

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**ASİ NEHRİNİ İSTİLA EDEN SU SÜMBÜLÜNDE
BAZI METALLERİN BELİRLENMESİ**

Ali BAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Murat TOPAL

TUNCELİ-2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ASİ NEHRİNİ İSİTLA EDEN SU SÜMBÜLÜNDE
BAZI METALLERİN BELİRLENMESİ

Ali BAL
(200020009)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Murat TOPAL

TUNCELİ-2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ASİ NEHRİNİ İSTİLA EDEN SU SÜMBÜLÜNDE
BAZI METALLERİN BELİRLENMESİ

Ali BAL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez /01/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr.Murat TOPAL
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

Doç.Dr.E.İşıl ARSLAN TOPAL
(Fırat Üniversitesi)

ÜYE

Doç.Dr.Mehmet Yavuz PAKSOY
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü

Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: YLMUB022-03

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ali BAL

Danışman
Doç. Dr. Murat TOPAL

TEŞEKKÜR

Her zaman yanımda olan maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen özellikle abim Emrah BAL başta olmak üzere sevgili annem ve babama ile diğer aile fertlerine, hayatımın her alanında olduğu gibi, yüksek lisans çalışmam boyunca motivasyon ve desteğini benden esirgemeyen, her aşamada bana yardımcı olan Hatay'lı sevgili arkadaşım Melek LATİFECİ 'ye teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmam boyunca bana yardımcı olan, bilgi birikimi ve deneyimleriyle bu çalışmamın gerçekleştirilmesindeki her türlü destek ve katkılarından dolayı öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Murat TOPAL'a teşekkür ederim. Ayrıca, desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. E. Işıl ARSLAN TOPAL ve Dr. Öğr. Üyesi Erdal ÖBEK hocalarıma da teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasını YLMUB022-03 nolu projeyle destekleyen Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkürlerimi sunarım.

Ali BAL
TUNCELİ - 2023

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLOLAR LİSTESİ	V
KISALTMALAR LİSTESİ	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Su Symbülü	4
1.2. Su Symbölünün Özellikleri	7
1.3. Su Symbülü ile Su ve Atıksulardaki Kirleticilerin Giderilmesi	8
1.4. Su Symbülü Kullanarak Ağır Metallerin Giderilmesi.....	12
1.5. Su Symbülü Büyümesinin Kontrolü.....	14
2. MATERYAL VE METOT	15
2.1. Çalışma Alanı.....	15
2.2. Örnekleme ve Analiz.....	15
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	18
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	42
5. KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Su sümbülü türlerinin kıta genelinde dağılımı	1
Şekil 1.2. Su sümbülünün farklı uygulamaları	3
Şekil 1.3. Su sümbülünün farklı kısımları	5
Şekil 1.4. Su sümbülünün alanlara göre dağılımı	6
Şekil 2.1. Çalışma alanı olarak belirlenen Asi Nehri	15
Şekil 2.2. Asi Nehri'ni istila eden su sümbüllerinin toplanması	16
Şekil 2.3. Su sümbüllerinin analize hazırlanması	17
Şekil 3.1. Örnekleme noktası-1'e ait Be konsantrasyonları	18
Şekil 3.2. Örnekleme noktası-1'e ait Na konsantrasyonları	19
Şekil 3.3. Örnekleme noktası-1'e ait K konsantrasyonları	19
Şekil 3.4. Örnekleme noktası-1'e ait Ca konsantrasyonları	20
Şekil 3.5. Örnekleme noktası-1'e ait Zn konsantrasyonları	21
Şekil 3.6. Örnekleme noktası-1'e ait Mo konsantrasyonları	21
Şekil 3.7. Örnekleme noktası-1'e ait Al konsantrasyonları	22
Şekil 3.8. Örnekleme noktası-1'e ait Cu konsantrasyonları	23
Şekil 3.9. Örnekleme noktası-2'ye ait Be konsantrasyonları	23
Şekil 3.10. Örnekleme noktası-2'ye ait Na konsantrasyonları	24
Şekil 3.11. Örnekleme noktası-2'ye ait K konsantrasyonları	25
Şekil 3.12. Örnekleme noktası-2'ye ait Ca konsantrasyonları	25
Şekil 3.13. Örnekleme noktası-2'ye ait Zn konsantrasyonları	26
Şekil 3.14. Örnekleme noktası-2'ye ait Mo konsantrasyonları	27
Şekil 3.15. Örnekleme noktası-2'ye ait Al konsantrasyonları	27
Şekil 3.16. Örnekleme noktası-2'ye ait Cu konsantrasyonları	28
Şekil 3.17. Örnekleme noktası-3'e ait Be konsantrasyonları	29
Şekil 3.18. Örnekleme noktası-3'e ait Na konsantrasyonları	29
Şekil 3.19. Örnekleme noktası-3'e ait K konsantrasyonları	30
Şekil 3.20. Örnekleme noktası-3'e ait Ca konsantrasyonları	31
Şekil 3.21. Örnekleme noktası-3'e ait Zn konsantrasyonları	31
Şekil 3.22. Örnekleme noktası-3'e ait Mo konsantrasyonları	32
Şekil 3.23. Örnekleme noktası-3'e ait Al konsantrasyonları	33
Şekil 3.24. Örnekleme noktası-3'e ait Cu konsantrasyonları	33
Şekil 3.25. Be konsantrasyonlarının karşılaştırılması	34
Şekil 3.26. Al konsantrasyonlarının karşılaştırılması	35
Şekil 3.27. K konsantrasyonlarının karşılaştırılması	36
Şekil 3.28. Ca konsantrasyonlarının karşılaştırılması	37
Şekil 3.29. Cu konsantrasyonlarının karşılaştırılması	38
Şekil 3.30. Zn konsantrasyonlarının karşılaştırılması	39
Şekil 3.31. Mo konsantrasyonlarının karşılaştırılması	40
Şekil 3.32. Na konsantrasyonlarının karşılaştırılması	41

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Su sümbölünün büyüme koşulları	7
Tablo 1.2. Su sümbölü kullanılarak organik ve inorganik maddelerin giderilmesine yönelik son çalışmalar.....	10
Tablo 1.3. Su sümbölü kullanarak ağır metallerin giderilmesi üzerine yapılan son çalışmalar.....	13



KISALTMALAR LİSTESİ

Be	: Berilyum
Na	: Sodyum
Al	: Alüminyum
K	: Potasyum
Ca	: Kalsiyum
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
Mo	: Molibden



ÖZET

Bu tez çalışmasının ana amacı, Antakya ilindeki Asi Nehri'ni istila eden su sümbüllerinde bazı metal konsantrasyonlarının belirlenmesidir. Bu kapsamda, Asi Nehri'nin farklı bölgelerinden su sümbülü örnekleri toplandı ve metal analizleri gerçekleştirildi. Elde edilen verilere göre, su sümbülünde berilyum (Be), sodyum (Na), alüminyum (Al), potasyum (K), kalsiyum (Ca), Bakır (Cu), çinko (Zn) ve molibden (Mo) konsantrasyonları belirlendi. Su sümbülünde en yüksek Be konsantrasyonu örnekleme noktası-3'te gövde kısmında 10,5 mg/kg, en yüksek Al, K, Ca ve Zn konsantrasyonu örnekleme noktası-2'de kök bölgesinde 8749, 60029, 35447 ve 142 mg/kg'dır. Su sümbülünde en yüksek Cu konsantrasyonu örnekleme noktası-1'de kök bölgesinde 36,12 mg/kg, en yüksek Mo konsantrasyonu örnekleme noktası-1'de yaprak kısmında 2,01 mg/kg'dır. En yüksek Na konsantrasyonu örnekleme noktası-1'de gövde kısmında 6949 mg/kg'dır. Sonuç olarak, Asi Nehri'ni istila eden su sümbüllerinin farklı organlarında bazı metallerin bulunduğu ve söz konusu metallerin su sümbülü tarafından iyi şekilde akümüle edildiği tespit edildi.

Anahtar kelimeler: Antakya, gövde, kök, su sümbülü, metal, yaprak

ABSTRACT

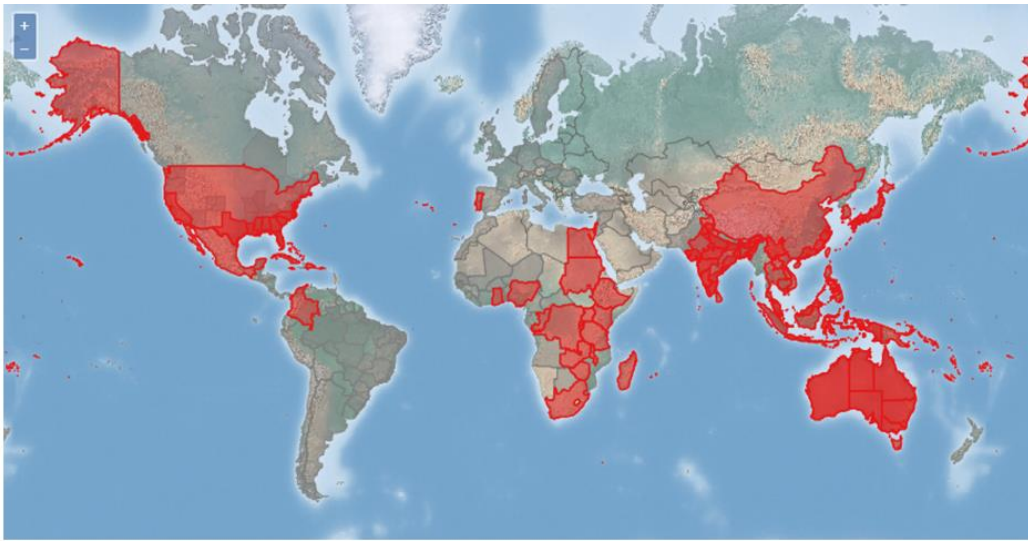
Determination of Some Metals in Water Hyacinth Invading the Asi River

The main purpose of this thesis study is to determine some metal concentrations in water hyacinths invading Asi River in Antakya province. In this context, water hyacinth samples were collected from different regions of the Asi River and metal analyzes were carried out. According to the data obtained, beryllium (Be), sodium (Na), aluminum (Al), potassium (K), calcium (Ca), copper (Cu), zinc (Zn) and molybdenum (Mo) concentrations were determined in water hyacinth. The highest Be concentration in water hyacinth is 10.5 mg/kg in the stem part at sampling point-3, the highest Al, K, Ca and Zn concentration in the root zone at sampling point-2 is 8749, 60029, 35447 and 142 mg/kg. In water hyacinth, the highest Cu concentration is 36.12 mg/kg in the root zone at sampling point-1, the highest Mo concentration is 2.01 mg/kg in the leaf part at sampling point-1. The highest Na concentration is at sampling point-1 It was found to be 6949 mg/kg in the body part in. As a result, it was determined that some metals were found in different organs of the water hyacinths invading the Asi River and that these metals were well accumulated by the water hyacinth.

Key words: Antakya, stem, root, water hyacinth, metal, leaf

1. GİRİŞ

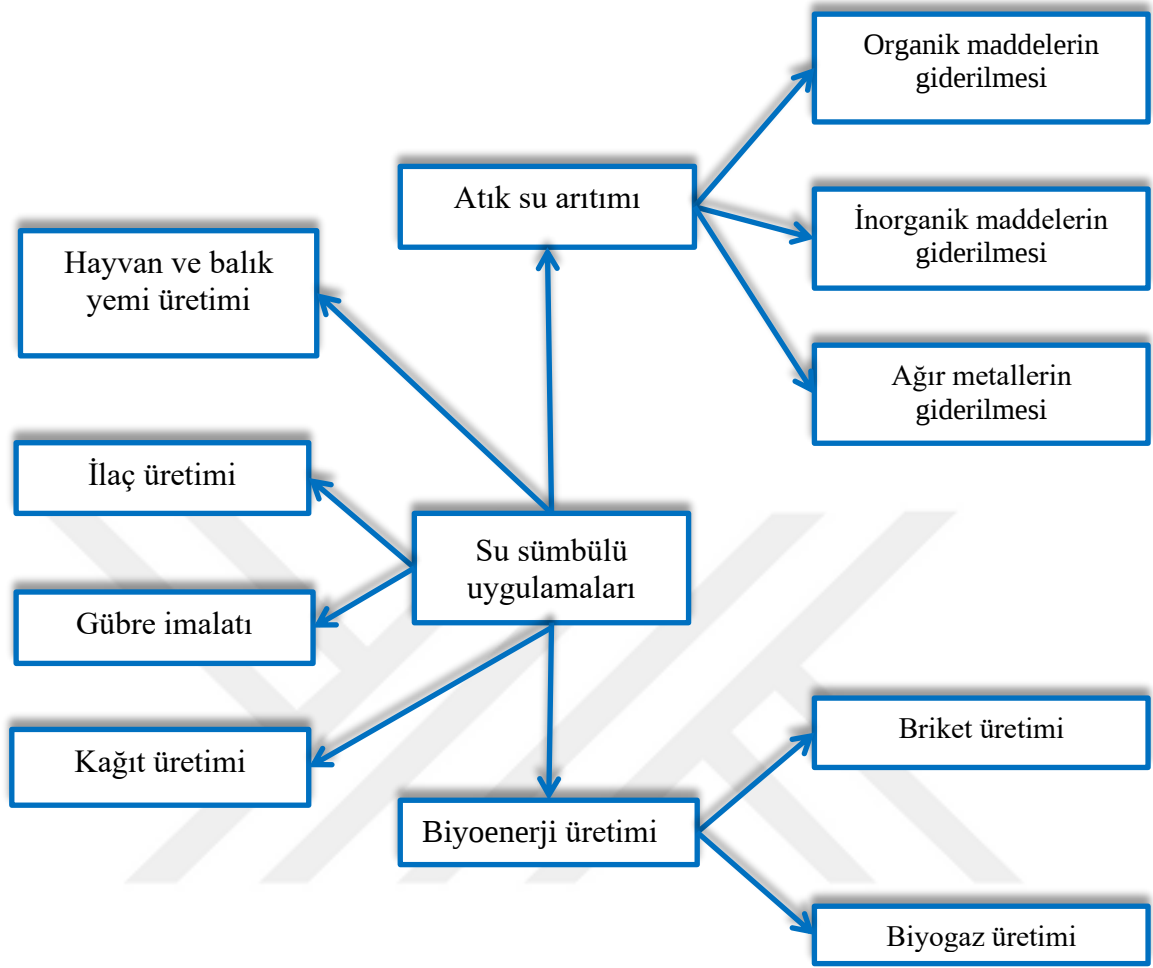
Eichhornia crassipes olarak adlandırılan su sümbülünün besin açısından zengin su kütlelerinde yayılması ve çoğalması küresel bir endişe haline gelmiştir. Serbest yüzen ve çok yıllık bir bitki olan su sümbülü dünyanın farklı bölgelerinde hızla yayılmaktadır (Hashem ve ark., 2020). Örneğin, Tayland'da, çok sayıdaki büyük akarsularda su sümbülünün büyümesi aylık olarak 5,6 milyon tona ulaşmıştır (Jirawattanasomkul ve ark., 2021). İstilacı bir tür olan su sümbüllerinin dağılımı, Uluslararası Tarım ve Biyolojik Bilimler Merkezi (CABI) tarafından sunulan kayıtlara dayanarak Şekil 1.1.'de gösterilmektedir. Su sümbülü, yapraklı bir bitki olması nedeniyle güneş ışığını emer, su kütlelerine atmosferden oksijen ve ışık geçişini azaltarak olumsuz etkilere neden olabilir. Ayrıca, çevresel biyoçeşitlilikte su sümbülünün varlığı, ziyaretçilerin eğlence ve eğlence amaçlı rezervuarları, barajları, ziyaret ettikleri bazı ülkelerde turizm endüstrileri üzerinde zararlı bir etkiye sahiptir (Ayanda ve ark., 2020). Görüldüğü gibi, su kütleleri üzerine baskı oluşturan ve istilacı bir tür olan su sümbüllerinin su kütlelerinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu sorunları çözmek için çok sayıda yöntem kullanılmaktadır. Örneğin, su sümbüllerinin kontrolü için herbisitler kullanılabilir. Fakat, herbisitlerin neden olduğu kimyasal kontaminasyon nedeniyle su kirliliği meydana gelmektedir. Bu çerçevede, istilacı su sümbüllerinin uzaklaştırılmasında en etkin yol mekanik uzaklaştırma yöntemidir (Li ve ark., 2021).



Şekil 1.1. Su sümbülü türlerinin kıta genelinde dağılımı

Su kütlelerinden mekanik yöntemlerle toplanan su sümbülünün bolluğu nedeniyle, su sümbülünün pratik uygulamaları da araştırılmıştır. 1980'lerden bu yana, su kirliliği ile mücadele etmek için su sümbülü kullanılmış (Liu ve ark., 2020) ve su sümbülü tarafından sudaki metaller ve organik maddeler uzaklaştırılmıştır (Nyamunda ve ark., 2019; Madikizela, 2021). Son zamanlarda ise organik boyaların gideriminde su sümbülü kullanımını dikkat çekmektedir (Liu ve ark., 2020; Salahuddin ve ark., 2021; Sharma ve ark., 2021). Su sümbülleri kirleticilerin giderilmesi için adsorpsiyon çalışmalarında da kullanılmıştır. Bazı araştırmacılar adsorpsiyon çalışmaları için doğal su sümbülü formunu kullanmayı tercih ederken, bazı araştırmacılar ise modifiye su sümbülü bazlı adsorbanları kullanmayı tercih etmiştir (Chen ve ark., 2019; Sahoo ve ark., 2019). Ayrıca, su sümbülleri atıksu arıtımında da yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Evsel bir atık suyun arıtılması için su sümbülün iki hafta içinde etkili olduğu bildirilmiştir (Huang ve ark., 2020). Bu kapsamda, su sümbülünün fitoremediasyonda kullanılabileceği hakkında pek çok araştırma mevcuttur (Milke ve ark., 2020, Zhou ve ark., 2020; Ayanda ve ark., 2020). Ayanda ve ark. (2020), atık sudaki organik ve inorganik kirleticilerin azaltılmasında su sümbülünün etkinliğine odaklanmıştır. Yao ve ark. (2019), su sümbülünün tekstil arıtma atığı için bir adsorban olarak kullanılmasının etkinliğini ve ekonomisini değerlendirmiştir. Huang ve ark. (2020), su kütlelerinden ağır metalleri, organik ve inorganik kirleticileri gidermek için su sümbülü ile fitoremediasyon potansiyeli üzerinde durmuştur.

Su sümbülü, hayvan yemi veya balık yemi olarak (Aboud ve ark., 2005), toksik metallerin giderilmesi için biyosorbent olarak (Malik, 2007), biyogaz ve biyoetanol üretiminde (Mshandete ve ark., 2004), kompostlamada (Szczec, 1999), kağıt üretiminde ve fitoremediasyonda (Sajn-Slak ve ark., 2005) kullanılabilir. Ayrıca Hintli bilim adamları, hastalıkları tedavi etmek için su sümbülü kullanan birçok ilaç formülasyonu önermişlerdir (Oudhia, 1999). Su sümbülü, kirleticilerin atık sudan uzaklaştırılmasından sonra, ağır metaller gibi toksik ve parçalanamayan maddelerin bir kısmını geri kazanmak için de kullanılabilir (Isarankura-Na-Ayudhya ve ark., 2007). Su sümbülünün farklı uygulamaları Şekil 1.2.'de özetlenmiştir.



