belirlemek amacıyla One-Way ANOVA LSD testi uygulandı.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Çalışmamızda, su kültürü şartlarında farklı derişimlerde Al etkisinde yetiştirilen mor reyhan fidelerindeki bazı fizyolojik değişimler belirlenmiştir. Reyhan fidelerinin kök ve gövdelerinin Al

içeriği, uygulanan Al derişimindeki artışla genelde arttığı bulunmuştur (Şekil 1).

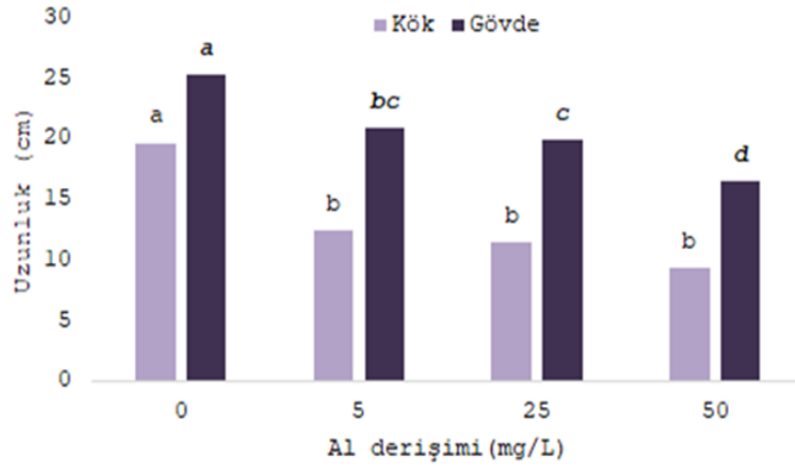


Şekil 1. Mor reyhan fide organlarının Al içerikleri. Barlar üzerindeki farklı harfler $p<0.05$ düzeyinde önemi belirtir
(Figure 1. Al contents of purple basil seedling organs. Different letters on the bars indicate significance at $p<0.05$)

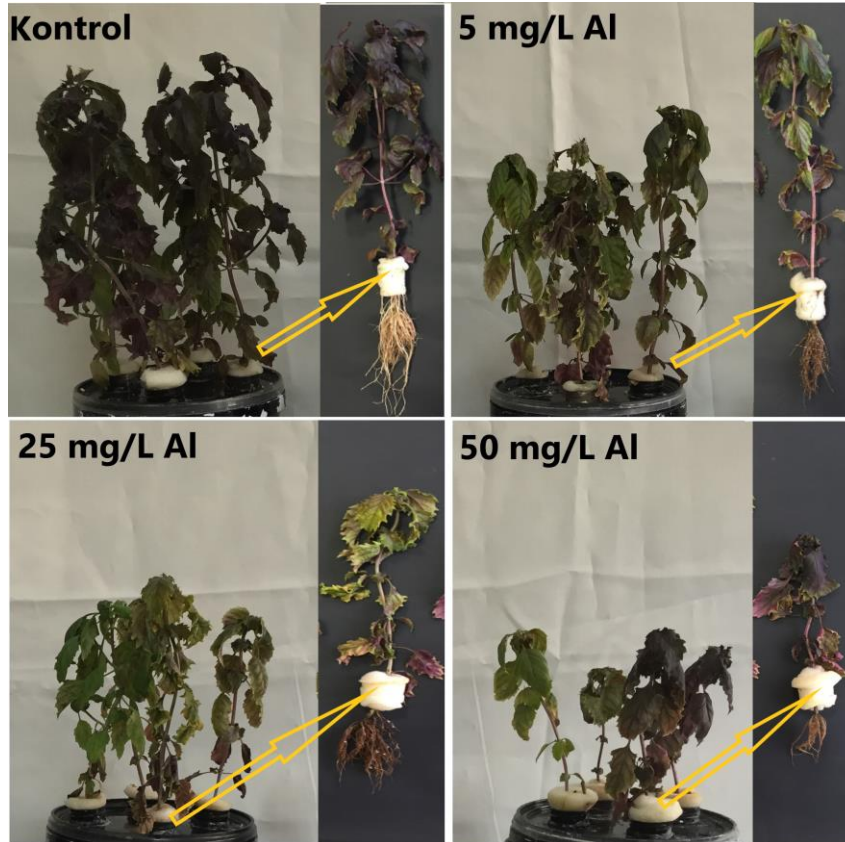
Fide organlarının Al içeriğinin kök>gövde>yaprak şeklinde olduğu görülmüştür. Ancak, fide yapraklarının Al içeriği 5 mg/L'lik Al derişiminde önemli düzeyde artmış iken, 25 ve 50 mg/L'lik derişimde ise 5 mg/L'lik derişimlere oranla azaldığı belirlenmiştir. Bu durum özellikle yüksek Al derişimlerinde yapraklara metalin taşınmasının sınırlandırıldığını gösterebilir. Fotosentetik aktivite merkezi olan bitki yaprağının Al'nin toksik etkilerinden bu şekilde korunuyor olması, bu bitkide bulunan bir mekanizma olabilir. Bu durumun ileride diğer metallerle yapılacak çalışmalarla da desteklenmesinde fayda vardır.

