

## ***Astragalus angustifolius*, *Artemisia* ve *Juncus effusus*'un Uranyum ve Toryum için Biyoakümülatör Özellikleri**

Leyla KALENDER<sup>\*1</sup>, Ömer Nedim ALÇİÇEK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ  
<sup>2</sup>Maden Tetkik Araştırma Enstitüsü, Enerji Daire Başkanlığı, Ankara  
\* leylakalender@firat.edu.tr

(Geliş/Received:18.04.2016; Kabul/Accepted: 22.09.2016)

### **Özet**

Dadağı-Nevşehir uranyum cevherleşmelerinin çevresinde biyojeokimyasal çalışmalar, üç farklı bitki türü; keçi keveni (*Astragalus angustifolius*), yavşan (*Artemisia*), saz otu (*Juncus effusus*) ve üzerinde yetiştiği toprak örneklerinde yapılmıştır. Bu çalışmada, uranyum ve toryum için hesaplanan biyoakümülatör faktör değerleri (Cp/Cs); keçi keveni (*Astragalus angustifolius*) için 0,041 ve 0,022, yavşan (*Artemisia*) için 0,089 ve 0,058 olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, keçi keveni ve yavşanın uranyum ve toryum bakımından düşük derece akümülatör olduğu söylenebilir. Ancak, saz otunun (*Juncus effusus*), hesaplanan Cp/Cs oranı 0,378 değeri, bu bitkinin uranyum için orta derecede akümülatör bitki olabileceğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Bitki-toprak jeokimyası, uranyum ve toryum, Dadağı, Nevşehir

## **Bioaccumulator Characteristics for Uranium and Thorium of *Astragalus angustifolius*, *Artemisia* and *Juncus effusus***

### **Abstract**

The paper includes that biogeochemical prospecting studies which were carried out on three different plant species (*Astragalus angustifolius*; *Artemisia*; *Juncus Effusus*) and grown on the soil samples in the Dadağı-Nevşehir uranium mineralization area. The study reveals that the calculated bioaccumulation coefficient values for uranium and thorium show range 0.041 to 0.022 of *Astragalus angustifolius*; 0.089 to 0.058 of *Artemisia*, respectively. Thereby *Astragalus angustifolius* and *Artemisia* are low accumulator plants for uranium and thorium. However, *Juncus effusus* is reflected moderate accumulator plants due to the calculated bioaccumulation coefficient value for uranium (Cp/Cs= 0.378).

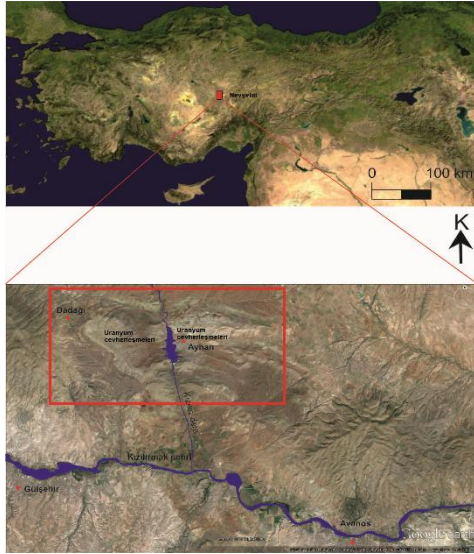
**Key words:** Plant-soil geochemistry, uranium and thorium, Dadağı, Nevşehir