Şekil 1.2. Su sümbülünün farklı uygulamaları

Su sümbülünün daha yüksek büyüme hızı, kirletici emilim verimliliği, düşük işletme maliyeti ve yenilenebilirlik gibi yetenekleri, bu bitkinin kullanılmasının atık suyun arıtılması için uygun bir teknoloji olarak kabul edilebileceğini göstermektedir. Malik (2007), doğal olarak su sümbülünün sulama ve enerji üretimi alanlarında ciddi zorluklar yarattığını bildirmiştir. Bu nedenle, bu sorunları önlemek için fitoremediasyon teknolojisinin kullanılması, su sümbülünün kontrolü ile yapılmalıdır. Mahamadi (2011), su sümbülü gibi bazı su bitkilerinin biyoyakıt üretimi için de kullanılabileceğini bulmuştur. Biyoyakıt üretmeye yönelik bu teknoloji hem çevre kirliliğinin hem de dünya çapındaki enerji kaynaklarının tükenmesinin üstesinden gelebilir. Rezania ve ark. (2015), kurutulmuş su sümbülünün, kömür santralinde birlikte yakmak için kullanılan briket üretimi için kullanılabileceğini bildirmiştir.

Büyük miktarda atık suyun çevreye salınmasının temel nedeni, nüfus, kentleşme ve sanayileşmenin artmasından kaynaklanmaktadır (Lalevic ve ark., 2012). Bu nedenle atık suyun, su kütlelerine salınmadan önce arıtılması için güvenilir bir teknolojiye ihtiyaç duyulmaktadır (Talaie ve ark., 2011a). Atık su arıtma teknolojileri genellikle maliyetli olmakla birlikte, her zaman çevre dostu değildir (Dixit ve ark., 2011; Talaie ve ark., 2011b). Bu nedenle, dünya çapındaki araştırmacılar arasında çevre dostu teknolojiler dikkat çekmektedir. Birçok araştırmacı, farklı atıksu türlerini arıtmak için fitoremediasyon tekniklerinin uygulanmasını bildirmiştir. Su sümbülü ve su marulu, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, ağır metaller, askıda toplanan katı maddeler, kimyasal oksijen ihtiyacı, çözünmüş katılar, azot ve fosfor giderimini içeren çok çeşitli kirleticilerin giderilmesinde kullanılan bitkilerdir (Gupta ve ark., 2012). Bu tez çalışmasında Asi Nehri'ni istila eden su sümbüllerinde bazı metal konsantrasyonları belirlendiği için su sümbülü hakkında bazı bilgiler aşağıda verilmiştir.

1.1. Su Sümbülü

Yüzyıllar boyunca su sümbülü, insanlar tarafından çekici görünümü nedeniyle süs bitkisi olarak kullanılmıştır. Su sümbülü, birçok botanikçi tarafından istilacı ve serbest yüzen sucul makrofit olarak tanımlanmaktadır (Gopal, 1987). Brezilya, Amazon havzası ve Ekvador bölgesine özgü Pontederiaceae familyasının bir üyesidir (Tellez ve ark., 2008). Bu bitkinin su yüzeyinde büyümesi, güneş ışığının suya nüfuz etmesini azaltabilir. Güneş ışığı birçok fotosentetik organizma için hayati öneme sahiptir ve güneş ışığını azaltmak fotosentetik organizmaların büyüme hızını azaltmak ve aynı zamanda ekolojik dengeyi bozmak anlamına gelir (Tiwari ve ark., 2007). Su sümbülünün bu bölgelerde bol olması nedeniyle tropikal ve subtropikal bölgelerde su sümbülü ile ilgili daha fazla çalışmaya rastlanmaktadır. Su sümbülünün ekolojisi, yaşam koşulları ve uygulamaları Klumpp tarafından anlatılmaktadır. Su sümbülü, genellikle suda asılı kalan uzun köklere sahiptir. Su sümbülünün kök yapısı nedeniyle atıksuda bulunan organik madde ve besin maddeleri su sümbülü tarafından alınır ve bu maddeler su sümbülü tarafından inorganik bileşiklere dönüştürülür (Gopal, 1987).

Su sümbülünün dünya çapında en verimli bitkilerden biri olduğu bildirilmektedir (Gopal, 1987). Genellikle, her hektar su başına yaklaşık 270-400 tona eşit olan iki milyon su sümbülü bulunur (Kunatsa ve ark., 2013). Su sümbülü, sulama sistemleri veya açık

havuzlar gibi su kütlelerinde kontrol edilemeyen büyümesi nedeniyle literatürde dünyanın en sorunlu bitkilerinden biri olarak sıkça bahsedilmektedir. Su sümbülü, her m² su yüzeyi başına 60 kg'ın üzerinde hızla büyüyebilir ve bu sayede ekonominin sürdürülebilir gelişimi üzerinde kritik etkilere neden olabilir (Ganguly ve ark., 2012).

Olgun su sümbülü, stolon, uzun sarkıt kök, gövde ve yapraklardan oluşur. Su sümbülü bitkileri, su kütlelerini ciddi bir şekilde etkilemekte ve hızlı bir şekilde büyümektedir (Gaurav ve ark., 2020). Su sümbüllerinin boyları bazı su kütlelerinde 40 cm yükseklikte olmasına rağmen bazılarının boyları 1 m'dir. Su sümbülü zambak benzeri çiçeğe sahiptir ve her bir çiçeğin çapı 4-7 cm'dir. Su sümbülünün gövde ve yapraklar gibi farklı kısımları, bitkinin su üzerinde yüzmesini sağlayan hava dolu dokulardan oluşmuştur.

Su sümbülünün farklı kısımları (gövde, kök ve yaprak) Şekil 1.3.'te gösterilmiştir.

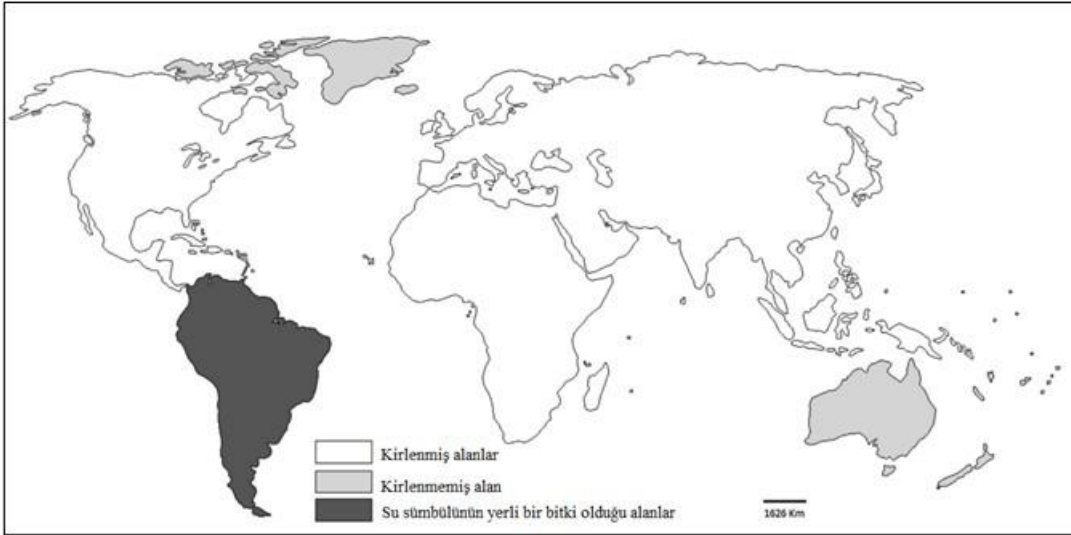


Şekil 1.3. Su sümbülünün farklı kısımları

Su sümbülü kuraklık koşullarını tolere etme yeteğine sahiptir ve nemli tortullarda aylarca hayatta kalabilir (Center ve ark., 2002). Şimdiye kadar *E. Azurea*, *E. crassipes*, *E. diversifolia* ve *E. Paniculata* dahil olmak üzere dört farklı su sümbülü türü keşfedilmiştir (Verma ve ark., 2003). Bunlar arasında *E. crassipes*'in Avrupa, Afrika, Asya ve Kuzey Amerika'da geniş çapta su kütlelerini istila ettiği tespit edilmiştir (Shanab ve ark., 2010). Örneğin, Afrika'da yer alan ve dünyanın en büyük göllerinden biri olan Victoria Gölü, kalın bir su sümbülü tabakasıyla kaplıdır (Kateregga ve ark., 2007). Ayrıca, su sümbülü bazı ülkeleri de tehdit etmektedir. Bu ülkeler; Hindistan, Meksika, Çin, İspanya, Portekiz

(Della Greca ve ark., 2009) ve Bangladeş'tir (Biswas ve ark., 2007). Hindistan'da bu bitkinin aşırı büyümesi, Kaziranga Ulusal Parkı ve Deepor Beel gölü'nün sulak alanlarında ciddi bir siltasyona neden olmuştur. Jimeonez ve Balandra (2007), Meksika'daki yaklaşık 40.000 hektarlık su kütlesinin su sümbülü tarafından tehdit edildiğini bildirmiştir. Chu ve ark. (2006), Çin'de su sümbülünün istilası nedeniyle ciddi bir çevre sorunu haline geldiğini bildirmişlerdir. Su sümbülünün istilacı olmasının nedeni, 20 yıla kadar hayatta kaldığı bilinen tohumlarından kaynaklanmaktadır (Patel, 2012). Su sümbülünü yok etmek için yeterli araştırma ve çaba gösterilmesine rağmen, su sümbülü dünya çapında yayılmaya devam etmektedir.

Su sümbülünün kirlenmiş alanlar, kirlenmemiş alanlar ve yerli bir bitki olduğu alanlar Şekil 1.4.'te gösterilmektedir (Shanab ve ark., 2010).



Şekil 1.4. Su sümbülünün alanlara göre dağılımı

Besin açısından zengin sular, su sümbülü büyümesi için en uygun olanıdır ve aynı zamanda düşük besin konsantrasyonunu da tolere edebilir. Tuzluluk nedeniyle deniz suyunda su sümbülü büyümesi sınırlıdır, bu bitkinin kıyı bölgelerinde bulunamamasının ana nedeni budur (Jafari, 2010).

Su sümbülünün büyüme koşulları Tablo 1.1.'de özetlenmiştir.

Tablo 1.1. Su sümbülünün büyüme koşulları

Faktörler	Değerler	Kaynaklar
Kuru ağırlığa göre büyüme hızı	0,04-0,08 kg/m ² /gün	Gopal (1987)
Yüzeyde büyüme hızı	1,012-1,077 m ² /gün	Gopal (1987)
Plan sayısına göre büyüme hızı	10 ay boyunca sadece 10 bitkiden 1610 bitki üretilir	Sooknah ve Wilkie (2004)
Suyun pH'sı	6-8 °C	Gopal (1987)
Suyun tuzluluğu	5 mg/L'den az	De Casabianca ve ark. (1995)
Su sıcaklığı	10-40 °C	Wilson ve ark. (2000)

1.2. Su Sümbülünün Özellikleri

Su sümbülü, son zamanlarda yayınlanan bir araştırma çalışmasında biyokütle olarak değerlendirilmektedir (Gaurav ve ark., 2020). Su sümbülünün sudaki toksik atıkları absorbe etme kabiliyeti, diğer sucul türlerle karşılaştırıldığında benzersiz bir özellik göstermektedir. Su sümbülü, lignin, kristal selüloz ve hemiselüloz polimeri gibi yapısal karbonhidratlardan oluşur (Zhang ve ark., 2020).

Su sümbülünün yüzeyi, su kirleticilerinin bitki bazlı adsorbanlara adsorpsiyonu için kritik fonksiyonel grupları (özellikle katalizör görevi gören karboksil, hidroksil ve karbonil) içerir. Su sümbülünün kökleri; $-PO_4$, $C=O$ ve $C-H$ fonksiyonel gruplarını içerir (Milke ve ark., 2020). Su sümbülü liflerinin bileşiminde hemiselüloz (%33), selüloz (%25) ve lignin (%10) şeklinde önemli miktarda selüloz bulunur (Salahuddin ve ark., 2021). Bu özellikleri nedeniyle, su kirleticilerini ortadan kaldırmak için su sümbülünden elde edilen selüloz kullanılarak çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Salahuddin ve ark., 2021). Su sümbülü gözenekli yapısı ile öne çıkmaktadır ve bilim insanları, daha yüksek aktif türler üreten mezogözenekli karbon geliştirmek için materyali karbonize etmeyi araştırmışlardır (Zhang ve ark., 2020). Su sümbülü bazlı adsorbanlar, adsorpsiyon kullanımları için sentetik bazlı adsorbanlardan daha az bir yüzey alanına sahiptir. Yapılan araştırmalara göre su

sümbülünün köklerinin yüzey alanları 4,5 ile 5,8 m² g⁻¹ arasında, yaprak saplarının yüzey alanları 2,5 ile 3,3 m² g⁻¹ arasındadır (Madikizela, 2021).

1.3. Su Sümbülü ile Su ve Atıksulardaki Kirleticilerin Giderilmesi

Uzun yıllar boyunca, sulardaki kirleticileri gidermek için etkili yöntemlere duyulan ihtiyaç, ekolojistler ve bilim insanları için bir zorluk olmuştur. Literatürde, kirleticilerin sulardan giderilmesi için çeşitli yöntemler araştırılmış ve rapor edilmiştir. Bu yöntemler; köpük flotasyonu, çökeltme, pıhtılaştırma-yumaklaştırma, ters osmoz, membran filtrasyon, fotodegradasyon, ışınlama-ozonizasyon, Zn-Ferit inorganik katalizör destekli foto Fenton bozunması, nanopartiküller kullanılarak adsorpsiyon ve ticari sınıf aktif kömür kullanılarak adsorpsiyondur (Bapat, 2020; Cuerda Correa ve ark., 2020; Mamane ve ark., 2020).

Sulardan kirleticilerin gideriminde, iyon değişimi, membran filtrasyonu, ozonlama, fotokimyasal oksidasyon yöntemlerinin maliyetleri oldukça yüksek olması nedeniyle çevre dostu ve uygun maliyetli adsorbanların geliştirilmesi büyük önem kazanmıştır (Awe ve ark., 2020; Tkaczyk ve ark., 2020; Talaiekhosani ve ark., 2021;). Bu kapsamda, düşük maliyetle bol miktarda bulunabilirliği, atık yönetimi, ekonomi, ekoloji, enerji ve toplum için sürdürülebilirliği nedeniyle verimli bir şekilde kullanılabilen alternatif bir adsorban olarak su sümbülü kullanılabilir (Gaurav ve ark., 2020).

Atıksu; yağmur suyu, yüzey suyu ve yeraltı suyuna ek olarak evsel, endüstriyel ve ticari faaliyetlerden üretilen çok sayıda kimyasal (organik ve inorganik dahil) ve ağır metal içeren suların karışımıdır (Dixit ve ark., 2011). Kimyasalların sulara girme tehlikesi nedeniyle, nihai bertaraftan önce arıtılması gerekmektedir. Atık suyun arıtılması için birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntem geliştirilmiştir. Biyolojik yöntemlerin atıksu arıtımı için daha ilgi çekici olduğu ve atıksu arıtımı için biyolojik yöntemin dallarından birinin fitoremediasyon olduğu bildirilmektedir (Roongtanakiat ve ark., 2007). Fitoremediasyon kavramı, kirleticilerin çevreden uzaklaştırılması ile aynı süreçte bitki ve mikroorganizmaların kullanımına dayanmaktadır (Lu, 2009). Fitoremediasyon teknikleri arasında yapay sulak alanların atıksu arıtımında en etkili teknoloji olduğu bilinmektedir. Yapay sulak alanlar, sürüngenler, kemirgenler, balıklar ve kuşlar gibi çok sayıda yaban hayatı için geniş bir habitat hazırlayarak biyolojik çeşitliliği teşvik edebilir (Dixon ve ark., 2003). Yapay sulak alanlar ayrıca daha az karbondioksit üretimi, hidrolojik fonksiyonlar ve biyometilasyon ile hava kalitesinin iyileştirilmesine ve iklim değişikliklerinin önlenmesine

yardımcı olur (Azaizeh ve ark., 2003). Genel olarak yapay sulak alanlar daha az arazi alanı gerektiren çevre dostu, basit, ekonomik, etkili ve ekolojik açıdan sağlam bir teknolojiler olarak tanımlanmaktadır (Roongtanakiat ve ark., 2007).

Fitoremediasyonun uygulanması için uygun bitki türlerinin seçilmesinin önemli olduğu unutulmamalıdır (De Stefani ve ark., 2011). Seçilen türler şu özellikleri içermelidir. Bunlar; hem organik hem de inorganik kirleticileri alma kabiliyeti yüksek olmalı, atık suda daha hızlı büyüme yeteneğine sahip olmalı ve kontrolü kolay olmalıdır (Roongtanakiat ve ark., 2007). Atıksulardaki kirletici madde giderme yeteneğinin türden türe, bitkiden bitkiye değişiklik gösterdiğine de dikkat edilmelidir (Singh ve ark., 2003). Fotosentetik aktivite ve bitki büyüme hızı, düşük ile orta miktardaki kirleticilerin giderilmesi için fitoremediasyon teknolojisinin uygulanmasında kilit bir role sahiptir (Xia ve ark., 2006; Jamuna ve ark., 2009). Su sümbülüne ek olarak, su marulu (*Pistia stratiotes*), ördek otu (*Water lemna*), yuvarlak başlı saz (*Typha*), vetiver otu (*Chrysopogon zizanioides*), kamış (*Phragmites australis*) gibi bitkiler, farklı kirletici türleri içeren atık suyun arıtılması için başarıyla uygulanmıştır (Dipu ve ark., 2011; Girija ve ark., 2011).

Su sümbülü, diğer su bitkilerine kıyasla atıksuda bulunan organik maddelerin uzaklaştırılması için laboratuvarda pilot ve geniş çapta çalışılmıştır. Su sümbülü tüm dünyada kalıcı bir bitki olarak bilinmesine rağmen, atık yönetimi ve tarımsal işlemler için ana kaynak olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Malik, 2007). Hem arazi hem de laboratuvar çalışmaları, su sümbülünün atık sularda bulunan çok sayıda kirleticiyi giderebileceğini göstermiştir (Valero ve ark., 2007). 25 gün boyunca su sümbülü varlığında arıtılan atık su, katı madde, kalsiyum, magnezyum ve toplam sertlikte azalma (%37, 47, 54 ve %33) ile sonuçlanmıştır. Ördek çiftliğinden kaynaklı atıksu, su sümbülü ile arıtılmış ve KOİ, TP ve TN'nin %64, %23 ve %21'inin giderilmesiyle sonuçlanmıştır (Jianbo ve ark., 2008). Süt ürünleri atık sularının arıtılması için su sümbülü ve su mercimeği kombinasyonu, toplam nitrojenin %79' unu ve toplam fosforun %69' unu ortadan kaldırabilir (Tripathy ve ark., 2003). Su sümbülü kullanılarak domuz atık suyundan azot ve fosforun %36'sı giderilebilmiştir. Farklı azot formları arasında da rapor edilen amonyak azotunun ($\text{NH}_3\text{-N}$), diğer azot formlarına kıyasla daha büyük oranda uzaklaştırıldığı bulunmuştur.

Nitrat, orto-fosfat, nitrit ve amonyak azotunun alımı için su sümbülü ve su marulunun etkinliğini gösteren bazı araştırmalar mevcuttur. Su sümbülünün nitratı azaltmada orto-fosfata kıyasla daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Valipour ve ark. (2015) en son çalışmalarında, su sümbülü köklerinin, sürgünlerin kök bölgesine kıyasla

önemli miktarda besin (N ve P) birikmesiyle sonuçlandığı taşıma işleminde öncelikle yer aldığını göstermiştir.

