

Nasturtium officinale R.Br. ve *Mentha aquatica* L. taksonlarının farklı kurşun elementi konsantrasyonlarındaki tepkilerinin araştırılması

Investigation of *Nasturtium officinale* R.Br. and *Mentha aquatica* L. taxa reaction in different lead element concentrations

Gizem İlgün Boyalan¹ • Hüseyin Erduğan^{2*}

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Çanakkale, Turkey

<https://orcid.org/0000-0003-3525-1056>

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Çanakkale, Turkey

<https://orcid.org/0000-0002-7047-6640>

*Corresponding author: herdugan@gmail.com

Received date: 15.10.2020

Accepted date: 22.04.2021

How to cite this paper:

Boyalan, G. İ. & Erduğan, H. (2021). Investigation of *Nasturtium officinale* R.Br. and *Mentha aquatica* L. taxa reaction in different lead element concentrations. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(3), 283-292. DOI: [10.12714/egejfas.38.3.04](https://doi.org/10.12714/egejfas.38.3.04)

Öz: Bu çalışmada tarımsal faaliyetlerin ve kurşun kirliliğinin Umurbey Çayı'nda (Çanakkale) yaşayan *Nasturtium officinale* ve *Mentha aquatica* makrofitleri üzerindeki morfolojik ve fizyolojik etkinin belirlenmesi ile bitkiler arası rekabet araştırılmıştır. Araştırma materyali olan makrofitler Çanakkale ili, Umurbey ilçesi, Umurbey Çayı'nın her iki tarafında meyve bahçeleri ile kaplı olan Gökköy Geçemeği'nin alt kısmından Mayıs-Haziran 2016 tarihlerinde toplanmıştır. Makrofitler 3 gün süreyle besin çözeltisi içerisinde adaptasyon sürecine bırakılmıştır. İlk aşamada kurşun kirliliğinin makrofit türlerinin morfolojisi ve fizyolojisi üzerine etkisi 1, 5 ve 10 ppm Pb konsantrasyonlarında tekli kültürde incelenmiştir. Sonra karışık kültürde ara doz olan 5 ppm Pb konsantrasyonunda iki makrofit türünün rekabet kabiliyeti incelenmiştir. Ayrıca klorofil a ve b, karotenoid, serbest prolin, protein, toplam fenolik bileşik miktarı, adsorblanan kurşun miktarı ile toplam potasyum, fosfor, demir ve magnezyum miktarlarına bakılmıştır. Su teresinin morfolojik olarak en fazla etkilendiği 5 ppm Pb dozunda, P, Fe, Mg, K, Pb ve protein içeriği de en fazla seviyeye ulaşmıştır. Aynı zamanda bu dozda su teresi fotosentetik pigment ve serbest prolin seviyesini en aza indirmiştir. Su nanasının morfolojik olarak en çok etkilendiği doz 10 ppm Pb dozudur. Bahsi geçen dozda su nanasının P, Fe, Mg ve K miktarı en yüksek değerine ulaşmıştır. Bu çalışmada kurşun stresinin olmadığı, sucul bitkilerin bir arada yetiştirildiği ikili kontrol gruplarında, su nanasının morfolojik ve fizyolojik olarak daha dirençli olduğu kanıtlanmıştır. Kurşunun stres olarak uygulandığı durumda ise, su teresinin daha fazla mücadeleci olduğu morfolojik ve fizyolojik olarak gösterilmiştir. Bu çalışma ile su teresinin, su nanasına göre absorpladığı kurşun miktarının iki katından daha fazla kurşun adsorplayarak iyi bir kurşun akümülatörü olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Umurbey Çayı, kurşun, *Nasturtium officinale*, *Mentha aquatica*, rekabet

Abstract: In this study, it was aimed to determine the morphological and physiological effects of agricultural activities and lead pollution on *Nasturtium officinale* and *Mentha aquatica* macrophytes living in Umurbey Stream (Çanakkale), and also the competition between plants in this region was investigated. Macrophytes were collected between May-June 2016 from the lower part of Gökköy Passage, which is covered with orchards on both sides of Çanakkale province, Umurbey district, Umurbey Stream. The macrophytes were left in the nutrient solution for 3 days for the adaptation process. In the first stage, the effect of lead contamination on the morphology and physiology of macrophyte species was investigated in a single culture at 1, 5 and 10 ppm Pb concentrations. Then, the competitiveness of two macrophyte species at an intermediate dose of 5 ppm Pb in a mixed culture was examined. In addition to the amount of, chlorophyll a and b, carotenoid, free proline, protein, total phenolic compound amount, adsorbed lead amount and total potassium, phosphorus, iron and magnesium amounts were examined. P, Fe, Mg, K, Pb and protein content reached the highest level at the dose of 5 ppm Pb where *N. officinale* was affected the most morphologically. At the same time, *N. officinale* minimized the photosynthetic pigment and free proline levels at this dose. The dose at which *M. aquatica* was most affected morphologically was 10 ppm Pb dose. P, Fe, Mg and K contents of *M. aquatica* at that dose reached the highest value. This study proved that *M. aquatica* was morphologically and physiologically more resistant in two control groups where there was no lead stress and aquatic plants were grown together. Morphologically and physiologically, it has been shown that *N. officinale* was more combative when lead was applied as stress. With this study, it was determined that watercress is a good lead accumulator by adsorbing more than twice the lead amount absorbed by water mint.

Keywords: Umurbey Stream, lead, *Nasturtium officinale*, *Mentha aquatica*, competition

GİRİŞ

Tatlı sular gerek ekolojik gerekse ekonomik yönleriyle önemli ekosistemlerdir. Hızlı kentsel dönüşüm, sanayi atıklarının kimyasallarından arıtılmadan su sistemlerine verilmesi, tarım alanlarında yaygın şekilde pestisit kullanımı, evsel atıklar gibi birçok etken su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Sanayileşme, maden işletmeleri ve tarımsal alanlardaki insan faaliyetlerine bağlı ortaya çıkan çevre kirliliği günümüzde küresel bir problem haline gelmiştir. Kirlenmeler arasında ağır metaller, tarımsal ilaçlar, organik maddeler ve radyoaktif atıklar önemli bir yer tutmaktadır (El-Sikaily vd., 2004; Okcu vd., 2009; Martin ve Coetzee, 2014).

Makrofitlere çeşitli fiziksel ve kimyasal faktörlerin uygulanması ve verdikleri cevabın izlenmesiyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Lee vd., 1991; Banerjee ve Sarker, 1997; Cardwell vd., 2002; Demirezen ve Aksoy, 2004; Saygıdeğer ve Doğan, 2005; Doğan vd., 2009; Singh vd., 2010; Favas vd., 2012).

Çalışma konusunu oluşturan *Nasturtium officinale* R.Br. ve *Mentha aquatica* L. ile ilgili Kara, (2005); Özen, (2009); Bahramikia ve Yazdanparast, (2010); Duman ve Öztürk, (2010); Öztürk vd., (2010); Namdjoyan ve Kermanian, (2013);

Zeb, (2015); Giallourou vd., (2016) ile Zurayk vd., (2001); Aslan vd., (2003); Száková vd., (2011); Benabdallah vd., (2016); Nazari vd., (2017); Nazari vd., (2018) tarafından yapılan çalışmalarda da iki sucul bitkinin ağır metal alım ve biriktirme kapasitelerinin oldukça fazla olduğu tespit edilmiştir.

Bazı çalışmalarda ise biyotik faktörlerin yanında abiyotik faktörlerin de araştırıldığı görülmektedir. Türler arası rekabet konusunda Abernethy vd., (1996), James vd., (1999), Agami ve Waisel, (2002), Spencer ve Rejmánek, (2010), Stiers vd., (2011), Martin ve Coetzee, (2014), Srivastava vd., (2014), Shields ve Moore, (2016), Türker vd., (2016), Zheng vd., (2016) çalışmaları mevcuttur.

Çalışılan taksonlardan *N. officinale*, rizomlu, çok yıllık ve emers bir tatlı su makrofiti olup, ekolojik ve ekonomik bakımdan tatlı su makrofitlerinin en önemlilerindedir. Omega-3 yağ asitlerince zengin gıdalardan olan yeşil yapraklı bitkilerden su teresi, yıllardır insanlar tarafından gıda olarak kullanılmakla birlikte tıbbi bir bitki olarak da değerlendirilmektedir (Lee ve Newman, 1997). *M. aquatica*, keskin kokulu, genellikle mor ve çok değişken yapıda olan çok yıllık otsu emers bir bitkidir. Uçucu yağlar, fenolikler ve flavanoidler açısından zengin, antibakteriyel ve antioksidan etkisi yüksektir (Száková vd., 2011). Esansiyel yağ açısından zengin olan bu takson, yapısındaki yağlar sayesinde güçlü bir antioksidan özelliğe sahiptir (Riahi vd., 2013).