### **1. Giriş**

Jeokimyasal prospeksiyon, özellikle jeokimyasal analizler ve elde edilen bulguların yorumlanması ile anlam kazanan, maden arama evrelerinden biri olup son yıllarda en çok başvurulan yöntemlerden biridir. Aramaya esas metal ya da iz bulucu (path finder) element içerikleri, bitki, toprak, sediman ve kayalar için belirlenebilmektedir. Böylece, metal konsantrasyonlarını belirlemeye yönelik yapılan jeokimyasal çalışmalar, biyojeokimyasal prospeksiyon, toprak jeokimya prospeksiyonu, drenaj jeokimya prospeksiyonu ya da litojeokimyasal prospeksiyon olarak nitelendirilebilir. Her bir gösterge veya iz bulucu

elementin farklı kimyasal özelliğe sahip olması nedeniyle, seçilebilecek prospeksiyon yöntemi de farklılık gösterebilmektedir. Biyojeokimyasal prospeksiyon çalışmaları, aslında bir maden arama evresini oluşturmakla birlikte elde edilen bulgular aynı zamanda remediasyon çalışmaları için de kullanılabilir. Bitkilerin kullanılmasıyla topraktan organik ve metal kirleticilerin giderimi olarak bilinen fitoremediasyon yöntemi, son yıllarda kimyasal arıtmaya alternatif olarak tercih edilmektedir [1]. Bu çalışmada, Alçiçek ve Kalender tarafından, Orta Eosen yaşlı laküstrin havza içerisinde yüksek radyoaktivite ölçüm sonuçları ile varlığı belirlenen uranyum cevherleşmeleri civarından toplanan bitki ve üzerinde yetiştiği toprak

örneklerinin uranyum ve toryum içerikleri belirlenerek, uranyum ve toryum için bioakümülatör özellikleri araştırılmıştır [2](Şekil 1). Özellikle granitik kaynaklı uranyum yatakları civarındaki kumtaşları üzerinde yetişen bitki örneklerinde bir çok araştırmacı biyojeokimyasal prospeksiyon çalışmaları yapmıştır [3, 4, 5, 6]. Son yıllarda yapılan çalışmalar, metal taşınma sürecini ve fitoremediasyon özellikleri anlamaya yöneliktir [7, 8, 9]. Bu çalışma kapsamında, oldukça kurak ve doğal bitki örtüsü bakımından fakir olan Kapadokya bölgesinde yetişen Keçi Keveni (*Astragalus angustifolius*), yavşan (*Artemisia*), saz otu (*Juncus effusus*)' nun uranyum ve toryum için bioakümülatör özelliği araştırılmıştır. Amaç, uranyum ve toryum için, bundan sonraki jeokimyasal prospeksiyon ya da remediasyon çalışmalarında, sözkonusu bitkilerin kullanılıp kullanılmayacağını belirleyebilmektir; ayrıca, bu bitkilerin uranyum ve toryum için akümülatör özelliği literatür kapsamında daha önce araştırılmamıştır.



Şekil 1. İnceleme alanının yerbulduru haritası.

## 2. Analitik Yöntem

Çalışma alanı içerisinde, doğal bitkiler ve bu bitkilerin üzerinde yetiştiği toprak örneklemeleri yapılmış, alınan örnek noktaları Şekil 2'de gösterilmiştir. Bitki türleri Ziraat Mühendisi Zekiye Alçiçek tarafından belirlenmiştir. Bitki örnekleri; *Astragalus angustifolius* (Keçi keveni), *Artemisia* (Yavşan)

ve *Juncus effusus* (Saz otu) kurutulduktan sonra, 50 gram ağırlığında tartılarak, 475 °C de külleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra her bir bitki örneğinden 0,25 gr. alınmak suretiyle külleştirilmiş bitki örnekleri içerisindeki, uranyum ve toryum konsantrasyonları belirlenmiştir. Toprak örnekleri ise -80 mesh (180 µm) tane boyunda elenerek homojen dağılım sağlanmış ve 30 mg'lık miktar, örnek numaraları ve örnek alım noktasına ait koordinatlar yazılarak analize hazır hale getirilmiştir. Toprak örnek ekstraksiyonu AQ (1HNO<sub>3</sub>:1HCl: 1HF) çözdürme yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve hem bitki hem de üzerinde yetiştiği toprak örneklerindeki uranyum ve toryum konsantrasyonları ICP-OES (Inductively Coupled Plasma- Optic Emission Spektrometre) analitik yöntemi ile Kanada ACME Laboratuvarlarında belirlenmiştir.