Metallerin toksik etkilerinin başında büyüme ve gelişmede azalma en belirgin semptomdur. Mor reyhan ile yaptığımız çalışmada, uygulanan Al derişimleri büyüme ve gelişme üzerinde olumsuz etkilere yol açtığı belirlenmiştir (Şekil 2). Kök uzunluğu 5, 25 ve 50 mg/L'lik Al etkisinde kontrole göre sırasıyla %37.13, %42.21 ve %52.55 ($p<0.05$) düzeylerinde azalmıştır. Benzer olarak, fidelerin gövde uzunlukları 5, 25 ve 50 mg/L'lik Al etkisinde kontrole göre sırasıyla %17.75, %21.31 ve %34.99 ($p<0.05$) düzeylerinde azalmıştır.

Özellikle yüksek derişimdeki Al'nin uzun süreli uygulanması sonucu köklerde bodurlaşma ve şişkin kök oluşumu görüldüğü bildirilmiştir. Kökler genellikle küt ve kolay kırılabilirken, kök uçları ile yan kökler ise kalınlaşmış ve renkleri kahverengiye dönmüş bir durum göstermektedir [6 ve 20]. Literatürdeki bilgilere benzer olarak, fide köklerinin Al toksisitesinden olumsuz şekilde etkilendiği görülmüştür (Şekil 3). Reyhan fidelerinin köklerinde bariz kahverengileşmeler bu durumu açıkça ortaya çıkartmıştır. Ayrıca, uygulanan Al derişimleri fide yapraklarında kloroz ve nekrozlara yol açmıştır. Barlar üzerindeki farklı harfler $p<0.05$ düzeyinde önemi belirtir.

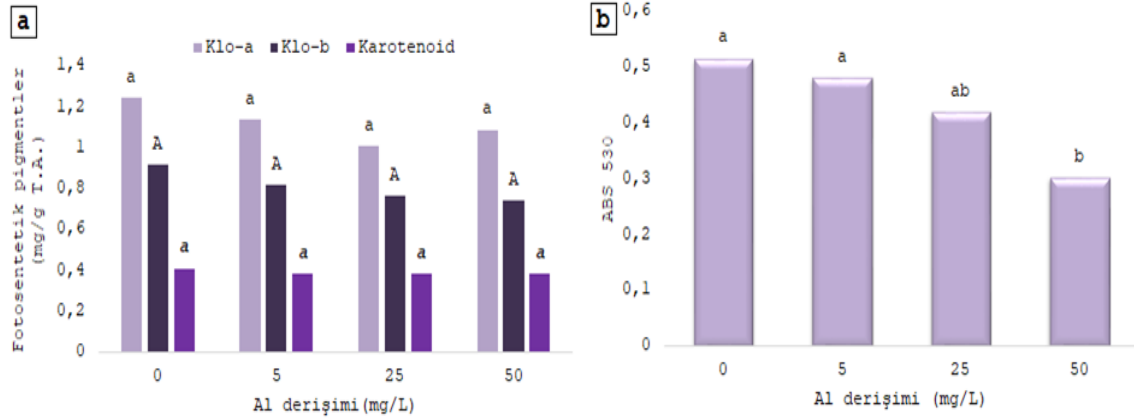


Şekil 2. Al derişimlerinin etkisinde yetiştirilen mor reyhan fidelerinin kök ve gövde uzunlukları
(Figure 2. Root and stem lengths of purple basil seedlings grown under the influence of Al concentrations. Different letters on the bars indicate significance at $p<0.05$)



