



EĞİRDİR GÖLÜ'NDE YAŞAYAN BAŞAKLI SUCİVANPERÇEMİ (*MYRIOPHYLLUM SPICATUM* L.) BİTKİSİNDE BAZI AĞIR METAL DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

Selda TEKİN-ÖZAN*¹, Şule ÖZÇELİK¹, CELAL ÖZAN²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Isparta

²Isparta Milli Eğitim Müdürlüğü, Isparta

*seldaozan@sdu.edu.tr

ÖZET

2021 yılında Eğirdir Gölü'nde yapılan bu çalışmada gölde yaşayan başaklı sucivanperçemi (*Myriophyllum spicatum* L.) bitkisinin gövde ve yapraklarındaki bazı ağır metallerin konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Analizi yapılan metaller Gövdede; Fe>Zn>Mn>Pb>Cu>Se>Ni>Mo>Cr>Cd, Yaprakta; Fe>Mn>Zn>Pb>Cu>Ni>Se>Mo>Cr>Cd şeklinde sıralanmışlardır. Yapraktaki metal miktarının gövdeye göre daha yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Mevsimsel olarak elde edilen sonuçlar genellendiğinde metallerin gövdede yaz mevsiminde arttığı, kış mevsiminde azaldığı, yaprakta ise yaz ve kış mevsimindeki artışın birbirine benzediği, sonbahar mevsiminde ise azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından verilen ağır metallerin bitkilerde kabul edilebilir değerleri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca başaklı sucivanperçemi bitkisinin ağır metalleri bünyesinde biriktirme kapasitesinin yüksek olduğu görülmüştür. Bu bitki hem metal kirliliğinin belirlenmesinde biyoindikatör olarak hem de kirlenmiş ortamların temizlenmesinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Makrofit, *Myriophyllum spicatum*, Eğirdir Gölü

THE DETERMINATION OF HEAVY METALS IN EURASIAN WATERMILFOIL (*MYRIOPHYLLUM SPICATUM* L.) PLANT GROWING IN THE EĞİRDİR LAKE

ABSTRACT

In this study which was carried out in 2021 in Eğirdir Lake was aimed to determine the concentrations of some heavy metals in the stem and leaf of Eurasian watermilfoil (*Myriophyllum spicatum* L.) living in the lake. The analyzed metals were sorted as; Fe>Zn>Mn>Pb>Cu>Se>Ni>Mo>Cr>Cd in the stem Fe>Mn>Zn>Pb>Cu>Ni>Se>Mo>Cr>Cd in the leaf. It was determined that the amount of metal in the leaf was higher than in the stem. When the seasonal results are generalized, it has been determined that metals increase in the stem in summer, decrease in winter, and in leaf, the increase in summer and winter seasons is similar to each other and decreases in autumn. The results obtained were compared with the acceptable values of heavy metals in plants given by the World Health Organization (WHO). In addition, it was observed that the Eurasian watermilfoil plant has a high capacity to accumulate heavy metals in its body. This plant can be used both as a bioindicator for the determination of metal pollution and for cleaning contaminated environments.

Key Words: Heavy Metal, Macrophyte, *Myriophyllum spicatum*, Eğirdir Lake

1. GİRİŞ

Günümüzde hızlı nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme, artan tarım ve hayvancılık faaliyetleri, termik ve nükleer santraller gibi faaliyetler sonucunda çevre kirliliği oldukça artmış ve ciddi boyutlara ulaşmış ve insanlığın en önemli problemlerinden biri haline gelmiştir [1-3]. Sucul sistemlerdeki kirlenme ise gün geçtikçe artmaktadır. Farklı yollarla sulara karışan inorganik ve organik bileşikler, deterjanlar, pestisitler, yağlar, petrol ürünleri, kimyasal gübreler, ağır metaller, radyoaktif partiküller suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapılarında değişikliklere sebep olmaktadır. Bu olumsuz değişimlerin sonucunda suyun kalitesi bozulmakta, sucul canlıların yaşam döngüsünde hasarlar oluşmakta, kullanılabilir ve içilebilir su miktarı azalmaktadır [1, 4-7].

Ağır metaller doğada doğal olarak eser miktarda kayalarda, toprakta, suda ve canlılarda bulunmaktadır [8]. Ancak hem enerji ve yakıt üretimi, aşırı gübre ve pestisit kullanımı, evsel atıklar gibi insan faaliyetleri hem de maden ocakları, yanardağlar, orman yangınları ve erozyon gibi doğal olaylar sonucu doğadaki miktarı artmaktadır [9-11]. Ağır metaller çevre şartlarına dayanıklı olmaları, farklı kaynaklardan ortaya çıkabilmeleri ve besin zincirine katılarak canlıların vücutlarında birikmeleri, düşük miktarlarda bile toksik etki gösterebilmeleri ve biyodegradasyona uğramamaları nedeniyle çevrenin kirlenmesine ve canlılarda kanserojen, mutajen, teratojen ve toksik etkilere sebep olmaktadır [12-15].

Ağır metaller sulara organik veya inorganik bileşikler, serbest iyonlar veya partikül maddeler tarafından absorbe edilmiş şekilde bulunmaktadır [16]. Metaller suya girdikten sonra az miktarı suda serbest iyon halinde kalırken, çoğunluğu sedimente çöker [17, 18]. Sucul makrofitler su ve sedimentte bulunan metalleri bünyesinde biriktirebildiğinden sucul sistemin devamı için önemli bir role sahiptir ve kirlilik çalışmalarında biyoindikatör olarak kullanılmaktadır [19-22]. Sucul makrofitler hızlı çoğalabilmeleri, yapraklarının metalleri absorbe etmesine olanak sağlayacak şekilde geniş olması ve hareketsiz olmaları gibi özellikleri nedeniyle metal birikimi için oldukça uygundur [23].

Ağır metallerin sucul makrofitler tarafından birikimi pek çok araştırmacı tarafından çalışılmış ve literatüre katkı sağlanmıştır [24-32].