Bu çalışmada Umurbey Çayı'nda aynı ortamı paylaşan *N. officinale* ve *M. aquatica* taksonlarının, Umurbey Çayı'na ulaşan kurşun madeninden etkilenip etkilenmediklerini belirlemek için abiyotik faktörlerden Pb ağır metali, biyotik faktörlerden ise rekabet ele alınmıştır. Bu taksonların tekli ve ikili kültür ortamlarında Pb stresi altında ve Pb stresi olmaksızın rekabete girdiklerinde nasıl tepkiler vereceğini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT

The Araştırma materyali olan *N. officinale* ve *M. aquatica* Çanakkale ili, Umurbey ilçesi, Umurbey Çayı'nın her iki tarafı şeftali ve kiraz bahçeleri ile kaplı olan Gökköy Geçemeğinin alt kısmından Mayıs-Haziran 2016 tarihlerinde toplanmıştır.

Bitkilerin muamele ortamı ve düzeneği

Çalışma materyali *N. officinale* ve *M. aquatica* makrofitlerinin Pb alımından nasıl etkilediklerini belirlemek amacıyla Kurşun (II) Asetat Trihidrat bileşiği kullanılmıştır. Kurşun (II) Asetat Trihidrat bileşiğinden, litrede 1 gram Pb olacak şekilde Pb stok çözeltisi hazırlanmıştır ve bu stok çözeltiden belirlenen miktarlarda eklenerek seyreltik derişimli çözeltiler oluşturulmuştur. Ön çalışmalar sonucunda 1, 5 ve 10 mg/L Pb konsantrasyonlarında çalışmaya karar verilmiştir. Ön çalışma sonucu yüksek konsantrasyonlarda bitkilerin fazla etkilenmesinden dolayı, ikili kültürler için 5 mg/L Pb konsantrasyonu tercih edilmiştir. Ön çalışmada, 15 gün

boyunca adaptasyon sürecine bırakılan sucul bitkiler için bu sürenin uzun olduğu gözlenmiş ve bu süre 3 gün olarak belirlenmiştir.

Kontrol çalışması için kurşunsuz ortam hazırlanmıştır. Makrofitlerin gelişmesi için gerekli olan besin çözeltisi Hoagland ve Arnon (1950)'a göre hazırlanmıştır. Makrofitleri yetiştirme ortamına % 10 oranında bu çözeltilen konulmuştur. Çözeltilerin pH'ını ayarlamak için 0.1 N NaOH (Merck) ve 0.1 N Asetik asit (Merck) kullanılmıştır. Makrofitler nötre yakın pH'larda iyi geliştiği için (Saygıdeğer vd., 2004) test çözeltilerinin başlangıç pH'ları 6.5-7.0 düzeylerine ayarlanmıştır. Deneysel süresince de akvaryum pH'ları düzenli ölçülerek bahsi geçen pH'lar ayarlanmıştır.

Deneysel düzeneği ve yapısı

Umurbey Çayı'ndan toplanarak ortam suyu ile birlikte laboratuara getirilen bitkiler tek tek yıkanarak kültür ortamlarına yerleştirilmiştir. Tür teşhisleri için Seçmen ve Leblebici (2008)'nin kitabından yararlanılarak yapılmıştır. Köklerin güneş ışığından etkilenmemesi için pet şişeler siyah poşet ile sarılmıştır. Laboratuvar ortamında sadece güneş ışığı olarak 3 gün süresince bitkiler kültür ortamında adaptasyona bırakılmışlardır. Bu süreçte uygun Pb konsantrasyonunu belirleyebilmek için iki bitki türü ve Umurbey çayından alınan su örneği Çanakkale Gıda Kontrol Laboratuvarı'na Pb analizi için gönderilmiştir. Alınan sonuca göre ne suda ne de bitkilerde kurşuna rastlanmamıştır. Bu sonuç iyi bir kontrol grubu sağlamaktadır.

Asıl deney için akvaryumların konulduğu ve güneş ışığı almayan siyah cam kapaklı, her rafta iki florasan (5058 lx) bulunan bir dolap yapılmış, her bir akvaryum suyu eşit güçte oksijen pompalayan hava pompası ile havalandırılmıştır. Böylece fiziksel koşullar tamamen sabit tutulabilmiştir. Akvaryumların çapı 19 cm, yüksekliği 20 cm olup, her bir akvaryuma 3 bitki yerleştirilmiştir. 16 saat aydınlık, 8 saat karanlık olacak şekilde aydınlanma, gün uzunluğu düşünülerek belirlenmiştir. Akvaryum sularının sıcaklığı florasanların açık ve kapalı olmasına bağlı olarak 24-26 °C değerleri arasında değişiklik göstermiştir. 3 günlük adaptasyon sürecinden sonra bitkiler ayrı ayrı kültüre alınarak her bir akvaryuma %10 'luk Hoagland besin çözeltisi eklenmiş ve 1 mg/L Pb, 5 mg/L Pb ve 10 mg/L Pb konsantrasyonlarında statik 3 tekrarlı olarak çalışılmıştır. Kontrol grupları için sadece %10 'luk Hoagland besin çözeltisi konulmuştur. İkili kültürler için orta doz olan 5 mg/L Pb konsantrasyonu tercih edilmiş olup, ikili kültür kontrol gruplarına da sadece %10'luk Hoagland besin çözeltisi

eklenmiştir. Deney süresince günlük morfolojik değişimler kaydedilmiştir. Tekli ve ikili kontrol gruplarında hafif morfolojik değişimler görülmesine rağmen yüksek konsantrasyonlarda bitkiler canlılıklarını kaybetmeye başladığı için 5. günün sonunda (120 saat) deneyin sonlandırılmasına karar verilmiştir.

Bitkilerin örneklerin analizlere hazırlanması

120 saat sonunda deney sonlandırıldığında, bitkiler önce bol çeşme suyu ile ardından saf su ile yıkanarak yapılacak analizler için ayrı ayrı etiketlenip poşetlenerek -18 °C 'de saklanmıştır.

Bitki örneklerine uygulanan analizler

Deney periyodu bitiminde *N. officinale* ve *M. aquatica* makrofitlerinin fotosentetik pigment (klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid), serbest prolin, protein, toplam fenolik bileşikleri taze örneklerde çalışılmıştır. Bitkilerin absorpladığı toplam Pb (kurşun) ve Mg (magnezyum), Fe (demir), P (fosfor) ve K (potasyum) miktarları bitki kısımlarının tamamında çalışılarak Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde hizmet alımı ile gerçekleştirilmiştir. Mineral içerikleri ve kurşun miktarları ICP-OES cihazında Epa 200.7 metoduna göre belirlenmiştir. 1000 ppm' lik karışık standartlar kullanılmıştır. P, K ve Mg için 0-25 ppm, Pb ve Fe için ise 0-1000 ppb kalibre aralığında çalışılmıştır.

Makrofitlerdeki klorofil a, klorofil b ve karotenoid hesaplamaları [Lichtenthaler ve Wellburn \(1985\)](#)'e göre aşağıdaki formüller kullanılarak yapılmıştır. Fotosentetik pigment analizleri bitkinin tepe noktasındaki 4.-5. sıradaki yıkanmış taze makrofit yaprakları ile yapılmıştır.

$$\text{Klorofil a} = 11.75A662 - 2.35A645$$

$$\text{Klorofil b} = 18.61A645 - 3.96A662$$

$$\text{Karotenoid} = 1000A470 - 2.27 \text{ Klorofil a} - 81.4 \text{ Klorofil b} / 227$$

Makrofitlerdeki serbest prolin miktarları [Bates vd. \(1973\)](#)'larının yöntemine göre belirlenmiştir. Bitkilerin en tepe ve onun altındaki yaprakları analiz için kullanılmıştır. Serbest prolin değerlerini belirlemek için L-prolin standardı kullanılmış, standartlar 40-50 µg/ml. aralığında hazırlanmış ve hesaplamalarda standart eğri grafiğinden elde edilen aşağıda belirtilen formül kullanılmıştır.

$$y = 0,0359x + 1,0711 \quad R^2 = 0,9994$$

Makrofitlerdeki protein analizi [Lowry vd. \(1951\)](#)'larının belirledikleri yöntemle göre belirlenmiştir. Su nanesinde tepe noktasındaki yapraklarda, su teresinde ise üst ve orta yapraklar ve yaprakların yan dallarında çalışılmıştır. Protein değerlerini belirlemek için, standart eğri çizimi 20-70 mg/ml aralığında hazırlanan bovine serum albüminle çalışılmış ve hesaplamalarda standart eğri grafiğinden elde edilen aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$y = 0,0104x + 0,0738 \quad R^2 = 1$$