Su sümbülü kullanılarak kirleticilerin giderilmesine yönelik son çalışmalar Tablo1.2’ de özetlenmiştir.

Tablo 1.2. Su sümbülü kullanılarak organik ve inorganik maddelerin giderilmesine yönelik son çalışmalar

Atık su türü/Kaynak	Organik ve inorganik maddelerin uzaklaştırılması	Bulgular / Önemli Noktalar
Boya atıksuyu/(Shah ve ark., 2010)	Azot, amonyum azotu, (BOİ), pH, sertlik, (TÇK), (ÇO), iletkenlik, (KOİ), nitrat	Deney % 25, % 50, % 75 ve % 100 atık su kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm parametrelerde önemli bir azalma fark edilmiş ve su sümbülü % 25-50 atık su içeren deneylerde daha iyi verim göstermiştir.
Ötrofik göl/ (Wang ve ark., 2012)	Şeffaflık, (TN), (NH ₄), (NO ₃), (TP), (PO ₄), (KOİ)	Su sümbülü paspaslarını çevreleyen su kalitesi iyileşmiş ve ayrıca parametrelerin çoğunda konsantrasyonun azaldığı bulunmuştur.
Metalurji, tekstil ve ilaç atık suları/ (Ajayi ve Ogunbayio, 2012)	(BOİ), (ÇO), nitrat	Ortalama olarak (BOİ) = %54,80 metalurji> tekstil> ilaç atıksu (ÇO) metalurji> ilaç> tekstil atıksu olarak =%62,64, Nitrat-azot =% 48,57 olarak tekstil > metalurji > ilaç atıksu.
Evsel atık su/(Rezania ve ark., 2013)	(KOİ), (TN), (TP)	Deneyin ilk haftasında %80 (KOİ), %75 (TN) ve %75 (TP) azalma meydana gelmiştir. 14 gün sonra bitki biyokütlesinde %40'lık bir artış gözlemlendiği tespit edilmiştir.
Kirli nehir suyu/(Moyo ve ark., 2013)	(TÇM), toplam sertlik, sülfat, fosfat, (EC), pH, (NO ₂), (NO ₃), (TN)	SR1 ve SR3 örnek noktaları arasında elektriksel iletkenlikte (%25 azalma), toplam çözünmüş katılarda (TDS) (%26), sülfatta (%45), fosfatta (%33) ve toplam sertlikte (%37) anlamlı azalma elde edildi.

Tablo 1.2'nin devamı

Atık su türü/Kaynak	Organik ve inorganik maddelerin uzaklaştırılması	Bulgular / Önemli Noktalar
Kentsel atıksu/(Kumari ve Tripathi, 2014)	(BOİ), (KOİ), (NO ₃ -N), (TKN), (PO ₄ ³⁻ - P)	Eichhornia crassipes ve Salvinia natans'ın karışık kültürü için parametrelerin giderilmesi: % 84.5 (BOİ) % 83.2 (KOİ) % 26.6 (NO ₃ -N) % 53.0 (TKN) % 56.6 (PO ₄ ³⁻ - P)
Evsel atıksu/(Rezania ve ark., 2014)	pH, (KOİ), (PO ₃ ⁴), (NO ₃), (NH ₃), (TOK), biyokütle büyüme hızı	Tüm parametreler için optimum kaldırma oranının su sümbülü kullanılarak 12 ila 15 gün arasında olduğu tespit edildi. Optimum büyüme oranı 18 günde (COD) %95, TOC % 45, (PO ₃ ⁴) %45, (NH ₃) % 85 oranında çıkarılarak bulundu.
Evsel atıksu/(Loan ve ark., 2014)	(TKM), (KOİ), (NH ₄ ⁺), (PO ₄ ⁻³)	Su sümbülü ve Su sabah zaferi'nin karşılaştırılması gösterdi: TSS için % 37.8 -53.3; COD için% 44.4-53.4; PO ₄ ⁻³ için % 56.7 - 61.4 ve NH ₄ ⁺ için % 26.8-32.6. Daha düşük değerler su sabah zaferine aittir ve daha yüksek değerler su sümbülüne aittir.
Evsel kanalizasyon suyu/(Anandha Varun ve Kalpana, 2015)	Amonyak, Nitrat, fosfat	Su sümbülü p papaya sapı çıkarma oranı ile sonuçlandı: (% 67) amonyakta azalma (% 74) nitrat giderme ve (% 71) fosfat
Evsel atıksu/(Valipour ve ark., 2015)	(KOİ), (BOİ), (TN), (TP), (TKM), (PO ₄ -P), (NH ₃ -N)	14 saatlik HRT'de COD azalması: (%79), BOD çıkarılması: (%86), TN: (%76.61), TP: (%44.84), TSS: (%73.02), PO ₄ -P: (%38.69), NH ₃ -N: (%72.48) sağlandı.

Son derece sorunlu su otu olan su sümbülünün su kütlelerinden uzaklaştırılmasının ve kontrolünün oldukça zor olduğu keşfedilmiştir. Ancak, su sümbülünün nutrientleri bünyesine alma yeteneği nedeniyle fitoremediasyonda kullanılabileceği belirlenmiştir. Son yıllarda, su ekosistemlerinde bulunan ağır metallerin giderimi için su sümbülünün biyoidikatör olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Priya ve Selvan, 2014).

1.4. Su Sümbülü Kullanarak Ağır Metallerin Giderilmesi

Günümüzde ağır metallerin bulunduğu ortamda atıksuların çevreye salınması ile insan sağlığı tehdit edilmektedir. Bazı araştırmacılar bitkilerin (su sümbülü, su marulu vb. gibi) ağır metallerin gideriminde başarılı olduklarını göstermiştir. Ağır metallerin giderilmesi için bitkilerin biyosorbent olarak kullanılması ucuz, etkili ve çevre dostu bir teknoloji olduğu düşünülmektedir. Bitki, atık sudaki belirli tipteki elementleri konsantre edebilen ve uzaklaştırılabilen güneş enerjisiyle çalışan bir pompa olarak kabul edilirse, fitoremediasyonun avantajlı olduğu kabul edilebilir (Tripathy ve ark., 2003). Bitkinin kökü, atık suda bulunan kirleticileri, özellikle ağır metalleri absorplamaya ve su kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olur (Sooknah ve ark., 2004).

Su sümbülü (*Eichornia crassipes*), su marulu (*P. stratiotes*), zebra kabarcığı (*Scirpus tabernaemontani*) ve taro (*Colocasia esculenta*) olmak üzere dört su bitkisi atık sudan cıva giderimindeki etkinlikleri açısından değerlendirilmiştir. Tüm bitkiler için kökün atık sudan cıva alımı için önemli bir rol oynadığı görülmüştür (Skinner ve ark., 2007). Atık sudan metal iyonlarının uzaklaştırılmasında kullanılan biyosorbentler yedi kategoriye ayrılabilir: (1) bakteriler, (2) mantarlar, (3) algler, (4) endüstriyel atıklar, (5) tarımsal atıklar, (6) doğal artıklar ve (7) diğer biyomalzemeler. Suzuki ve ark. (2005), deniz yosunlarının biyosorbent olarak çok dikkat çeken en ucuz ve erişilebilir malzeme olarak kullanıldığını bildirmiştir. Klumpp (2002), su sümbülü gibi daha yüksek büyüme oranına sahip suda yaşayan makrofitlerin, ağır metalleri atık sudan gidermek için potansiyel olarak uygulanabileceğini göstermiştir. Sudaki makrofitler, bitki gövdelerinde bulunan ağır metalleri biriktirme potansiyeline sahiptir ve su sümbülünün atık sudan çok çeşitli kirleticilerin giderimi için büyük bir potansiyel olduğu belirlenmiştir (Priya ve ark., 2014).

Liao ve Chang (2004), ağır metal giderme oranını su sümbülünün uzaklaştırma kabiliyetine ($Cu > Zn > Ni > Pb > Cd$) göre sıralamış ve sırasıyla Cu ve Cd'ye daha yüksek ve daha düşük uzaklaştırma veriminin ait olduğunu göstermiştir. Xiaomei ve ark. (2004), atıksudan Zn ve Cd'nin uzaklaştırılması için su sümbülü kullanmış ve ayrıca su sümbülünün farklı kısımlarında (gövde, yapraklar, kökler, çiçekler) emilen Cd ve Zn konsantrasyonunu ölçmüştür. Su sümbülü köklerinde biriken 2040 mg/kg Cd ve 9650 mg/kg Zn varlığı gözlenmiştir. Shaban (2005) 1500 mg/L arsenikle kirlenmiş bir litre atık suyun arıtılması için 24 saatlik bir süre için 30 g kurutulmuş su sümbülü kökü gerektirdiğini ifade etmiştir. Emerhi (2011), sulu çözeltiden krom (III) giderimini tahmin

etmiş ve giderim oranını 10 mg Cr/1 solüsyonu ile %87,52 olduğu bulunmuştur. Gupta ve Balomajumder (2015), su sümbülünün tek ve iki katlı bir Cr ve Fenol çözeltisinde (10 mg/L'de) fenolün %99' undan fazlasını ayrı ayrı 14 ve 11 günde alabildiğini bulmuşlardır. Padmapriya ve Murugesan (2012) sulu çözeltilerdeki ağır metallerin su sümbülü kullanılarak uzaklaştırılması için yaptıkları çalışmada, Langmuir ve Freundlich modellerinin tüm metal iyonlarının biyosorpsiyonu için iyi bir uyum sağladığını bulmuşlardır.

Jadia ve Fulekar (2009), ağır metallerin bitkinin kökleri tarafından alındığını, yoğunlaştığı sürgünlere ve diğer bitki dokularına taşındığını ve bitkinin hasat edilmesinin bu kirleticileri kalıcı olarak uzaklaştırabileceğini bildirmiştir.

Su sümbülü kullanılarak ağır metallerin giderilmesi için yapılan en son çalışmalar Tablo 1.3 'te listelenmiştir.

Tablo 1.3. Su sümbülü kullanarak ağır metallerin giderilmesi üzerine yapılan son çalışmalar

Atık su türü/Kaynak	Ağır metallerin alımı	Bulgular / Önemli Noktalar
Simüle edilmiş sulak alanlardaki atıksu/(Lissy ve ark., 2011)	(Cr), (Cu)	Ağır metallerin neredeyse % 65'i su sümbülü kullanılarak çıkarıldı.
Sentetik atık su/(Mokhtar ve ark., 2011)	(Cu)	Cu konsantrasyonu aşağıda belirtildiği gibi azaldı: 5.5-2.1 mg / L = (% 61.6 giderme) 2.5 ile 0.11 mg / L = (% 95.6 giderme) 1.5 ile 0.04 mg / L = (% 97.3 giderme)
Tarımsal drenaj, nehir ve karışık endüstriyel drenaj/(Hammad, 2011)	(Zn), (Cu), (Ni)	Kök dokusunda iz metal birikiminin sırası Zn > Cu > Ni olarak bulundu. Su sümbülü kökünde bulunan Cu, Ni ve Zn için biyo konsantrasyon faktörü sırasıyla 1344.6, 1250.0, 22.758.6 olarak bulundu.
Simüle edilmiş radyo kirlenmiş sulu çözelti/(Saleh, 2012)	(Cs) (Co)	Elde edilen atık çözeltide ^{60}Co varlığında (^{60}Co) daha yüksek uzaklaştırma oranı (% 100), burada atık çözeltiden en yüksek 137 Cs alım değeri, güneş ışığına maruz kalma ile birlikte % 80'e yakın gözlenmiştir (^{60}Co .)

1.5. Su Sümbülü Büyümesinin Kontrolü

Birçok çalışma, su sümbülünü yok etmek için mekanik, kimyasal ve biyolojik yöntemlerin uygulanabileceğini, ancak tüm bu yöntemlerin yalnızca kısmen başarılı olduğunu göstermiştir (Zhang ve ark., 2005). Su sümbülünün biyolojik kontrolü dünyanın birçok yerinde yapılmış ve su sümbülünün büyümesini kontrol etmenin yolları birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır (Koutika ve ark., 2015). En kötü su otu olan su sümbülü, su kütlelerinden yok edilmesinin neredeyse imkansız olduğu bulunmuş, ancak besin arayışı fitoremediasyonda kullanılması için olası bir yol vermiştir. Bazı araştırmacılar, su sümbülünün, biyokütle ve çiçek yapılarını orantılı olarak azalttığını göstermiştir. Su yüzeyinde yüzebilen ve su sümbülüne karşı mükemmel herbisit aktiviteleri gösteren bir dizi yeni kendiliğinden yayılan fenoksi karboksilik asit türevleri tasarlanmış ve sentezlenmiştir (Zhang ve ark., 2015).

Su sümbülü türlerinin gelişmiş ve geniş ölçekli kullanımı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde kontrol için olumlu bir yaklaşım olarak hizmet edebilir. Kontrol mekanizmaları, su sümbülünün yayılımını kontrol etmede önemli bir etkiye sahip olmuştur (Güerena ve ark., 2015). Malik (2007), herbisidal kontrol, entegre biyolojik kontrol ve besin tedarikini kontrol eden havza yönetimi kombinasyonu ile birlikte su sümbülü büyümesinin kontrolü ve ortadan kaldırılmasına yönelik dikkate değer bir yaklaşım göstermiştir. Bu yaklaşımlara rağmen, az gelişmiş çıkarma ve yeniliklerle başa çıkma yönleri nedeniyle parasal açıdan hala geniş bir istikrarsızlık söz konusudur. Genel olarak, sosyal ve çevresel faydalar göz önüne alındığında, çerçeveler muhtemelen daha iyi sosyo-ekonomik getiri sağlayabilir (Güerena ve ark., 2015). Bu nedenle, bu azılı yabancı otun yok edilmesi o kadar kolay değil ise, bu bitkinin bir enerji kaynağı (biyoetanol, biyogaz, briket) olarak kullanılmasının fizibilitesi araştırmacılar tarafından hedeflenmelidir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Alanı

Bu tez çalışmasında çalışma alanı olarak Antakya ilinde bulunan Asi Nehri seçildi (Şekil 2.1). Asi Nehri, Orta Doğu'nun en önemli su kaynaklarından birisidir. Nehir Lübnan'da doğar, Suriye ve Türkiye'ye doğru akar ve Samandağ'da Akdeniz'e dökülür. Toplam uzunluğu yaklaşık 380 km olan nehrin Türkiye'de kalan kısmı ise 88 km'dir (Altunlu, 2002). Asi Nehri aynı zamanda Amik ovasının en önemli sulama suyu kaynaklarından birisidir (Ağca ve Doğan, 2020).



Şekil 2.1. Çalışma alanı olarak belirlenen Asi Nehri

2.2. Örneklem ve Analiz

Bu tez çalışmasında materyal olarak Asi Nehri'ni istila eden su sümbülleri kullanıldı. Su sümbülleri Asi Nehri'nin üç farklı noktasından toplandı ve örneklem noktaları; örneklem noktası-1 (ÖN-1), örneklem noktası-2 (ÖN-2) ve örneklem noktası-3 (ÖN-3) şeklinde isimlendirildi. Asi Nehri'ni istila eden su sümbüllerinin toplanmasına ait fotoğraflar Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil. 2.2. Asi Nehri’ni istila eden su sümbüllerinin toplanması

Asi Nehri’nin üç farklı noktasından toplanan su sümbülleri laboratuvara getirilerek üzerindeki kirleticilerden uzaklaştırılması amacıyla önce saf suyla yıkandı. Sonra su sümbülleri oda sıcaklığında tamamen kuruyana kadar bekletildi. Kurutma işleminden sonra su sümbülleri küçük parçalara ayırt edildi ve homojen hale getirildi (Şekil 2.3). Homojen hale getirilen bitki örnekleri analize hazırlandı ve su sümbülündeki metal konsantrasyonları (Be, Na, Al, K, Ca, Cu, Zn ve Mo) ICP-MS ile tespit edildi.

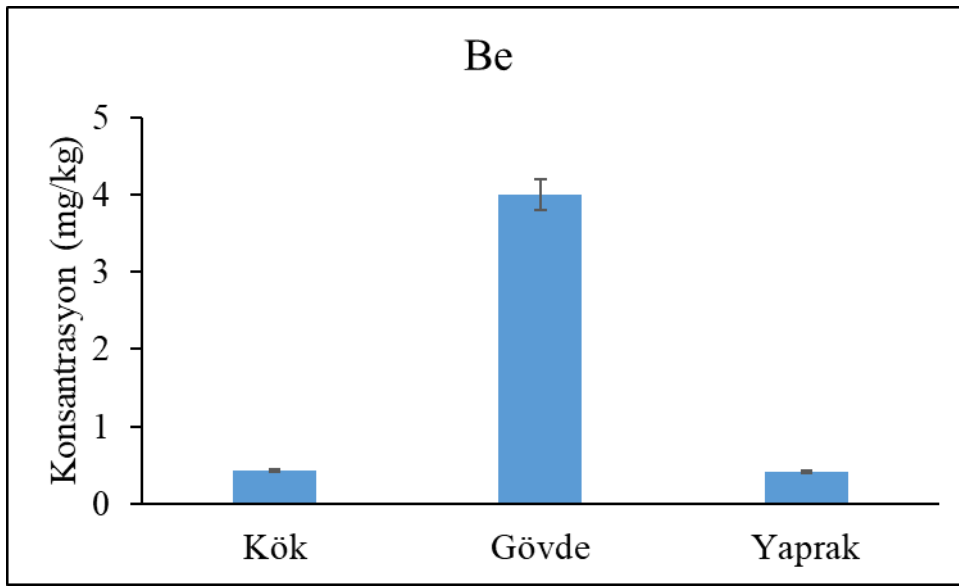


Şekil. 2.3. Su sümbüllerinin analize hazırlanması

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında Antakya ilindeki Asi Nehri'ni istila eden su sümbüllerinde metal analizleri gerçekleştirildi ve su sümbüllerinde Be, Na, K, Ca, Zn, Mo, Al ve Cu konsantrasyonları tespit edildi. Bu çerçevede, Asi Nehri'nin üç farklı noktasından alınan su sümbülü örneklerinde tespit edilen metal konsantrasyonları aşağıda tartışılmıştır.

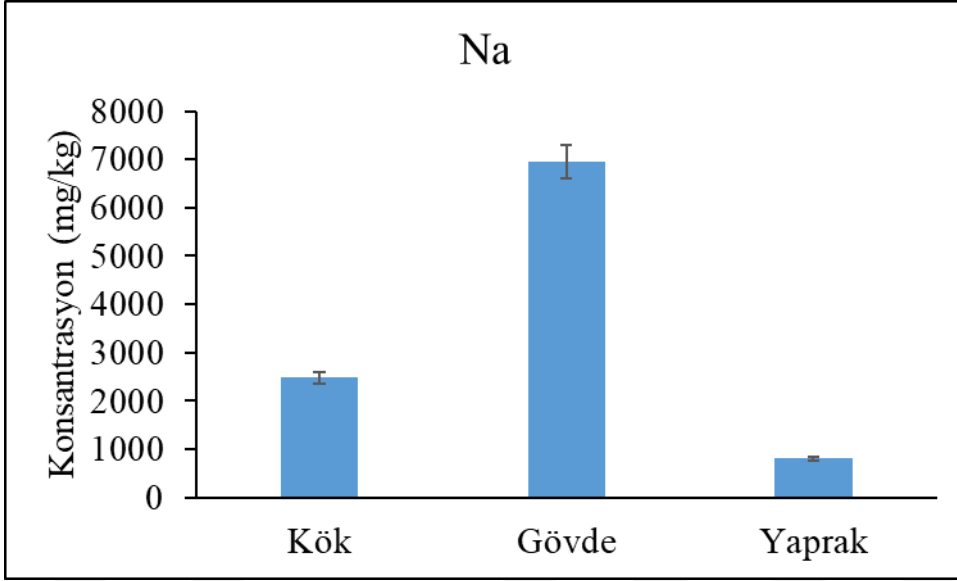
Asi Nehri'nde örnekleme noktası-1 olarak belirlenen alandan toplanan su sümbülüne ait Be konsantrasyonları Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Örnekleme noktası-1'e ait Be konsantrasyonları

Şekil 3.1.'e göre, su sümbülünde en yüksek Be konsantrasyonu gövde kısmında 3,99 mg/kg olarak, en düşük Be konsantrasyonu yaprak kısmında 0,41 mg/kg olarak tespit edildi. Kök kısmında ise Be konsantrasyonu 0,43 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Be konsantrasyonu Gövde > Kök > Yaprak şeklinde sıralandı.