Bu çalışmada ülkemizin en önemli sulak alanlarından biri olan Eğirdir Gölü'nde yaşayan *Myriophyllum spicatum*'un gövde ve yapraklarında bazı ağır metallerin mevsimsel değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

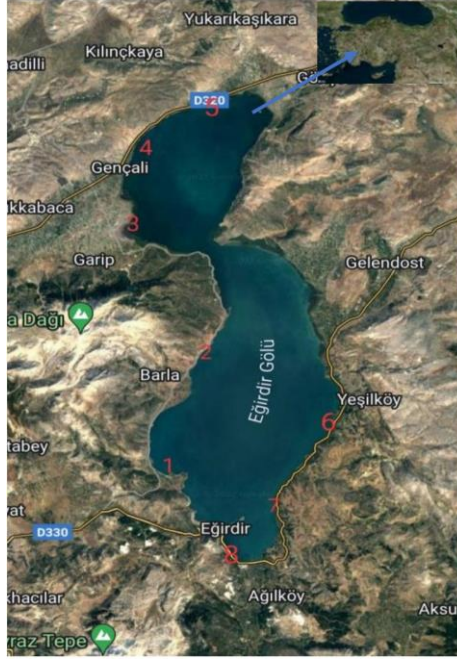
2. MATERYAL VE METOD

2.1. Araştırma Alanı

Biyolojik çeşitlilik bakımından uluslararası öneme sahip olan Eğirdir Gölü Isparta İli sınırları içinde yer almaktadır. Ülkemizin en büyük 2. tatlı su gölü olup 35°37'41"K - 38° 16' 55" Kuzey enlemleri ile 30°44' 39" D - 30°57' 43" Doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1.). Tektonik ve karstik etkilerle oluşmuştur. Eğirdir Gölü'nde kuzeyde Hoyran, güneyde Eğirdir olmak üzere 2 bölüm bulunmaktadır. Uzunluğu 58 km, genişliği ise 15 km civarındadır. Gölde 2020 ve 2021 yıllarında yoğun bir çekilme olmuştur. Gölün su kotu 2022 kışındaki yoğun kar yağışı nedeniyle 915.34 m'ye ulaşmıştır [33-36].

Eğirdir Gölü'nü, göl tabanından gelen su kaynakları, Pupa Çayı, Değirmen Çayı ve Akçay, Kanlıpalamut Pınarı, Karaot Avlağı Pınarı ve Havlutlu Pınarı beslemektedirler [37]. Eğirdir Gölü suları güney ucunda bulunan Kovada Kanalı ile Kovada Gölü'ne, buradan da Kurudere ve daha sonra Aksu Irmağı'na akarak Akdeniz'e ulaşır [37].

Eğirdir Gölü'nde *Phragmites australis* (Kamış), *Schoenoplectus lacustris* (Hasır sazı), *Typha angustifolia* (Hasır kamışı), *Nuphar lutea* (Sarı nülifer) ve *Butomus umbellatum* (Hasır sazı), *Myriophyllum spicatum* (Başaklı su civanperçemi), *Ranunculus tricophylus* (Su düğün çiçeği), *Potamogeton perfoliatus* (Su sümbülü), *Potamogeton pectinatus* (Söğüt otu) ve *Ceratophyllum demersum* (Boynuz otu) yaşamaktadır [38, 39].



Şekil 1. Çalışma alanı; Eğirdir Gölü ve İstasyonlar (Google.map'ten alınmıştır).

2.2. Materyal

Başaklı sucivanperçemi (*Myriophyllum spicatum*) Avrupa, Asya ve Kuzey Afrika'nın yerli submers bitkilerindendir ve çok yıllık bir makrofittir. Su içinde çok dallı bir yapıya sahiptir [40]. Su yüzeyinin hemen altında ve derinliği 10 m'ye kadar olan kısımlarda bulunur. Kökleri ile sedimente tutunur ve yüzeye doğru gelişir [41]. Yapraklar yeşil renklidir, gövde üzerinde halkalar şeklinde dizilmiştir. Her halkada 4 adet yaprak bulunur. Çiçekler su üstünde oluşan başaklarda halkalar şeklinde diziliş gösterir. Tohumla ya da bitki parçaları aracılığıyla ürerler [42].

2.3. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

Bu çalışma Ocak 2021-Kasım 2021 tarihleri arasında mevsimsel olarak yapılmıştır. Gölün 8 farklı bölgesinden (Şekil 1.) alınan bitki örnekleri SDÜ Hidrobiyoloji laboratuvarına getirilmiştir. Gölde getirilen bitki örnekleri çeşme suyu ve saf su ile yıkanarak diğer nesnelere arındırılmıştır. Örnekler gövde ve yaprak kısımlarına ayrılmış ve etüvde kurutulmuştur. Kuruma işleminden sonra homojen hale gelmesi için havanda ezilmiştir [23].

Bitkilerdeki metal seviyelerini belirlemek için nitrik asit kullanımı oldukça yaygındır. Buna ilaveten diğer asitler ve asit karışımları da kullanılmaktadır ($H_2O_2+HNO_3$, HNO_3+HClO_4) [43]. Bitki kısımlarındaki metal seviyelerini belirlemek için kurumuş gövde ve yapraklardan çözelti hazırlamak gerekmektedir. Bu işlem için “Nitrik asitte bir gece bekletme” yöntemi seçilmiştir [44, 45]. Hazırlanan çözeltiler analiz işlemine kadar buzdolabında bekletilmiştir. Örneklerin metal analizi Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesindeki Vista marka ICP-AES cihazında yapılmıştır.

2.4. İstatiksel Analizler

Çalışma bölgesindeki istasyonlardan elde edilen sonuçlar mevsimsel olarak değerlendirilmiş, minimum değerleri, maksimum değerleri, aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Ayrıca bitki kısımlarında biriken metal miktarlarının mevsimsel açıdan değişip değişmediğini ortaya koymak amacıyla One-Way Anova ve Duncan Testi yapılmıştır [46, 47].