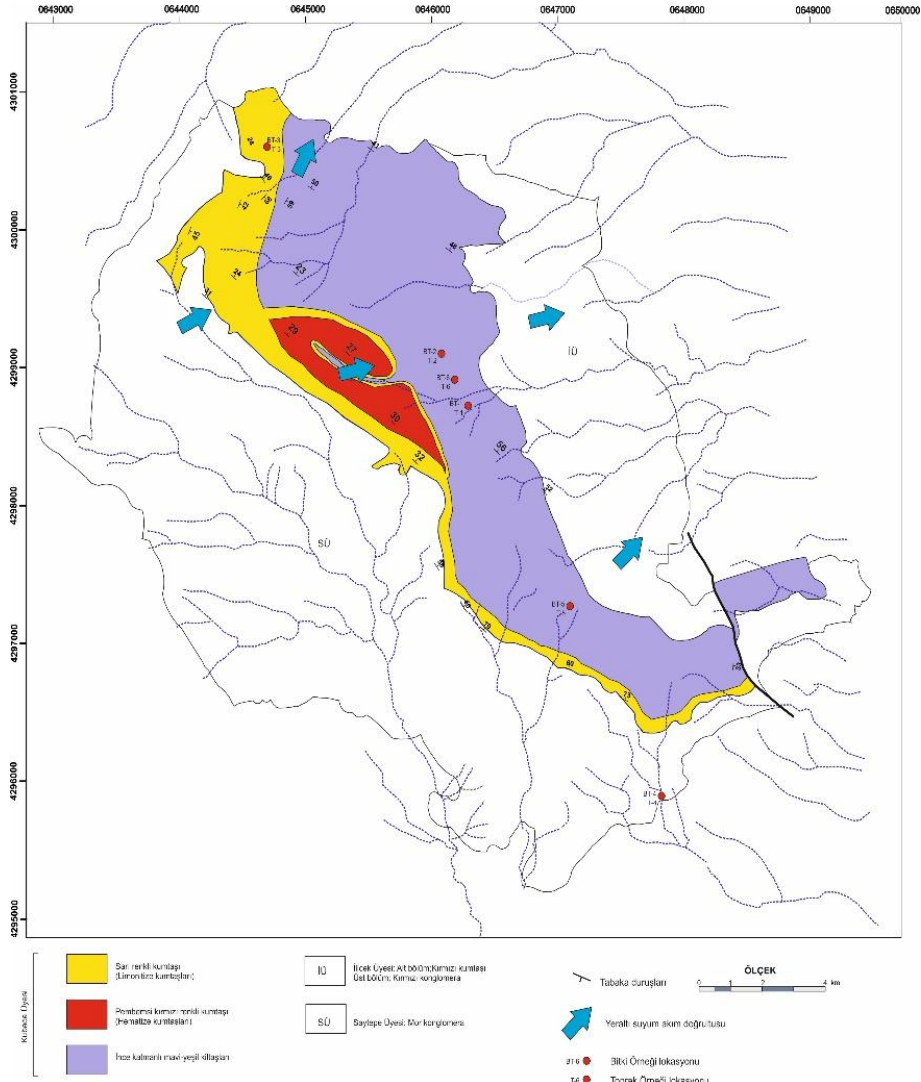
## 3. Değerlendirme Parametreleri

Biyo-akümülatör faktör (BAF): Doğal ortamlarda (Ör: Toprak) organizma tarafından adsorbe edilen kimyasal madde konsantrasyonlarının karşılaştırılması yoluyla organizmalar içerisindeki toksik element birikim etkinliğinin nicelik olarak belirlenmesinde kullanılabilir [1, 10].