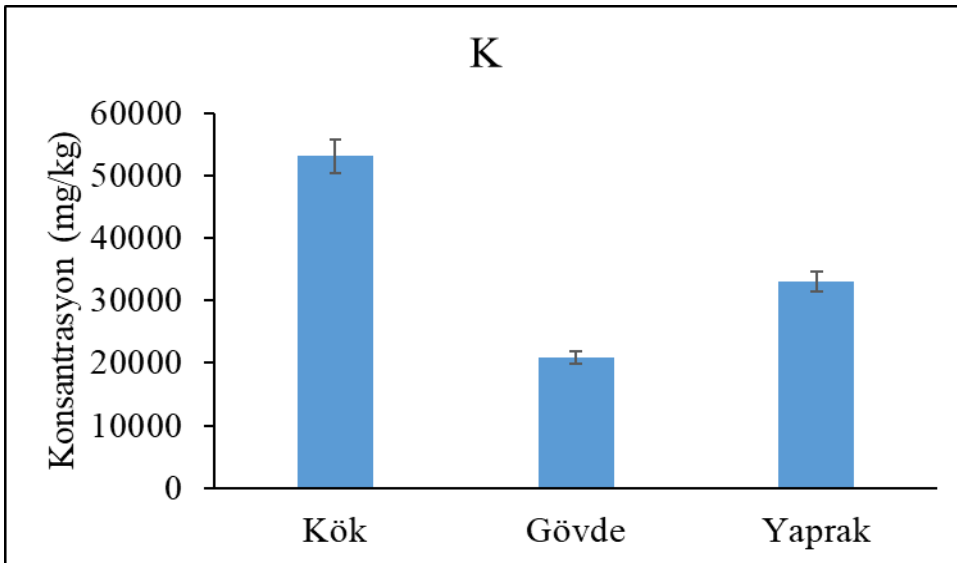
Örnekleme noktası-1'den alınan su sümbülünde tespit edilen Na konsantrasyonları Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Örnekleme noktası-1'e ait Na konstrasyonları

Şekil 3.2.'e göre, su sümbülünde en yüksek Na konstrasyonu gövde kısmında 6949 mg/kg olarak, en düşük Na konstrasyonu yaprak kısmında 814 mg/kg olarak tespit edildi. Kök kısmında ise Na konstrasyonu 2485 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Na konstrasyonu Gövde > Kök > Yaprak şeklinde sıralandı.

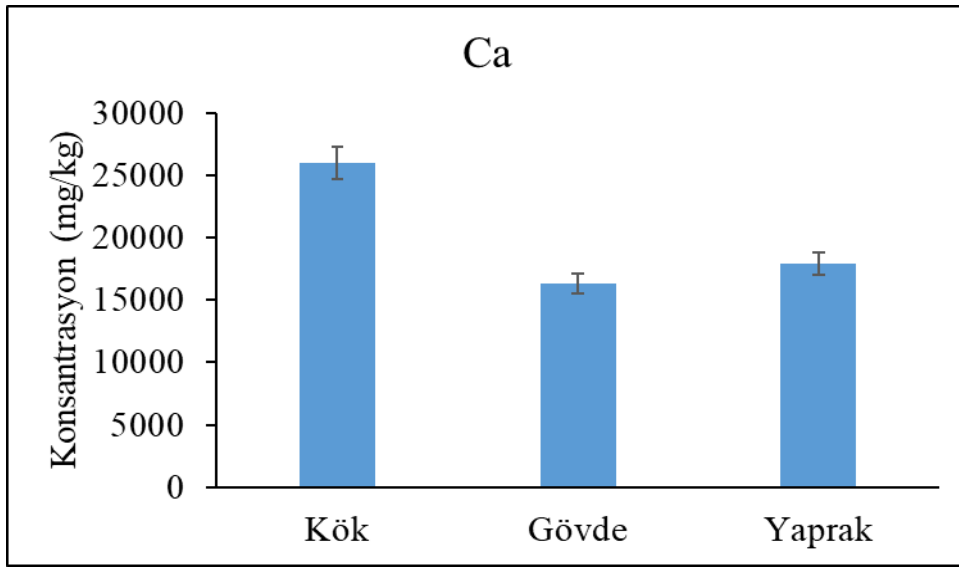
Örnekleme noktası-1'den alınan su sümbülünde tespit edilen K konstrasyonları Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Örnekleme noktası-1'e ait K konstrasyonları

Şekil 3.3.'e göre, su sümbülünde en yüksek K konsantrasyonu kök kısmında 53072 mg/kg olarak, en düşük K konsantrasyonu gövde kısmında 20815 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise K konsantrasyonu 33008 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde K konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı.

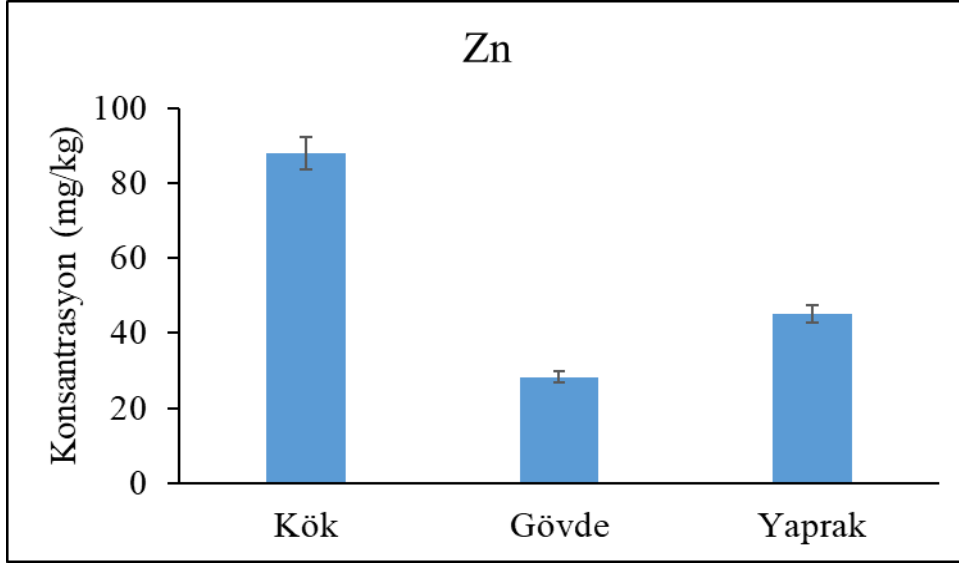
Örnekleme noktası-1'den alınan su sümbülünde tespit edilen Ca konsantrasyonları Şekil 3.4.'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Örnekleme noktası-1'e ait Ca konsantrasyonları

Şekil 3.4.'e göre, su sümbülünde en yüksek Ca konsantrasyonu kök kısmında 25965 mg/kg olarak, en düşük Ca konsantrasyonu gövde kısmında 16337 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise Ca konsantrasyonu 17866 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Ca konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı.

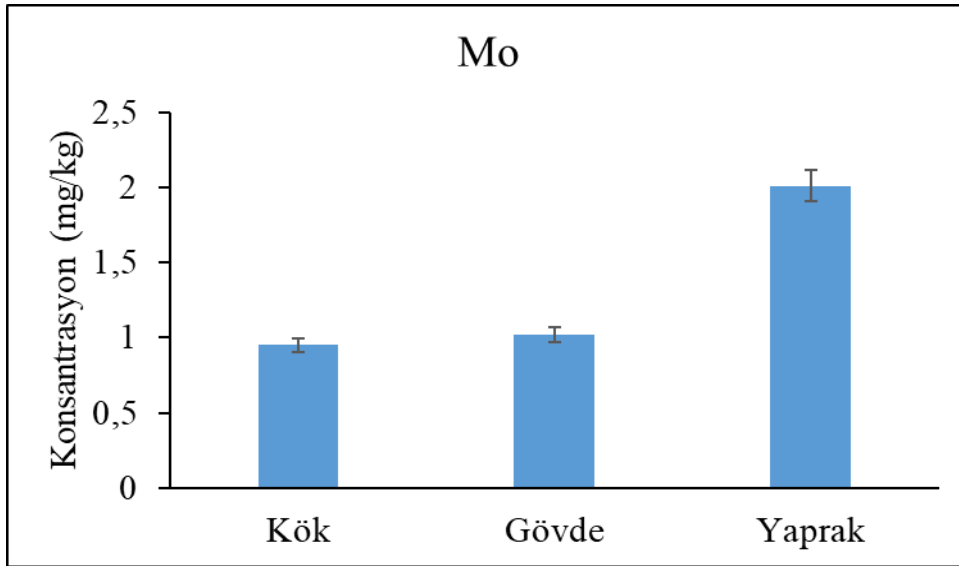
Örnekleme noktası-1'den alınan su sümbülünde tespit edilen Zn konsantrasyonları Şekil 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Örnekleme noktası-1'e ait Zn konsantrasyonları

Şekil 3.5.'e göre, su sümbülünde en yüksek Zn konsantrasyonu kök kısmında 87,91 mg/kg olarak, en düşük Zn konsantrasyonu gövde kısmında 28,27 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise Zn konsantrasyonu 44,99 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Zn konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı.

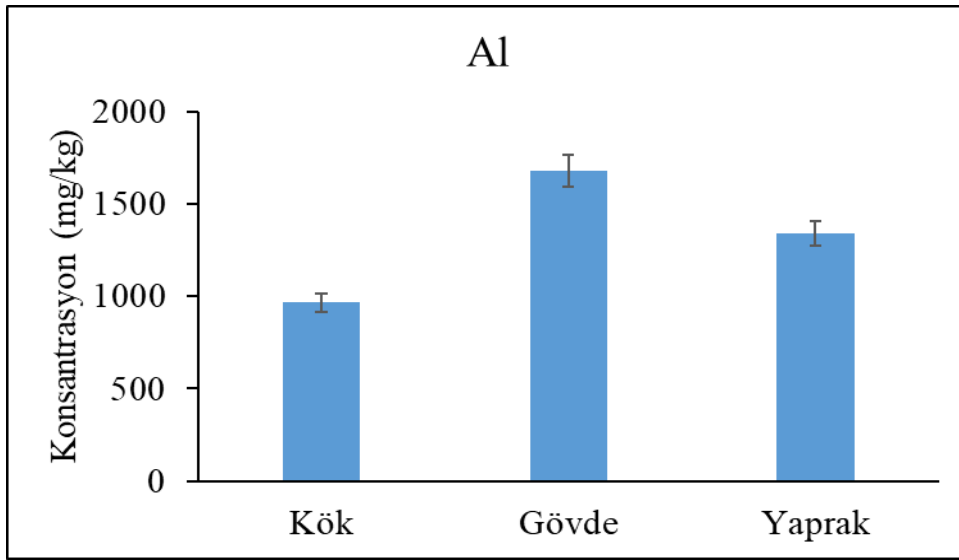
Örnekleme noktası-1'den alınan su sümbülünde tespit edilen Mo konsantrasyonları Şekil 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3.6. Örnekleme noktası-1'e ait Mo konsantrasyonları

Şekil 3.6.'ya göre, su sümbülünde en yüksek Mo konsantrasyonu yaprak kısmında 2,01 mg/kg olarak, en düşük Mo konsantrasyonu kök kısmında 0,95 mg/kg olarak tespit edildi. Gövde kısmında ise Mo konsantrasyonu 1,021 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Mo konsantrasyonu Yaprak > Gövde > Kök şeklinde sıralandı.

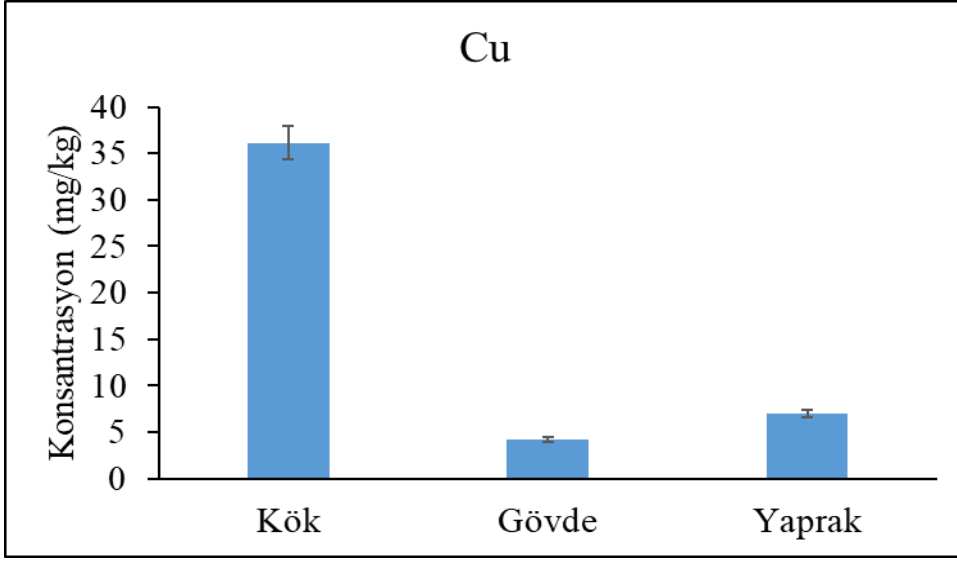
Örnekleme noktası-1'den alınan su sümbülünde tespit edilen Al konsantrasyonları Şekil 3.7.'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Örnekleme noktası-1'e ait Al konsantrasyonları

Şekil 3.7.'ye göre, su sümbülünde en yüksek Al konsantrasyonu gövde kısmında 1678 mg/kg olarak, en düşük Al konsantrasyonu kök kısmında 965 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise Al konsantrasyonu 1341 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Al konsantrasyonu Gövde > Yaprak > Kök şeklinde sıralandı.

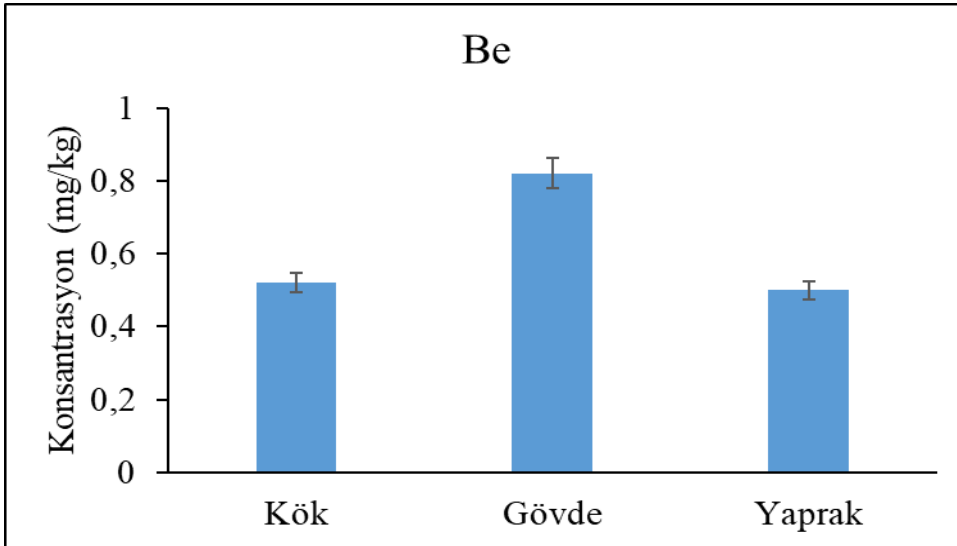
Örnekleme noktası-1'den alınan su sümbülünde tespit edilen Cu konsantrasyonları Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Örneklem noktası-1'e ait Cu konsantrasyonları

Şekil 3.8.'e göre, su sümbülünde en yüksek Cu konsantrasyonu kök kısmında 36,12 mg/kg olarak, en düşük Cu konsantrasyonu gövde kısmında 4,22 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise Cu konsantrasyonu 7,02 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Mo konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı.

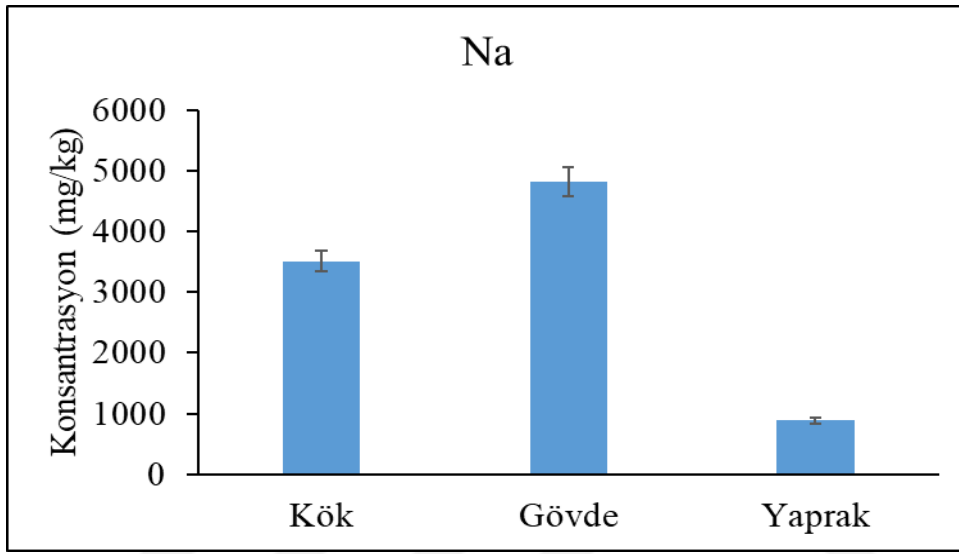
Örneklem noktası-2'den alınan su sümbülünde tespit edilen Be konsantrasyonları Şekil 3.9.'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Örneklem noktası-2'ye ait Be konsantrasyonları

Şekil 3.9.'a göre, su sümbülünde en yüksek Be konsantrasyonu gövde kısmında 0,82 mg/kg olarak, en düşük Be konsantrasyonu yaprak kısmında 0,5 mg/kg olarak tespit edildi. Kök kısmında ise Be konsantrasyonu 0,52 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Be konsantrasyonu Gövde > Kök > Yaprak şeklinde sıralandı.

