

NÜKLEER ENERJİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN DOĞAL JEOLOJİK KAYNAKLAR VE MADENCİLİK AÇISINDAN BAKIŞ

Sema Tetiker¹, Ahmet Değirmenci²

Özet

Bir nükleer reaktörde enerji üretebilmek için doğal jeolojik kaynaklarda (kaya, mineral) bulunan zenginleştirilmiş uranyum veya toryum gibi elementlere ihtiyaç duyulur. Uranyum, yaygın olarak nükleer santraller için yakıt olarak bilinen radyoaktif bir aktinid metalidir. Uraninit (pitchblende) bir uranyum oksit olup en önemli uranyum cevher mineralleridir. Dünya üzerinde uranyum minerallerinin kaynakları nispeten az olmakla birlikte, Afrika (Kongo), Kanada ve ABD (Colorado ve Utah) yataklarından çıkarılan uraninit, karnotit veya torit minerallerinden uranyum üretilmektedir. Uranyum madenciliği yerinde liç yöntemiyle dünya üretiminin %57'sinin sağlandığı veya cevherlerin geleneksel yer altı veya açık ocak madenciliği ile üretimin %43'ünün çıkarıldığı bilinir. Geleneksel madencilik sektöründe cevherler, cevher malzemesinin tek tane boyutunda öğütülerek ardından kimyasal liç yöntemiyle uranyumu kazanıp işlenmesiyle elde edilir. Öğütme işleminde günümüzde yaygın olarak uranyum pazarında U₃O₈ olarak satışı yapılan doğal uranyum "sarı pasta (Yellowcake)" ten oluşan kuru toz biçimli malzeme verir. Kanada, Kazakistan ve Avustralya ilk üç uranyum üreticisi olmakla beraber dünya üretiminin %68'ini oluşturur. Dünya üzerinde çıkarılan uranyumunun neredeyse tamamı nükleer santrallere güç sağlamak için kullanılmaktadır. Uranyum, yalnızca ulusal kalkınma için önemli bir stratejik kaynak değil, aynı zamanda önemli bir küresel enerji hammadde kaynağıdır. Her yıl doğal uranyumun yaklaşık %98'i nükleer enerji üretim piyasasına satılmakta ve 2020 yılında nükleer enerji piyasasının satış hacmi 64832 ton olarak gerçekleşmiştir. "Karbon ayak izi" hedefleri kapsamında, dünyanın her yerindeki ülkeler aktif olarak yeşil enerjiye geçiş ve yeni enerji kaynakları alternatifleri aramaktadır. Dolayısıyla nükleer enerjinin daha fazla kullanımına ihtiyaç duyulmakta ve yedek enerji kaynağı olarak kullanımını ön plana çekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, mineral, radyoaktif madde, sarı pasta, uranyum

NATURAL GEOLOGICAL RESOURCES USED IN NUCLEAR ENERGY PRODUCTION AND A VIEW FROM MINING PERSPECTIVE

Abstract

In order to produce energy in a nuclear reactor, elements such as enriched uranium or thorium found in natural geological resources (rock, mineral) are needed. Uranium is a radioactive actinide metal commonly known as fuel for nuclear power plants. Uraninite (pitchblende) is a uranium oxide and is the most important uranium ore mineral. Although the resources of uranium minerals in the world are relatively few, uranium is produced from uraninite, carnotite or taurite minerals extracted from deposits in Africa (Congo), Canada and the USA (Colorado and Utah). It is known that 57% of the world production is provided by the on-site leaching method of uranium mining, or 43% of the production is extracted by traditional underground or open pit mining of ores. In the traditional mining sector, ores are obtained by grinding the ore material into single grain size and then obtaining and processing uranium by chemical leaching method. During the grinding process, natural uranium, which is commonly sold as U₃O₈ in the uranium market today, yields a dry powder-shaped material consisting of "yellowcake". Canada, Kazakhstan and Australia are the top three uranium producers respectively, accounting for 68% of world production. Almost all of the uranium mined in the world is used to power nuclear power plants. Uranium is not only an important strategic resource for national development, but also an important global source of energy raw materials. Approximately 98% of natural uranium is sold to the nuclear energy production market every year, and the sales volume of the nuclear energy market was 64832 tons in 2020. Within the scope of "carbon footprint" targets, countries around the world are actively looking for green energy transitions and new energy source alternatives. Therefore, there is a need for more use of nuclear energy and its use as a backup energy source comes to the fore.