BAF =  $C_b / C_s$ , bitki içerisindeki metal konsantrasyonlarının üzerinde yetiştiği toprak içerisindeki metal konsantrasyonuna oranı şekilde ifade edilmektedir [11, 12, 13]. Her bir bitki ya da bitki organına ait metal içeriği verileri ile belirli bitki türlerinde metal ekstraksiyon veriminin tahmininde daha iyi sonuç vermektedir. Bununla birlikte, biyoakümülatif kimyasalların primer kaynağın anlaşılmasında önemli görülmektedir [14, 15]. Bunun ötesinde, kökten bitkinin sürgünlerine ağır metal translokasyonu aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$TF = C_{\text{sürgün (s)}} / C_{\text{kök (r)}}$$

$C_s$  and  $C_r$  sırasıyla sürgünlerde ve köklerdeki metal konsantrasyonunu ifade etmektedir. TF > 1 durumu bitkinin verimli bir şekilde metalleri köklerden sürgünlere doğru yer değiştirebildiğini (translocate) ifade etmektedir [12].



Şekil 2. Bitki ve toprak örnek alım noktaları.

Bu çalışma kapsamında toplanan bitki kökleri ve bu köklere ait topraklar üzerinde biyoakümülyasyon faktör (BAF) parametresi kullanılarak topraktan bitkiye element geçişi belirlenebilmektedir.  $BAF = C_p(\text{bitki})/C_s(\text{toprak})$ ;  $C_p$  ve  $C_s$  sırasıyla, bitki deki metal konsantrasyonu ( $C_p$ ) ve toprak içerisindeki metal konsantrasyonunu ( $C_s$ ) ifade etmektedir [16]. Metal akümülyasyonu dört kategori altında tarif edilmiştir. Bunlar;

- 1)  $<0,01$  akümülyatör özelliğine sahip olmayan bitkiler,
- 2)  $0,01-0,1$  düşük derecede akümülyatör özelliğine sahip bitkiler,
- 3)  $0,1-1,0$  ortaç derecede akümülyatör olan bitkiler,

4)  $1-10$  yüksek derecede akümülyatör özelliğine sahip ya da hiperakümülyatör bitkiler. Bu oran kullanılarak, topraktaki elementlerin bitki tarafından emilimi gösterilebilmekte ve topraktan bitkiye element geçişinin büyüklüğü kantitatif olarak tahmin edilebilmektedir.

#### 4. Bitki ve Toprak Örneklerine Ait Analitik Bulgular

Keçi Keveni: BT1,T1; BT3,T3; BT4,T4. Yavşan örnekleri: BT2,T2 ve BT6, T6. Saz otu örneği: BT4, T4 olarak örnekler kodlanmış ve her bir bitkiye ve üzerinde yetiştiği toprağa ait U-Th analiz sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Toprak örneklerindeki uranyum ve toryum konsantrasyonu ve özet istatistik değerler.  
\*: %, diğer değerler ppm.

Element	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Minimum	Maksimum	Ortanca	Std.sapma
U	954,52	67,60	33,15	9,26	626,64	441,07	9,26	954,52	254,34	386,35
Th	158,90	9,10	26,70	19,00	160,20	48,80	9,10	160,20	37,75	70,25

**Tablo 2.** Bitki örneklerindeki uranyum ve toryum konsantrasyonu ve bazı istatistiksel değerler.  
\*: %, diğer değerler ppm.

Element	BT1	BT2	BT3	BT4	BT5	BT6	Minimum	Maksimum	Ortanca	Std. sapma
U	50,00	9,10	13,70	3,50	3,10	2,30	2,30	50,00	6,30	18,36
Th	23,70	2,40	4,30	1,30	2,70	1,00	1,00	23,70	2,55	8,80

### *Astragalus angustifolius* (keçi keveni)

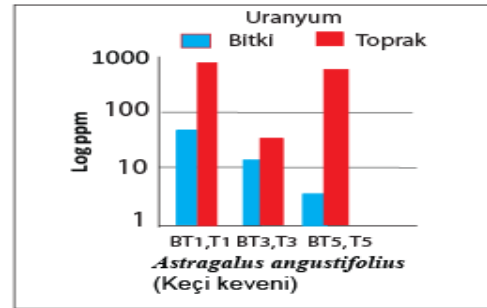
*Astragalus angustifolius*, Türkçe adı keçi keveni, Nisan-Ağustos döneminde çiçek açıp, 800-2900 m<sup>2</sup>ler arasında yetişmektedir. Bitkinin yetişme alanı genellikle bozkırlardır. Çok yıllık bir bitki olup çalı tipindedir (Şekil 3).