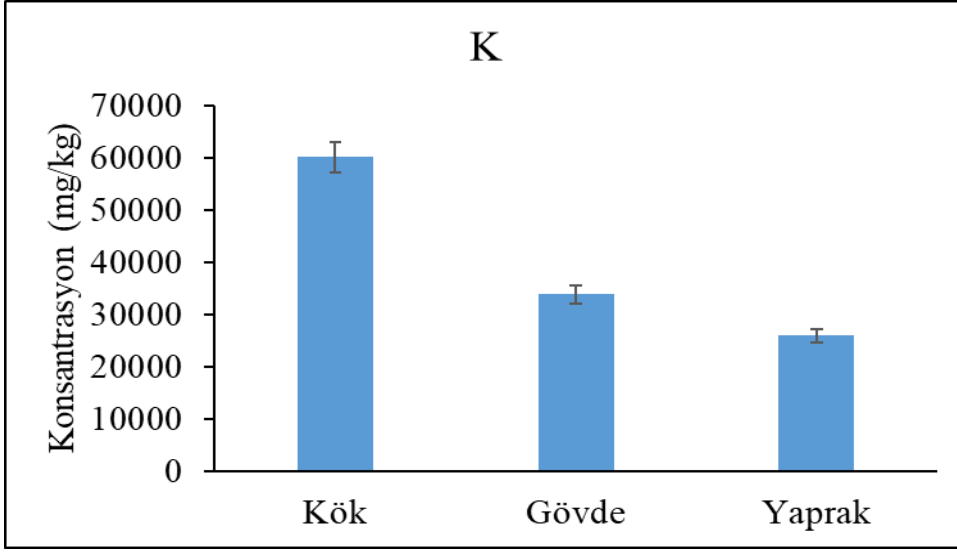
Örnekleme noktası-2'den alınan su sümbülünde tespit edilen Na konsantrasyonları Şekil 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Örnekleme noktası-2'ye ait Na konsantrasyonları

Şekil 3.10.'a göre, su sümbülünde en yüksek Na konsantrasyonu gövde kısmında 4816 mg/kg olarak, en düşük Na konsantrasyonu yaprak kısmında 885 mg/kg olarak tespit edildi. Kök kısmında ise Na konsantrasyonu 3509 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Na konsantrasyonu Gövde > Kök > Yaprak şeklinde sıralandı.

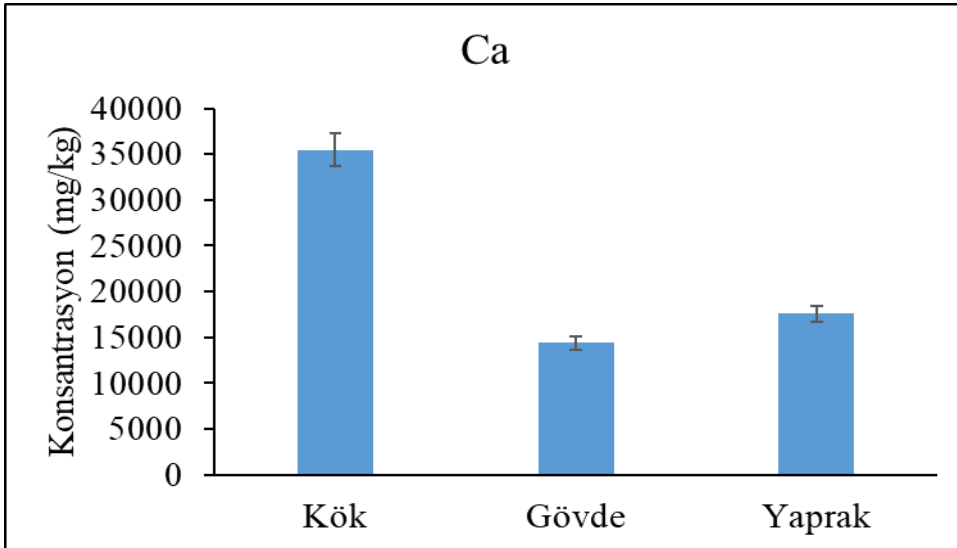
Örnekleme noktası-2'den alınan su sümbülünde tespit edilen K konsantrasyonları Şekil 3.11.'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Örnekleme noktası-2'ye ait K konsantrasyonları

Şekil 3.11.'e göre, su sümbülünde en yüksek K konsantrasyonu kök kısmında 60029 mg/kg olarak, en düşük K konsantrasyonu yaprak kısmında 25901 mg/kg olarak tespit edildi. Gövde kısmında ise K konsantrasyonu 33785 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde K konsantrasyonu Kök > Gövde > Yaprak şeklinde sıralandı.

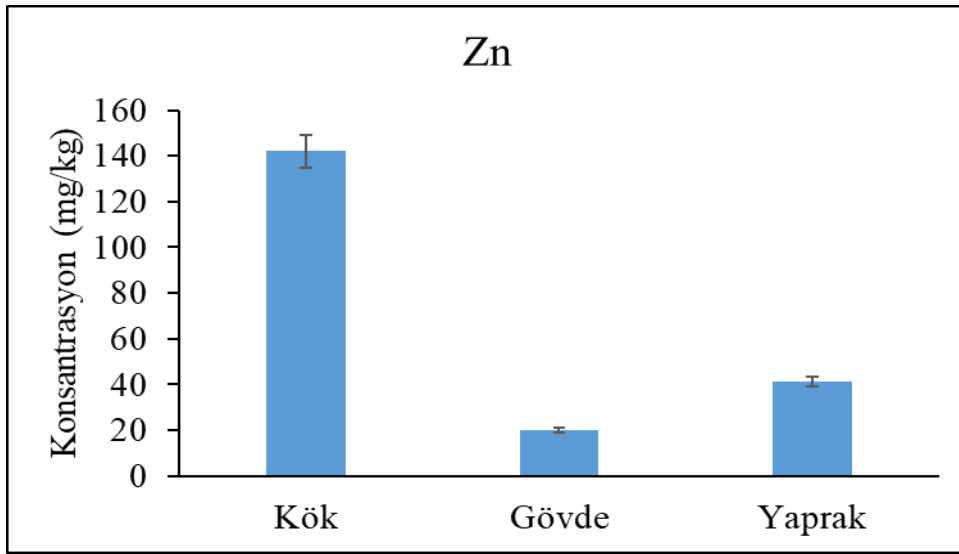
Örnekleme noktası-2'den alınan su sümbülünde tespit edilen Ca konsantrasyonları Şekil 3.12.'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Örnekleme noktası-2'ye ait Ca konsantrasyonları

Şekil 3.12.'ye göre, su sümbülünde en yüksek Ca konsantrasyonu kök kısmında 35447 mg/kg olarak, en düşük Ca konsantrasyonu gövde kısmında 14380 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise Ca konsantrasyonu 17599 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Ca konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı.

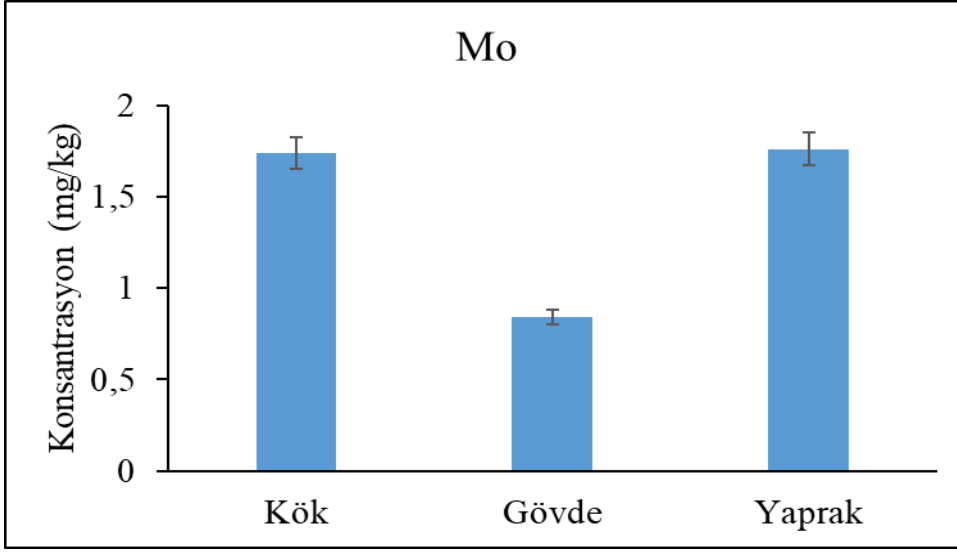
Örnekleme noktası-2'den alınan su sümbülünde tespit edilen Zn konsantrasyonları Şekil 3.13.'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Örnekleme noktası-2'ye ait Zn konsantrasyonları

Şekil 3.13.'e göre, su sümbülünde en yüksek Zn konsantrasyonu kök kısmında 142 mg/kg olarak, en düşük Zn konsantrasyonu gövde kısmında 20,15 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise Zn konsantrasyonu 41,22 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Zn konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı.

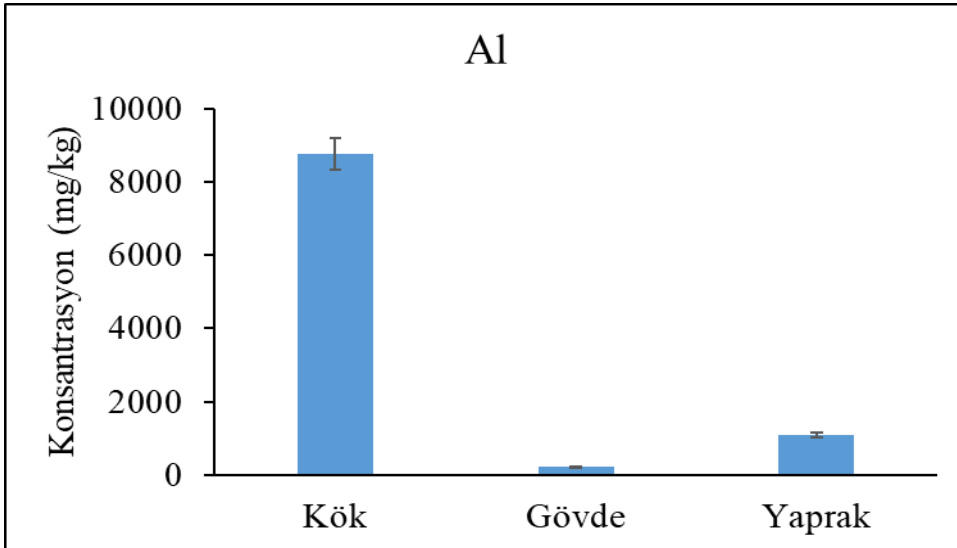
Örnekleme noktası-2'den alınan su sümbülünde tespit edilen Mo konsantrasyonları Şekil 3.14.'de verilmiştir.



Şekil 3.14. Örnekleme noktası-2'ye ait Mo konsantrasyonları

Şekil 3.14.'e göre, su sümbülünde en yüksek Mo konsantrasyonu yaprak kısmında 1,76 mg/kg olarak, en düşük Mo konsantrasyonu gövde kısmında 0,842 mg/kg olarak tespit edildi. Kök kısmında ise Mo konsantrasyonu 1,74 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Mo konsantrasyonu Yaprak > Kök > Gövde şeklinde sıralandı.

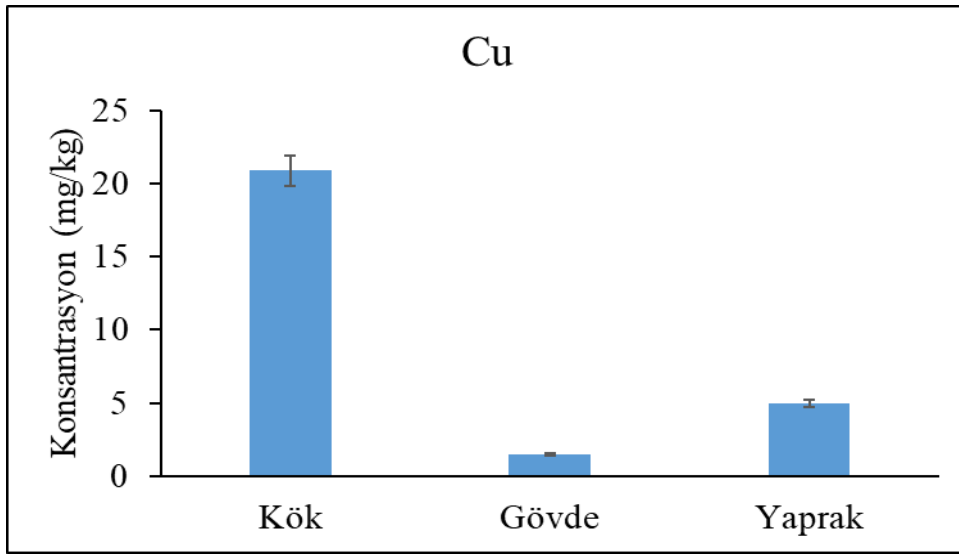
Örnekleme noktası-2'den alınan su sümbülünde tespit edilen Al konsantrasyonları Şekil 3.15.'de verilmiştir.



Şekil 3.15. Örnekleme noktasına ait Al konsantrasyonları

Şekil 3.15.'e göre, su sümbülünde en yüksek Al konsantrasyonu kök kısmında 8749 mg/kg olarak, en düşük Al konsantrasyonu gövde kısmında 218 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise Al konsantrasyonu 1085 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Al konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı.

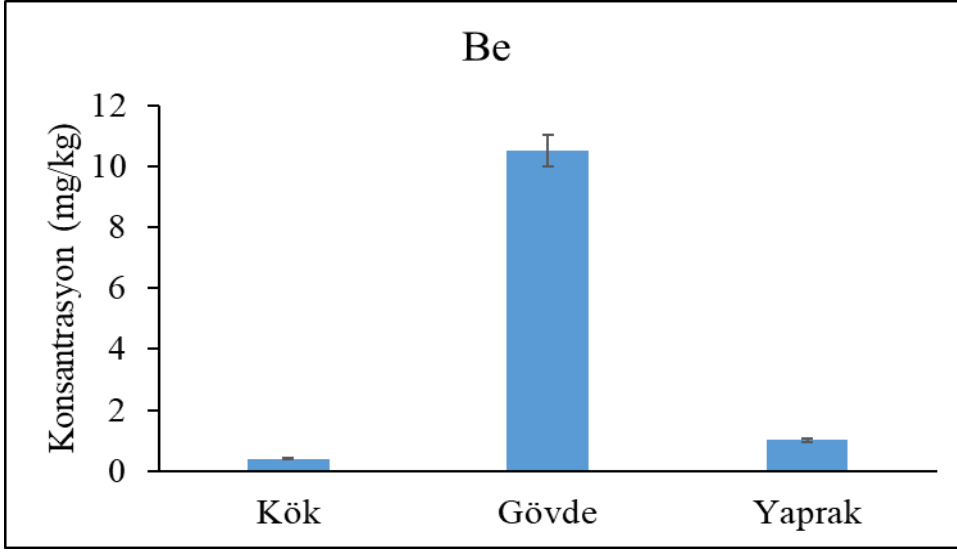
Örnekleme noktası-2'den alınan su sümbülünde tespit edilen Cu konsantrasyonları Şekil 3.16.'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Örnekleme noktası-2'ye ait Cu konsantrasyonları

Şekil 3.16.'ya göre, su sümbülünde en yüksek Cu konsantrasyonu kök kısmında 20,86 mg/kg olarak, en düşük Cu konsantrasyonu gövde kısmında 1,47 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise Cu konsantrasyonu 4,97 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Mo konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı.

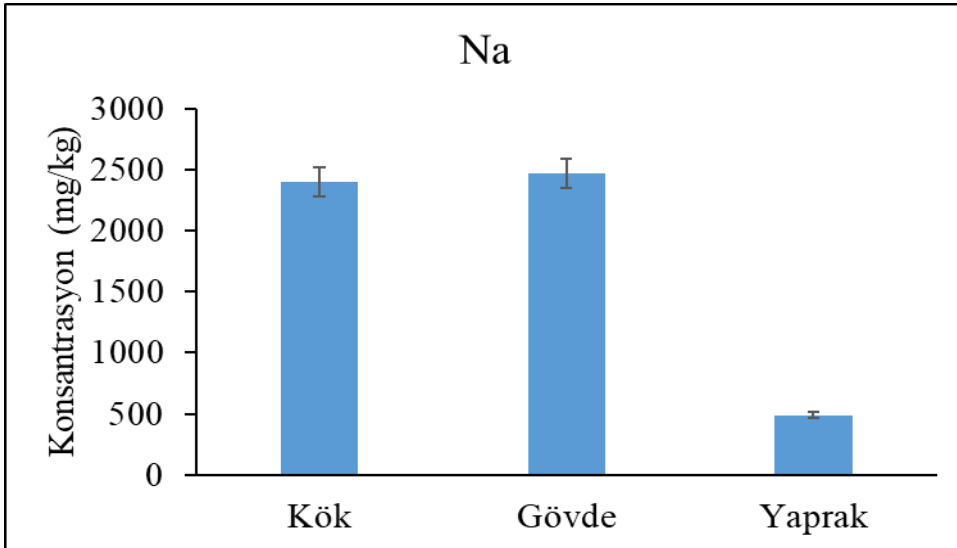
Örnekleme noktası-3'ten alınan su sümbülünde tespit edilen Be konsantrasyonları Şekil 3.17.'de verilmiştir.



Şekil.3.17. Örnekleme noktası-3'e ait Be konsantrasyonları

Şekil 3.17.'ye göre, su sümbülünde en yüksek Be konsantrasyonu gövde kısmında 10,5 mg/kg olarak, en düşük Be konsantrasyonu kök bölgesinde 0,4 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise Be konsantrasyonu 1,01 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Be konsantrasyonu Gövde > Yaprak > Kök şeklinde sıralandı.

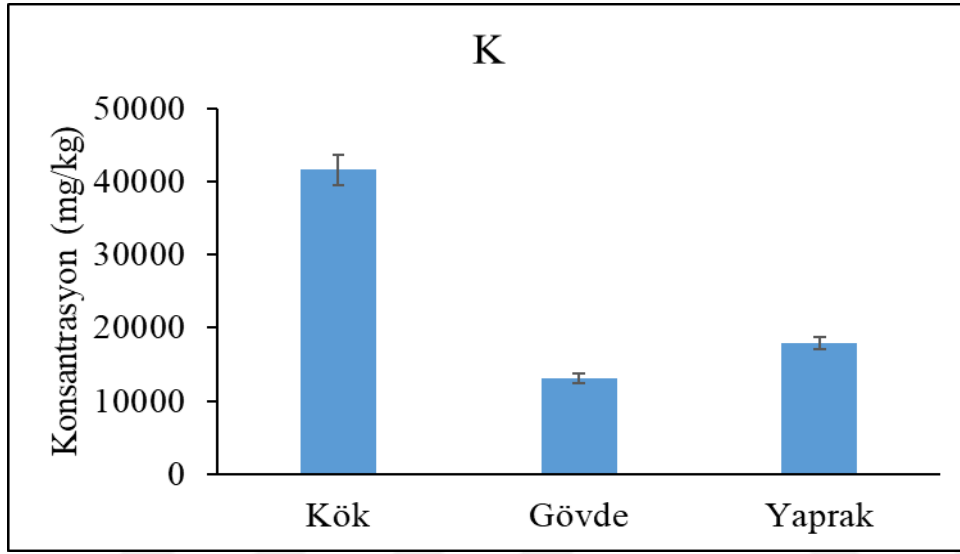
Örnekleme noktası-3'ten alınan su sümbülünde tespit edilen Na konsantrasyonları Şekil 3.18.'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Örnekleme noktası-3'e ait Na konsantrasyonları

Şekil 3.18.'e göre, su sümbülünde en yüksek Na konsantrasyonu gövde kısmında 2467 mg/kg olarak, en düşük Na konsantrasyonu yaprak kısmında 487 mg/kg olarak tespit edildi. Kök kısmında ise Na konsantrasyonu 2395 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Na konsantrasyonu Gövde > Kök > Yaprak şeklinde sıralandı.