Key Words: Energy, mineral, radioactive material, uranium, yellow cake

¹Doç.Dr., Batman Üniversitesi, Madencilik ve Maden Çıkarma Teknolojisi Bölümü, sema.tetiker@batman.edu.tr,

<https://orcid.org/0000-0001-5158-7364>

²Öğretim Görevlisi, Batman Üniversitesi, Madencilik ve Maden Çıkarma Teknolojisi, ahmet.degirmenci@batman.edu.tr,

<https://orcid.org/0000-0003-1552-2461>

1. GİRİŞ

Bir nükleer reaktörde enerji üretebilmek için doğal jeolojik kaynaklarda (kaya, mineral) bulunan zenginleştirilmiş uranyum (U) veya toryum (Th) gibi elementlere ihtiyaç duyulur. Uranyum, yaygın olarak nükleer santraller için yakıt olarak bilinen radyoaktif bir aktinit metaldir. Uraninit (pitchblende) bir uranyum oksit olup en önemli uranyum cevher mineralleridir.

Nükleer enerjinin uzun vadeli kullanımının önemli bir önkoşulu, uranyumun üretildiği uranyum cevherinin elde edildiği doğal jeolojik kaynakları hakkındaki bilgilerdir. Uranyum, dünya çapında nükleer santrallerde yakıt olarak kullanıldığı için büyük talep gören doğal jeolojik bir kaynaktır. Dolayısıyla bu çalışmanın temel amacı uranyum jeolojisine, veri karakteristiklerine ve madencilik açısından genel bir bakış açısı sunmaktır.

2. DOĞAL JEOLJİK KAYNAKLAR

Uraninit/ziftblend: Uraninit, tipik olarak daha yüksek P-T metamorfik dereceli kayalarda (amfibolit dereceli ve daha yüksek, kontak-metamorfik), granit gibi magmatik kayalarda meydana gelen makrokristalin, az çok öz şekilli UO^{2+x} çeşidi için kullanılır ve pegmatit ve aynı zamanda damar ve damar benzeri tipteki yataklarda da bulunur.

Pitchblende, tipik olarak yeşilist fasiyesi metasedimanları ve az çok kumlu çökeltiler gibi düşük dereceli metamorfik ve metamorfik olmayan kayalarda meydana gelen mikro veya kriptokristalin, kolloform (kollomorf, botryoidal, küresel) özellikli UO^{2+x} çeşitleri için kullanılır ve damar ve damar benzeri tipteki uranyum yataklarının çoğunda tanımlanmıştır. Her iki çeşidin de aynı kristalografik sistem olan kübik sistemde kristalleştiği, ancak belirli ayırt edici fiziko-kimyasal özelliklere sahip olduğu anlaşılmaktadır (Janeczek ve Ewing, 1992; Ramdohr 1980).

Pitchblend terimi, 1565 yılında siyah uranyum oksit mineralleri için kullanılan ilk isimdir ve özellikle Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Uraninit, Amerikan literatüründe her türlü uranyum oksit için yaygın olarak kullanılan bir terimdir. Dünya çapında, her iki terim de birçok yazar tarafından değişken ve örtüşen bir şekilde uygulanmaktadır. Uraninit ve pitchblend arasında ayırım yapmak için çeşitli yer bilimcileri tarafından kullanılan kriterler bazen çelişkilidir ve kafa karışıklığına yol açabilir.

2.1. Uranyum

Uranyum gümüşü gri metalik zayıf radyoaktif bir kimyasal elementtir. Kimyasal sembolü U ve atom numarası 92'dir. Doğal uranyumdaki en yaygın izotoplar ^{238}U (%99,27) ve ^{235}U 'dur (%0,72). Doğal uranyumda bulunan tüm uranyum izotopları radyoaktiftir ve bölünebilir ve ^{235}U bölünebilirdir (nötron aracılı zincir reaksiyonunu destekleyecektir). Uranyum (U), toryum (Th) ve potasyumun (40 K) bir radyoaktif izotopu ve bunların bozunma ürünleri, doğal karasal radyoaktiviteye katkıda bulunan ana unsurlardır (Plant vd., 1999). Kozmojenik radyonüklidler daha az öneme sahiptir, ancak yukarıda bahsedilen, gezegenin oluşumuna kadar uzanan ve o zamandan beri yavaşça bozulan ilkel radyonüklidlerden farklı olarak, bunlar, dünyanın kozmik ışınlarla bombardımanı ile bozunmalarıyla kabaca aynı oranda yenilenirler.

