



## **Nadir Toprak Elementi (NTE) Uranyumun Çevre Üzerine Olan Etkileri** *Environmental Effects of Rare Earth Element (REE) Uranium*

SERPİL SAVCI<sup>1</sup> ORCID 0000-0003-2015-2223

GÜLLÜ KIRAT<sup>2</sup> ORCID 0000-0002-1167-0574

<sup>1</sup> *Yozgat Bozok üniversitesi, Şehir ve Bölge planlama bölümü, Yozgat/Türkiye*

<sup>2</sup> *Yozgat Bozok üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği bölümü, Yozgat/Türkiye*

Geliş (received): 09/09/2022

Kabul (Accepted): 20/12/2022

### **ÖZ**

Nadir toprak elementleri (NTE) veya lantanitler, periyodik cetvelde atom numaraları 57'den 71'e kadar olan 15 elementi ifade etmektedir. Havacılık ve otomobil sektöründen, cep telefonlarına kadar pek çok alanda kullanılan NTE'leri çevreye kolayca yayılmakta ve radyoaktif özelliklerinden dolayı ekosistem için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Uranyum endüstriyel uygulamalarda (petrol, kataliz vb.) özel gereksinimler için kullanılan bir elementtir. İnsan sağlığı açısından düşünüldüğünde ise U ranyum kemiklerde, karaciğer ve akciğerde kansere sebep olabilmektedir. Bu çalışmada önemli bir NTE'i olan U ranyumun çevresel etkileri ve insan sağlığı üzerine olan riskleri değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Uranyum, NTE, çevre kirliliği, insan sağlığı.

---

GÜLLÜ KIRAT, gullu.kirat@yobu.edu.tr

### **ABSTRACT**

*Rare earth elements (REE) or lanthanides refer to 15 elements with atomic numbers from 57 to 71 in the periodic table. REEs, which are used in many areas from the aviation and automobile industry to mobile phones, spread easily to the environment and pose a great threat to the ecosystem due to their radioactive properties. Uranium is an element used for special requirements in industrial applications (petroleum, catalysis, etc.). When considered in terms of human health, uranium can cause cancer in bones, liver and lung. In this study, the environmental effects of U ranium, which is an important REE, and its risks on human health were evaluated.*

**Key Words:** *Uranium, REE, environmental pollution, human health.*

## 1. GİRİŞ

Yüzyıllar boyunca su kirliliği küresel anlamda bir ilgi alanı olmuştur. Kimyasallar, ağır metaller ve radyoaktif maddeler sucul çevrede bulunan kirleticiler arasındadır. Uranyum ise zehirliliği ve hareketliliğinden dolayı yeraltı sularında ve akiferlerde en fazla ilgi çeken radyoaktif elementtir.

Uranyum doğal olarak oluşan bir radyoaktif elementtir ve minerallerin birçoğunda bulunabilir (Noli vd., 2022). Ayrıca antropojenik aktiviteler örneğin madencilik faaliyetleri, petrole dayalı enerji üretimi, fosfatlı gübrelerin kullanımı akiferlerdeki uranyum kontaminasyonuna katkıda bulunmaktadır (Wang vd., 2022; Xiao vd., 2022; Chen vd., 2021).

Maden atıklarından gelen olumsuz etkiler küresel anlamda sosyo ekonomik dezavantajlara sahiptir ve literatürde yeraltı ve içme suyu kontaminasyonu, çevresel kalite analizleri ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Babayan vd., 2019; Pal ve Mandal, 2019; Aires vd., 2018; Flett vd., 2021).

Uranyum, Avrupa'da nükleer çağdan önceki yüzyılda ortaya çıkmıştır. Endüstriyel anlamda madencilik ise nükleer silahlar için uranyuma ihtiyaç duyulmasıyla birlikte II. Dünya savaşından sonra ortaya çıkmıştır. 2013'te küresel anlamda Uranyum üretimi Kazakistan, Kanada ve Avustralya olmak üzere sadece üç ülkede yaygınlaşmıştır (Winde vd., 2017).