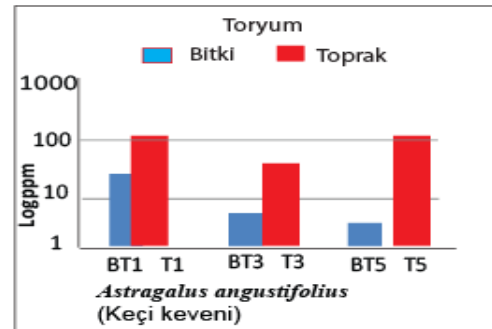
**Şekil 3.** Keçi keveni (*Astragalus angustifolius*)'a ait görüntü.

*Astragalus angustifolius*'un üzerinde yetiştiği topraklardan alınan 3 adet örneğin (T1, T3 ve T5) ortalama uranyum içeriği 538,10 ppm'dir. Uranyum *Astragalus angustifolius* bitkisinde ise, ortalama 22,26 ppm'dir (Tablo 1, Tablo 2). Bu değerler, *Astragalus angustifolius*'un, üzerinde yetiştiği toprağın uranyum içeriğinin yüksek olmasına karşın, bitki bünyesine çok az oranda uranyum alındığını göstermektedir (Şekil 4). *Astragalus angustifolius* bitkisinde, ortalama toryum konsantrasyonu 10,23 ppm'dir (Tablo 1-2).

Bu değerler de, *Astragalus angustifolius*'un, üzerinde yetiştiği toprağın toryum içeriğinin fazla olmasına karşın bitkinin bünyesine çok az oranda toryum aldığını göstermektedir (Şekil 5). *Astragalus angustifolius*'un topraklarından alınan 3 adet örneğin (T1, T3 ve T5) ortalama toryum içeriği 115,27ppm'dir. Tablo 3'de verilen *Astragalus angustifolius*'un U ve Th Cp/Cs oranları, 0,01-0,1 aralığına bir değer olarak hesaplanmıştır, bu nedenle söz konusu bitki, düşük derecede akümülatör bitkiler sınıfına dahil edilebilirler.



**Şekil 4.** *Astragalus angustifolius*'un toprak ve kökündeki uranyum dağılımı.



**Şekil 5.** *Astragalus angustifolius*'un toprak ve kökündeki toryum dağılımı.

**Tablo 3.** U, Th, elementlerine ait Cp/Cs oranları.

Cp= Bitkideki element konsantrasyon,  
Cs= Topraktaki element konsantrasyon.

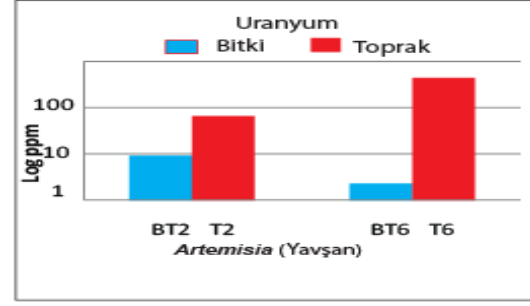
	Toprak ortalama (ppm)	Bitki ortalama (ppm)	Cp/Cs
U	538,10	22,267	0,041
Th	115,27	10,233	0,089