Uranyum, doğal olarak oluşan elementler arasında en yüksek atom ağırlığına sahiptir ve kurşundan yaklaşık %70 daha yoğundur ancak tungsten, altın, platin, iridyum veya osmiyum kadar yoğun değildir. Her zaman diğer elementlerle bir arada bulunur. Atom ağırlığı demirden daha yüksek olan tüm elementlerle birlikte, demir yalnızca süpernova patlamaları sırasında doğal olarak oluşur (Şekil 1).

Sarı pasta (Yellowcake: uranyum olarak da bilinir), uranyum cevherlerinin işlenmesinde bir ara aşamada liç çözeltilerinden elde edilen bir tür uranyum konsantresi tozudur. Uranyumun çıkarılmasından sonra, ancak yakıt üretimi veya uranyum zenginleştirmesinden önce işlenmesindeki bir adımdır. Yellowcake konsantreleri, cevherin türüne bağlı olarak çeşitli ekstraksiyon ve rafinasyon yöntemleriyle hazırlanmaktadır. Tipik olarak sarı kekler, uranyum cevherinin öğütülmesi ve kimyasal olarak işlenmesi yoluyla elde edilir; keskin bir kokuya sahip, suda çözünmeyen ve yaklaşık 2880 °C'de eriyen yaklaşık %80 uranyum oksit içeren kaba bir toz oluşturur (Şekil 1).

Şekil 1. a) Pitchblende mineralinin doğadaki görüntüsü, b) Uranyumun doğal makro görüntüsü, c) sarı pasta (Yellowcake) d) Radium Hill Heritage Müzesinde sergilenen cevher kaya ve sarı pasta



Kaynak: b) Public Domain, 2005, d) <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>

3. URANYUM MADENCİLİĞİ

Yerkürede birçok farklı türde uranyum yatağı keşfedildi ve çıkarıldı (Şekil 2). Dahası, Kanada, Grönland, Sibiry ve Antarktika'nın büyük bir kısmı, permafrost nedeniyle şu anda keşfedilmemiş durumda ve önemli miktarda keşfedilmemiş rezerv barındırıyor olabilir. Dünyada bilinen uranyum rezervi 5.718.400 tondur. En fazla rezervlerin bulunduğu alan 2,049,400 ton ile Avustralya'dır (Şekil 3). Bunu sırasıyla Kazakistan, Kanada, Rusya ve Afrika takip ediyor

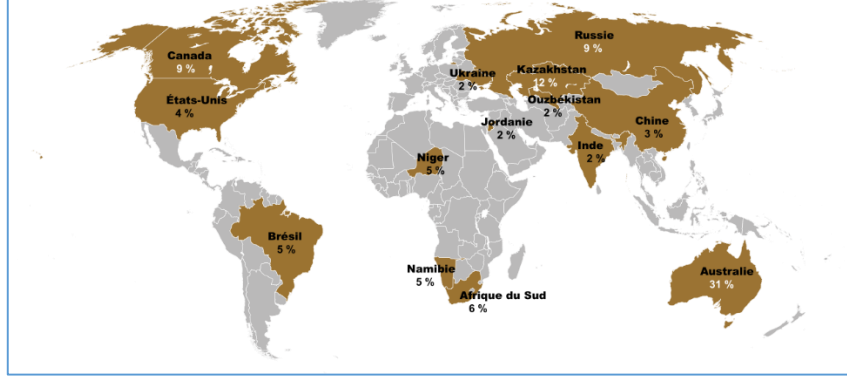
Uyumsuzluk tipi yataklar, yani paleoplacer yatakları ve rulo cephe tipi yataklar olarak da bilinen kumtaşı litolojine sahip yatak türleri dahil olmak üzere jeolojik olarak başlıca üç tipte uranyum yatakları bulunur. Uranyum yatakları, jeolojik ortamlarına ve içinde bulunduğu kaya türlerine göre 15 kategoride sınıflandırılır. Bu jeolojik sınıflama sistemi Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) tarafından belirlenmiştir (World Nuclear Association, 2016). Uranyum deniz suyunda da bulunur, ancak uranyum pazarındaki mevcut fiyatlara göre, geri kazanımını ekonomik hale getirmek için maliyetlerin 3-6 kat düşürülmesi gerekir (Guidez ve Gabriel, 2016).