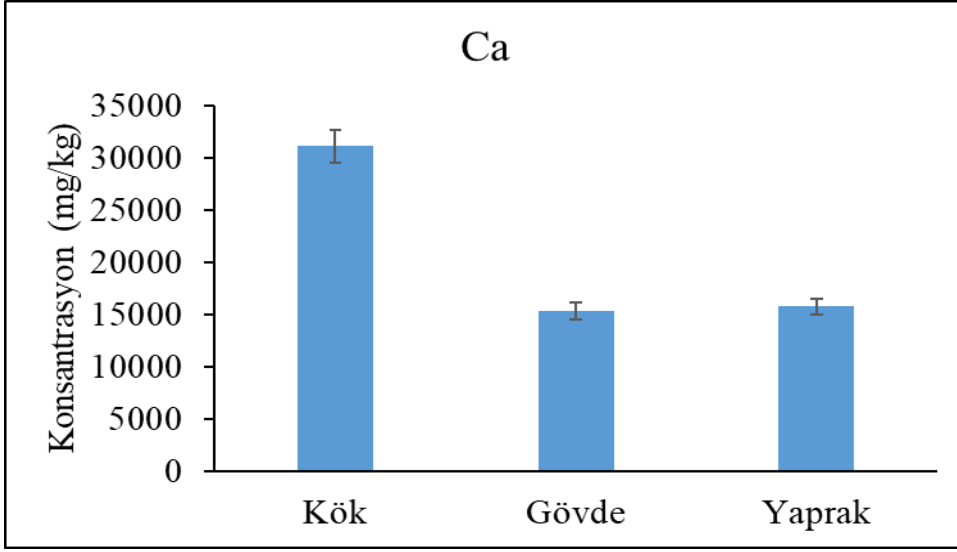
Örnekleme noktası-3'ten alınan su sümbülünde tespit edilen K konsantrasyonları Şekil 3.19.'da verilmiştir.



Şekil 3.19. Örnekleme noktası-3'e ait K konsantrasyonları

Şekil 3.19'a göre, su sümbülünde en yüksek K konsantrasyonu kök bölgesinde 41587 mg/kg olarak, en düşük K konsantrasyonu gövde kısmında 13008 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise K konsantrasyonu 17891 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde K konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı.

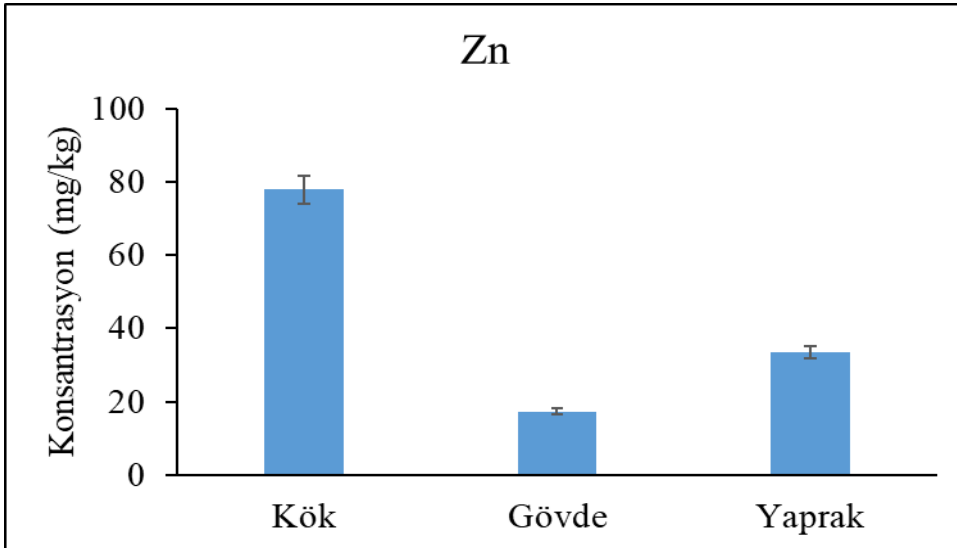
Örnekleme noktası-3'ten alınan su sümbülünde tespit edilen Ca konsantrasyonları Şekil 3.20.'de verilmiştir.



Şekil 2.20. Örneklem noktası-3'e ait Ca konsantrasyonları

Şekil 3.20.'ye göre, su sümbülünde en yüksek Ca konsantrasyonu kök bölgesinde 31067 mg/kg olarak, en düşük Ca konsantrasyonu gövde kısmında 15319 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise Ca konsantrasyonu 15719 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Ca konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı.

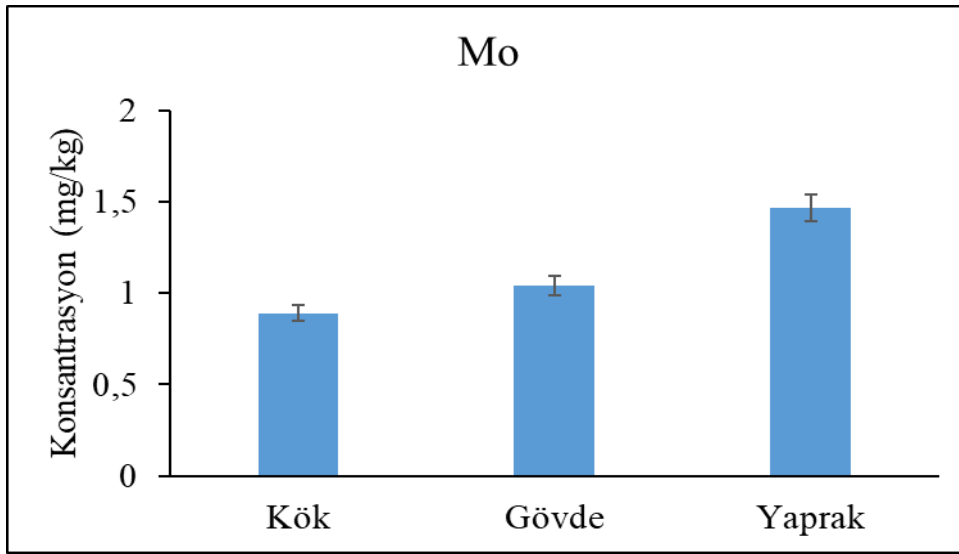
Örneklem noktası-3'ten alınan su sümbülünde tespit edilen Zn konsantrasyonları Şekil 3.21.'de verilmiştir.



Şekil 3.21. Örneklem noktası-3'e ait Zn konsantrasyonları

Şekil 3.21.'e göre, su sümbülünde en yüksek Zn konsantrasyonu kök bölgesinde 77,83 mg/kg olarak, en düşük Zn konsantrasyonu gövde kısmında 17,24 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise Zn konsantrasyonu 33,34 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Zn konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı.

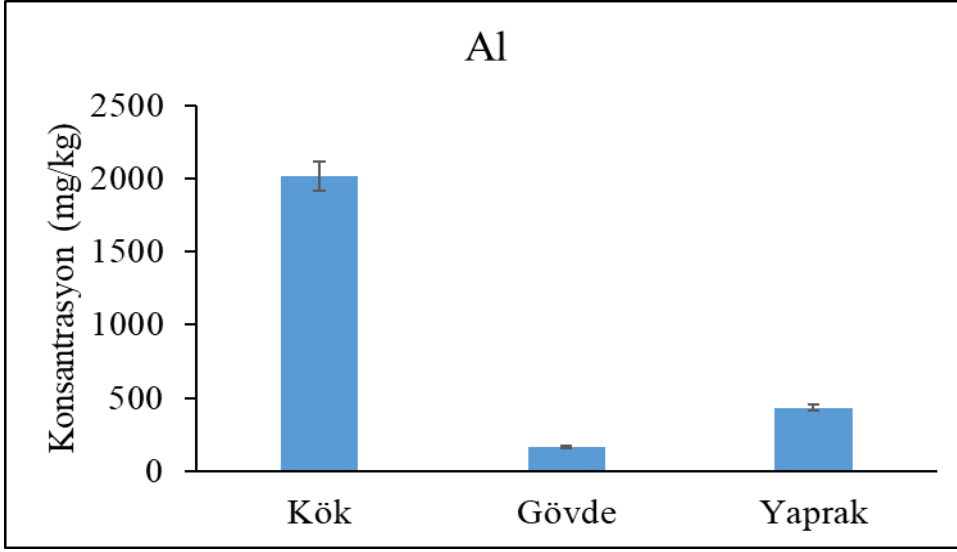
Örnekleme noktası-3'ten alınan su sümbülünde tespit edilen Mo konsantrasyonları Şekil 3.22.'de verilmiştir.



Şekil 3.22. Örnekleme noktası-3'e ait Mo konsantrasyonları

Şekil 3.22.'ye göre, su sümbülünde en yüksek Mo konsantrasyonu yaprak kısmında 1,468 mg/kg olarak, en düşük Mo konsantrasyonu kök bölgesinde 0,89 mg/kg olarak tespit edildi. Gövde kısmında ise Mo konsantrasyonu 1,04 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Mo konsantrasyonu Yaprak > Gövde > Kök şeklinde sıralandı.

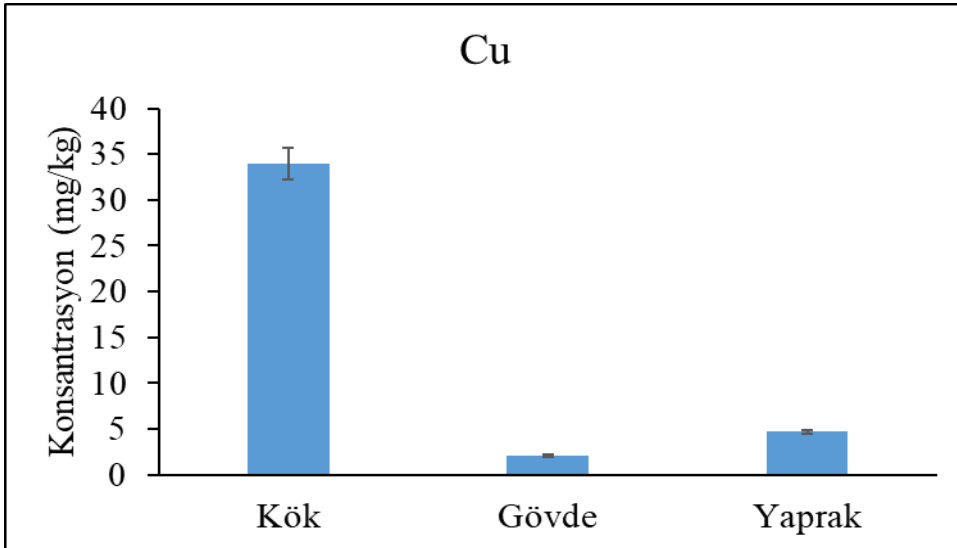
Örnekleme noktası-3'ten alınan su sümbülünde tespit edilen Al konsantrasyonları Şekil 3.23.'te verilmiştir.



Şekil 3.23. Örnekleme noktası-3'e ait Al konsantrasyonları

Şekil 3.23.'e göre, su sümbülünde en yüksek Al konsantrasyonu kök bölgesinde 2016 mg/kg olarak, en düşük Al konsantrasyonu gövde kısmında 164 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise Al konsantrasyonu 432 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Al konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı.

Örnekleme noktası-3'ten alınan su sümbülünde tespit edilen Cu konsantrasyonları Şekil 3.24.'te verilmiştir.

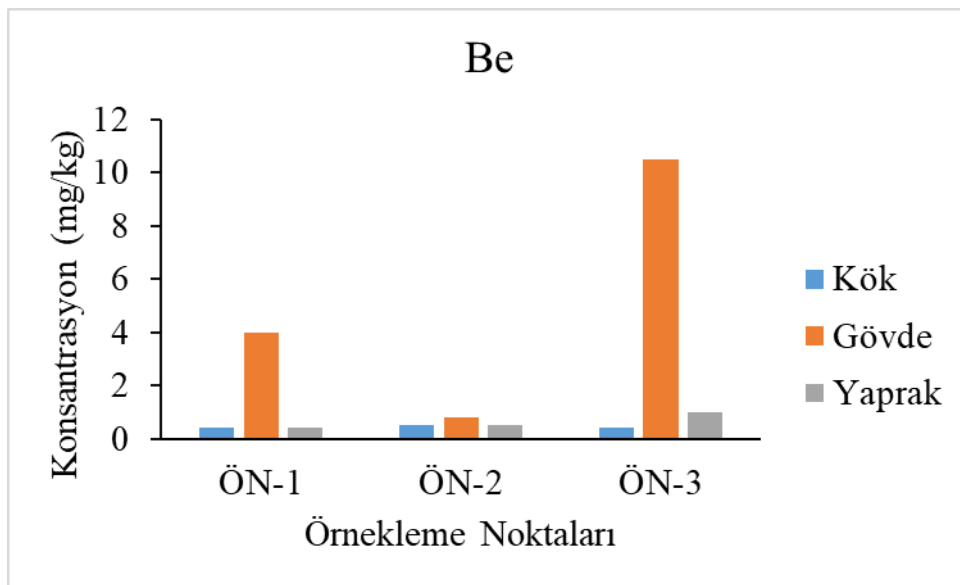


Şekil 3.24. Örnekleme noktası-3'e ait Cu konsantrasyonları

Şekil 3.24.'e göre, su sümbülünde en yüksek Cu konsantrasyonu kök bölgesinde 33,95 mg/kg olarak, en düşük Cu konsantrasyonu gövde kısmında 2,08 mg/kg olarak tespit edildi. Yaprak kısmında ise Cu konsantrasyonu 4,7 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde Mo konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı.

Bu tez çalışması kapsamında farklı örnekleme noktalarından alınan su sümbüllerinde metal konsantrasyonları karşılaştırıldı.

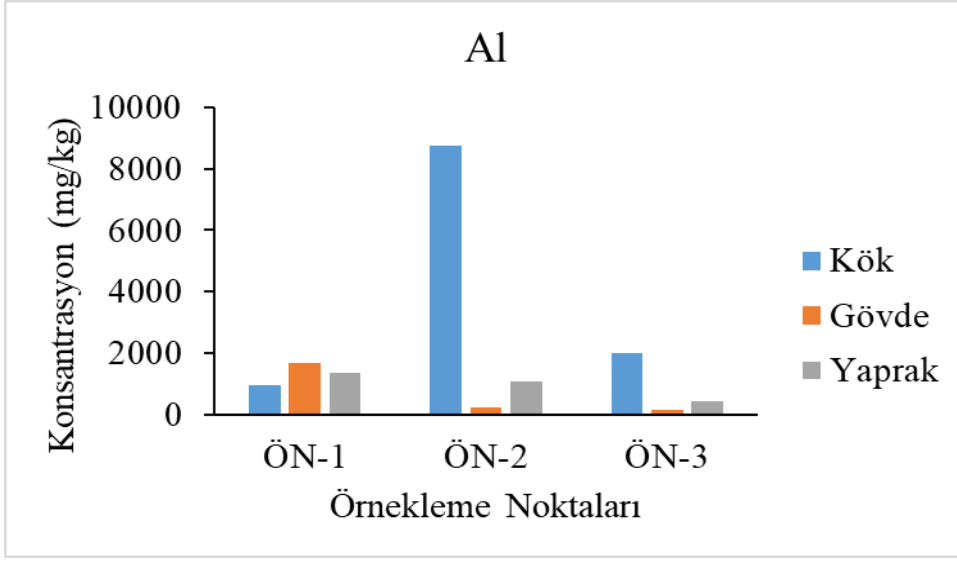
Asi Nehri'nin farklı noktalarından alınan su sümbülü örneklerinde tespit edilen Be konsantrasyonlarının karşılaştırılması Şekil 3.25'te verilmiştir.



Şekil 3.25. Be konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Şekil 3.25. değerlendirildiğinde su sümbülünde en yüksek Be konsantrasyonu örnekleme noktası-3'te gövde kısmında (10,5 mg/kg) tespit edilirken en düşük Be konsantrasyonu örnekleme noktası-3'te kök kısmında (0,4 mg/kg) tespit edildi. Su sümbülünde gövde kısmında tespit edilen Be konsantrasyonu ÖN-3>ÖN-1>ÖN-2 şeklinde, kök kısmında Be konsantrasyonu ÖN-2>ÖN-1>ÖN-3 şeklinde ve yaprak kısmında ise Be konsantrasyonu ÖN-3>ÖN-2>ÖN-1 şeklinde sıralandı.

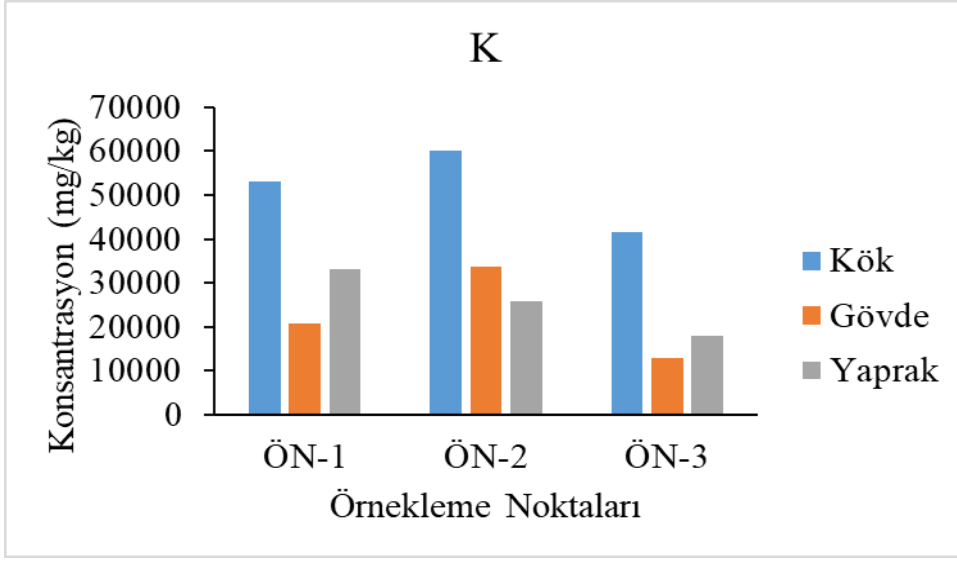
Asi Nehri'nin farklı noktalarından alınan su sümbülü örneklerinde tespit edilen Al konsantrasyonlarının karşılaştırılması Şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.26. Al konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Şekil 3.26 değerlendirildiğinde su sümbülünde en yüksek Al konsantrasyonu örnekleme noktası-2’de kök bölgesinde (8749 mg/kg) tespit edilirken en düşük Al konsantrasyonu örnekleme noktası-3’te gövde kısmında (164 mg/kg) tespit edildi. Su sümbülünde gövde kısmında tespit edilen Al konsantrasyonu ÖN-1>ÖN-2>ÖN-3 şeklinde sıralandı. Su sümbülünün kök kısmında Al konsantrasyonu ÖN-2>ÖN-3>ÖN-1 şeklinde, yaprak kısmında ise Al konsantrasyonu ÖN-1>ÖN-2>ÖN-3 şeklinde sıralandı.