Makrofitlerdeki fenolik bileşik miktarı [Ratkevicius vd. \(2003\)](#)'na göre yapılmıştır. Su teresi ve su nanesinde orta yapraklar ve yaprakların bulunduğu yan dallarda çalışılmıştır. Toplam fenolik bileşik değerleri belirlemek için, standart eğri çizimi 20-35 mg/ml aralığında hazırlanan gallik asitle çalışılmış ve hesaplamalarda standart eğri grafiğinden elde edilen aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$y = 0,0347x - 0,3177 \quad R^2 = 0,9998$$

İstatistiksel analizler

Bu araştırmada tanımlanmış gruplar içinde ölçülen parametrelerin ortalama değerleri arasında fark var mıdır hipotezi test edilmiştir. Bu amaçla $\alpha = 0.05$ alınmıştır. Kurulan hipotezde; H0: Gruplar arasında fark yoktur. H1: En az bir grup diğerlerinden farklıdır. Bu hipotezler SPSS (SPSS 15.0 for Windows) paket programı kullanılarak yapılmıştır. Hangi grubun ya da grupların farklı olduğunu belirlemek amacıyla tekli kültürler için 'One-Way ANOVA LSD testi' ve ikili kültürler için 't testi' uygulanmıştır. Aynı zamanda sucul bitkilere yapılan analiz sonuçlarının aralarında ilişki olup olmadığını belirleyebilmek için korelasyon analizi ([Özdamar, 2004](#)) yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Su teresi ve su nanesi bitkilerine uygulanan farklı konsantrasyonlardaki Pb uygulamaları sonucunda bitkilerde meydana gelen değişimlerden elde edilen ortalama değerler [Tablo 1](#)'de verilmiştir. Bitkiler metabolik faaliyetlerini devam ettirebilmek ve hayatlarını sürdürebilmek için minerallere ihtiyaç duymaktadırlar. Birçok stres faktörünün bitkilerin bu elementleri alımını ve kullanımını sınırlandırdığı ile ilgili çalışmalar mevcuttur.

Tablo 1. *Nasturtium officinale* ve *Mentha aquatica* taksonlarının farklı Pb konsantrasyonu uygulamalarındaki analiz sonuçlarının ortalama değerleri**Table 1.** The average values of the analysis results of *Nasturtium officinale* and *Mentha aquatica* taxa in different Pb concentration applications

<i>Nasturtium officinale</i>	P (ppm)	Fe (ppm)	Mg (ppm)	K(ppm)	Pb(ppm)	KI-a	KI-b	Karotenoid	Serbest Prolin (ppm)	Fenolik Bileşik (ppm)	Protein (mg/ml)
kontrol	548	71926,67	1274	16430	3818,67	11,74	3,44	2,87	10,49	29,04	177,54
1 ppm Pb	578,33	83506,67	1152,33	14006,67	35403,33	11,68	3,69	2,59	43,87	31,82	201,49
5 ppm Pb	718,43	108273,3	1342,33	16773,33	152100	7,9	2,69	2,17	26,02	33,01	222,26
10 ppm Pb	267,26	79843,33	954	9074,67	90013,33	10,31	3,34	2,52	39,35	38,56	210,72
ikili kontrol	693,63	78926,67	1383,67	24686,67	5832,33	9,73	2,36	2,72	16,23	36,24	228,15
ikili 5 ppm Pb	546,63	91930	1503,67	22230	52396,67	11,5	3,17	2,67	13,41	35,33	134,95
<i>Mentha aquatica</i>	P (ppm)	Fe (ppm)	Mg (ppm)	K(ppm)	Pb(ppm)	KI-a	KI-b	Karotenoid	Serbest Prolin (ppm)	Fenolik Bileşik (ppm)	Protein (mg/ml)
kontrol	349,4	58870	1121,5	10286,33	3423	12,3	3,48	2,69	6,43	29,79	147,02
1 ppm Pb	362,83	77120	1127	10344,33	32913,33	17,3	4,3	3,36	8,31	33,03	167,04
5 ppm Pb	374,9	65810	1298,67	8902	70426,67	13,7	4,23	3,14	7,55	48,03	261,36
10 ppm Pb	701,4	87023,33	1511,67	13906,67	54460	12,9	3,66	2,7	6,7	44,25	179,18
ikili kontrol	267,27	63856,67	776,1	5179,33	1706,33	15,8	4,69	3,44	7,28	43,09	238,54
ikili 5 ppm Pb	432	64013,33	1339	12226,67	55710	14,7	4,08	3,2	5,05	27,94	129,31

***N. officinale* ve *M. aquatica* taksonlarının toplam fosfor miktarı**

Su teresi tekli kültürlerindeki fosfor (P) değerlerinin ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur (F: 90,990; df:3; P<0,001). Su teresi tekli kültürlerinde en fazla P değerine 5 ppm Pb dozunda ulaşılmıştır. Bunun sebebi bu dozda Pb stresi ile metabolik faaliyetlerin artmasına bağlı olarak ATP'yi bu faaliyetlerde kullanıp P açığa çıkması sonucunda P miktarı artmakta ve bitki Pb stresi ile en fazla mücadeleyi bu konsantrasyonda vermekte diyebiliriz. En düşük P değerine ise 10 ppm Pb dozunda ulaşılmıştır. Bunun nedeni ise; bitki artık ölüm evresine girdiği için ortamdaki aşırı Pb'yi alamamakta, var olan fosforu da metabolik olaylarda kullanmakta ya da artık yeni fosfor alamamakta olabilir. Hatta bitkiler için mutlak gerekli olan P elementinin 10 ppm Pb dozunda aşırı düşmesi, bu konsantrasyonda bitkinin ölüm evresine girmesine neden olmuş olabilir.

Su nanesi tekli kültürlerindeki P miktarları ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur (F:34,894; df:3; P<0,001). 10 ppm Pb uygulanan tekli kültürdeki su nanesi P miktarı istatistiksel olarak tüm uygulamalardan farklı bulunmuş, 10 ppm Pb dozunda P değeri kontrol grubu P değerine oranla %100,7 artmıştır. Bulgular neticesinde sucul bitkilerin tekli kültürlerinde su teresi

en fazla fosfor değerine 5 ppm Pb dozunda, su nanesi ise 10 ppm Pb dozunda ulaşmıştır. Su nanesi Pb stresine daha çok dayanmış gibi görünse de su teresi 10 ppm Pb dozunda 90013,33 ppm Pb biriktiren su nanesi 54460 ppm Pb biriktirmiştir.

Su nanesi tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubunda P miktarını azaltırken, su teresi ise P miktarını arttırmıştır. Su nanenin P miktarının azalması, bu dozda su nanenin daha fazla mücadele vererek, P elementini metabolik olaylarda kullanmasına bağlayabiliriz. İkili kültürdeki 5 ppm Pb doz uygulamasında ise su teresi P miktarını tekli kültüre göre azaltırken, su nanesi P miktarını arttırmıştır. Bu doz uygulamasında da su teresi P elementini metabolik olaylarda kullanarak, daha baskın olduğunu göstermektedir.

***N. officinale* ve *M. aquatica* taksonlarının toplam demir miktarı**

Su teresi tekli kültürlerindeki demir (Fe) miktarı ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur (F:25,488; df:3; P<0,001). Bitkinin biriktirdiği Pb konsantrasyonu ile Fe miktarı arasında pozitif güçlü bir ilişki bulunmuştur. Biriktirilen Pb miktarı arttıkça Fe miktarı artmış ve 5 ppm Pb dozunda en yüksek değerine ulaşmıştır. 10 ppm Pb dozunda biriktirilen Pb miktarının düşmesiyle Fe miktarı da düşmüştür. Dolayısıyla su teresi Fe miktarındaki bu

değişikliğin Pb stresinden kaynaklı olduğu sonucuna varılabilir. 10 ppm Pb dozunda su teresi ölüm evresine girdiği için demiri metabolik aktivitelere kullanmış olabilir.

Su teresi tekli kültürdeki 5 ppm Pb uygulamasının Fe miktarı ile ikili kültürdeki 5 ppm Pb uygulamasının Fe miktarı arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuş (t: 6,610; df:4; P<0,01) ve Fe miktarı azalmıştır. Bu azalma Fe'in metabolik olaylarda kullanıldığının ve su teresinin ikili kültürde Pb stresi altında mücadele verdiği kanıtıdır.

Su nanesi tekli kültürdeki grupların Fe miktarı ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur (F: 19,865; df:3; P<0,001). Su nanesi tekli kültürlerinde Fe miktarı (87023,33 ppm) en fazla 10 ppm Pb dozunda artmış olup, kontrol grubuna göre %47,8 oranında bir artış görülmüştür. Pb uygulamalarında Fe değeri, kontrol grubunun Fe değerinin altına hiç düşmemiştir.