Sedimanter (tortul) kayalarda bulunan uranyum yatakları arasında kumtaşları (Kanada ve batı ABD), Kambriyen öncesi uyumsuzluklar (Kanada'da), fosfat yataklarında, Prekambriyen yaşlı kuvars-çakıl konglomerası, çöküntü breş boruları (örneğin, Arizona'da breş boruları içinde uranyum neomineralizasyonları) ve kalker türü kayalarda bulunur (Şekil 4). Hidrotermal kökenli uranyum yatakları, damar tipi uranyum cevherlerini kapsamaktadır. Damar tipi hidrotermal uranyum yatakları, tipik olarak breşleri, kırıkları ve kayma bölgelerini dolduran uranyum minerallerinin epijenetik konsantrasyonlarını temsil eder (Qiu, 2018). Güney Çin Bloğu, son yarım yüzyıldır damar tipi hidrotermal uranyum yatağı talebine dayanan bir bölgenin bir örneğidir (Qiu, 2018). Breş tipi uranyum yatakları, tektonik faylanma veya ayrışma nedeniyle kırılan kayalarda bulunmaktadır. Breş tipi uranyum yatakları Avustralya, Hindistan ve ABD'de yaygındır (geoinfo.nmt.edu. 2016).

Uranyum arama, radyoaktif izotopların varlığının tespit edilmesine yönelik bazı özel aletler dışında, diğer maden arama yöntemlerine benzemektedir. İyonizasyon odası ve Geiger sayaçları 1930'lu yıllarda ilk olarak sahada kullanım için uyarlanmıştır. Havadaki gama ışını spektrometresi, jeolojik haritalama, maden arama ve çevresel izlemeler için dünya çapındaki uygulamalarıyla artık uranyum aramada kabul edilen lider teknik olmuştur. Avustralya'da, Mekik Radar Topoğrafisi Misyonu (SRTM) yükseklik ve havadaki gama ışını spektrometresi görüntülerine dayanarak Ayrışma Yoğunluğu İndeksi geliştirmiştir (Wilford, 2010).

Jeofizik yöntemle keşfedilen bir uranyum yatağı, yataktan belirli maliyetlerle çıkarılabilen uranyum cevherinin miktarını belirleyip değerlendirmek için numune almak gerekmektedir. Uranyum rezerv miktarı aynı zamanda maliyet hariç geri kazanılabilecek cevher miktarıdır. Fiyatlar yükseldikçe veya teknoloji bilinen, daha önce ekonomik olmayan mevduatların geri kazanım maliyetinin düşmesine izin verdikçe, rezervler artar. Uranyum için bu etki, şu anda ekonomik olmayan en büyük rezerv olan deniz suyundan uranyum eldesi, bilinen tüm karasal uranyum kaynakları toplamından daha büyük olduğu için özellikle belirgindir (James, 2022; Ornl.gov. 2016).

Şekil 2. Dünya uranyum rezervlerinin bulunduğu alanların gösterildiği harita



Kaynak: Wikipedia

Şekil 3. Avustralya'nın kuzey bölgesindeki Ranger uranyum açık maden işletmesi



Kaynak: www.getty images.com

Şekil 4. Mi Vida Moab (Utah, ABD) uranyum madeninde kırmızı ve beyaz, yeşil renkli kumtaşı tabakaları. Yüzeysel uranyum yatağının madenciliği diğer madencilik türlerine göre daha kolay ve daha ucuzdur