**Artemisia (Yavşan)**

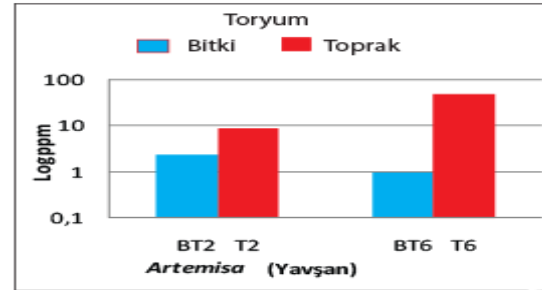
Yavşan (*Artemisia*), papatyagiller (*Asteraceae*) familyasından 200-400 arasında türü bulunan, genellikle kuru ya da yarı kurak habitatlarda yetişen, sert otsu ya da çalimsı bir bitki türüdür. Çoğunun yaprağı beyaz tüylerle kaplıdır. Türlerinin çoğundan elde edilen uçucu yağlarda güçlü aromalar ile terpenoid ve seskiterpen lakton bileşiklerinden kaynaklanan acı tatları vardır. Memelilerce yenmez, ancak bazı Lepidoptera turtıllarının besin bitkisidir. Çiçekleri ufaktır ve rüzgârla tozlaşır (Şekil 6).

**Şekil 6.** Çalışma alanında bulunan Yavşan, Artemise ait görüntü.

Yavşan (*Artemisia*)'nın topraklarının ortalama uranyum içeriği 254,34 ppm' dir (Tablo 4). Yavşan (*Artemisia*) bitkisindeki ortalama uranyum içeriği 5,70 ppm' dir (Tablo 1; Tablo 2). Bu değer, Yavşan (*Artemisia*)'nın üzerinde yetiştiği toprağın uranyum içeriğinin fazla olmasına karşın, bitki çok az oranda bünyesine uranyum almaktadır (Şekil 7). Yavşan (*Artemisia*)'nın uranyuma ait biyoakümülyasyon faktör değerleri 0,022 gibi oldukça düşük bir değerdedir (Tablo 4).

**Şekil 7.** *Artemisia*'nın toprak ve kökündeki uranyum dağılımı.

Yavşan (*Artemisia*) 'nın üzerinde yetiştiği toprağın toryum içeriği 28,95 ppm' dir. Yavşan (*Artemisia*) bitkisindeki ortalama toryum değeri 1,70 ppm' dir (Tablo 1; Tablo 2). Yavşan (*Artemisia*), topraklarındaki toryum içeriğinin fazla olmasına, karşın bitki çok az oranda bünyesine toryum almaktadır (Şekil 8). Yavşan (*Artemisia*)'nın toryuma ait biyoakümülyasyon faktör değerleri 0,058 gibi oldukça düşük bir değerdir (Tablo 4). Çalışma alanından toplanmış Tablo 4'de görülen elementler Cp/Cs oranları bakımından (0,01-0,1 aralığında yer aldığı için) düşük derecede akümülyatör bitkiler sınıfına girmektedirler.

**Şekil 8.** *Artemisia*'nın toprak ve kökündeki toryumun dağılımı.**Tablo 4.** U, Th elementlerine ait Cp/Cs oranları. Cp= Bitkideki element konsantrasyonu, Cs= Topraktaki element konsantrasyonu.

	Toprak ortalama (ppm)	Bitki ortalama (ppm)	Cp/Cs
U	254,34	5,70	0,022411
Th	28,95	1,70	0,058722

***Juncus effusus* (Saz otu)**

Saz otu ya da hasır otu (*Juncus effusus*), çok yıllık otsu ve çiçekli bitki türüdür. Kozmopolit dağılıma sahiptir. Antarktika hariç olmak üzere tüm kıtalarda ve okyanusal adalarda bulunur. İnceleme alanında, yaklaşık 1,5 m kadar uzunlukta ve geniş yığınlar halinde bulunmaktadır. Dereler ve hendekler boyunca su kenarlarında izlenmiştir. Genellikle humusça zengin alanlarda bulunmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Saz otu ya da hasır otu (*Juncus effusus*)'na ait görüntü.