Şekil 3. Mor reyhan fidelerinin Al uygulması sonrası durumu
(Figure 3. Purple basil seedlings at the end of Al applications)

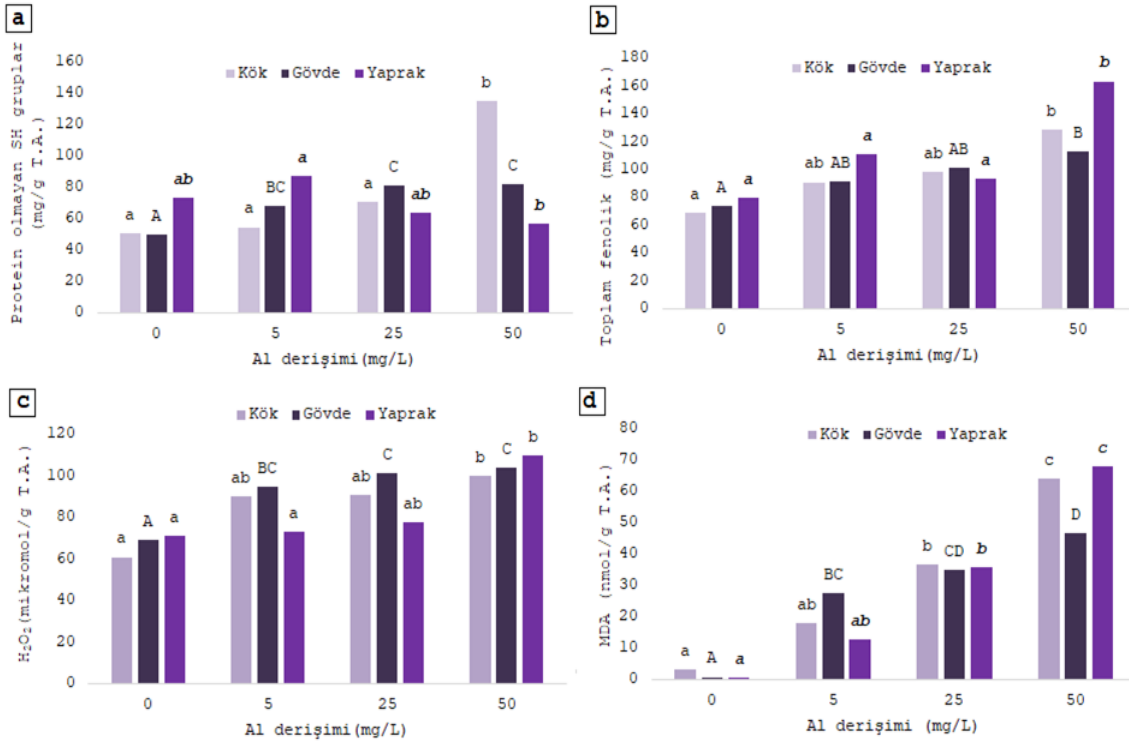
Fotosentetik pigmentlerden olan Klo-a ve Klo-b toksik metal stresine karşı hassasiyet gösterirler. Bu pigmentlerin biyosentezinin toksik metal maruziyetinde inhibe olduğunu dair birçok araştırma sonucu bulunmaktadır [3 ve 11]. Fide yapraklarının fotosentetik pigment içerikleri ile antosiyanin miktarları Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Al derişimlerinin etkisinde yetiştirilen mor reyhan fide yapraklarının fotosentetik pigment ve antosiyanin miktarları. Barlar üzerindeki farklı harfler $p < 0.05$ düzeyinde önemi belirtir (Figure 4. Photosynthetic pigment and anthocyanin contents of purple basil seedling leaves grown under the influence of Al concentrations. Different letters on the bars indicate significance at $p < 0.05$)