Sucul bitkilerin tekli kültürlerinde su teresi en fazla Fe değerine 5 ppm Pb dozunda, su nanesi ise 10 ppm Pb dozunda ulaşmıştır. Su teresinin en fazla tepkiyi 5 ppm Pb dozunda, su nanesinin ise 10 ppm Pb dozunda verdiği sonucunu Fe miktarı da desteklemektedir. Su nanesi tekli ve ikili kültürler arasında Fe miktarı açısından istatistiksel olarak fark bulunmamıştır (P>0,05).

***N. officinale* ve *M. aquatica* taksonlarının toplam magnezyum miktarı**

Su teresi tekli kültürlerindeki farklı Pb uygulamalarında magnezyum (Mg) miktarı ortalamaları arasındaki fark önemli bulunmuştur (F: 11,020; df:3; P<0,01). Su teresi tekli kültürlerinde kontrol grubuna göre 1 ppm Pb dozunda Mg değerinde azalma görülmüştür. Bu durum, bitkide bu derişimde su içeriğinin fazla olmasından dolayı Mg'in çözünebilir hale geldiğini ve çeşitli metabolik faaliyetlerde kullanıldığını düşündürmektedir. Mg içeriği en fazla değerine 5 ppm Pb dozunda, en düşük değerine ise 10 ppm Pb dozunda ulaşmıştır. 10 ppm Pb dozunda Mg miktarının düşmesinin nedeni, ölüm evresine girmiş olan bitkinin ATP üretebilmek için Mg kullanması veya artık Mg alamaması olabilir. Yüksek Pb dozunda Mg miktarının düşmesinin bir sebebi de; Pb ile Mg atomunun yer değiştirmesi olabilir. Ağır metal etkisine bırakılan submers makrofitlerle yapılan çalışmalarda, ağır metalin elementlerle yer değiştirdiği ve bitkide zarar meydana getirdiği belirtilmiştir. Aşırı dozda Pb, klorofil yapısında bulunan Mg ile yer değiştirerek klorofil ile birleşmekte ve yer değiştirmeden etkilenen klorofil molekülü fotosentez için gerekli olan ışığı toplayamamaktadır (Kacar ve Katkat, 2007; Karabulut ve Bellitürk, 2013). Su teresi tekli kültürdeki 5 ppm Pb uygulaması ile ikili kültürdeki 5 ppm Pb uygulaması Mg miktarı arasındaki fark önemli bulunmuştur (t: 2,937; df:4; P<0,05).

Su nanesi tekli kültürlerindeki Mg miktarı ortalamaları arasındaki fark önemli bulunmuştur (F: 6,210; df:3; P<0,05).

Su nanesi tekli kültürlerinde ise Mg değeri Pb dozu arttıkça artmıştır. 10 ppm Pb dozunda en yüksek değerine (1511,67 ppm) ulaşmıştır. Mg miktarının artışı, Pb stresine giren bitkinin tepkisi olarak protein miktarını da arttırdığını düşündürmektedir.

Tekli kültürdeki kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu su nanesinin Mg değerleri farklı bulunmuştur (t: 4,572; df:4; P<0,05). Tekli kültürdeki kontrol gruplarına göre, ikili kültürdeki kontrol grubu su teresi Mg miktarını arttırırken, su nanesi Mg miktarını azaltmıştır. Bu dozda Mg miktarını azaltan su nanesi, Mg elementini metabolik faaliyetlerde kullanıyor ve su teresine göre daha fazla mücadele ediyor tespitimizi güçlendirmektedir.

***N. officinale* ve *M. aquatica* taksonlarının toplam potasyum miktarı**

Su teresi tekli kültürdeki potasyum (K⁺) miktarı ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (F:6,470; df:3; P<0,05). Su teresi tekli kültürlerinde kontrol grubuna göre 1 ppm Pb dozunda K⁺ miktarında önemsiz bir azalma görülmüştür. Bunun nedeni; suyun fazla olduğu bu konsantrasyonda K⁺ iyonunun ATP sentezinde, hücre büyümesinde ve enzimatik aktivitelere kolayca kullanılabilir olması olabilir. K⁺ miktarında en fazla artış 5 ppm Pb dozunda görülmüş olup, bu artışta kontrol grubuna göre önemli bulunmamıştır. 5 ppm Pb dozunda ise hücreler fazla su almış, osmotik basıncını arttırmış ve K⁺ miktarlarını yükseltmiş olabilirler. Su teresi tekli kültürlerinde 10 ppm Pb dozunda, kontrol grubuna göre K⁺ içeriği %44,8 oranında azalmıştır. 10 ppm Pb dozunda ölüm evresine giren su teresi hücrelerinde solunumun olumsuz etkilenmesi sonucu negatif elektriği azalmış ve hücre dışına önemli miktarda K⁺ çıkışı olmuş olabilir. K⁺ bulunmamasına bağlı olarak hücre su kaybeder, stomalar kapanır, büyüme geriler, kloroz ve nekroz görülür. Aynı zamanda K⁺ eksikliğinde bitki gövdesinde yatma eğilimi görülür (Kacar ve Katkat, 2007; Yıldız ve Terzi, 2007; Wang vd., 2013; Horuz vd., 2016). Bu çalışmada 10 ppm Pb dozu uygulanan su teresinde K⁺ eksikliğine bağlı olarak tüm bu morfolojik bulgulara rastlanmıştır.

Su nanesi tekli kültürlerindeki K⁺ miktarı ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur (F: 19,626; df:3; P<0,001). 10 ppm Pb dozu uygulanan su nanesinin K⁺ miktarı diğer tüm uygulamaların K⁺ miktarından farklı bulunmuştur. Kontrol grubuna göre 10 ppm Pb dozunda K⁺ değeri %35,2 oranında artmış ve en yüksek değerine ulaşmıştır. Tekli kültürde K⁺ açısından Pb stresine verilen tepkiler karşılaştırıldığında su nanesi daha dirençli gözükmektedir. Su teresi 10 ppm Pb dozunda K⁺ içeriğini önemli ölçüde azaltırken, su nanesi ise bu dozda önemli ölçüde K⁺ içeriğini arttırmıştır.

Tekli kültürdeki kontrol grubu su teresi K⁺ değeri ile ikili kültürdeki kontrol grubu su teresi K⁺ değeri birbirinden farklı bulunmuştur (t: 4,146; df:4; P<0,05). Tekli kültürdeki kontrol

grubu su nanesi ile ikili kültürdeki kontrol grubu K⁺ değeri birbirinden farklı bulunmuştur (t: 6,795; df:4; P<0,01). Su nanesi K⁺ elementini tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürde kontrol grubunda %49,6 oranında azaltırken, su teresi %50,25 oranında arttırmıştır. Bu sonuçta su nanesinin rekabet ortamında K⁺'yı metabolik aktivitelerde kullandığının, mücadeleye ettiğinin kanıtıdır.

Tekli kültürdeki 5 ppm Pb uygulanan su teresinin K⁺ miktarı ile ikili kültürdeki 5 ppm Pb uygulanan su teresinin K⁺ miktarı farklı bulunmuştur (t: 3,197; df:4; P<0,05). Tekli kültürde 5 ppm Pb uygulanan su nanesi K⁺ miktarı ile ikili kültürdeki 5 ppm Pb uygulanan su nanesi K⁺ miktarı birbirinden farklı bulunmuştur (t: 3,861; df:4; P<0,05). İkili kültür 5 ppm Pb uygulamasında ise su nanesinin K⁺ miktarını su teresine göre daha fazla arttırdığı belirlenmiştir. Su teresi K⁺ elementini metabolik aktivitelerinde kullandığı için bu dozda daha fazla mücadelecidir.

N. officinale ve M. aquatica taksonlarının adsorpladığı toplam kurşun miktarı

Su teresi tekli kültürlerindeki farklı konsantrasyonlardaki Pb uygulamalarında, su teresinin adsorbe ettiği Pb miktarı ortalamaları arasındaki fark çok önemli bulunmuştur (F: 177,034; df:3; P<0,001). 5 ppm Pb uygulamasında su teresi en yüksek Pb birikimini göstermiştir. 10 ppm Pb uygulamasında ise 5 ppm Pb uygulamasına göre Pb miktarı %40,82 oranında azalmıştır.

Tekli kültürdeki 5 ppm Pb uygulanan su teresinin adsorpladığı Pb miktarı ile ikili kültürde 5 ppm Pb uygulanan su teresinin biriktirdiği Pb miktarı birbirinden farklı bulunmuştur (t: 51,030; df:4; P<0,001). Tekli kültürde 5 ppm Pb uygulanan su teresinin adsorpladığı Pb miktarına göre ikili kültürde 5 ppm Pb uygulanan su teresi Pb miktarı %65,5 oranında azalmıştır.

Su nanesi tekli kültürdeki adsorplanan Pb miktarı ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur (F:212,81; df:3; P<0,001). En yüksek kurşun birikimine 5 ppm Pb değerinde ulaşılmıştır. 5 ppm Pb uygulamasına göre 10 ppm Pb uygulanmış su nanesi Pb miktarını %22,67 oranında azaltmıştır.