Nükleer enerjinin kullanımı, uranyum cevherinin yeniden üretimi ve taşınımı gibi çok çeşitli endüstriyel faaliyetler içermektedir. Bu faaliyetlerin her biri özel tehlike potansiyeline sahiptir. Uranyum madeninin tozu, taşıma yollarında çevresel kirlilik oluşturmaktadır. Bu radyasyon riski nükleer tesislerde çalışan işçileri ve bölgede yaşayan insanları olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Zoriy vd., 2010; Guilmette vd., 2009).

Uranyum hem radyo toksik hem de kimyasal toksik olarak karakterize edilmektedir. Nükleer dönüşüm işlemleri süresince, radyonükleidler gama ışını yaymakta, bu da dokularda yoğun hasara sebep olabilmektedir (Arogunjo vd., 2009).

Uranyum güç tesislerinde nükleer yakıt olarak yoğun uygulamalara sahiptir. Uranyumun ana kaynağı ise toprak, kayalar, kum ve sudur (Jain vd., 2006). Nükleer güç uranyumdan çıkartılmaktadır. Elektrik üretimi için yakıt olmasından başka önemli bir ticari kullanım alanı bulunmamaktadır (Nilchi vd., 2013).

Doğada üç tane uranyum izotopu (U-234, U-235, U-238), olmasına rağmen, toplam doğal uranyumun yaklaşık % 99.3'ü uranyum-238'dir.

Madencilik faaliyeti sonucu oluşan atıklar küresel anlamda önemli bir kirlilik kaynağı oluşturmaktadır. Uranyum ise önemli bir nadir toprak elementidir ve uranyum madenciliğinden kaynaklanan kirlilik havayı, toprağı ve suyu kirletmekte, canlı hayatına olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu çalışmada uranyumun çevre ve insan sağlığı üzerine olan riskleri anlatılmıştır.

## **2. URANYUMUN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ**

Uranyumun insan sağlığı açısından zararlı olduğu bilinmektedir. Çünkü doğal uranyumun özel radyo aktifliği oldukça düşük olmasına rağmen, kimyasal toksisitesi yüksektir. Uranyuma kronik maruziyet çoğunlukla besinlerin sindirimi ve sular yoluyla olmaktadır. Bu durum böbrek sorunları ve kemiklerde toksik maddelerin birikimi ile sonuçlanmaktadır (Brugge ve Buchner, 2011 ; Shin vd., 2016).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ilk defa 1998 yılında içme sularında uranyumdan söz etmiş ve içme sularındaki toplam uranyum miktarının 2 µg/L olarak belirlemiştir (WHO, 2017 ). 2003'te bu değer 15 µg/L'ye yükseltilmiştir (Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Kore Çevre Bakanlığı içme sularında izin verilen maksimum uranyum seviyenin 30 µg/L olarak belirlemiştir (WHO, 2011; EPA, 2009; ME, 2015). Bu değer aynı zamanda USA ve Avrupa içme suyu standartları için de geçerlidir (EU, 1998). EPA içme sularında uranyum için maksimum kontaminant seviyesini 0 (sıfır) olarak belirlemiştir (EPA, 2021).

İnsanların içme suları yoluyla uranyumu tükettikleri bilinmektedir. Uranyum sindirimden sonra kana geçmekte ve ilk olarak kırmızı kan hücrelerine ulaşmaktadır. Uranyum, alfa

partiküllerini yayan radyonüklitlerin 1. Grup karsinojen olarak sınıflandırılmaktadır (Karpas, 2014).

İnsanlarda uranyum alımı, akut böbrek yetmezliği ve karaciğer fonksiyon bozukluğu gibi komplikasyonlara yol açabilmektedir. Kirlenmiş bölgelerdeki radyolojik etkiler kanser ve lösemi riskini artırmaktadır. Uranyum kirlenme bölgelerinin yakınında yaşayan vatandaşlar, aerosollere, yiyecek ve su yoluyla uranyuma maruz kalmaktadır. Bu nedenle özellikle fabrika çalışanlarında uzun süreli sağlık sorunları yaşanmaktadır (Duggal vd., 2017).