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Eğirdir Gölü’nde belirlenen 8 farklı noktadan Ocak-2021 ve Kasım-2021 tarihleri arasında mevsimsel olarak alınan başaklı sucivanperçemi bitkisinin gövde ve yapraklarında belirlenen bazı ağır metallerin (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se ve Zn) miktarları Tablo 1.’de verilmiştir. Analizi yapılan tüm metaller her iki kısımda da tüm mevsimlerde belirlenmiştir ve mevsimsel değişimleri Şekil 2. ve 3’de gösterilmiştir.

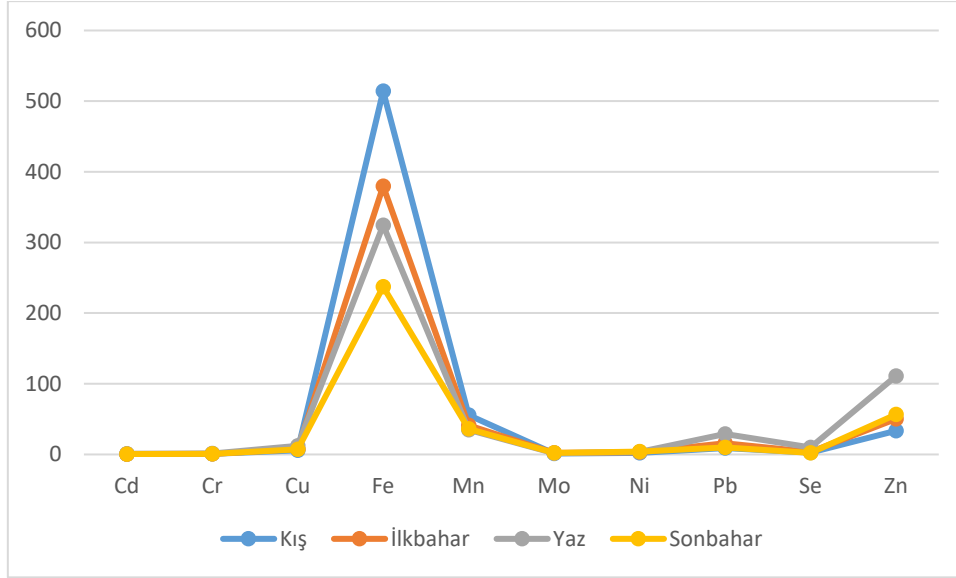
M. spicatum’un gövde ve yaprağında belirlenen metallerin ortalamaları şu şekilde sıralanmıştır. Gövdede; Fe>Zn>Mn>Pb>Cu>Se>Ni>Mo>Cr>Cd
Yaprakta; Fe>Mn>Zn>Pb>Cu>Ni>Se>Mo>Cr>Cd

Rai vd. [48], *C. demersum* bitkisindeki metal birikiminin sırasıyla Fe>Pb>Mn>Cr<Cu>Cd şeklinde olduğunu bildirmişlerdir. Yadav ve Chandra [49], Hindistan’da yapmış oldukları bir çalışmada *Typha angustifolia* ve *Cyperus esculentus* ta en fazla biriken metalin Fe, en az biriken metalin ise Cd olduğunu tespit etmişlerdir. Galal ve Shehata [26], *M. spicatum* bitkisi ile yaptıkları çalışmada metal miktarlarının Mn>Fe>Zn>Cu>Ni>Pb>Cd şeklinde sıralandığını belirlemişlerdir. Yabancı vd. [27], Kadın Deresi’nde yaşayan *M. spicatum* bitkisinde en az biriken metalin Cd olduğunu bildirmişlerdir. Kaptan ve Tekin-Özan [50], Eğirdir Gölü’nün suyunda ve sedimentinde yaptıkları çalışmada suda en fazla biriken metalin Mn ve en az biriken metalin ise Cr olduğunu, sedimentte en yüksek seviyedeki metalin Fe, en düşük seviyedeki metalin ise Cd olduğunu bildirmişlerdir. Şener vd. [51], bu gölde en fazla biriken metalin Mn olduğunu ve bu yüksek konsantrasyonun göl etrafında bulunan Mn sıvanmaları barındıran ofiyolitik kayalardan kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Fe’in sucül sistemlerin sedimentinde oldukça fazla oranda bulunması ise yerküre kabuğunda en fazla bulunan metallerden biri olmasıyla açıklanmıştır [52]. Bu bilgi çalışmamızdaki sonuçları desteklemektedir. Sedimentteki organik bileşiklerin bünyesinde en az oranda bulunan metalin Cd olması [53] yine çalışmamızdaki sonuçları doğrulamaktadır.

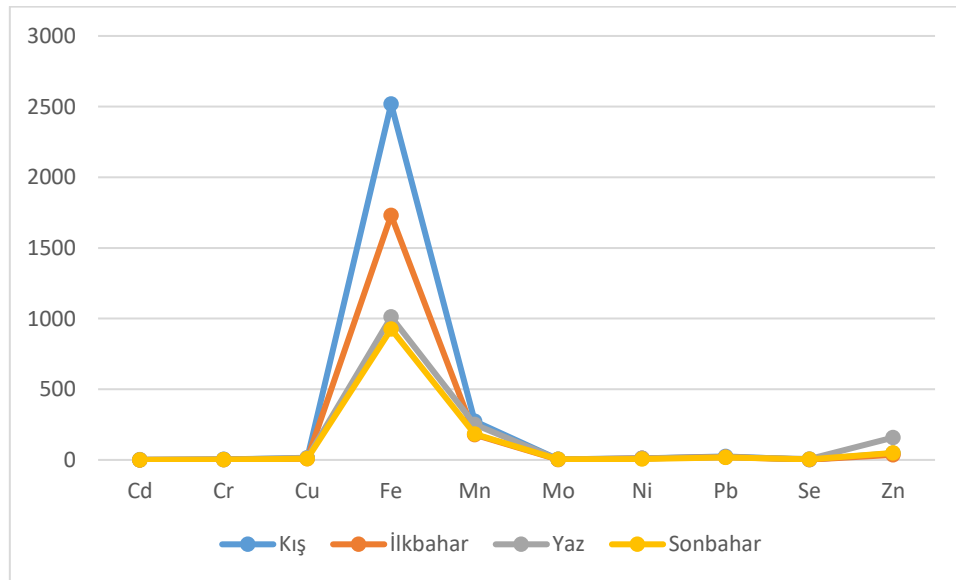
Tablo 1. Eğirdir Gölü'nde yaşayan *Myriophyllum spicatum* bitkisinin gövde ve yapraklarında tespit edilen bazı ağır metallerin minimum, maksimum, ortalama değerleri (mg/kg) ve standart sapmaları