Pigment miktarları Al etkisinde azalmıştır. Klorofil-a için bu azalmalar 5, 25 ve 50 mg/L'lik Al derişimlerinde kontrol göre sırasıyla %8.72, %18.89 ve %12.46 düzeylerinde olmuştur. Fide yapraklarının klorofil-b miktarları 5, 25 ve 50 mg/L Al derişimlerinde kontrole göre sırasıyla %10.40, %15.87 ve %18.83 düzeylerinde azaldığı belirlenmiştir. Benzer olarak, karotenoid miktarları da Al tarafından azaltılmıştır. Mor reyhan yapraklarının antosiyanin içerikleri de Al etkisinde azalmıştır. Antosiyanin miktarları 5, 25 ve 50 mg/L Al derişimlerinde kontrole göre sırasıyla %6.85 ($p > 0.05$), %18.74 ve %41.47 ($p < 0.05$) düzeylerinde azaldığı belirlenmiştir. Alüminyum etkisinde reyhan yapraklarındaki klorofil miktarlarındaki azalmaların ALA-dehidrataz [13] ve protoklorofillid redüktaz gibi enzimlerin inhibisyonu [23] yoluyla olabilir. Ayrıca Al'nin klorofil sentezinde rol oynayan magnezyum ve demir gibi elementlerin alınmasına, taşınmasına ve/veya kullanılmasına etki yaparak da klorofil miktarında azalamaya neden olmuş olabilir. Bunun belirlenebilmesi için bu elementlerin bitkideki ve yapraklardaki miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Mor reyhan organlarının protein olmayan SH grup miktarları Al toksisitesinden farklı şekilde etkilenmiştir (Şekil 5A). Köklerin SH grup miktarları %167.99 ($p < 0.05$) düzeyine kadar 50 mg/L'lik Al derişiminde artmıştır. Benzer şekilde gövdelerin SH grup miktarları da 50 mg/L Al etkisinde %65.14 düzeyine kadar arttığı belirlenmiştir. Yaprakların SH grup miktarları ise 5 mg/L Al etkisinde %19.34 düzeyinde artmış iken, 25 ve 50 mg/L Al derişimlerinde ise kontrole göre sırasıyla %13.46 ve %22.03 düzeylerinde azaldığı belirlenmiştir. Literatürde metale maruz kalmış toleranslı bitkilerde SH miktarlarında artışların olduğu rapor edilmiştir [2, 12 ve 22]. Sonuç olarak, protein olmayan -SH grup miktarlarının Al toksisitesinde artmış olması, bu bitkide Al detoksifikasyonunda yapısında sülfidril barındıran moleküllerin rollerinin olduğunu açıklayabilir. Ayrıca SH grup miktarındaki artış, mor reyhan fidelerinin Al tolerans mekanizmalarından biri olabileceğini göstermesi bakımından da önemlidir.



Şekil 5. Al derişimlerinin etkisinde yetiştirilen mor reyhan fide organlarının protein olmayan sülfidril grup, toplam fenolik, hidrojen peroksit ve malondialdehit miktarları. Barlar üzerindeki farklı harfler p<0.05 düzeyinde önemi belirtir.

(Figure 5. The contents of non-protein sulfidril group, total phenolic, hydrogen peroxide and malondialdehyde of purplebasil seedling leaves parts grown under the influence of Al concentrations. Different letters on the bars indicate significance at p<0.05)

Fenolik maddelerin stres şartlarına yanıtta rol oynadıkları bilinmektedir [19]. Mor reyhan fidelerinin toplam fenolik bileşik miktarları Al etkisinde artmıştır (Şekil 5B). Buna göre kök dokularının fenolik bileşik miktarları 5, 25 ve 50 mg/L Al etkisinde sırasıyla 1.32, 1.42 ve 1.87 (p<0.05) kat arttığı belirlenmiştir. Gövde dokularının fenolik bileşik miktarları 5, 25 ve 50 mg/L Al etkisinde sırasıyla 1.24, 1.36 ve 1.52 kat artmıştır. Ayrıca yaprakların fenolik bileşik miktarları da 50mg/L Al etkisinde 2.06 (p<0.05) kata kadar arttığı bulunmuştur. Literatürde metal stresinde bitkilerin fenolik bileşik miktarlarında artışların olduğunu gösteren birçok çalışma vardır [1 ve 4]. Sonuçlarımız Al stresinde mor reyhan organlarında fenolik bileşiklerin miktarlarında artışlar olduğunu göstermiştir. Bu durum, fenolik bileşiklerin mor reyhan fidelerinde Al toksisitesine karşı göstermiş oldukları rollerinden kaynaklanabilir.