Tekli kültürde 5 ppm Pb uygulanan su nanesi ile ikili kültürde 5 ppm Pb uygulanan su nanesi Pb değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (t: 3,729; df:4; P<0,05). Tekli kültürdeki 5 ppm Pb uygulamasına göre ikili kültürde 5 ppm Pb uygulanan su nanesinin Pb değeri %20,9 oranında azalmıştır.

Su nanesi ve su teresi en fazla kurşunu 5 ppm Pb uygulamasında biriktirmişlerdir. Su nanesi 5 ppm Pb uygulamasında 70426,67 ppm Pb adsorplarken, su teresi aynı doz uygulamasında 152100 ppm Pb adsorplamıştır. Su teresi tüm Pb uygulamalarında su nanesine göre daha fazla kurşun adsorplamıştır. Su teresi iyi bir Pb alıcı olarak değerlendirilebilir.

N. officinale ve M. aquatica yapraklarında klorofil-a miktarı

Su teresi tekli kültürlerindeki klorofil a değerlerinin ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (F: 17,59; df:3; P<0,01). Klorofil a değeri açısından 5 ppm Pb uygulanan su teresi diğer tüm uygulamalardan istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. Kontrol grubuna göre 5 ppm Pb uygulanan su teresinin klorofil a değeri %32,7 oranında azalma göstermiştir. Kontrol grubunun klorofil a değerine göre tüm uygulamalarda klorofil a değerinde azalma söz konusudur.

Tekli kültürde 5 ppm Pb uygulanan su teresi ile ikili kültürde 5 ppm Pb uygulanan su teresinin klorofil a değerleri istatistiksel olarak farklı bulunmuştur (t: 4,85; df:4; P<0,01). Tekli kültürde 5 ppm Pb uygulanan su teresine göre ikili kültürde 5 ppm Pb uygulanan su teresinin klorofil a değerinde %45,57 oranında artış olmuştur.

Su nanesi tekli kültürlerindeki klorofil a değerlerinin ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (F:14,72; df:3; P<0,01). Klorofil a açısından 1 ppm Pb uygulanan su nanesi diğer tüm uygulamalardan farklı bulunmuştur. Kontrol grubuna göre 1 ppm Pb uygulanan su nanesinin klorofil a değeri %40,29 oranında artış göstermiştir ve en yüksek klorofil a değerine bu konsantrasyonda ulaşılmıştır.

Su nanesinin tekli kültürdeki kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu arasında klorofil a açısından istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmuştur (t: 4,21; df:4; P<0,05). Tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubu klorofil a değerini %28,43 oranında arttırmıştır.

N. officinale ve M. aquatica yapraklarında klorofil-b miktarı

Su teresi tekli kültürlerindeki klorofil b ortalama değerleri arasındaki fark önemli bulunmuştur (F:5,63; df:3; P<0,05). 5 ppm Pb uygulamasında su teresinin klorofil b değeri en düşük değerini almıştır. 5 ppm Pb uygulaması, kontrol grubuna göre klorofil b değerini %21,8 oranında, 1 ppm Pb uygulamasına göre %27,1 oranında azaltmıştır. 10 ppm Pb uygulamasında klorofil b değeri tekrar yükselmiş, ancak kontrol grubundaki değerine ulaşamamıştır. En yüksek klorofil b değerine 1 ppm Pb dozunda ulaşılmıştır. Ancak kontrol grubu ile 1 ppm Pb dozundaki klorofil b değeri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur (P>0,05).

Su teresi tekli kültürdeki kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu arasında klorofil b değeri açısından fark önemli bulunmuştur (t:7,29; df:4; P<0,01). Tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubu klorofil b değerini %31,7 oranında azaltmıştır.

Su nanesi tekli kültürlerindeki klorofil b değerleri ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (F: 4,57; df:3; P<0,05). Kontrol grubuna göre 1 ppm Pb uygulaması klorofil b değerini %25,5 ppm Pb

uygulamasında klorofil b değerini %21,5 ve 10 ppm Pb uygulamasında klorofil b değerini %5,2 oranında artış göstermiştir. En yüksek klorofil b değerine 1 ppm Pb dozunda ulaşılmıştır.

Tekli kültürdeki su nanesinin kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu klorofil b değeri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (t: 5,72; df:4; P<0,01). Tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubu klorofil b değerini %34,7 oranında arttırmıştır.

***N. officinale* ve *M. aquatica* yapraklarında karotenoid miktarı**

Su teresi tekli kültürlerinin karotenoid ortalama değerleri arasındaki fark önemsiz bulunmuştur (F: 3,47; df:3; P>0,05). Sadece kontrol grubu ile 5 ppm Pb uygulanan su teresi karotenoid değerleri arasında fark bulunmuştur (P<0,05). Kontrol grubuna göre diğer tüm uygulamalarda karotenoid değeri düşüş göstermiştir.

Karotenoid değeri açısından tekli ve ikili kültürler karşılaştırıldığında; sadece tekli kültürdeki 5 ppm Pb uygulaması ile ikili kültürde 5 ppm Pb uygulanan su teresi karotenoid değerleri arasındaki fark anlamlı bulunmuş olup (t: 3,142; df:4; P<0,05), ikili kültürdeki 5 ppm Pb uygulanan su teresi, tekli kültürdeki 5 ppm Pb uygulanan su teresine göre karotenoid değerini %23 oranında arttırmıştır.

Su nanesi tekli kültürdeki karotenoid değeri ortalamaları arasındaki fark önemli bulunmuştur (F: 9,012; df:3; P<0,01). Kontrol grubuna göre 1 ve 5 ppm Pb uygulamalarındaki karotenoid değerlerinde sırasıyla %25 ve %16,7 oranında bir artış belirlenmiştir. 10 ppm Pb dozu uygulanan su nanesi karotenoid değeri kontrol grubuna yakın bir değer almıştır.

Su nanesi ikili kültür değerleri incelendiğinde, sadece tekli kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu karotenoid değeri arasında bir fark bulunmuştur (t: 2,842; df:4; P<0,05). İkili kültürdeki kontrol grubu tekli kültürdeki kontrol grubuna göre karotenoid değerini %27,8 oranında arttırmıştır.

Tekli kültürlerde su teresi Pb uygulamalarıyla fotosentetik pigment içeriklerini kontrol grubu pigment içeriğine göre daha da azaltırken, su nanesi Pb uygulamalarıyla fotosentetik pigment içeriklerini kontrol grubu pigment içeriğine göre daha da arttırmıştır. Su teresi fotosentetik pigment miktarı ile Pb birikimi arasında negatif güçlü bir ilişki bulunmuştur. Bu durum stres koşullarına karşı bitkinin geliştirdiği bir adaptasyon yanıtı olarak yorumlanabilir. Yüksek Pb birikiminde fotosentetik pigment içeriğinin azalmasının nedenleri; besin eksikliğinden, klorofil sentezinin engellenmesinden, artan klorofilaz aktivitesine bağlı olarak var olan klorofilin bozulmasından ve reaktif oksijen türleri tarafından kloroplast membran lipitlerinin ve pigmentlerinin peroksidasyonla bozulmasından dolayı olabilir (Gupta ve Chandra, 1996).

Tekli kültürdeki kontrol grubu su teresine göre ikili kültürdeki kontrol grubu su teresi fotosentetik pigment içeriğini azaltırken, su nanesi fotosentetik pigment içeriğini arttırmıştır.

İkili kültür kontrol gruplarında fotosentetik pigment içerikleri bakımından su nanesi daha mücadelecidir.

Ancak ikili kültür ortamına 5 ppm Pb dozu uygulandığında, bu defa su teresi daha mücadelecidir. İkili kültürde, kontrol grubuna göre 5 ppm Pb uygulanan su teresi fotosentetik pigment içeriğini artırırken, su nanesi fotosentetik pigment içeriğini azaltmıştır. Ortamda Pb stresi olmadığında iki sucul bitkinin sadece aynı ortamı paylaşmasından dolayı maruz kaldıkları stresler karşısında su nanesi rekabette üstünlük kazanmıştır. Ancak bu ortama Pb stresi de eklendiğinde, su teresinin daha fazla mücadele verdiği fotosentetik pigment içerikleri sonuçlarımızda desteklemiştir.

***N. officinale* ve *M. aquatica* taksonlarının serbest prolin miktarları**

Su teresi tekli kültürlerinin serbest prolin ortalama değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur (F: 102,98; df:3; P<0,001). Kontrol grubuna göre; 1, 5 ve 10 ppm Pb uygulanan su tereleri serbest prolin değerlerini sırasıyla %318,6, %148,3 ve %277 oranında arttırmışlardır. Su teresinin yüksek oranda prolin biriktirmesi bitkinin osmoregülasyon mekanizması ve antioksidatif özelliğine dayandırılabilir. Pb stresi altında su teresinin prolin miktarını yükseltmesi; bitkinin stresi tolere etmeye ve daha az zarar görmeye çalıştığının kanıtıdır (Hare ve Cress, 1997; Aziz vd., 1998; Sharmila ve Pardha Saradhi, 2002; Özden vd., 2009).