Mevsim	Kış		İlkbahar		Yaz		Sonbahar	
	Gövde	Yaprak	Gövde	Yaprak	Gövde	Yaprak	Gövde	Yaprak
Cd	0,20-0,37 0,25±0,08 ^{a*}	0,31-0,38 0,36±0,05 ^a	0,52-0,80 0,61±0,16 ^a	0,28-0,44 0,38±0,08 ^a	0,32-2,59 0,99±0,75 ^a	0,42-3,08 1,14±0,86 ^a	0,27-1,30 0,56±0,49 ^a	0,23-0,50 0,38±0,11 ^a
Cr	0,48-1,74 0,96±0,18 ^a	3,08-3,47 3,24±0,17 ^a	0,43-1,34 0,88±0,45 ^a	1,96-4,44 2,82±0,40 ^a	0,31-3,94 1,50±1,14 ^a	1,16-6,56 2,62±1,79 ^a	0,50-1,38 0,78±0,41 ^a	0,20-2,56 1,40±0,97 ^a
Cu	3,40-8,88 5,87±0,80 ^a	7,93-20,12 13,09±5,73 ^a	6,04-11,11 7,80±2,86 ^a	5,25-10,93 8,03±2,84 ^a	3,36-26,31 12,38±7,74 ^a	8,83-41,66 14,80±4,91 ^a	3,89-14,42 7,07±2,94 ^a	6,25-9,39 7,92±1,34 ^a
Fe	190,47-808,88 514,01±125,23 ^a	1686,01-3305,08 2518,08±174,55 ^b	167,33-727,08 379,62±103,37 ^a	795,16-3349,47 1731,02±407,32 ^{ab}	75,11-768,51 324,45±21,89 ^a	421,42-1650,51 1011,48±383,55 ^a	124,51-379,80 239,29±85,28 ^a	592,18-1069,55 925,58±224,30 ^a
Mn	29,76-76,53 55,45±13,59 ^a	193,85-390,21 274,27±92,69 ^a	18,15-68,75 41,00±15,65 ^a	57,77-360,92 179,14±16,34 ^a	7,84-52,63 34,80±8,98 ^a	83,33-857,14 250,10±154,25 ^a	29,57-44,74 36,18±6,42 ^a	120,30-331,25 183,85±58,98 ^a
Mo	0,85-1,90 1,26±0,45 ^a	2,11-5,76 3,37±1,63 ^a	2,02-2,78 2,29±0,42 ^a	1,56-3,15 2,45±0,81 ^a	1,12-2,68 1,72±0,51 ^a	1,26-4,54 3,21±1,05 ^a	0,89-4,80 2,12±1,83 ^a	2,51-3,75 3,19±0,52 ^a
Ni	1,19-3,81 2,23±0,13 ^a	10,58-13,46 11,63±1,36 ^a	2,78-3,20 2,95±0,32 ^a	6,3-14,96 10,21±1,39 ^a	1,12-6,57 3,56±1,78 ^a	2,15-33,89 12,06±5,71 ^a	1,83-7,16 4,09±0,63 ^a	4,68-7,51 6,00±1,36 ^a
Pb	5,10-15,47 8,91±4,80 ^a	11,90-32,83 24,76±3,58 ^a	12,1-18,75 15,84±3,4 ^a	14,71-23,44 19,76±2,52 ^a	5,60-59,21 29,13±9,55 ^a	1,69-41,66 19,09±8,79 ^a	5,51-19,23 10,14±2,16 ^a	3,76-26,31 18,55±5,15 ^a
Se	0,148-5,33 2,513±1,28 ^a	1,64-4,72 2,60±1,44 ^a	0,97-6,54 3,47±0,82 ^a	1,48-2,94 2,40±0,80 ^a	1,31-24,07 9,76±2,58 ^a	3,42-13,87 6,51±1,21 ^b	0,65-4,36 2,27±0,59 ^a	0,77-5,53 3,56±0,02 ^{ab}
Zn	22,61-41,98 34,34±9,30 ^a	31,25-68,85 46,27±7,71 ^a	38,31-66,67 50,27±4,69 ^a	27,31-50,0 36,33±8,03 ^a	44,84-236,84 110,94±13,98 ^a	64,39-347,22 157,58±19,14 ^a	30,46-100,96 56,58±11,62 ^a	45,31-52,72 48,50±3,18 ^a

*Her bir parametre sütununda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark 0.05 düzeyinde önemsizdir.