Mor reyhan fide organlarının hidrojen peroksit miktarları Al toksisitesinde artmıştır (Şekil 5C). Fide köklerindeki bu artışlar 5, 25 ve 50 mg/L'lik Al derişimlerinde kontrol göre sırasıyla %47.49, %49.28 ve %63.99 (p<0.05) düzeylerinde olmuştur. Gövdelerin hidrojen peroksit miktarları 5, 25 ve 50 mg/L Al derişimlerinde kontrole göre sırasıyla %37.24, %46.05 ve %49.93 (p<0.05) düzeylerinde arttığı belirlenmiştir. Benzer olarak, yaprakların hidrojen peroksit miktarları da Al tarafından %54.81 (p<0.05) düzeyine kadar 50 mg/L'lik derişimde artmıştır. Sonuç olarak, Al toksisitesinin mor reyhan hücrelerinde oksidatif strese neden olduğu hidrojen peroksit miktarlarındaki artışlarla ortaya çıkarılmıştır.

Stres faktörleri lipid peroksidasyonuna neden olabilmektedir [16]. Yani stresli şartlarda lipidler kalitatif ve kantitatif olarak değişime uğrarlar [8]. Mor reyhan fide organlarının MDA miktarları Al toksisitesinde artmıştır (Şekil 5D). Fide köklerindeki bu artışlar 5, 25 ve 50 mg/L'lik Al derişimlerinde kontrol göre sırasıyla 5.35, 11.05 ve 19.27 ($p<0.05$) kat düzeylerinde olmuştur. Gövdelerin MDA miktarları 5, 25 ve 50 mg/L Al derişimlerinde kontrole göre sırasıyla 36.75, 46.49 ve 62.00 ($p<0.05$) kat arttığı belirlenmiştir. Benzer olarak, yaprakların MDA miktarları da Al tarafından artırılmıştır. Özellikle yüksek Al konsantrasyonlarının oluşturduğu toksisite nedeniyle oluşan reaktif oksijen türleri mor reyhan zarlarında hasara neden olduğu MDA miktarındaki artışlar açıkça göstermiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Sonuç olarak, tıbbı ve aromatik özelliği olan mor reyhanda Al'nin fizyolojik ve morfolojik değişimlere neden olduğu bulunmuştur. Bu bitkide Al toksisitesi ilk kez belirlenmiştir. Bu bağlamda, çalışmamız sonraki benzer çalışmalara kaynak teşkil edebilir. Ayrıca, diğer toksik metallerin mor reyhan bitkisindeki fizyolojik etkilerinin belirlenmesinde de fayda vardır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Baccouch, S., Chaoui, A., and El-Ferjani, E., (1998). Nickel toxicity: Effects on Growth and Metabolism of Maize. *Journal of Plant Nutrition*. 21:577-588.
- Di Toppi, L.S., Lambardi, M., Pazzagli, L., Cappugi, G., Durante, M., and Gabbrielli, R., (1998). Response to Cadmium in Carrot *in vitro* Plants and Cell Suspension Cultures. *Plant Science*. 137:119-129.
- Dogan, M., Demirors Saygıdeđer, S., and Çolak, U., (2009). Effect of Lead Toxicity on Aquatic Macrophyte *Elodea canadensis* Michx. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 83:249-254.
- Edreva, A. and Apostolova, E., (1989). Manganese Toxicity in Tobacco. A Biochemical Investigation, *Agrochimica*. 33:441-451.
- Ellman, G.L., (1959). Tissue SULFHYDRYL GROUPS. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 82:70-77.
- Horst, W.J., Schmohl, N., Kollmeier, M., Baluska, F., and Sivaguru, M., (1999). Does Aluminium Inhibit Root Growth of Maize Through Interaction with the Cell Wall-plasma Membrane-cytoskeleton Continuum? *Plant Soil*. 215:163-174.
- Kochian, L.V., (1995). Cellular Mechanisms of Aluminum Toxicity and Resistance in Plants. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology*. 46:237-260.
- Kuiper, P.J.C., (1985). Lipid Metabolism of Higher Plants as a Factor in Environmental Adaptation. In: Siegenthaler, P.A. and Eichenberger, W. (Eds) *Structure, Function and Metabolism of Plant Lipids*. Elsevier, Amsterdam, 525-530.
- Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R., (1983). Determination of Total Carotenoids and Chlorophylls a and b of Leaf in Different Solvents. *Biol. Soc. Trans*. 11:591-512.
- Mancinelli, A.L., Huang-Yang, C.P., Lindquist, P., Anderson, O.R., and Rabino, I., (1975). Photocontrol of Anthocyaninsynthesis. III. The Action of Streptomycin on the Ansynthesisof Chlorophyll and Anthocyanin. *Plant Physiol*. 55:251-257.
- Mohan, B.S. and Hosetti, B.B., (1997). Potential Phytotoxicity of Lead and Cadmium to *Lemna minor* Grown in Sewage Stabilization Ponds. *Environment Pollution*. 9:233-238.
- Öztürk, L., Eker, S., Ozkutlu, F., and Cakmak, I., (2003). Effect of Cadmium on Growth and Concentrations of Cadmium, Ascorbic Acid and