Su teresi tekli kültürdeki kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu arasında serbest prolin miktarı ortalamaları açısından fark anlamlı bulunmuştur (t: 4,436; df:4; P<0,05). Tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubu su teresi serbest prolin değerini %54,7 oranında arttırmıştır.

Su teresi tekli kültürdeki 5 ppm Pb uygulaması ile ikili kültürdeki 5 ppm Pb uygulaması serbest prolin ortalama değerleri arasındaki fark anlamlı bulunmuştur (t: 6,723; df:4; P<0,01). Tekli kültürde 5 ppm Pb uygulanan su teresine göre ikili kültürde 5 ppm Pb uygulanan su teresi serbest prolin değerini %48,5 oranında azaltmıştır.

Su nanesi farklı konsantrasyonlardaki Pb stresi altında serbest prolin içeriğinde istatistiksel olarak önemli bir değişiklik görülmemiştir. Su nanesi kontrol grubuna göre diğer Pb uygulamalarında prolin miktarında artış göstermiş, ancak artışlar önemli bulunmamıştır.

***N. officinale* ve *M. aquatica* taksonlarının protein miktarları**

Su teresi tekli kültürlerinin protein değerlerinin ortalamaları arasındaki fark önemli bulunmuştur (F: 11,74; df:3; P<0,01). Kontrol grubunun toplam protein miktarına göre 1, 5 ve 10 ppm Pb uygulanan su teresinin protein miktarı sırasıyla %13,3, %25,2 ve %18,7 oranında artış göstermiştir.

Su nanesi tekli kültürlerinin protein miktarı ortalamalarının arasındaki fark çok önemli bulunmuştur (F:39,73; df:3;

$P<0,001$). 5 ppm Pb uygulanmış su nanesinin protein değeri diğer tüm uygulamalardan istatistiksel olarak önemli derecede farklı bulunmuştur ($P<0,001$). 5 ppm Pb dozunda su nanesi en yüksek protein değerine ulaşmış olup, kontrol grubuna göre protein miktarını %77,8 oranında arttırmıştır.

Her iki sucul bitkide de Pb konsantrasyonu arttıkça protein değeri artış göstermiş ve 5 ppm Pb konsantrasyonunda en yüksek protein değerine ulaşılmıştır. Protein içeriği, bitkilerde oksidatif metal stresinin güvenilir bir göstergesidir. Bu çalışmada, 5 ppm Pb dozuna kadar protein içeriğinin artması; ağır metal dayanıklılığını sağlayan stres enzimlerini de içine alan farklı proteinlerin işlev gösterdiğinin bir kanıtıdır. Ağır metal stresine maruz kalan bitkilerin, uygulamanın ilk evrelerinde değişen çevre koşullarına tepki olarak stres proteinleri üretmek suretiyle hayatta kalmaya çalıştıkları da bilinmektedir (Öztürk vd., 2010).

Tekli kültürlerde su teresi kontrol grubuna göre 5 ppm Pb dozunda protein değerini %25,20 arttırırken, su nanesi kontrol grubuna göre 5 ppm Pb dozunda protein değerini %77,77 oranında arttırmıştır. Su nanesi düşük Pb uygulamasında Pb stresine karşı daha fazla stres proteini üreterek, bu stres dozuna su teresine göre daha fazla tepki vermiştir diyebiliriz. 10 ppm Pb konsantrasyonunda ise her iki türde protein içeriğini azaltmıştır. Su teresi 5 ppm Pb uygulamasına göre 10 ppm Pb dozunda protein içeriğini %5,2 oranında, su nanesi ise 5 ppm Pb uygulamasına göre 10 ppm Pb dozunda protein içeriğini %31,32 oranında azaltmıştır. Su teresindeki bu düşüş istatistiksel olarak önemsiz, su nanesinde ise önemli bulunmuştur. Su nanesinde 10 ppm Pb dozunda protein değerinin bu denli düşmesi; artık bitki canlılığı yitirmeye başladığı için protein yıkımının daha fazla olduğu yönünde yorumlanabilir. Yüksek Pb dozunda (10 ppm Pb) protein içeriğinin azalmasının nedenleri; protein sentezinin inhibisyonu, serbest radikallerin artması, oksidatif strete üretilen ROT'ların proteolizisi tetikleme ve protein yapısının bozulması olabilir. Ancak her iki türde de hiçbir Pb uygulamasında protein değeri kontrol grubu protein değerine kadar düşmemiştir.

İkili kültürlerde kontrol grubu su teresi protein miktarını arttırmıştır ancak bu artış su nanesinin gösterdiği artış kadar önemli değildir. Su teresi tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubunda protein içeriğini %28,6 oranında arttırırken, su nanesi %62,25 oranında arttırmıştır. Bu deney sonucu da ikili kültürdeki kontrol gruplarında su nanesinin üstünlüğünü desteklemektedir. İkili kültürdeki türlere 5 ppm Pb uygulandığında ise su teresi protein içeriğini tekli kültüründeki 5 ppm Pb uygulamasına göre %39,3 azaltırken, su nanesi %50,5 oranında azaltmıştır. İkili kültürde ortama Pb eklendiğinde su teresinin daha rekabetçi olduğu yorumu yapılabilir.

***N. officinale* ve *M. aquatica* taksonlarının toplam fenolik bileşiklerin miktarları**

Su teresi tekli kültürlerindeki kontrol grubu, 1, 5 ve 10 ppm Pb uygulanan türlerinin toplam fenolik bileşik değerlerinin

ortalamaları arasındaki fark önemli bulunmuştur ($F: 4,96; df:3; P<0,05$) Pb konsantrasyonu arttıkça, toplam fenolik bileşik değeri artış göstermiştir. Kontrol grubuna göre 10 ppm Pb dozu toplam fenolik bileşik değeri %32,8 oranında artış göstermiştir ve su teresi en yüksek toplam fenolik bileşik miktarına 10 ppm Pb uygulamasında ulaşmıştır.

Su nanesi tekli kültürlerindeki toplam fenolik bileşik değeri ortalamaları arasındaki fark çok önemli bulunmuştur ($F: 21,134; df:3; P<0,001$). Kontrol grubuna göre 1,5 ve 10 ppm Pb uygulanmış su nanelerinin toplam fenolik bileşik değerleri sırasıyla %10,8, %61,2 ve %48,5 oranında artış göstermiştir. Su nanesi 5 ppm Pb uygulamasında en yüksek toplam fenolik içeriğe ulaşarak antioksidant yeteneği ile dikkatleri çekmektedir.

İkili kültürdeki kontrol grubu su teresi tekli kültürdeki kontrol grubu su teresine göre toplam fenolik içeriğini %24,8 oranında arttırırken, su nanesi %44,6 oranında arttırmıştır. Bu deney sonucu da ikili kültürdeki kontrol gruplarında su nanesinin daha rekabetçi olduğunu desteklemektedir.

İkili kültürdeki türlere 5 ppm Pb uygulamasında, su teresi tekli kültürdeki 5 ppm Pb uygulamasına göre toplam fenolik bileşik içeriğini %7,03 oranında arttırırken, su nanesi %41,8 oranında azaltmıştır. Bu deney sonucu da ikili kültürde 5 ppm Pb dozunda su teresinin üstünlüğünü ortaya koymaktadır.

SONUÇ

Aynı habitatta aynı çayda yayılış gösteren canlılar birbirlerinin gelişimini etkileyebilirler. Su teresi ve su nanesi de Umurbey Çayı'nda yanyana gelişen sucul bitkiler oldukları için tercih edilmiştir. Böylece aralarındaki rekabet durumu ortaya konulabilmiştir. Tekli kültürlerde su teresinin iyi bir Pb alıcısı olduğu ve en fazla tepkiyi 5 ppm Pb dozunda verdiği morfolojik gözlemlerimiz ve fizyolojik deneylerimizle tespit edilmiştir. Tekli kültürdeki su nanesi ise su teresine göre daha az Pb (hatta yarısından bile az) biriktirmiştir. Bunun sonucu olarak ta en fazla doz olan 10 mg/L Pb dozuna kadar dayanabilmiştir.