Kaynak: <https://imgur.com/gallery/YfsLV4B>

4. URANYUM ÜRETİMİ

1950'li yıllardan bu yana nükleer enerjinin yükselişine paralel olarak uranyum önemli bir emtia haline geldi. Bu durum özellikle kendi iç enerji ihtiyaçlarını karşılamak için nükleer enerjiye oldukça bağımlı olan ülkeler için geçerlidir. Küresel uranyum üretimi 2022 yılında yaklaşık 48.888 mt olarak gerçekleşti. Aynı yıl yaklaşık 21.227 mt üretimle Kazakistan, önemli bir farkla dünyanın en büyük tek uranyum üreticisidir. Diğer önde gelen uranyum üreticileri arasında Kanada, Namibya ve Avustralya bulunmaktadır (Garside, 2023). Dünyanın en büyük uranyum üreten madeni Kanada'daki Puro Gölü'dür. 2022 yılında buradan yaklaşık 6.928 metrik ton uranyum çıkarıldı. İkinci en büyük maden, o yıl 3.358 metrik ton uranyum üretilen Namibya'daki Husab bölgesidir. O yıl dünya çapındaki uranyumun yaklaşık yüzde 56'sı yerinde liç madenciliği yöntemiyle üretildi.

Kazakistan'a ait KazAtomProm Ulusal Atom Şirketi, 2022'de yaklaşık 11.373 metrik ton üreterek dünyanın önde gelen uranyum madenciliği şirketi olmuştur. Kanadalı Cameco şirketi ve Fransız Orano, o yıl sırasıyla ikinci ve üçüncü sırada yer aldı. 2022 yılında küresel uranyum maden üretiminin yüzde 91'ini yalnızca 10 şirket gerçekleştirdi.

Dünyadaki uranyum üretiminin yarısından fazlası Kanada, Avustralya ve Kazakistan'da gerçekleşmektedir. Artan bir oran yerinde liçleme yoluyla üretilir. Maden üretiminin 1993'te sona erdiği on yıllık düşüşten sonra, üretim o zamandan beri genel olarak arttı ve şu anda elektrik üretimi talebinin %61'ini oluşturuyor. Kanada madenlerden en büyük uranyum payını üretmektedir (dünya arzının %25'i madenlerden), onu Avustralya (%19) ve Kazakistan (%13) takip etmekteydi.

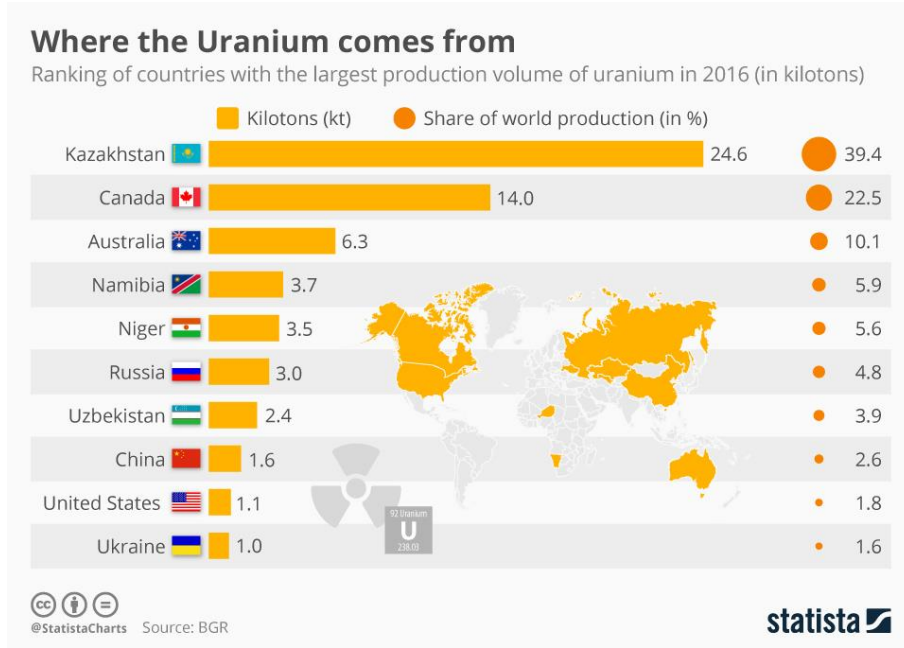
Ancak Avustralya ve Kanada'nın üretimi 2006 yılında düşüş kaydetmiştir. 2016 yılından günümüze kadar gelinen noktadaki veriler ise Tablo 1'de gösterilmektedir.