Şekil 2. Eğirdir Gölü'nde yaşayan *M. spicatum*'un gövdesinde belirlenen bazı ağır metallerin mevsimsel değişimi (mg/kg)



Şekil 3. Eğirdir Gölü'nde yaşayan *M. spicatum*'un yaprağında belirlenen bazı ağır metallerin mevsimsel değişimi (mg/kg)

Bitki örneklerinde yapılan analiz sonucunda gövdedeki Cd miktarının 0,25-0,99 mg/kg, yapraktaki miktarın ise 0,36-1,11 mg/kg arasında değiştiği ve metal miktarlarının her iki kısım için de yaz mevsiminde arttığı ve kış mevsiminde ise azaldığı belirlenmiştir. Cr miktarının gövdede 0,78-1,50 mg/kg ve yaprakta 1,40-3,24 mg/kg arasında değiştiği, gövdede yaz mevsiminde artarken, yaprakta kış mevsiminde arttığı, her iki kısımda da sonbahar mevsiminde azaldığı belirlenmiştir. Gövdedeki Cu düzeyinin 5,87-12,38 mg/kg ve yapraktakinin ise 7,92-14,80 arasında değiştiği, her iki kısımda da yaz mevsiminde artış gösterirken, gövdede kış mevsiminde, yaprakta ise sonbaharda azaldığı belirlenmiştir. Fe konsantrasyonu gövdede 239,29-514,01 mg/kg ve yaprakta 925,58-2518,08 mg/kg arasında değişmiştir. Hem gövdede hem de yaprakta kış mevsiminde artarken, sonbaharda azalmıştır. Mn miktarı gövdede 34,80-55,45 mg/kg arasında, yaprakta 179,14-274,27 arasında değişirken, gövde ve yaprakta kış

mevsiminde artmıştır. Buna karşın gövdede yaz mevsiminde, yaprakta ise ilkbaharda azalmıştır. Mo seviyesi gövdede 1,26-2,29 arasında, yaprakta ise 2,45-3,37 mg/kg arasında değişmiştir. Gövdedeki Mo miktarı ilkbaharda artıp kış mevsiminde azalırken, yapraktaki düzey kış mevsiminde artıp ilkbaharda azalmıştır. Gövdedeki Ni konsantrasyonu 2,23-4,09 mg/kg ve yapraktaki ise 6,00-12,06 mg/kg arasında değişmiştir. Ni miktarı gövdede sonbaharda artmış, kış mevsiminde azalmış, yapraktaki ise yaz mevsiminde artmış sonbaharda azalmıştır. Pb konsantrasyonu gövdede 8,91-29,13 mg/kg ve yaprakta 18,55-24,76 mg/kg arasında değişirken, gövdede yaz mevsiminde artmış, kış mevsiminde azalmış, yaprakta ise kış mevsiminde artmış, sonbaharda azalmıştır. Se miktarı gövdede 2,27-9,76 mg/kg, yaprakta ise 2,40-6,51 mg/kg arasında değişmiştir. Her iki kısımda da yaz mevsiminde artmış, gövdede sonbaharda ve yaprakta ilkbaharda azalmıştır. Zn seviyesi gövdede 34,34-110,94 mg/kg ve yaprakta 36,33-157,58 mg/kg arasında değişmiştir. Gövdede yaz mevsiminde artarken, kış mevsiminde azalmış, yaprakta yaz mevsiminde artmış, ilkbaharda azalmıştır. Yapılan analizler sonucunda sadece yapraktaki Fe ve Se miktarının mevsimler arasında farklılık gösterdiği ($p<0.05$), diğer ilişkilerin ise önemli olmadığı ($p>0.05$) belirlenmiştir. Mevsimsel olarak elde edilen sonuçlar genellendiğinde metallerin gövdede yaz mevsiminde arttığı, kış mevsiminde azaldığı, yaprakta ise yaz ve kış mevsimlerindeki artışın birbirine benzediği, sonbahar mevsiminde ise azaldığı tespit edilmiştir. Yapraktaki metal seviyelerinin gövdeye göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Duman vd. [54], Sapanca Gölü'nde yetişen *Phragmites australis* ve *Schoenoplectus lacustris*'teki bazı metallerin (Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn ve Cd) düzeylerini araştırmışlar ve *Phragmites australis*'teki birikimin kış mevsiminde, *Schoenoplectus lacustris*'teki birikimin ise sonbaharda en yüksek düzeyde olduğu saptamışlardır. Yücel vd. [25] Porsuk Çayı'ndaki *M. spicatum* bitkisinin Fe miktarının gövdede 20,5-740 ppm ve yaprakta 40,5-988,5 ppm arasında olduğunu belirlemişlerdir. *M. spicatum* bitkisinin yaprağında gövdeye göre daha fazla Cd biriktiğini tespit etmişlerdir. Yabancı vd. [27] yaptıkları çalışmada Kadın Deresi'nde yaşayan *M. spicatum*'un yaprağındaki Cr, Cd ve Pb düzeylerini sırasıyla 4.59 mg/kg, 0.06 mg/kg ve 6.25 mg/kg olarak, gövdedeki Cr, Cd ve Pb miktarlarını ise 5.34 mg/kg, 0.04 mg/kg ve 3.05 mg/kg olarak belirlemişlerdir. Metal seviyelerinin ilkbahar mevsiminde artış gösterdiğini bildirmişlerdir. En yüksek metalin kökte, en düşük metalin ise gövdede biriktiğini tespit etmişlerdir. Kovada Gölü'nde yapılan bir çalışma sonucunda *P. australis*'in kökteki metal seviyesinin yaz mevsiminde arttığı, ilkbaharda azaldığı, gövdedeki seviyenin ilkbaharda artıp yaz mevsiminde azaldığı, yapraktaki konsantrasyonun ise sonbaharda arttığı ve kış mevsiminde azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca genel olarak yapraktaki metal seviyesinin gövdeye göre daha yüksek olduğu saptanmıştır [29]. Çalışmamızda gövdedeki ve yapraktaki metal seviyesinin yaz mevsiminde artması bitki metabolizmasının bu mevsimde artmasına, metal miktarının gövdede kışın azalması buna karşın yaprakta artış göstermesi ise bitkide biriken atık maddelerin ve metallerin bitkinin boşaltım organı olan yaprağa geçmesi ile açıklanabilir.

Ağır metallerin sudaki oranı, pH değişimi, aktif ve pasif transfer süreçleri, türleşme, redoks durumları mevsimsel döngülere göre bitkilerin verdiği cevaplar bitkilerdeki metal birikimini etkiler [55, 56]. Sedimentin yapısı da bitkilerdeki metal miktarını etkileyen önemli bir etmendir [26]. Vymazal [57], bitkilerin yaprak kısmında gövdeden daha fazla metal görülmesini, metallerin yaprak vakuollerinde birikmesine dayandırmıştır. Submers bitkilerin yaprakları, gövde aracılığı ile kökten metal aldığı gibi direk sudan da metal alıp bünyesinde biriktirir [58].