Umurbey Çayı'nda doğal ortamlarında da beraber gelişen bu sucul bitkiler aynı kültür ortamında yetiştirilmiştir. Pb stresinin olmadığı, sucul bitkilerin sadece bir arada yetiştirildiği ikili kontrol gruplarında, su nanesi morfolojik ve fizyolojik olarak üstünlüğünü kanıtlamıştır. Mayıs-2016 döneminde yapılan arazi gözlemlerimizde, Pb elementine rastlanmayan dönemde su nanesi ve su teresi çayda yan yana gelişmekte, ancak su nanesi çay boyunca yayılış gösterirken, su teresi sadece bir bölgede öbek halinde bulunmaktaydı. Bu gözlemlerde deney sonuçlarımız ile örtüşmekte ve Pb yokluğunda doğal ortamında ve deney ortamında su nanesi üstünlüğünü kanıtlamaktadır. Mayıs-2018 döneminde yapılan arazi çalışmasındaki gözlemlerimizde ise su teresine rastlanmamış, su nanesinin ise çay boyunca çok fazla yayılış gösterdiği gözlemlenmiştir. Umurbey Çayı'nda ise aşırı kirlilik ve su yüzeyinin alglerle kaplandığı görülmüştür. Bu aşırı kirlilik karşısında su

nanenin bu denli fazla gelişim göstermesi onun Pb elementi yokluğunda ne kadar dayanıklı bir tür olduğunu destekler niteliktedir.

İkili kültürdeki sucul bitkilerimize 5 mg/L dozunda Pb stresi uyguladığımızda, su teresinin daha fazla mücadeleci olduğu morfolojik ve fizyolojik olarak ispatlanmıştır. Aynı ortamı paylaşmaktan doğabilecek olan streslerde su nanesi üstünken, ortama Pb stresi eklendiğinde su nanenin üstünlüğünü su teresine kaptırdığı görülmüştür. Doğal ortamda Pb yokluğunda geniş yayılış gösteren su nanesi, ileri de Umurbey Çayı'na olası bir Pb sızmasında su teresinden daha fazla etkileneceği, su teresinin yanında varlığını uzun süre sürdüremeyeceği yorumu yapılabilir. Su teresi ise iyi bir Pb akümülatörü olarak bu stresle daha iyi başedip, hayatta kalmayı başarabilir ve bünyesinde fazlaca biriktirdiği Pb ile çevreci bir sucul bitkisi olarak adlandırılabilir. Ayrıca önemli bir aminoasit olan prolin miktarının da bitki ağır metale maruz kaldığında dört katına kadar arttığı görülmüştür. Bu da bu bitkiden yararlanma adına oldukça önemli bir göstergedir.

Su teresi iyi bir Pb akümülatörü olarak Pb elementine maruz kalabilecek olan akarsu kenarlarında kültüre edilebilir. Böylece herhangi bir Pb sızıntısında Pb'yi fazla miktarda

adsorplayarak çevreye yayılmasına engel olabilir. Su nanesi ise kökleriyle çok hızlı yayılmakta ve Umurbey Çayı'nda geniş yayılış göstermektedir. Çok geniş ve hızlı yayılış göstermesi, kirliliğe karşı dayanıklı olması, ileride yayılmacı bir tür olmasına neden olabilir. İki yıl içerisinde su nanenin çayda aşırı yayılış göstermesi ve su nanelerinin çok büyük boyutlara ulaşmaları bunun kanıtıdır. Bu yüzden bu sucul bitkinin geniş yayılış gösterdiği çaylarda ekologlar çalışmalarını genişletebilir. Bu çalışmada abiyotik faktörlerden Pb ağır metalini, biyotik faktörlerden ise rekabeti ele almıştık. Umurbey Çayı etrafında kullanılan pestisitlerin içerisinde yer alan Pb elementi ve bölgede yer alan Pb madeni açısından Pb stresi altında kalabilme ihtimali yüksek bir çaydır. Aynı çayda yayılış gösteren iki sucul makrofitin Pb ağır metali karşısında birbirleriyle ışık, yer ve besin için rekabet ettiklerinde hangisinin mücadeleyi kazandığını belirlemek, ilerideki çalışmalara önemli katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje no: 953. 2018.

KAYNAKÇA

- Abermethyl, V.J., Sabbatini, M.R. & Murphy, K.J. (1996). Response of *Elodea canadensis* Michx. and *Myriophyllum spicatum* L. to shade cutting and competition in experimental culture. *Hydrobiologia*, 340, 219-224. DOI:10.1007/BF00012758
- Agami, M. & Waisel, Y. (2002). Competitive relationships between two water plant species: *Najas marina* L. and *Myriophyllum spicatum* L.. *Hydrobiologia*, 482, 197-200. DOI:10.1023/A:1021216532161
- Aslan, M., Ünlü, M.Y., Türkmen, N. & Yılmaz, Y.Z. (2003). Sorption of cadmium and effects on growth, protein content, and photosynthetic pigment composition of *Nasturtium officinale* R.Br. and *Mentha aquatica* L.. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 71, 323-329. DOI:10.1007/s00128-003-0167-1
- Aziz, A., Martin-Tanguy, J. & Larher, F. (1998). Stress-Induced changes in polyamine and tyramine levels can regulate proline accumulation in tomato leaf discs treated with sodium chloride. *Physiologia Plantarum*, 104, 195-202. DOI:10.1034/j.1399-3054.1998.1040207.x
- Bahramikia, S. & Yazdanparast, R. (2010). Antioxidant efficacy of *Nasturtium officinale* extracts using various in vitro assay systems. *Journal of Acupuncture & Meridian Studies*, 3(4), 283-290. DOI:10.1016/S2005-2901(10)60049-0
- Banerjee, G. & Sarker, S. (1997). The role of *Salvinia rotundifolia* in scavenging aquatic Pb(II) pollution: a case study. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 17(5), 295-300. DOI:10.1007/PL00008966
- Bates, L.S., Waldren, R.P. & Teare, D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-297. DOI:10.1007/BF00018060
- Benabdallah, A., Rahmoune, C., Boumendjel, M., Aissi, O. & Messaoud, C. (2016). Total phenolic content and antioxidant activity of six wild *Mentha* species (Lamiaceae) from Northeast of Algeria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(9), 760-766. DOI: 10.1016/j.apjtb.2016.06.016
- Cardwell, A.J., Hawker, D.W. & Greenway, M. (2002). Metal accumulation in aquatic Macrophytes from Southeast Queensland, Australia. *Chemosphere*, 48(7), 653-663. DOI:10.1016/S0045-6535(02)00164-9
- Demirezen, D. & Aksoy, A. (2004). Accumulation of heavy metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey). *Chemosphere*, 56, 685-696. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.04.011
- Doğan, M., Saygıdeğer, S.D. & Çolak, U. (2009). Effect of lead toxicity on aquatic Macrophyte *Elodea canadensis* Michx. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83, 249-254. DOI:10.1007/s00128-009-9733-5
- Duman, F. & Öztürk, F. (2010). Nickel accumulation and its effect on biomass, protein content and antioxidative enzymes in roots and leaves of watercress (*Nasturtium officinale* R.Br.). *Journal of Environmental Sciences*, 22(4), 526-532. DOI:10.1016/S1001-0742(09)60137-6
- El-Sikaily, A., Khaled, A. & El-Nemr, A. (2004). Heavy metals monitoring using bivalves from Mediterranean Sea and Red Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 98, 41-58. DOI:10.1023/B:EMAS.0000038178.98985.5d
- Favas, P.J.C., Pratas, J. & Prasad, M.N.V. (2012). Accumulation of arsenic by aquatic plants in large-scale field conditions: Opportunities for phytoremediation and bioindication. *Science of the Total Environment*, 433, 390-397. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.06.091
- Giallourou, N., Oruno-Concha, M.J. & Harbourne, N. (2016). Effects of domestic processing methods on the phytochemical content of watercress (*Nasturtium officinale*). *Food Chemistry*, 212, 411-419. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.05.190
- Gupta, P. & Chandra, P. (1996). Response of cadmium to *Ceratophyllum demersum* L., a rootless submerged plant. *Waste Management*, 16, 335-337. DOI:10.1016/S0956-053X(96)00053-0
- James, C.S., Eaton, J.W. & Hardwick, K. (1999). Competition between three submerged macrophytes, *Elodea canadensis* Michx, *Elodea nuttallii* (Planch.) St John and *Lagarosiphon major* (Ridl.) Moss, *Hydrobiologia*, 415, 35-40. DOI:10.1007/978-94-017-0922-4_6
- Hare, P.D. & Cress, W.A. (1997). Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*, 21, 79-102. DOI:10.1023/A:1005703923347
- Hoagland, D.R. & Arnon, D.I. (1950). The water culture methods for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station Circular*, 347-39p.