Uranyuma maruz kalan farklı bitki türlerinde de büyüme hızı ve verimi etkileyen fitotoksosite gözlenmektedir. Radyasyonlar bitki hücrelerini yok ederek morfolojisinde değişikliklere neden olur. Tatlı su omurgasızlarında da gıda yoluyla giren uranyum nedeniyle olumsuz etkiler gözlenmektedir. Daha ileri testler, bu türlerin hem yiyecek hem de su yoluyla uranyuma kronik olarak maruz kaldıklarını, büyüme hızlarını ve fizyolojik süreçlerini azalttığını ortaya koymuştur (Bergmann vd., 2018).

Uranyum, endüstriyel olarak gerekli olan ağır metallere biridir (Vigier vd., 2018). Büyük ölçüde nükleer santrallerde yakıt olarak kullanılmaktadır ve dünyadaki elektriğin %14'üne katkıda bulunmaktadır. Tıp alanında, uranyum izotopları kanser hastalarında kanser hücrelerini tespit etmek ve öldürmek için radyodiagnoz sağlamaktadır. Uranyum izotoplarının diğer uygulamaları gıda endüstrileri, havacılık sektörü, uzay sondaları için yakıtta vb. şekilde sıralanabilmektedir.

Zamora vd. (2009), içme suyu yoluyla daha yüksek uranyum alımı seviyelerinde, kimyasal toksisitenin radyo toksisitesinden daha büyük bir sağlık sorunu olacağını ortaya koymuştur. Bazen daha yüksek uranyum konsantrasyonlarını yörede onu tüketen insanların sağlık sorunlarıyla ilişkilendirmek zorlaşmaktadır. Örneğin, Güney Finlandiya'da açılan kuyulardan kaynaklanan içme suyunda çok yüksek konsantrasyonlarda doğal uranyum bulunmasına rağmen, maruz kalan nüfus arasında bu konuyu daha da karmaşık hale getiren net klinik semptomlar gözlenmemiştir. Bununla birlikte, birkaç çalışma, > 200 ng/ml içeren uzun süreli yeraltı suyu alımının, kimyasal toksisitenin etkilerinin yanı sıra radyasyona iç maruziyeti indükleyebileceğini göstermiştir. Uranyum insan vücuduna aşağıdaki yollarla girebilir;

i) Gaz halindeki ve aerosol uranyum solunması yoluyla,

- ii) İçme suyu, gıda alımı
- iii) Deri teması ve sağlık risklerine neden olabilir.

Özellikle uranyum madenlerinde çalışan insanlar, uranyum kirliliğinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Yüksek mesleki uranyum maruziyetinde böbrekler, karaciğer ve akciğerler üzerinde kimyasal toksisite meydana gelebilir ve böbrek yetmezliği dâhil olmak üzere akut sağlık sorunlarına meydana gelebilir. Ayrıca üreme ve solunum sistemleri de uranyum maruziyetinden etkilenir (ATSDR, 2013). Uranyum maruziyetinin yanı sıra maden işçileri aynı zamanda radyoaktif bir madde olan radon gazına da maruz kalmaktadır. Bazı bölgelerde, özel olarak açılmış kuyulardaki maksimum uranyum konsantrasyonları, DSÖ sınırınının 200 katından fazlasına ulaşabilir (Godoy ve diğerleri , 2019). Maden topluluktan yukarıda bulunuyorsa, uranyum kontaminasyonu sorunu çok şiddetli olabilir. Uranyum aynı zamanda bir  $\alpha$ -parçacık yayıcıdır ve uranyum bozunma zinciri  $^{238}\text{U}$  ile başlarken radon da dahil olmak üzere radyoaktif bozunma ürünlerinin çoğu  $^{206}\text{Pb}$ 'de doruğa ulaşır. Alfa parçacıkları hacimlidir (2 proton ve 2 nötron) ve insan derisine nüfuz edemezler, ancak  $\alpha$ -yayıncıları içeren parçacık halindeki maddeler solunduğunda veya yutulduğunda, radyasyona maruz kalmaya neden olur. Örneğin, Kanada'daki akciğer kanseri vakalarının %20'sinden radon gazı sorumludur (Balaram vd., 2022 ).