Keskinkan vd. [24], yaptıkları çalışma sonucunda *M. spicatum* bitkisinin *Ceratophyllum demersum*'a göre daha yüksek emilim kapasitesine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada ise *M. spicatum* bitkisinin Pb'ü adsorbe etme yeteneğinin yüksek olduğu ve bu

bitkinin Zn, Pb ve Cu'ın uzaklaştırılmasında uygun bir biosorbent olabileceği bildirilmiştir [59]. Rai vd. [48], submers bitkilerin yüksek yüzey/biyokütle oranı nedeniyle daha fazla metal biriktirme kapasitesine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bu bitkinin Cd'u uzaklaştırma kapasitesinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir [60]. Yabanlı vd. [27], yaptıkları çalışmada *M. spicatum* bitkisinin kökündeki Hg miktarının Kadın Deresi'nin suyundaki Hg miktarına göre 2269,23 kat fazla olduğunu bildirmişlerdir. Miretzky vd. [61], kirlenmiş alanlardaki sucül makrofitlerin yaşadıkları suya göre çok daha fazla metal biriktirme kapasitesine sahip olduklarını belirtmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada ortamdaki demirin *M. spicatum* tarafından önemli ölçüde temizlendiği belirlenmiştir [25]. Submers makrofitlerin metalleri direk sudan alıyor olması nedeniyle kirlenmiş sulardaki metallerin uzaklaştırılmasında kullanılabileceği sonucunun ortaya çıkacağı bildirilmiştir [62]. Galal vd. [63], *M. spicatum*'un ağır metal kirliliğini belirlemek için etkin bir biyoindikatör olarak kullanılabileceğini açıklamışlardır.

4. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada Eğirdir Gölü'nde yaşayan *M. spicatum* bitkisinin gövde ve yapraklarındaki bazı ağır metallerin konsantrasyonları belirlenmiştir. Gövde ve yaprakta en fazla biriken metal Fe, en az biriken metal ise Cd olmuştur. Yapraktaki metal seviyesi gövdeye göre daha fazla bulunmuştur. Mevsimsel olarak elde edilen sonuçlar genellendiğinde metallerin gövdede yaz mevsiminde arttığı, kış mevsiminde azaldığı, yaprakta ise yaz ve kış mevsimlerindeki artışın birbirine benzediği, sonbahar mevsiminde ise azaldığı tespit edilmiştir. Yapraktaki metal seviyelerinin gövdeye göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar Dünya Sağlık Örgütü [64]) tarafından verilen ağır metallerin bitkilerde kabul edilebilir değerleri ile kıyaslanmıştır. Buna göre Cr, Cu ve Fe her iki kısımda da tüm mevsimlerde bu limitlerin üstünde çıkmıştır. Ve yine Cd ilkbaharda gövdede, yaz mevsiminde hem gövdede hem yaprakta, Ni ve Pb tüm mevsimlerde yaprakta, Zn yaz mevsiminde hem yaprak hem gövdede ve sonbaharda gövdede bu limitlerin üstünde çıkmıştır. Buna göre başaklı sucivanperçemi bitkisinin ağır metalleri bünyesinde biriktirme kapasitesinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu bitki hem metal kirliliğinin belirlenmesinde biyoindikatör olarak hem de kirlenmiş ortamların temizlenmesinde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ellis, K.V., White, G. & Adn Warn, A.E. (1989). *Surface water pollution and its Control*. Wiltshire: Antony Rome Ltd. Chippenham.
- [2] Kılıç, S., Çavuşoğlu, K. & Kılıç, M. (2009). The effects of lead (Pb) pollution caused by vehicles on the pollen germination and pollen tube growth of apricot (*Prunus armeniaca* cv. Şekerpare). *Biological Diversity and Conservation (BioDiCon)*, 2(3), 23-28.
- [3] Akbayır, S., Osmalı, E. ve Varol, T. (2019). İstanbul'un sahil kesimlerinden toplanan *Platanus orientalis* L. (Doğu Çınarı)'te ağır metal birikimi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4 (3), 393-400.
- [4] Kocataş, A. (2008). *Çevre kirlenmesi, Çevre Biyolojisi*. İzmir: Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Yayınları.
- [5] Uysal, K., Köse, E., Bülbül, M., Dönmez, M., Erdoğan, Y. Koyun, M.....Özmal, F. (2009). The comparison of heavy metal accumulation ratios of some fish species in Enne Dame Lake (Kütahya/Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 157, 355-362.