- Horuz, A., Korkmaz, A., Akinoğlu, G. & Boz, E. (2016). Bitkilerde demir klorozunun nedenleri ve giderilme yöntemleri, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 4 (1), 32 - 42.
- Kacar, B. & Katkat, V. (2007). Bitki Besleme, Nobel Kitabevi, Ankara
- Kara, Y. (2005). Bioaccumulation of Cu, Zn and Ni from the wastewater by treated *Nasturtium officinale*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2(1), 63-67. DOI: [10.1007/BF03325859](https://doi.org/10.1007/BF03325859)
- Karabulut, Ö. & Bellitürk, K. (2013). Farklı magnezyum kaynaklarının asit topraklarda yetiştirilen mısır bitkisinin potasyum- kalsiyum- magnezyum içeriğine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(2), 83.
- Lee, C.K., Low, K.S. & Hew, N.S. (1991). Accumulation of arsenic by aquatic plants. *Science of The Total Environment*, 103, 215-227. DOI: [10.1016/0048-9697\(91\)90147-7](https://doi.org/10.1016/0048-9697(91)90147-7)
- Lee, J.S. & Newman, M.E. (1997). Aquaculture an introduction. Agriscience and technology series. Interstate Publishers, Inc. Illinois, 445-446.
- Lichtenthaler, H.K. & Wellburn, A.R. (1985). Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 603, 591-592. DOI: [10.1042/bst0110591](https://doi.org/10.1042/bst0110591)
- Lowry, O.H., Rosenbrough, N.J., Farr, A.L. & Randall, R.J. (1951). Protein measurement with folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265-275.
- Martin, G.D. & Coetzee, J.A. (2014). Competition between two aquatic Macrophytes, *Lagarosiphon major* (Ridley) Moss (Hydrocharitaceae) and *Myriophyllum spicatum* Linnaeus (Haloragaceae) as influenced by substrate sediment and nutrients. *Aquatic Botany*, 114, 1-11. DOI: [10.1016/j.aquabot.2013.11.001](https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2013.11.001)
- Namdjoyan, S. & Keranian, H. (2013). Exogenous nitric oxide (as sodium nitroprusside) ameliorates arsenic-induced oxidative stress in Watercress (*Nasturtium officinale* R.Br.) plants. *Scientia Horticulturae*, 161, 350-356. DOI: [10.1016/j.scienta.2013.07.035](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.035)
- Nazari, M., Zarinkamar, F. & Soltani, B.M. (2017). Physiological, biochemical and molecular responses of *Mentha aquatica* L. to manganese. *Plant Physiology and Biochemistry*, 120, 202-212. DOI: [10.1016/j.plaphy.2017.08.003](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.08.003)
- Nazari, M., Zarinkamar, F. & Shafaghat, Z. (2018). Manganese modulates the physiological and biochemical responses of *Mentha aquatica* L. to ultraviolet radiation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 45, 1-10. DOI: [10.1016/j.jtemb.2017.08.015](https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.08.015)
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M. & Pehlivan, M. (2009). Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. *Alınları Ziraat Bilimler Dergisi*, 17(2), 14-26.
- Özdamar, K. (2004). Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi, Kaan Kitabevi.
- Özden, M., Demirel, U. & Kahraman, A. (2009). Effects of proline on antioxidant system in leaves of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) exposed to oxidative stress by H₂O₂. *Scientia Horticulturae-Amsterdam*, 119, 163-168. DOI: [10.1016/j.scienta.2008.07.031](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.031)
- Özen, T. (2009). Investigation of antioxidant properties of *Nasturtium officinale* (Watercress) leaf extracts. *Acta Poloniae Pharmaceutica-Drug Research*, 66 (2), 187-193.
- Öztürk, F., Duman, F., Leblebici, Z. & Temizgül, R. (2010). Arsenic accumulation and biological responses of Watercress (*Nasturtium officinale* R.Br.) exposed to arsenite. *Environmental and Experimental Botany*, 69, 167-174. DOI: [10.1016/j.envexpbot.2010.03.006](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.03.006)
- Ratkevicius, N., Correa, J.A. & Moenne, A. (2003). Copper accumulation, synthesis of ascorbate and activation of ascorbate peroxidase in *Enteromorpha compressa* (L.) Grév. (Chlorophyta) from heavy metal-enriched environments in Northern Chile. *Plant Cell and Environment*, 26, 159-1608. DOI: [10.1046/j.1365-3040.2003.01073.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01073.x)
- Riahi, L., Elferchichi, M., Ghazghazi, H., Jebali, J., Ziadi, S., Aouadhi, C., Chograni, H., Zaouali, Y., Zoghalmi, N. & Mliki, A. (2013). Phytochemistry, antioxidant and antimicrobial activities of the essential oils of *Mentha rotundifolia* L. in Tunisia. *Industrial Crops and Products*, 49, 883-889. DOI: [10.1016/j.indcrop.2013.06.032](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.032)
- Saygıdeğer, S., Doğan, M. & Keser, G. (2004). Effect of lead and pH on lead uptake, Chlorophyll and nitrogen content of *Typha latifolia* L. and *Ceratophyllum demersum* L. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(1), 168-172.
- Saygıdeğer, S. & Doğan, M. (2005). Influence of pH on lead uptake, chlorophyll and nitrogen content of *Nasturtium officinale* R.Br. and *Mentha aquatica* L.. *Journal of Environmental Biology*, 26(4), 753-759.
- Seçmen, Ö. & Leblebici, E. (2008). Türkiye sulak alan bitkileri ve bitki örtüsü. Ege Üniversitesi Yayınları, No. 158, 812 s.
- Sharmila, P. & Pardha Saradhi, P. (2002). Proline accumulation in heavy metal stressed plants: an adaptive strategy. *Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants*, 179-199. DOI: [10.1007/978-94-017-2660-3_7](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2660-3_7)
- Shields, E.C. & Moore, K.A. (2016). Effects of sediment and salinity on the growth and competitive abilities of three submersed Macrophytes. *Aquatic Botany*, 132, 24-29. DOI: [10.1016/j.aquabot.2016.03.005](https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2016.03.005)
- Singh, R., Tripathi, R.D., Dwivedi, S., Kumar, A., Trivedi, P.K. & Chakrabarty, D. (2010). Lead bioaccumulation potential of an aquatic Macrophyte *Najas indica* are related to antioxidant system. *Bioresource Technology*, 101(9), 3025-3032. DOI: [10.1016/j.biortech.2009.12.031](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.031)
- Spencer, D.V. & Rejmánek, M. (2010). Competition between two submersed aquatic Macrophytes, *Potamogeton pectinatus* and *Potamogeton gramineus*, across a light gradient. *Aquatic Botany*, 92, 239-244. DOI: [10.1016/j.aquabot.2010.01.001](https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2010.01.001)
- Srivastava, S., Sounderajan, S., Udas, A. & Suprasanna, P. (2014). Effect of combinations of aquatic plants (*Hydrilla*, *Ceratophyllum*, *Eichhornia*, *Lemna* and *Wolffia*) on arsenic removal in field conditions. *Ecological Engineering*, 73, 297-301. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2014.09.029](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.029)
- Stiers, I., Njambuya, J. & Triest, L. (2011). Competitive abilities of invasive *Lagarosiphon major* and native *Ceratophyllum demersum* in monocultures and mixed cultures in relation to experimental sediment dredging. *Aquatic Botany*, 95, 161-166. DOI: [10.1016/j.aquabot.2011.05.011](https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2011.05.011)
- Szákóvá, J., Tlustoš, P., Goessler, W., Pokorný, T., Findenig, S. & Balik, J. (2011). The effect of soil contamination level and plant origin on contents of arsenic, cadmium, zinc and arsenic compounds in *Mentha aquatica* L.. *Archives of Environmental Protection*, 37 (2), 109-121.
- Türker, O.C., Türe, C., Böcük, H. & Yakar, A. (2016). Phyto-management of boron mine effluent using native macrophytes in mono-culture and poly-culture constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 94, 65-74. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2016.05.043](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.043)
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q. & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14, 7370-7390. DOI: [10.3390/ijms14047370](https://doi.org/10.3390/ijms14047370)
- Yıldız, M. & Terzi, H. (2007). Bitkilerin yüksek sıcaklık stresine toleransının hücre canlılığı ve fotosentetik pigmentasyon testleri ile belirlenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23 (1-2), 47-60.
- Zeb, A. (2015). Phenolic profile and antioxidant potential of wild watercress (*Nasturtium officinale* L.). *Springer Plus*, 4, 714. DOI: [10.1186/s40064-015-1514-5](https://doi.org/10.1186/s40064-015-1514-5)
- Zheng, Y., Wang, X., Dzakpasu, M., Zhao, Y., Ngo, H.H., Guo, W., Ge, Y. & Xiong, J. (2016). Effects of interspecific competition on the growth of macrophytes and nutrient removal in constructed wetlands: A comparative assessment of free water surface and horizontal subsurface flow systems. *Bioresource Technology*, 207, 134-141. DOI: [10.1016/j.biortech.2016.02.008](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.02.008)
- Zurayk, R., Sukkariyah, B. & Baalbaki, R. (2001). Common hydrophytes as bioindicators of nickel, chromium and cadmium pollution. *Water Air Soil Pollution*, 127, 373-388. DOI: [10.1023/A:1005209823111](https://doi.org/10.1023/A:1005209823111)