### **3. URANYUMUN ÇEVRE ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ**

Uranyum ve uranyum içerikli malzemeler, kimyasal ve radyolojik özellikleri nedeniyle çevre ve canlı türleri için büyük bir tehlike olarak kabul edilmektedir. Ağır metallere kaynaklanan kirlilik, su kütleleri ve dolayısıyla suda yaşayan canlılar için tehlike oluşturmaktadır. Ağır metal kirleticiler ile birlikte bulunan uranyumun çevreye verdiği zarar önemli olarak kabul edilmiştir. Uranyumun elektrik üretiminde kullanılması kaçınılmaz olduğundan, buna bağlı atıkların oluşumu ve çevrede oluşturduğu risklerin sürekli ortaya çıkması beklenmektedir (Akash vd., 2022).

Uranyum en temel ağır metallere biri olmasına ve birçok önemli uygulamaya hizmet etmesine rağmen canlılar için de tehlike oluşturmaktadır. Uranyumun başlıca olumsuz etkileri kimyasal ve radyolojik özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Liu vd., 2017).

Uranyum doğal olarak oluşan bir elementtir. Zayıf radyoaktif özelliğe sahiptir ve birçok mineralde bulunur. Bazı uranyum bileşikleri katalizör ve boya pigmentleri olarak kullanılsa da, uranyum esas olarak nükleer santrallerde yakıt olarak kullanılır (Balaram vd., 2022).

Yerkabuğundaki ortalama konsantrasyonu 2.8 µg/g'dir. Esas olarak asidik magmatik kayalarda yoğunlaşmıştır, uraninit, monazit ve zirkon gibi yardımcı minerallere dâhil edilmiştir. Uranyum, magmatik, metamorfik veya tortul kayalarda, topraklarda, kara ve okyanus suları dahil sularda çok küçük miktarlarda bulunabilir. Bir dizi yaygın uranyum oksit ve oksihidroksit benzeri uraninit (veya ziftblend) oluşturmak üzere kolayca oksitlenebilir. Tortul kayalardaki uranyum içeriği, diğer şeyler veya ortalama kabuk ile karşılaştırıldığında çok düşük olmasına rağmen, siyah şeyler, diğer redoks duyarlı ve/veya sülfid oluşturan metaller ve metaloidler ile birlikte uranyum açısından genellikle oldukça (400 µg/g'a kadar) zengindir. Bir bölgenin jeolojisi, uranyum madenciliği, termik santrallerden kömür külü bertarafı ve tarımsal uygulamalar sırasında fosfatlı gübrelerin kullanımı gibi antropojenik faaliyetlerle birlikte yeraltı suyundaki konsantrasyonunu anlamada en önemli faktördür. Uranyum, içerdiği kayaların ve minerallerin parçalanması (ayrışması) nedeniyle topraklarda ve sularda bulunabilir. Toprağa ve suya karıştıktan sonra bitkiler tarafından alınıp insanlar veya otlayan hayvanlar tarafından tüketilebilir veya suda çözünerek başka herhangi bir organizma tarafından alınabilir. Keşif amaçlı sondaj, kesme, patlatma, nakliye, stoklama ve işleme/liç gibi madencilik çıkarma faaliyetleri, yerel toprağı, bitki örtüsünü ve vahşi yaşamı etkileyebilecek şekilde havaya ve çevredeki su kütlelerine uranyum ve diğer zehirli metaller ve kimyasallar içeren toz salabilir. Yeraltı suyundaki ana uranyum kaynağı, uranyumun farklı kayalardan çıkarılmasına neden olan su-kaya etkileşimleri, çıkarılan uranyumun sudaki çözünürlüğünü artıran oksitleyici koşullar; ve çıkarılan uranyumun çözünürlüğünü daha da artırabilen karbonat gibi yeraltı suyundaki diğer kimyasallarla etkileşimi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Endüstriyel, tarımsal ve askeri faaliyetler, çevredeki su kütlelerinde daha yüksek uranyum konsantrasyonlarına katkıda bulunacaktır. Yeraltı suyunun aşırı kullanımı da daha yüksek uranyum konsantrasyonuna yol açabilir. Nükleer yakıt üretimi, işlenmesi ve bertarafı gibi faaliyetleri gerçekleştiren bir nükleer tesiste, bir miktar uranyum açığa çıkabilir. Çıkan bu uranyum çevresel veya mesleki maruziyet risklerine neden olabilir. Üç büyük NATO ülkesi olan US, Büyük Britanya ve Fransa askeri alanlarda kullanılmak üzere uranyuma sahiptirler.