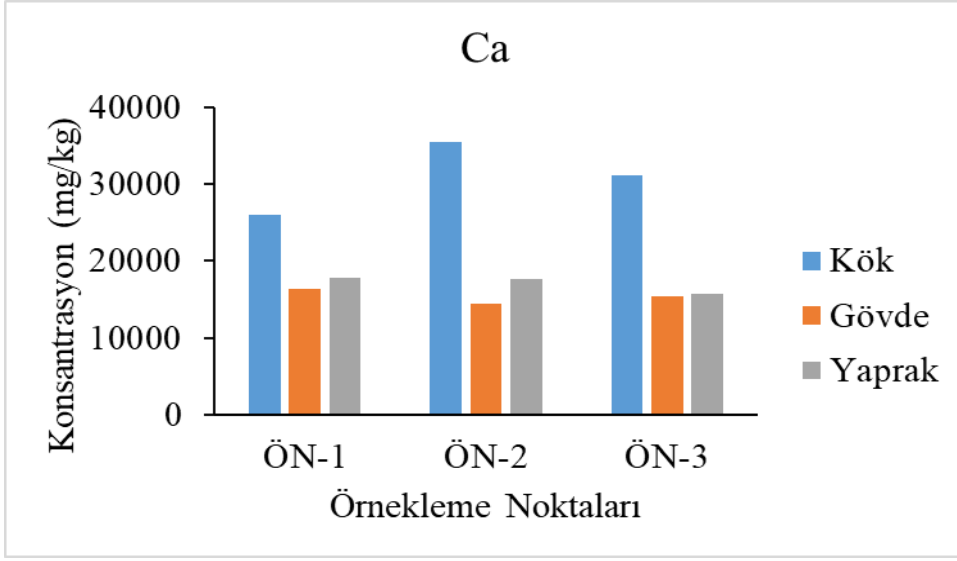
Asi Nehri’nin farklı noktalarından alınan su sümbülü örneklerinde tespit edilen K konsantrasyonlarının karşılaştırılması Şekil 3.27’te verilmiştir.



Şekil 3.27. K konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Şekil 3.27 değerlendirildiğinde su sümbülünde en yüksek K konsantrasyonu örnekleme noktası-2’de kök bölgesinde (60029 mg/kg) tespit edilirken en düşük K konsantrasyonu örnekleme noktası-3’te gövde kısmında (13008 mg/kg) tespit edildi. Su sümbülünde gövde kısmında tespit edilen K konsantrasyonu ÖN-2>ÖN-1>ÖN-3 şeklinde sıralanırken, kök kısmında K konsantrasyonu ÖN-2>ÖN-1>ÖN-3 şeklinde sıralandı. Yaprak kısmında ise K konsantrasyonu ÖN-1>ÖN-2>ÖN-3 şeklinde sıralandı.

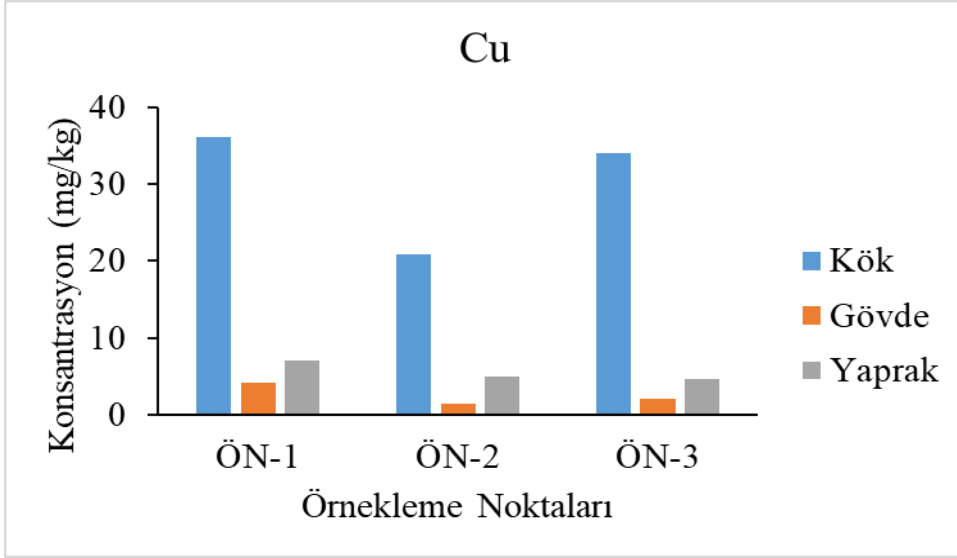
Asi Nehri’nin farklı noktalarından alınan su sümbülü örneklerinde tespit edilen Ca konsantrasyonlarının karşılaştırılması Şekil 3.28’te verilmiştir.



Şekil 3.28. Ca konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Şekil 3.28 değerlendirildiğinde su sümbülünde en yüksek Ca konsantrasyonu örnekleme noktası-2’de kök bölgesinde (35447 mg/kg) tespit edilirken en düşük Ca konsantrasyonu örnekleme noktası-2’de gövde kısmında (14380 mg/kg) tespit edildi. Su sümbülünde gövde kısmında tespit edilen Ca konsantrasyonu ÖN-1>ÖN-3>ÖN-2 şeklinde sıralandı. Su sümbülünün kök kısmında Ca konsantrasyonu ÖN-2>ÖN-3>ÖN-1 şeklinde sıralandı. Yaprak kısmında ise Ca konsantrasyonu ÖN-1>ÖN-2>ÖN-3 şeklinde sıralandı.

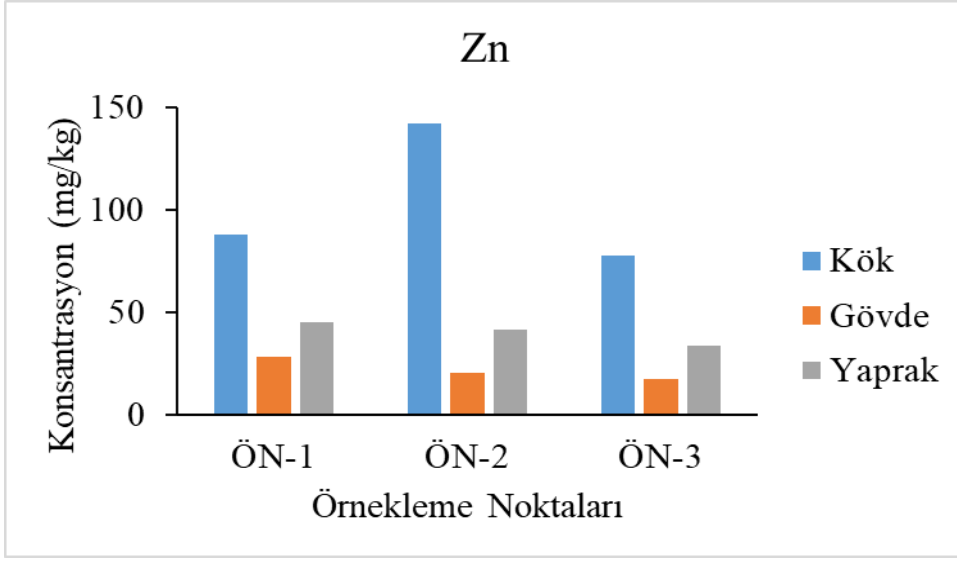
Asi Nehri’nin farklı noktalarından alınan su sümbülü örneklerinde tespit edilen Cu konsantrasyonlarının karşılaştırılması Şekil 3.29’da verilmiştir.



Şekil 3.29. Cu konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Şekil 3.29 değerlendirildiğinde su sümbülünde en yüksek Cu konsantrasyonu örnekleme noktası-1’de kök bölgesinde (36,12 mg/kg) tespit edilirken en düşük Cu konsantrasyonu örnekleme noktası-2’de gövde kısmında (1,47 mg/kg) tespit edildi. Su sümbülünde gövde kısmında tespit edilen Cu konsantrasyonu ÖN-1>ÖN-3>ÖN-2 şeklinde sıralanırken kök kısmında Cu konsantrasyonu ÖN-1>ÖN-3>ÖN-2 şeklinde sıralandı. Yaprak kısmında ise Cu konsantrasyonu ÖN-1>ÖN-2>ÖN-3 şeklinde sıralandı.

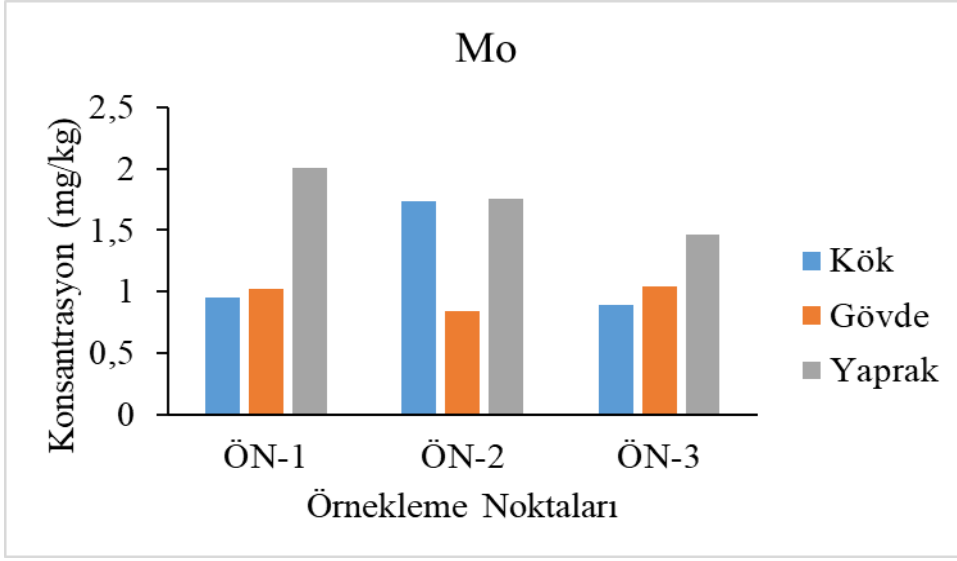
Asi Nehri’nin farklı noktalarından alınan su sümbülü örneklerinde tespit edilen Zn konsantrasyonlarının karşılaştırılması Şekil 3.30’da verilmiştir.



Şekil 3.30. Zn konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Şekil 3.30 değerlendirildiğinde su sümbülünde en yüksek Zn konsantrasyonu örnekleme noktası-2’de kök bölgesinde (142 mg/kg) tespit edilirken en düşük Zn konsantrasyonu örnekleme noktası-3’te gövde kısmında (17,24 mg/kg) tespit edildi. Su sümbülünde gövde kısmında tespit edilen Zn konsantrasyonu ÖN-1>ÖN-2>ÖN-3 şeklinde, kök kısmında Zn konsantrasyonu ÖN-2>ÖN-1>ÖN-3 şeklinde ve yaprak kısmında ise Zn konsantrasyonu ÖN-1>ÖN-2>ÖN-3 şeklinde sıralandı.

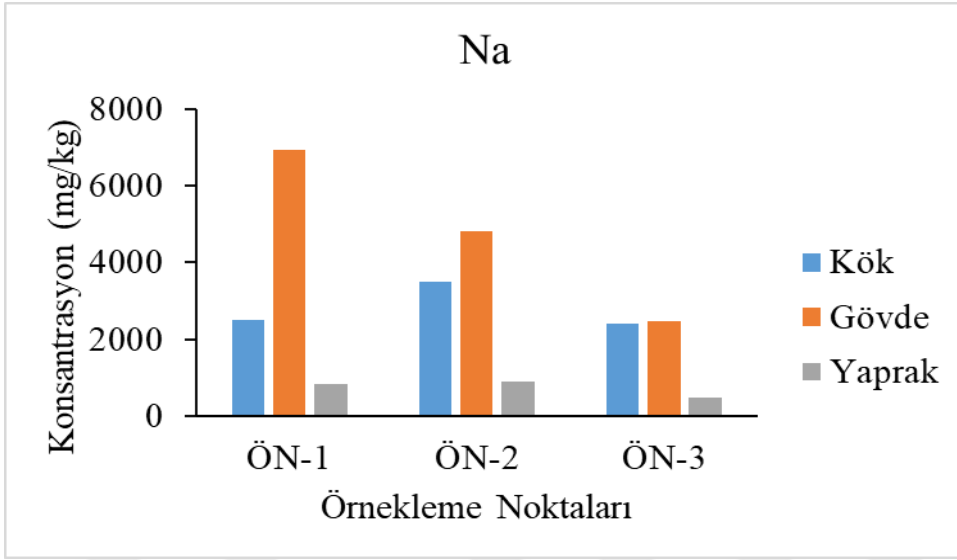
Asi Nehri’nin farklı noktalarından alınan su sümbülü örneklerinde tespit edilen Mo konsantrasyonlarının karşılaştırılması Şekil 3.31’te verilmiştir.



Şekil 3.31. Mo konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Şekil 3.31 değerlendirildiğinde su sümbülünde en yüksek Mo konsantrasyonu örnekleme noktası-1’de yaprak kısmında (2,01 mg/kg) tespit edilirken en düşük Mo konsantrasyonu örnekleme noktası-2’de gövde kısmında (0,842 mg/kg) tespit edildi. Su sümbülünde gövde kısmında tespit edilen Mo konsantrasyonu ÖN-3>ÖN-1>ÖN-2 şeklinde sıralandı. Su sümbülünün kök kısmında Mo konsantrasyonu ÖN-2>ÖN-1>ÖN-3 şeklinde sıralandı. Yaprak kısmında ise Mo konsantrasyonu ÖN-1>ÖN-2>ÖN-3 şeklinde sıralandı.

Asi Nehri’nin farklı noktalarından alınan su sümbülü örneklerinde tespit edilen Na konsantrasyonlarının karşılaştırılması Şekil 3.32’de verilmiştir.



Şekil 3.32. Na konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Şekil 3.32 değerlendirildiğinde su sümbülünde en yüksek Na konsantrasyonu örnekleme noktası-1’de gövde kısmında (6949 mg/kg) tespit edilirken en düşük Na konsantrasyonu örnekleme noktası-3’te yaprak kısmında (487 mg/kg) tespit edildi. Su sümbülünde gövde kısmında tespit edilen Na konsantrasyonu ÖN-1>ÖN-2>ÖN-3 şeklinde sıralandı. Su sümbülünün kök ve yaprak kısmında Na konsantrasyonu ÖN-2>ÖN-1>ÖN-3 şeklinde sıralandı.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Antakya ilindeki Asi Nehri'ni istila eden su sümbüllerinde (kök, gövde ve yaprak) bazı metal konsantrasyonları (Be, Na, K, Ca, Zn, Mo, Al ve Cu) tespit edildi. Asi Nehri'nin farklı bölgelerinden (örnekleme noktası-1, örnekleme noktası-2 ve örnekleme noktası-3) alınan su sümbüllerinde tespit edilen metal konsantrasyonlarına göre bu tez kapsamında aşağıda verilen sonuçlar elde edildi.

a-) Örnekleme noktası-1'de, su sümbülünde Be konsantrasyonu 0,41-3,99 mg/kg arasında, Na konsantrasyonu 814-6949 mg/kg arasında değerler aldı. Su sümbülünde Be ve Na konsantrasyonu Gövde > Kök > Yaprak şeklinde sıralandı. Su sümbülünde K konsantrasyonu 20815-53072 mg/kg arasında, Ca konsantrasyonu 16337-25965 mg/kg arasında, Zn konsantrasyonu 28,27-87,91 mg/kg arasında, Cu konsantrasyonu 4,22-36,12 mg/kg arasında değerler aldı. Su sümbülünde K, Ca, Zn ve Cu konsantrasyonları Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı. Su sümbülünde Mo konsantrasyonu 0,95-2,01 mg/kg arasında değerler aldı. Su sümbülünde Mo konsantrasyonu Yaprak > Gövde > Kök şeklinde sıralandı. Su sümbülünde Al konsantrasyonu 965-1678 mg/kg arasında değerler aldı. Su sümbülünde Al konsantrasyonu Gövde > Yaprak > Kök şeklinde sıralandı.

b-) Örnekleme noktası-2'de, su sümbülünde Be konsantrasyonu 0,5-0,82 mg/kg arasında, Na konsantrasyonu 885-4816 mg/kg arasında değerler aldı. Su sümbülünde Be ve Na konsantrasyonu Gövde > Kök > Yaprak şeklinde sıralandı. Su sümbülünde K konsantrasyonu 25901-60029 mg/kg arasında değerler aldı. Su sümbülünde K konsantrasyonu Kök > Gövde > Yaprak şeklinde sıralandı. Su sümbülünde Ca konsantrasyonu 14380-35447 mg/kg arasında, Zn konsantrasyonu 20,15-142 mg/kg arasında, Al konsantrasyonu 218-8749 mg/kg arasında, Cu konsantrasyonu 1,47-20,86 mg/kg arasında değerler aldı. Su sümbülünde Ca, Zn, Al ve Cu konsantrasyonu Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı. Su sümbülünde Mo konsantrasyonu 0,842-1,76 mg/kg arasında değerler aldı. Su sümbülünde Mo konsantrasyonu Yaprak > Kök > Gövde şeklinde sıralandı.

c-) Örnekleme noktası-3'te su sümbülünde Be konsantrasyonu 0,4-10,5 mg/kg arasında değerler aldı. Su sümbülünde Be konsantrasyonu Gövde > Yaprak > Kök şeklinde sıralandı. Su sümbülünde Na konsantrasyonu 487-2467 mg/kg arasında değerler aldı. Su sümbülünde Na konsantrasyonu Gövde > Kök > Yaprak şeklinde sıralandı. Su sümbülünde K konsantrasyonu 13008-41587 mg/kg arasında, Ca konsantrasyonu 15319-31067 mg/kg

arasında, Zn konsantrasyonu 17,24-77,83 mg/kg arasında, Al konsantrasyonu 164-2016 mg/kg arasında, Cu konsantrasyonu 2,08-33,95 mg/kg arasında değerler aldı. Su sümbülünde K, Ca, Zn, Al ve Cu konsantrasyonları Kök > Yaprak > Gövde şeklinde sıralandı. Su sümbülünde Mo konsantrasyonu 0,89-1,468 mg/kg arasında değerler aldı. Su sümbülünde Mo konsantrasyonu Yaprak > Gövde > Kök şeklinde sıralandı.

d-) Su sümbülünde en yüksek Be konsantrasyonu örnekleme noktası-3'te gövde kısmında 10,5 mg/kg olarak, en yüksek Al, K, Ca ve Zn konsantrasyonu örnekleme noktası-2'de kök bölgesinde 8749, 60029, 35447 ve 142 mg/kg olarak belirlendi. Su sümbülünde en yüksek Cu konsantrasyonu örnekleme noktası-1'de kök bölgesinde 36,12 mg/kg olarak, en yüksek Mo konsantrasyonu örnekleme noktası-1'de yaprak kısmında 2,01 mg/kg olarak, en yüksek Na konsantrasyonu örnekleme noktası-1'de gövde kısmında 6949 mg/kg olarak tespit edildi.

Sonuç olarak, bu tez çalışması kapsamında Asi Nehri'ni istila eden su sümbüllerinin farklı organlarında bazı metal konsantrasyonları belirlendi. Su sümbüllerinin söz konusu metalleri iyi şekilde akümüle ettiği belirlenmiş oldu. Asi Nehri'nden toplanan su sümbülleri, atıksu arıtımında, hayvan ve balık yemi üretiminde, ilaç üretiminde, gübre imalatında ve biyoenerji üretiminde kullanılabileceği önerilebilir.