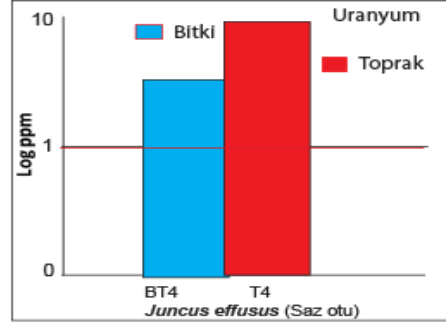
*Juncus effusus*'un üzerinde yetiştiği opraktan alınan 1 adet örneğin (T4) uranyum içeriği 9,26 ppm'dir. Uranyum *Juncus effusus* bitkisinde ise (BT4), ortalama 3,5 ppm'dir (Tablo 1; Tablo 2). Buradan da görülmektedir ki *Juncus effusus*'un, Cp/Cs oranı 0,378'tir (Tablo 5). Bu oran *Juncus effusus*'un uranyum açısından ortaç derecede akümülatör bitkiler sınıfında yer alabilir, özellikle olduğunu düşündürmektedir (Şekil 10).

*Juncus effusus*'un topraklarından alınan 1 adet örneğin (T4) toryum içeriği 19,00 ppm'dir. Toryum, *Juncus effusus* bitkisinde ise (BT4), ortalama 1,3 ppm'dir (Tablo 1-2). Buradan da görülmektedir ki *Juncus effusus*'un, Cp/Cs oranı 0,068'tir (Tablo 5). Bu oran, 0,01-0,1 aralığında yer aldığından dolayı, *Juncus effusus*'un toryum açısından düşük derecede akümülatör özelliği gösterdiğini söylemek mümkündür (Şekil 11; Tablo 5).

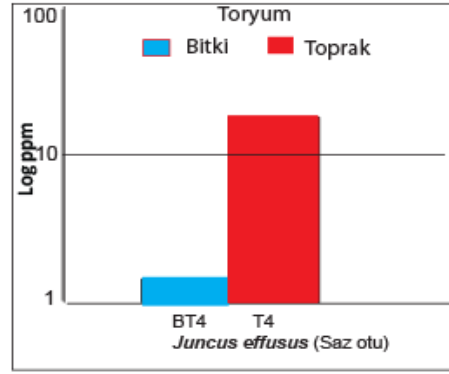
**Tablo 5.** U, Th elementlerine ait Cp/Cs oranları. Cp= Bitkideki element konsantrasyonu, Cs= Topraktaki element konsantrasyonu.

Toprak ortalama (ppm)	Bitki ortalama (ppm)	Cp/Cs
-----------------------	----------------------	-------

U	9,26	3,5	0,378
Th	19	1,3	0,068



Şekil 10. *Juncus effusus*'un toprak ve kökündeki uranyum dağılımı.



Şekil 11. *Juncus effusus*'un toprak ve kökündeki toryum dağılımı.

## 5. Sonuçlar

1. Keçi Keveni *Astragalus angustifolius*'un topraklarından alınan 3 adet örneğin (T1, T3 ve T5) ortalama toryum içeriği 115,27 ppm'dir. Toryum, *Astragalus angustifolius* bitkisinde ise, ortalama 10,23 ppm'dir. Buradan da görülmektedir ki *Astragalus angustifolius*'un, topraklarındaki toryum fazla olmasına karşın bitki çok az oranda bünyesine toryum almaktadır.

2. Keçi Keveni *Astragalus angustifolius*'un topraklarından alınan 3 adet örneğin (T1, T3 ve T5) ortalama uranyum içeriği 538,10 ppm'dir. Uranyum *Astragalus angustifolius* bitkisinde ise, ortalama 22,26 ppm'dir. Keçi Keveni *Astragalus angustifolius*'un U, ve Th elementleri bakımından 0,01-0,1 aralığına düştüklerinden düşük derecede akümülatör özelliğine sahip bitkiler sınıfına dahildirler.

3. Yavşan (*Artemisia*)'nın topraklarının ortalama uranyum içeriği 254,34 ppm'dir (Yavşan

(*Artemisia*) bitkisindeki ortalama uranyum değeri 5,70 ppm' dir. Yavşan (*Artemisia*)'nın uranyuma ait biyoakümülyasyon faktör değeri 0,022 gibi oldukça düşük bir değerdedir. Yavşan (*Artemisia*)'nın toryuma ait biyoakümülyasyon faktör değeri 0,058 gibi oldukça düşük bir değerdedir.