Uranyum düşman zırhlı araçlarına nüfuz etmesine yardımcı olan yüksek yoğunluğu nedeniyle tank zırhı ve bazı mermiler için kullanılmaktadır. Bu cephanelikler son Körfez Savaşında, Bosna ve Kosova'da da kullanılmıştır (Giere vd., 2012).

Fosfat kaya madenciliği ve işlenmesi, toksik metaller ve uranyum gibi radyoaktif elementler içeren endüstriyel atık su deşarjları nedeniyle su kalitesini etkilemektedir. Fosfat kayalarındaki ortalama uranyum konsantrasyonu  $\sim 75 \mu\text{g/g}$ 'dir. Bu oran madenlerin atık su deşarjında önemli miktarda uranyum konsantrasyonuna neden olabilir. Ayrıca, büyük miktarlarda tozun salınması, madencilik alanı ve çevresinde zehirli hava kirliliği sorunları da yaratmaktadır. Yüksek konsantrasyonlarda florür ve radon gazı emisyonları da nihayetinde insan sağlığını etkileyen ciddi problemlerdir (Reta vd., 2018).

Yeraltı sularındaki ana uranyum kaynaklarından biri olan gübrelerin yaygın olarak uygulanması nedeniyle tarım topraklarına önemli miktarda uranyum girmektedir. Uranyum, farklı türdeki kayalardan, minerallerden, uranyum cevher yataklarından ve topraklardan sızma, değirmen atıklarından salınım, nükleer endüstriden kaynaklanan emisyonlar, kömürün yanması ve diğer yakıtların bir sonucu olarak çevrede mevcuttur. Uranyum içeren fosfatlı gübrelerin kullanımı da uranyumun çevreye girişinin diğer bir kaynağını oluşturmaktadır. Kadmiyum, kurşun ve civa gibi uranyum da bir nefrotoksin olarak tanımlanmıştır (Goodman, 1985 ). Ayrıca uranyum, arsenik ve kromla birlikte, doğal olarak oluşan ilk üç zararlı yeraltı suyu kirleticisi arasındadır. Toksik ağır metal olmasının yanı sıra radyoaktif bir elementtir ve yüksek miktarlarda tüketildiğinde böbrek yetmezliğinden kemik büyümesinin azalmasına, DNA'nın zarar görmesine kadar birçok olumsuz sağlık etkisine neden olabilir. Ancak uranyumun insan sağlığına yönelik tehdidi, radyolojik özelliklerinden çok kimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Uranyum toprakta, yüzey ve yeraltı sularında ve havada doğal olarak bulunduğundan, mesleki olarak maruz kalmayan kişiler için birincil maruziyet kaynakları, özellikle kök sebzeler ve içme suyudur. İçilebilir suyun doğrudan jeojenik olarak etkilenen yeraltı su kaynaklarından veya antropojenik faaliyetlerle kirlenmiş su kaynaklarından elde edildiği durumlarda uranyum maruziyeti artabilir.

#### 4. SONUÇ

Endüstriyel alanda kullanılan uranyum, oldukça tehlikeli bir NTE'dir. Kimyasal gübre kullanımı ve endüstriyel atıkların direk deşarjı ile alıcı ortamlara girmekte ve çevreye yayılmaktadır. Böylece sucul bitkiler ve hayvanlar başta olmak üzere insan üzerinde de olumsuz etkileri bulunmaktadır. Uranyumun kaynağında bertaraf edilip daha sonra doğaya bırakılması gerekmektedir.