5. KAYNAKLAR

- Aboud, A.A.O., Kidunda, R.S., Osarya, J.,** 2005. Potential of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in ruminant nutrition in Tanzania. *Livest. Res. Rural. Dev.* 17.
- Ağca, N., Doğan, K.** 2020. Asi Nehri'nin su kalite parametre düzeylerinin belirlenmesi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi* 25:1-9.
- Ajayi, T.O., Ogunbayio, A.O.,** 2012. Achieving environmental sustainability in wastewater treatment by phytoremediation with water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *J. Sust. Develop.* 5:80-90.
- Altunlu, E.** 2002. Potential water resources of Hatay. Published in Has Pipe Company.
- Anandha Varun, R., Kalpana, S.,** 2015. Performance analysis of nutrient removal in pond water using water Hyacinth and Azolla with papaya stem. *Int. Res. J. Eng. Technol.* 2:444-448.
- Ayanda, O.I., Ajayi, T., Asuwaju, F.P.,** 2020. *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms: uses, challenges, threats, and prospects. *Sci. World J.* 3452172.
- Azaizeh, H., Salhani, N., Sebesvari, Z., Emons, H.,** 2003. The potential of rhizosphere microbes isolated from a constructed wetland to biomethylate selenium. *J. Environ. Qual.* 32:55-62.
- Awe, A.A., Opeolu, B.O., Fatoki, O.S., Ayanda, O.S., Jackson, V.A., Snyman, R.,** 2020. Preparation and characterisation of activated carbon from *Vitis vinifera* leaf litter and its adsorption performance for aqueous phenanthrene. *Appl. Biol. Chem.* 1-18.
- Bapat, S.A.,** 2020. Surface-modified water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) over activated carbon for wastewater treatment: a comparative account. *South African Chemical Institute.* 73:70-80.
- Biswas, S.R., Choudhury, J.K., Nishat, A., Rahman, M.M.,** 2007. Do invasive plants threaten the Sundarbans mangrove forest of Bangladesh? *For. Ecol. Manag.* 245:1-9.
- Center, T.D., Hill, M.P., Cordo, H., Julien, M.H.,** 2002. Water hyacinth. In: Van Driesche, R., et al. (Eds.), *Biological Control of Invasive Plants in the Eastern United States*, 4. USDA Forest Service Publication FHTET, Washington, DC, pp. 41-64.
- Chen, X.L., Li, F., Xie, X.J., Li, Z., Chen, L.,** 2019. Nanoscale zero-valent iron and chitosan functionalized eichhornia crassipes biochar for efficient hexavalent chromium removal. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 16:3046.

- Chu, J.J., Ding, Y., Zhuang, Q.J.,** 2006. Invasion and control of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in China. *J. Zhejiang. Univ. Sci. B.* 7:623-626.
- Cuerda-Correa, E.M., Alexandre-Franco, M.F., Fernández-González, C.,** 2020. Advanced oxidation processes for the removal of antibiotics from water. An overview. *Water.* 12:102.
- De Casabianca, M., Laugier, T., Posada, F.,** 1995. Petroliferous wastewaters treatment with water hyacinths (Raffinerie de Provence, France): experimental statement. *Waste. Manage.* 15:651-655.
- DellaGreca, M., Previtera, L., Zarrelli, A.,** 2009. Structures of new phenylphenalenerelated compounds from *Eichhornia crassipes* (water hyacinth). *Tetrahedron.* 65:8206-8208.
- De Stefani, G., Tocchetto, D., Salvato, M., Borin, M.,** 2011. Performance of a floating treatment wetland for in-stream water amelioration in NE Italy. *Hydrobiologia.* 674:157-167.
- Dipu, S., Kumar, A.A., Thanga, V.S.G.,** 2011. Phytoremediation of dairy effluent by constructed wetland technology. *Environmentalist.* 31:263-278.
- Dixit, A., Dixit, S., Goswami, C.S.,** 2011. Process and plants for wastewater remediation: a review. *Sci. Rev. Chem. Commun.* 11:71-77.
- Dixon, A., Simon, M., Burkitt, T.,** 2003. Assessing the environmental impact of two options for small scale wastewater treatment: comparing a reed bed and an aerated biological filter using a life cycle approach. *Ecol. Eng.* 20:297-308.
- Emerhi, E.A.,** 2011. Physical and combustion properties of briquettes produced from sawdust of three hardwood species and different organic binders. *Adv. Appl. Sci. Res.* 2:236-246.
- Ganguly, A., Chatterjee, P.K., Dey, A.,** 2012. Studies on ethanol production from water hyacinth e a review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 16:966-972.
- Gaurav, G.K., Mehmood, T., Cheng, L., Klemeš, J.J., Shrivastava, D.K.,** 2020. Water hyacinth as a biomass: a review. *J. Clean. Prod.* 122214.
- Girija, N., Pillai, S.S., Koshy, M.,** 2011. Potential of vetiver for phytoremediation of waste in retting area. *Ecscan.* 1:267-273.
- Gopal, B.,** 1987. Aquatic Plant Studies 1. WaterHyacinth. Elsevier, Oxford, p.471.
- Gupta, A., Balomajumder, C.,** 2015. Removal of Cr (VI) and phenol using water hyacinth from single and binary solution in the artificial photosynthesis chamber. *J. Water. Process Eng.* 7:74-82.

- Gupta, P., Roy, S., Mahindrakar, A.B.,** 2012. Treatment of water using water hyacinth, water lettuce and vetiver grass-A review. *Resour. Environ.* 2:202-215.
- Güerena, D., Neufeldt, H., Berazneva, J., Duby, S.,** 2015. Water hyacinth control in Lake Victoria: Transforming an ecological catastrophe into economic, social, and environmental benefits. *Sustain. Prod. Consum.* 3:59–69.
- Hashem, A., Hasan, M., Momen, A., Nuratomal, S., Payel, S.,** 2020. Water hyacinth biochar for trivalent chromium adsorption from tannery wastewater. *Environ. Sustain. Indic.* 5:100022.
- Hammad, D.M.,** 2011. Cu, Ni and Zn phytoremediation and translocation by water hyacinth plant at different aquatic environments. *Aust. J. Basic. Appl. Sci.* 5:11-22.
- Huang, H., Liu, J., Liu, H., Evrendilek, F., Buyukada, M.,** 2020. Pyrolysis of water hyacinth biomass parts: bioenergy, gas emissions, and by- products using TG-FTIR and Py-GC /MS analyses. *Energy Convers. Manag.* 207:112552.
- Isarankura-Na-Ayudhya, C., Tantimongcolwat, T., Kongpanpee, T., Prabkate, P., Prachayasittikul, V.,** 2007. Appropriate technology for the bioconversion of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) to liquid ethanol: future prospects for community strengthening and sustainable development. *Excli. J.* 6:167-176.
- Jadia, C.D., Fulekar, M.H.,** 2009. Phytoremediation of heavy metals: recent techniques. *Afr. J. Biotechnol.* 8:921-928.
- Jafari, N.,** 2010. Ecological and socio-economic utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Mart Solms). *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* 14:43-49.
- Jamuna, S., Noorjahan, C.M.,** 2009. Treatment of sewage waste water using water hyacinth - *Eichhornia* sp and its reuse for fish culture. *Toxicol. Int.* 16:103-106.
- Jianbo, L.U., Zhihui, F.U., Zhaozheng, Y.I.N.,** 2008. Performance of a water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed. *J. Environ. Sci.* 20:513-519.
- Jimeonez, M., Balandra, M.A.G.,** 2007. Integrated control of *Eichhornia crassipes* by using insects and plant pathogens in Mexico. *Crop. Prot.* 26:1234-1238.
- Jirawattanasomkul, T., Minakawa, H., Likitlersuang, S., Ueda, T., Dai, J.G., Wuttiwannasak, N., Kongwang, N.,** 2021. Use of water hyacinth waste to produce fibre-reinforced polymer composites for concrete confinement: mechanical performance and environmental assessment. *J. Clean. Prod.* 292:126041.
- Kateregga, E., Sterner, T.,** 2007. Indicators for an invasive species: water hyacinths in Lake Victoria. *Ecol. Indic.* 7:362-370.

- Klumpp, A., Bauer, K., Franz-Gerstein, C., de Menezes, M.,** 2002. Variation of nutrient and metal concentrations in aquatic macrophytes along the Rio Cachoeira in Bahia (Brazil). *Environ. Int.* 28:165-171.
- Koutika, L.S., Rainey, H.J.,** 2015. A review of the invasive, biological and beneficial characteristics of aquatic species Eichhornia Crassipes and salvinia molesta. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 13:263-275.
- Kumari, M., Tripathi, B.D.,** 2014. Effect of aeration and mixed culture of Eichhornia crassipes and Salvinia natans on removal of wastewater pollutants. *Ecol. Eng.* 62:48-53.
- Kunatsa, T., Madiye, L., Chikuku, T., Shonhiwa, C., Musadamba, D.,** 2013. Feasibility study of biogas production from water hyacinth case of lake Chivero e Harare, Zimbabwe. *Int. J. Eng. Technol.* 3:119-128.
- Lalevic, B., Raicevic, V., Kikovic, D., Jovanovic, L., Momirovic, G.S., Jovic, J., Talaie, A.R., Morina, F.,** 2012. Biodegradation of MTBE by bacteria isolated from oil hydrocarbons-contaminated environments. *Int. J. Environ. Res.* 6:81-86.
- Li, F., He, X., Srishti, A., Song, S., Tan, H.T.W., Sweeney, D.J., Wang, C.H.,** 2021. Water hyacinth for energy and environmental applications: a review. *Bioresour. Technol.* 327:124809.
- Liao, S., Chang, W.,** 2004. Heavy metal phytoremediation by water hyacinth at constructed wetlands in Taiwan. *Photogramm. Eng. Remote. Sens.* 54:177-185.
- Lissy, P.N.M., Madhu, G.,** 2011. Removal of heavy metals from waste water using water hyacinth. *ACEEE Int. J. Trans. Urban. Develop.* 1:48-52.
- Liu, C., Ye, J., Lin, Y., Wu, J., Price, G.W., Burton, D., Wang, Y.,** 2020. Removal of cadmium (II) using water hyacinth (Eichhornia crassipes) biochar alginate beads in aqueous solutions. *Environ. Pollut.* 264:114785.
- Loan, N.T., Phuong, N.M., Anh, N.T.N.,** 2014. The role of aquatic plants and microorganisms in domestic wastewater treatment. *Environ. Eng. Manage.* 13: 2031-2038.
- Lu, Q.,** 2009. Evaluation of Aquatic Plants for Phytoremediation of Eutrophic Storm Waters. University of Florida, Florida. PhD Thesis.
- Madikizela, L.M.,** 2021. Removal of organic pollutants in water using water hyacinth (Eichhornia crassipes). *J. Environ. Manag.* 295:113153.
- Mahamadi, C.,** 2011. Water hyacinth as a biosorbent: a review. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.* 5:1137-1145.
- Malik, A.,** 2007. Environmental challenge vis a vis opportunity: the case of water hyacinth. *Environ. Int.* 33:122-138.

- Mamane, H., Sterenzon, E., & Vadivel, V.K.** (2020). Decolorization of dyes from textile wastewater using biochar: a review. *School Mec. Eng.* 37:36-46.
- Milke, J., Gálczyńska, M., Wróbel, J.**, 2020. The importance of biological and ecological properties of phragmites *Australis* (Cav.) Trin. Ex Steud, in phytoremediation of aquatic ecosystems the review. *Water*. 12:1770.
- Mokhtar, H., Morad, N., Fizri, F.F.A.**, 2011. Phytoaccumulation of copper from aqueous solutions using *Eichhornia crassipes* and *Centella asiatica*. *Int. J. Environ. Sci. Dev.* 2:205-210.
- Moyo, P., Chapungu, L., Mudzengi, B.**, 2013. Effectiveness of water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in remediating polluted water: the case of Shagashu river in Masvingo, Zimbabwe. *Adv. Appl. Sci. Res.* 4:55-62.
- Mshandete, A., Kivaisi, A., Rubindamayugi, M., Mattiasson, B.O.**, 2004. Anaerobic batch codigestion of sisal pulp and fish wastes. *Bioresour. Technol.* 95:19-24.
- Nyamunda, B.C., Chivhanga, T., Guyo, U., Chigondo, F.**, 2019. Removal of Zn (II) and Cu (II) ions from industrial wastewaters using magnetic biochar derived from water hyacinth. *J. Eng.* 5656983.
- Oudhia, P.**, 1999. Medicinal weeds in rice fields of Chhattisgarh (India). *Int. Rice. Res. Notes*. 24:40.
- Padmapriya, G., Murugesan, A.G.**, 2012. Phytoremediation of various heavy metals (Cu, Pb and Hg) from aqueous solution using water hyacinth and its toxicity on plants. *Int. J. Environ. Biol.* 2:97-103.
- Patel, S.**, 2012. Threats, management and envisaged utilizations of aquatic weed *Eichhornia crassipes*: an overview. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 11:249-259.
- Priya, E.S., Selvan, P.S.**, 2014. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)-An efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment-A review. *Arab. J. Chem.* 10:3548-3558.
- Rezania, S., Din, M.F.M., Ponraj, M., Sairan, F.M., binti Kamaruddin, S.F.**, 2013. Nutrient uptake and wastewater purification with water Hyacinth and its effect on plant growth in batch system. *J. Environ. Treat. Tech.* 1:81-85.
- Rezania, S., Ponraj, M., Din, M.F.M., Chelliapan, S., Sairan, F.M.**, 2014. Effectiveness of *Eichhornia crassipes* in nutrient removal from domestic wastewater based on its optimal growth rate. *Desalin. Water. Treat.* 1:360-365.
- Rezania, S., Ponraj, M., Din, M.F.M., Songip, A.R., Sairan, F.M., Chelliapan, S.**, 2015. The diverse applications of water hyacinth with main focus on sustainable energy and production for new era: an overview. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 41: 943-954.

- Roongtanakiat, N., Tangruangkiat, S., Meesat, R.,** 2007. Utilization of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) for removal of heavy metals from industrial waste waters. *Sci. Asia*. 33:397-403.
- Sahoo, D., Awasthi, A., Dhyani, V., Biswas, B., Kumar, J., Reddy, Y.S., Bhaskar, T.,** 2019. Value-addition mixture of water hyacinth and para grass a Loktak lake biomass through pyrolysis and hydrothermal liquefaction. *Carbon Resour. Convers.* 2:233-241.
- Sajn-Slak, A., Bulc, T.G., Vrhovsek, D.,** 2005. Comparison of nutrient cycling in a surfaceflow constructed wetland and in a facultative pond treating secondary effluent. *Water. Sci. Technol.* 51:291-298.
- Salahuddin, N., Abdelwahab, M.A., Akelah, A., Elnagar, M,** 2021. Adsorption of Congo red and crystal violet dyes onto cellulose extracted from Egyptian water hyacinth. *Nat. Hazards*. 105:1375–1394.
- Saleh, H.M.,** 2012. Water hyacinth for phytoremediation of radioactive waste simulate contaminated with cesium and cobalt radionuclides. *Nucl. Eng. Des.* 242:425-432.
- Shah, R.A., Kumawat, D.M., Singh, N., Wani, K.A.,** 2010. Water hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) as a remediation tool for dye-effluent pollution. *Int. J. Sci. Nat.* 1:172-178.
- Sharma, R., Saini, H., Paul, D.R., Chaudhary, S., Nehra, S.P.,** 2021. Removal of organic dyes from wastewater using *Eichhornia crassipes*: a potential phytoremediation option. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28:7116–7122.
- Shanab, S.M.M., Shalaby, E.A., Lightfoot, D.A., El-Shemy, H.A.,** 2010. Allelopathic effects of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *PLoS. One.* 5:13200.
- Singh, O.V., Labana, S., Pandey, G., Budhiraja, R., Jain, R.K.,** 2003. Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Appl. Microbiol. Biot.* 61:405-412.
- Skinner, K., Wright, N., Porter-Goff, E.,** 2007. Mercury uptake and accumulation by four species of aquatic plants. *Environ. Pollut.* 145:234-237.
- Sooknah, R.D., Wilkie, A.C.,** 2004. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater. *Ecol. Eng.* 22:27-42.
- Suzuki, Y., Kametani, T., Maruyama, T.,** 2005. Removal of heavy metals from aqueous solution by nonliving *Ulva* seaweed as biosorbent. *Water. Res.* 39:1803-1808.
- Szczecz, M.M.,** 1999. Suppressiveness of vermicompost against *Fusarium* wilt of tomato. *J. Phytopathol.* 147:155-161.

- Talaie, A., Beheshti, M., Talaie, M.R.,** 2011a. Screening and batch treatment of wastewater containing floating oil using oil-degrading bacteria. *Desalin. Water. Treat.* 28:108-114.
- Talaie, A., Beheshti, M., Talaie, M.R.,** 2011b. Evaluating efficiency of co-culture of two isolated *Pseudomonas aeruginosa* strains for removal of floating crude oil from oil-polluted wastewater. *Desalin. Water. Treat.* 28:103-107.
- Talaiekhosani, A., Rezanian, S., Kim, K.H., Sanaye, R., Amani, A.M.,** 2021. Recent advances in photocatalytic removal of organic and inorganic pollutants in air. *J. Clean. Prod.* 278:123895.
- Tkaczyk, A., Mitrowska, K., Posyniak, A.,** 2020. Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: a review. *Sci. Total Environ.* 717:137222.
- Tellez, T.R., Lopez, E.M.D.R., Granado, G.L., Perez, E.A., Lopez, R.M., Guzman, J.M.S.,** 2008. The water hyacinth, *Eichhornia crassipes*: an invasive plant in the Guadiana River Basin (Spain). *Aquat. Invasions.* 3:42-53.
- Tiwari, S., Dixit, S., Verma, N.,** 2007. An effective means of biofiltration of heavy metal contaminated water bodies using aquatic weed *Eichhornia crassipes*. *Environ. Monit. Assess.* 129:253-256.
- Tripathy, B.D., Upadhyay, A.R.,** 2003. Dairy effluent polishing by aquatic macrophytes. *Water. Air. Soil. Pollut.* 9:377-385.
- Valero, M.A.C., Johnson, M., Mara, D.D.,** 2007. Enhanced phosphorus removal in a waste stabilization pond system with blast furnace slag filters. In: Second International Conference Small Wat, Seville, Spain.
- Valipour, A., Raman, V.K., Ahn, Y.H.,** 2015. Effectiveness of domestic wastewater treatment using a bio-hedge water hyacinth wetland system. *Water.* 7:329-347.
- Verma, R., Singh, S.P., Ganesha Raj, K.,** 2003. Assessment of changes in water hyacinth coverage of water bodies in northern part of Bangalore city using temporal remote sensing data. *Curr. Sci.* 84:795-804.
- Wilson, J.R., Rees, M., Holst, N., Thomas, M.B., Hill, G.,** 2000. Water hyacinth population dynamics. Biological and integrated control of water hyacinth, *Eichhornia crassipes*. *ACIAR Proceeding*, 102:96-104.
- Xia, H., Ma, X.,** 2006. Phytoremediation of ethion by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) from water. *Bioresour. Technol.* 97:1050-1054.
- Xiaomei, L., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., Homyok, K.,** 2004. Removal of cadmium and zinc by water hyacinth. *Eichhornia Crassipes. Sci. Asia.* 30:93-103.

- Yao, Z., Ma, X., Xiao, Z.,** 2019. The effect of two pretreatment levels on the pyrolysis characteristics of water hyacinth. *Renew. Energy*. 151:514-527.
- Zhang, F., Wang, X., Yin, D., Peng, B., Tan, C., Liu, Y., Tan, X., Wu, S.,** 2015. Efficiency and mechanisms of Cd removal from aqueous solution by biochar derived from water hyacinth (*Eichornia crassipes*). *J. Environ. Manage.* 153:68-73.
- Zhang, M., Ling, B., Kong, C., Liang, G., Dong, Y.,** 2005. Allelopathic effects of lantana (*Lantana camera* L.) on water hyacinth (*Eichhornia Crassipes* (Mart.) Solms). *Allelopath. J.* 15:125-129.
- Zhang, X., Sun, P., Wei, K., Huang, X., Zhang, X.,** 2020. Enhanced H₂O₂ activation and sulfamethoxazole degradation by Fe-impregnated biochar. *Chem. Eng. J.* 385:123921.
- Zhou, J., Jiang, Z., Qin, X., Zhang, L.,** 2020. Efficiency of Pb, Zn, Cd and Mn removal from karst water by *Eichhornia Crassipes*. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 17:5329.