- [6] Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K. & Sutton, D.J. (2012). Heavy metals toxicity and the Environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, 101, 133-164.
- [7] Alrumman, S., El-Kott, A. & Sherif, K. (2016). Water pollution: source and treatment. *American Journal of Environmental Engineering*, 6, 88-89.
- [8] Akbıyık, F. (2012). Felent Çayı'nda mikro ve makro elementlerin biyotik ve abiyotik ögelerde birikimlerinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi). Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [9] Göksu, M.Z.L. (2003). *Su Kirliliği*. Adana: Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Yayınları.
- [10] Halim, M., Conte, P. & Piccolo, A. (2003). Potential availability of heavy metals to phytoextraction from contaminated soils by exogenous humic substances. *Chemosphere*, 52, 265-275.
- [11] Samarghandi, M.R., Nouri, J., Mesdaghinia, A.R., Mahvi, A.H., Nasser, S. & Vaezi, F. (2007). Efficiency removal of phenol, lead and cadmium by means of UV/TiO₂/H₂O₂ Processes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4, 19-25.
- [12] Uzunoğlu, O. (1999). Gediz Nehri'nden alınan su ve sediment örneklerinde bazı ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa
- [13] Yuan, C., Shi, J., He, B., Liu, J., Liang L. & Jiang G. (2004). Speciation of heavy metals in marine sediments from the East China sea by ICP-MS with sequential extraction. *Environment International*, 30, 769-783.
- [14] Liu, J., Yin, P., Chen, B., Gao, F., Song, H. & Li, M. (2016). Distribution and contamination assessment of heavy metals in surface sediments of the Luanhe River Estuary, northwest of the Bohai Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 109, 633-639.
- [15] Ali, H., Khan, E. & Ilahi, İ. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 4, 1-14.
- [16] Engel, D. W., Sunda, W. G. & Fowler, B.A. (1981). Factors affecting trace metal uptake and toxicity to estuarine organisms. 1. Environmental parameters. J. Vernberg, A. Calabrese, F.P. Thurberg, ve W.B., Vernberg (Ed.), *Biological Monitoring of Marine Pollutants içinde* (127-144 ss). Cambridge: Academic Press.
- [17] Türkmen, A. & Türkmen, M. (2004). The seasonal variation of heavy metal in the suspended particulate material in the Iskenderun Bay (North-Eastern Mediterranean Sea, Turkey). *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 21 (3-4), 307-311.
- [18] Zhuang W. & Gao, X. (2015). Distributions, sources and ecological risk assessment of arsenic and mercury in the surface sediments of the southwestern coastal Laizhou Bay, Bohai Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 99, 320-327.
- [19] Nimptsch, J., Wunderlin, D.A., Dollan, A. & Pflugmacher, S. (2005). Antioxidant and biotransformation enzymes in *Myriophyllum quitense* as biomarkers of heavy metal exposure and eutrophication in Suquia River basin (Córdoba, Argentina). *Chemosphere*, 61 (2), 147-157.
- [20] Vardanyan, L.G. & Ingole, B.S. (2006). Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) Lake systems. *Environment International*, 32 (2), 208-218.
- [21] Zhulidov, A.V. (1996). Heavy metals in Russian Wetlands. N.M. Van Straalen, ve D.A. Krivolutsky (Ed.), *Bioindicator Systems for Soil Pollution içinde* (233-247 ss). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 233-247.
- [22] Shine, J., Ryan, D., Limon, J. & Ford, T. (1998). Annual cycle of heavy metals in a tropical lake-Lake Chapala, Mexico. *Journal of Environmental Science Health, Part A*, 33, 23-43.

- [23] Duman, F. (2005). Sapanca ve Abant Gölü su, sediment ve sucul bitki örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi. (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [24] Keskinan, O., Göksu, M.Z.L., Yüceer, A. & Başbüyük, M. (2007). Comparison of the adsorption capabilities of *Myriophyllum spicatum* and *Ceratophyllum demersum* for zinc, copper and lead. *Engineering in Life Science*, 7(2), 192-196.
- [25] Yücel, E., Edirnelioğlu, E., Soydam, S., Çelik, S. & Çolak, G. (2010). *Myriophyllum spicatum* (Spiked water-milfoil) as a biomonitor of heavy metal pollution in Porsuk Stream/Turkey. *Biological Diversity and Conservation*, 3 (2), 133-144.
- [26] Galal, T.M. & Shehata, H.S. (2014). Evaluation of the invasive macrophyte *Myriophyllum spicatum* L. as a bioaccumulator for heavy metals in some watercourses of Egypt. *Ecological Indicators*, 41, 209-214.
- [27] Yabanlı, M., Yozukmaz, A. & Sel, F. (2014). Heavy metal accumulation in the leaves, stem and root of the invasive submerged macrophyte *Myriophyllum spicatum* L. (haloragaceae): An example of Kadın Creek (Muğla, Turkey). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57 (3), 434-440.
- [28] Harguinteguy, C.A., Cofré, M.N., Cirelli-Fernández, A. & Pignata, M.L. (2016). The macrophytes *Potamogeton pusillus* L. and *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. as potential bioindicators of a river contaminated by heavy metals. *Microchemical Journal*, 124, 228-234.
- [29] Sancer, O. & Tekin-Özan, S. (2016). Seasonal changes of metal accumulation in water, sediment and *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel growing in Lake Kovada (Isparta, Türkiye). *Süleyman Demirel Üniversitesi Journal of Science*, 11(2), 45-60.
- [30] Emiroğlu, Ö., Köse, E., Koyuncu, O., Çiçek, A. ve Şahin, M. (2018). Porsuk Çayı bazı su kenarı bitkilerinde makro ve mikro elementlerin belirlenmesi. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 11 (2), 24-26.
- [31] Zubair, A., Abdullah, N.O., İbrahim, R. & Rachma, A.R.D. (2020). Effectivity of constructed wetland using *Typha angustifolia* in analyzing the decrease of heavy metal (Fe) in acid mine drainage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 419, 012160.
- [32] Keser, G., Topak, Y. & Sevgiler, Y. (2020). Concentrations of some heavy metal and macroelements in sediment, water, macrophyte species, and leech (*Hirudo sulukii* n.sp.) from the Kara Lake, Adıyaman, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 75.
- [33] Alp, A., Akyürek, M., Balık, S. ve Ustaoglu, M.R. (1994). Akşehir Gölü'nün bazı biyoekolojik özelliklerinin tespiti projesi sonuç raporu. *Eğirdir Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü*, Eğirdir.
- [34] Web 1: https://www.wwf.org.tr/ne_yapiyoruz/doga_koruma/doal_alanlar/egirdir_golu/
- [35] Web 2: https://tr.wikipedia.org/wiki/E%C4%9Firdir_G%C3%B6l%C3%BC
- [36] Web 3: <https://www.haberler.com/egirdir-golu-nun-su-seviyesi-11-santimetre-daha-14779289-haber/#:~:text=ISPARTA%202D%20T%C3%BCrkiye'nin%20d%C3%B6rd%C3%BCnc%C3%BC%20b%C3%BCy%C3%BCk,%C3%B6l%C3%A7%C3%BCmlemede%20915.45%20metre%20seviyesine%20ula%C5%9Ft%C4%B1.>
- [37] WWF. (2013). World Wildlife Fund, Eğirdir Gölü'nde Kirlilik Durumu ve Kirlilik Kaynakları Modelleme Çalışması Raporu, Yedi Renkli Göle Yedi Renkli Hayat Projesi, 35s.
- [38] Seçmen, Ö. ve Leblebici, E. (1997). Türkiye Sulak Alan Bitkileri ve Bitki Örtüsü. İzmir: Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları. ,
- [39] Kesici E. (1997). Eğirdir Gölü makrofitik vejetasyonu üzerinde fitososyolojik ve ekolojik bir araştırma. (Doktora tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Temel Bilimleri Anabilim Dalı, Isparta.