- Sulphydryl Groups in Durum Wheat Cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 27, 161-168.
- Padmaja, K., Prasad, D.D.K., and Prasad, A.R.K., (1990). Inhibition of Chlorophyll Synthesis in *Phaseolus vulgaris* L. Seedlings by Cadmium Acetate. *Photosynthetica* 24:399-405.
- Pietraszewska-Mossor, T., (2001). Effect of Aluminium on Plant Growth and Metabolism. *Acta Biochimica Polonica*. 48:673-686.
- Prasad, M.N.V. and Strzatka, K., (2002). *Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity in Plants*. Kluwer Academic Publishers. 111-147.
- Rama Devi, S. and Prasad, M.N.V., (2004). Membrane Lipid Alterations in Heavy metal Exposed Plant. In: Prasad, M.N.V. and Hagemeyer, J. (Eds.) *Heavy metalstres in plants, from molecules to ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin. 99-116.
- Ratkevicius, N., Correa, J.A., and Moenne, A., (2003). Copper Accumulation, Synthesis of Ascorbate and Activation of Ascorbate Peroxidase in *Enteromorpha compressa* (L.) Grev (Chlorophyta) from heavy metal-enriched environments in Northern Chile. *Plant Cell Environ.* 26:1599-1608
- Rout, G., Samantaray, S., and Das, P. (2001). Aluminium Toxicity in Plants: a Review, *Agronomie, EDP Sciences*, 21(1):3-21.
- Ruiz, J.M. and Romero, L., (2001). Bioactivity of the Phenolic Compounds in Higher Plants. In: Rahman A. (ed.), *Studies in Natural Products Chemistry*. Vol. 25(F). Elsevier Science, 651-681.
- Ryan, P.R., Ditomaso, J.M., and Kochian, L.V., (1993). Aluminum Toxicity: An Investigation of Spatial Sensitivity and the Root of the Root Cap. *Journal of Experimental Botany*. 44:437
- Sergiev, L., Alexieva, E., and Karanov, E., (1997). Effect of Spermine, Atrazine and Combination Between Them on some Endogenous Protective Systems and Markers in Plants. *Compt. Rend. Academic Bulg Science*. 51:121-124.
- Torricelli, E., Gorbi, G., Pawlik-Skowronska, B., Di Toppi, L.S., and Corradi, M.G. (2004). Cadmium Tolerance, Cysteine and Thiol Peptide Levels in Wild Type and Chromium-Tolerant Strains of *Scenedesmus acutus* (Chlorophyceae). *Aquatic Toxicology*. 68:315-323.
- Van Assche, F. and Clijsters, H., (1990). Effects of Metals on Enzyme Activity in Plants. *Plant Cell and Environment*. 13:195-206.
- Yokel, R.A., (2012). Aluminum in Food-The Nature and Contribution of Food Additives. Yehia El-Samragy, (Ed). 203-228.
- Zhou, Q., (2001). The Measurement of Malondialdehyde in Plants. In: Zhou Q. (Ed.): *Methods in Plant Physiology*. China Agricultural Press, Beijing: pp:173-174.