Atık sulardan uranyumun arıtılmasında kullanılan çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Adsorpsiyon, bu yöntemler arasında en ekonomik olanlarından birisidir. Uranyum atıklarının bertarafı ve yerleşim yerlerinin madencilik faaliyetlerinin yapıldığı bölgelerden uzağa taşınması önerilmektedir.

#### KAYNAKLAR

Aires, U.R.V., Santos, B.S.M., Coelho, C.D., da Silva, D.D., Calijuri, M.D., 2018. Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. *Land Use Pol.* 70: 63–70.

ATSDR , 2013. Toxicological Profile for Uranium. ATSDR Report. U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology and Human Health Sciences. Environmental Toxicology Branch, Atlanta, USA .

Akash, S., Sivaprakash, B., Vadivel Raja, V. C., Rajamohan, N., Muthusamy, G., 2022. Remediation techniques for uranium removal from polluted environment – Review on methods, mechanism and toxicology, *Environmental Pollution* 302: 119068.

Arogunjo, A. M., Höllriegl V., Giussani, A., Leopold, K., Gerstmann, U., Veronese I., Oeh, U., 2009 Uranium and thorium in soils, mineral sands, water and food samples in a tin mining area in Nigeria with elevated activity, *Journal of Environmental Radioactivity* 100: 232–240.



- Babayan, G., Sakoyan, A., Sahakyan, G., 2019. Drinking water quality and health risk analysis in the mining impact zone, Armenia. *Sustainable Water Resources Management* 5: 1877–1886.
- Bergmann, M., Sobral, O., Pratas, J., Graça, M.A., 2018. Uranium toxicity to aquatic invertebrates: a laboratory assay. *Environ. Pollut.* 239: 359–366.
- Chen, L., Liu, J., Zhang, W., Zhou, J., Luo, D., Li, Z., 2021. Uranium(U) source, speciation, uptake, toxicity and bioremediation strategies in soil-plant system: a review. *J. Hazard. Mater.* 413, 125319.
- Duggal, V., Rani, A., Mehra, R., Saini, K., Bajwa, B.S., 2017. Assessment of age-dependent radiation dose and toxicity risk due to intake of uranium through the ingestion of groundwater from Northern Rajasthan, India. *Toxicol. Environ. Chem.* 99, 3:516–524.
- European Commission (EU), 1998. The Drinking Water Directive 98/83/EC.
- Flett, L., Claire L. McLeod, Jessica L. McCarty, Barry J. Shaulis, Justin J. Fain, Mark P.S. Krekeler, 2021. Monitoring uranium mine pollution on Native American lands: Insights from tree bark particulate matter on the Spokane Reservation, Washington, USA. *Environmental Research* 194: 110619.
- Giere, R., Kaltenmeier, R., Pourcelot, L., 2012. Uranium oxide and other airborne particles deposited on cypress leaves close to a nuclear facility. *J. Environ. Monit.* 14:1264–1274.
- Godoy, J.M., Ferreira, P.R., de Souza, E.M., da Silva, L.I., Bittencourt, I.C.S., Fraifeld, F., 2019. High uranium concentrations in the groundwater of the Rio de Janeiro State, Brazil, Mountainous Region. *J. Braz. Chem. Soc.* 30: (2).
- Guilmette, R.A., Miller, G., Parkhurst, M.A., 2009. Capstone depleted uranium aerosol biokinetics, concentrations and doses. *Health Physics* 96, 328-342.
- Jain, V. K., Pandya, R A, Pillai, S G., Shrivastav, P S, 2006. Simultaneous preconcentration of uranium(VI) and thorium(IV) from aqueous solutions using a chelating calix[4] arene anchored chloromethylated, *Talanta* 70: 257–266.