- [40] Aiken, S.G., Newroth, P.R & Wile I. (1979). The biology of Canadian weeds.: 34. *Myriophyllum spicatum* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 59, 201–215.
- [41] Nassouhi, D., Ergönül, M.B., Fikirdeşici, Ş., Karacakaya, P. ve Atasagun, S. (2018). Ağır metal kirliliğinin biyoremediasyonunda bazı su içi ve yüzücü sucul makrofitlerin kullanımı. *SDÜ Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 14 (2), 148-165.
- [42] Altınayar, G. (1988). Su Yabancı Otları. Ankara: T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- [43] Bock, R. (1979). A handbook of decomposition methods in analytical chemistry. Scranton: International Textbook Co.
- [44] Sawidis, T., Chettri, M.K., Zachariadis, G.A. & Stratis, J.A. (1995). Heavy metals in aquatic plants and sediments from water systems in Macedonia, Greece. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 32, 73-80.
- [45] Laing, G.D., Tack, F.M.G. & Verloo, M.G. (2003). Performance of selected destruction methods for the determination of heavy metals in reed plants (*Phragmites australis*). *Analytica Chimica Acta*, 497 (1-2), 191-198.
- [46] Fisher, R.A. (1928). The general sampling distribution of the multiple correlation coefficient, *Proceeding of the Royal Society A*, 121 (788), 654–673.
- [47] Duncan, D. B. (1955). Multiple Range and Multiple F Tests. *Biometrics*, 11(1), 1-42.
- [48] Rai, U.N., Sinha, S., Tripathi, R.D. & Chandra, P. (1995). Wastewater treatability potential of some aquatic macrophytes: Removal of heavy metals. *Ecological Engineering*, 5, 5–12.
- [49] Yadav S. & Chandra R. (2011). Heavy metals accumulation and ecophysiological effect on *Typha angustifolia* L. and *Cyperus esculantus* L. growing in distillery and tannery effluent polluted natural wetland site, Unnao, India, *Environmental Earth Science*, 62: 1235-1243.
- [50] Kaptan, H. ve Tekin-Özan, S. (2014). Eğirdir Gölü'nün (Isparta) suyunda, sedimentinde ve gölde yaşayan sazanın (*Cyprinus carpio* L., 1758) bazı doku ve organlarındaki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. *SDÜ Journal of Science (E-Journal)*, 9 (2), 44-60.
- [51] Şener, Ş., Elitok, Ö., Şener, E. & Davraz, A. (2011). An investigation of Mn contents in water and bottom sediments from Eğirdir Lake, Turkey, *Journal of Engineering Science and Design*, 1 (3), 145-149.
- [52] Usero J., Izquierdo C., Morillo J. & Gracia I. (2003). Heavy metals in fish (*Solea vulgaris*, *Anguilla anguilla* and *Liza aurata*) from salt marshes on the Southern Atlantic Coast of Spain, *Environmental International*, 1069, 1-8.
- [53] Baron J., Legret M. & Astruc M. (1990). Study of interactions between heavy metals and sewage sludge: determination of stability constants and complexes formed with Cu and Cd. *Environmental Technology*, 11, 151-162.
- [54] Duman F., Çiçek M. & Sezen G. (2007). Seasonal changes of metal accumulation and distribution in common club rush (*Schoenoplectus lacustris*) and common ceed (*Phragmites australis*). *Ecotoxicology*, 16, 457-463.
- [55] Deng, H., Ye, Z.H. & Wong, M.H. (2004). Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China. *Environmental Pollution*, 132, 29-40.
- [56] Badr, N., Fawzy, M. & Al-Qahtani, K.H. (2012). Phytoremediation: An ecological solution to heavy-metal-polluted soil and evaluation of plant removal ability. *World Applied Sciences Journal*, 16 (9), 1292–1301.
- [57] Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, 380, 48-65.
- [58] Dunbabin, J.S. & Bowmer, K.H. (1992). Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial waste waters containing metals. *Science of the Total Environment*, 3, 151–168.

- [59] Keskinan, O., Göksu, M.Z.L., Yüceer, A., Başbüyük, M. & Forster, C.F. (2003). Heavy metal adsorption characteristics of a submerged aquatic plant (*Myriophyllum spicatum*). *Process Biochemistry*, 39, 179-183.
- [60] Sivacı, E.R., Sivacı, A. & Sökmen, M. (2004). Biosorption of cadmium by *Myriophyllum spicatum* L. and *Myriophyllum triphyllum* orchard. *Chemosphere*, 56, 1043-1048.
- [61] Miretzky, P., Saralegui, A. & Fernandez Cirelli, A. (2004). Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere*, 57, 997-1005.
- [62] Doğan, M. (2011). Akvatik makrofitlerde ağır metal akümülyasyonu. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 4(2), 33-36.
- [63] Galal, T.M., Farahat, E.A. & Fawzy, M. (2008). Submerged macrophytes as bioindicators for pollution in Lake Mariut along the Mediterranean coast of Egypt. *Ecologia Mediterranea*, 34, 83-91.
- [64] WHO (World Health Organization), 2010. Quantifying Environmental Health Impacts. World Health Organization, Geneva.