4. Saz otu *Juncus effusus*'un Uranyum, bakımından BAC değeri 0,1-1 aralığına düşüklerinden ortaç derecede akümülyatör özelliğine sahip bitkiler sınıfına dahildirler. *Juncus effusus*'un, toryum için Cp/Cs oranı 0,068'tir, Bu oran *Juncus effusus*'u toryum açısından düşük derecede akümülyatör bitkiler sınıfına sokmaktadır.

## 6. Teşekkür

Bu ęalıřma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından MF. 14.05 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

## 7. Kaynaklar

1. USEPA (Environmental Protection Agency), (2000). Introduction to Phytoremediation, EPA/600/R-99/107, National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio 45268,USA,

2. Alçiçek Ö. N., Kalender, L.(2015). Mineralogy, geochemistry and radioactivity of the uranium mineralization and determination of lithological characterization in the Dadağı Town, entral Anatolian, Turkey, 15 th. *SGEM International Conference*, Bulgaristan, **3**, (1), 461-468.

3. Mayers, W.B. 1961. Hamilton, W., Deformation accompanying the HeligenLake. Montana. August 17, 1959. in short papers in the geologic and hydrologic sciences, *US Geol. Survey*, 165-170.

4. Makarow, M.S. (1965). Biochemical prospecting for uranium deposits in an area of the USSR. (in Russian) *Vopr. Rud. Geofiz. Minist. Geol.Okhr. Nedr*, **5**, 33-39.

5. Kovalevskii, A.L.1979. Elaboration and application of non-barrier biogeochemical prospecting for ores in Siberia, USSR. *Jji: Methods of Geochemical Prospecting, Geol. Surv.*, Prague, Czechoslovakia, 142-145.

6. Kovalevskii, A.L. (1980). Biogeochemical methods of classification by their exploration informativity. *Abstracts Eighth Intern. Geochem. Expl. Symp., Hannover*, pp.136.

7. Batterson, M.J., Taylor, D.M. (2005). Till geochemistry of the Litical Lake area, Central Labrador. *Department of Natural Resources, Geological Survey*, Open File 13L/0121.

8. Ananad, R.R, Cornelius, M., Phang, C. (2009). Use of vegetation and soil in mineral exploration in areas of transported overburden, Yilgarn Craton, Western Australia: a contribution towards understanding metals transportation processes. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, **7**, 267-288.

9. Aspandia, M.F., Anand, R.R., Gray, D.J. (2008). Geochemical dispersion mechanisms through transported cover: implication for mineral exploration in Australia. *Open File Report 246*. CRM LEME, Bentley, WA 6102.

10. USEPA, Protection Agency, (2010). Solid waste and emergency response glossary-Bioaccumulation: U.S. Environmental Protection Agency, June 29.

11. Baker, A.J.M., (1981). Accumulator and excluders strategies in the response of plants to heavy metals, *Journal of Plant Nutrition*, **3**(1-4), 643-654.

12. Baker A.J.M., Brooks R.R. (1989).Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 81-126.

13. Ma., L.Q, Komar., K.M., Tu, C., Zhang, W., Cai, Y., Kennelly, E.D. (2001). A fern that hyperaccumulates arsenic: a hardy versatile, fast growing plant helps to remove arsenic from contaminated soils. *Nature*, 409-579.

14. Huang, J.W., Chen, J., Berti, W.R., Cunn,ngnam S.D. (1997). Transformation of TNT by aquatic plants and plant tissue cultures. *Environ.Sci.Tech.* **31**, 266-271.

15. Arnot, J.A., Gobas, F.A.P.C. (2006). A review of bioconcentration factor, (BCF) and bioaccumulation factor, (BAF) assessments for organic, chemicals in aquatic organisms, *Environ. Rev.* **14**, 257-296.

16. Zayed, A., Gowthman, S., Terry, N. (1998). Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants". I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality*, **27**, 715-721.