- Karpas, Z., 2014. Analytical Chemistry of Uranium. Environmental, Forensic, Nuclear and Toxicological Applications. CRC Press, Taylor & Francis Group, 6000, Broken Sound Parkway NW ISBN 13—978-1-4822-2060-2.
- Liu, Y., Becker, B., Burdine, B., Sigmon, G.E., Burns, P.C., 2017. Photocatalytic decomposition of Rhodamine B on uranium-doped mesoporous titanium dioxide. RSC Adv. 7, 34: 21273–21280.
- ME, 2015. Rules on Drinking Water Quality and Inspection, Etc (In Korean). Ministry of Environment in Korea, Seoul.
- Nilchi, A., T. Shariati Dehaghan, S., Garmarodi, R., 2013. Kinetics, isotherm and thermodynamics for uranium and thorium ions adsorption from aqueous solutions by crystalline tin oxide nanoparticles, Desalination 321: 67–71.
- Noli, F., Argyro Dafnomili, Georgios Sarafidis, Catherine Dendrinou-Samara, Nikolaos Pliatsikas, Maria Kapnisti , 2022. Uranium and Thorium water decontamination via novel coated Cu-based nanoparticles; the role of chemistry and environmental implications, Science of the Total Environment 838:156050.
- Pal, S., Mandal, I., 2019. Impact of aggregate quarrying and crushing on socio-ecological components of Chottanagpur plateuar fringe area of India. Environmental Earth Sciences 78, 661.
- Reta, G. , Dong, X. , Li, Z. , Su, B. , Hu, X. , Bo, H. , Yu, D. , Wan, H. , Liu, J. , Li, Y. , Xu, G. , Wang, K. , Xu, S. , 2018. Environmental impact of phosphate mining and beneficiation: review. Int. J. Hydrol. 2, (4): 424–431.
- Shin, W., Jungsun Oh, Sungwook Choung, Byong-Wook Cho, Kwang-Sik Lee, Uk Yun, Nam-Chil Woo, Hyun Koo Kim, 2016. Distribution and potential health risk of groundwater uranium in Korea, Chemosphere 163:108-115.
- EPA 2021, (U.S. Environmental Protection Agency), Drinking Water Requirements for States

- and Public Water Systems: Drinking Water Regulations. United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington, DC.
- EPA, 2009. (US EPA) Environmental Protection Agency National Primary Drinking Water Regulations. Washington DC.
- Vigier, J.F., Freis, D., Pöml, P., Prieur, D., Lajarge, P., Gardeur, S., et al., 2018. Optimization of uranium-doped americium oxide synthesis for space application. *Inorg. Chem.* 57 (8): 4317–4327.
- Wang, Z., Zhang, L., Zhang, K., Lu, Y., Chen, J., Wang, S., Hu, B., Wang, X., 2022. Application of carbon dots and their composite materials for the detection and removal of radioactive ions: a review. *Chemosphere* 287, 132313.
- Winde, F., Brugge, D., Nidecker, A., Ruegg, U., 2017. Uranium from Africa-An overview on past and current mining activities: Re-appraising associated risks and chances in a global context, *Journal of African Earth Sciences* 129:759-778.
- WHO, 2011. *Guidelines for Drinking-water Quality*, fourth ed. (Geneva).
- Xiao, F., Li, H., Xie, P., Liu, J., Du, W., Li, L., Yang, S., Wu, Z., 2022. Colloidal templating of highly ordered porous amidoxime-functionalized hydrogel for intelligent treatment of uranium contaminated water. *Chem. Eng. J.* 431, 134141.
- Zamora, M.L.L., Zielinski, J.M., Moodie, G.B., Falcomer, R.A.F., Hunt, W.C., Capello, K., 2009. Uranium in drinking water: renal effects of long-term ingestion by an aboriginal community. *Arch. Environ. Occup. Health* 64 (4): 228–241.
- Zoriy, P., Ostapczuk, P., Dederichs, H., Höbig, J., Lennartz, R., Zoriy, M., 2010. Biomonitoring of environmental pollution by thorium and uranium in selected regions of the Republic of Kazakhstan, *Journal of Environmental Radioactivity* 101:414-420.