Günümüzde Alman Yer Bilimleri ve Doğal Kaynaklar Enstitüsü BGR'ye göre Kazakistan'ın, radyoaktif metalin en büyük üreticisi konumuna gelmiştir. Bu Orta Asya ülkesi, 2016 yılında bu maddenin yaklaşık 24.600 mt kadarını üretmiştir. Bu değer, dünya çapındaki üretimin yüzde 40'a yakın bir payını oluşturmaktadır. Avustralya ise 6.300 mt ile üçüncü sırada yer alıyor. Ancak toplam kaynaklar açısından Avustralya en fazla kaynağa sahiptir. Yaklaşık 1,1 milyon ton uranyum rezervinin olduğu ancak bunların tamamının günümüzde makul maliyetlerle kazılması mümkün değildir. Dünya çapında bilinen 3,5 milyon ton civarında uranyum kaynağının bulunması, dolayısıyla öngörülebilir bir rezerv azalması gibi bir durumun söz konusu olmadığını söyleyebiliriz.

Kazakistan, 2022 yılında 21.227 mt üretim hacmiyle dünyanın en büyük uranyum üreticisi konumunda. Kanada ise 7.351 mt uranyum üretim hacmiyle onu takip ediyor. Karşılaştırıldığında, Amerika Birleşik Devletleri o yıl 75 metrik ton uranyum üretti. Ancak ülke, son yıllarda ABD'nin 2014 yılındaki 1.919 mt'luk uranyum madeni üretimine kıyasla üretim rakamlarında önemli bir düşüş gördü. Şu ana kadar ABD hâlâ en büyük uranyum tüketicisi konumunda ve 2016'da 18.200 mt tüketirken, Çin'deki 5.300 mt'u tüketmiştir. Ancak dünya çapında 15 ülkede inşa edilen 61 reaktörün 21'i Halk Cumhuriyeti'nde yer aldığından, Çin'in uranyum ihtiyacının gelecekte artması muhtemel gözükmektedir. Güneybatı Afrika'daki Namibya'da, Çin'in işlettiği Husab Ocağı 2016 yılında üretime başlayarak dünyanın tek en büyük uranyum üretim tesisi haline gelebilmesi söz konusu olabilir.

Dünya üzerinde uranyum minerallerinin kaynakları nispeten azdır. ABD, Colorado ve Utah yataklarından çıkarılan karnotitten uranyum üretmektedir. Uranyum şu anda Kanada'nın kuzeydoğusundaki Saskatchewan'da çıkarılmakta ve burada torit mineralinden elde edilmektedir. Cornwall ve Avustralya'dan bir miktar uraninit (Pitchblende) elde edilir, ancak asıl kaynak Afrika'daki Kongo Cumhuriyeti'dir. Başlıca uranyum mineralleri Pitchblende (uraninit), Torbernite, Autunite ve karnotittir. Uranyum, oldukça değişken bir bileşime sahip bir mineral olan Samarskite'de de bulunur; uranyum, demir, kireç ve birkaç nadir toprak elementleri içerir. Mikrokozmetik boncukta, uranyum bileşikler, oksitleyici alevde hem sıcak hem de soğuk, açık bir yosun yeşili rengi verir. Uraninit veya pitchblende, bir uranyum oksittir ve dünya çapında en önemli Uranyum cevheridir.

Madencilik şirketleri genellikle %0,075'ten (750 ppm) daha yüksek konsantrasyonları cevher veya kaya olarak mevcut uranyum piyasa fiyatlarıyla madencilik için ekonomik olarak kabul eder (Tablo 2) (Axton, 2008). Yerkabuğunda yaklaşık 40 trilyon ton uranyum vardır, ancak çoğu, 3×10^{19} tonluk kütlesi üzerinde milyonda düşük parça konsantrasyonunda düşük parça konsantrasyonunda dağılmıştır (Sevior, 2006; Peterson ve Depaolo, 2007).

Tablo 1. 2016 yılına ait dünya uranyum üretimi

Kaynak: Statista

Tablo 2. Uranyum cevher kaynaklarının konsantrasyona bağlı derece sınıflaması

Uranyum dereceleri	
Kaynak	Konsantrasyon
Çok yüksek kaliteli cevher – %20 U	200.000 ppm U
Yüksek kaliteli cevher – %2 U	20.000 ppm U
Düşük tenörlü cevher – %0,1 U	1.000 ppm U
Çok düşük tenörlü cevher – %0,01 U	100 ppm U
Granit	4–5 ppm U
Tortul kayalar	2 ppm U
Dünyanın kıtasal kabuğu (ortalama)	2.8 ppm U

Kaynak: Supply of Uranium, World Nuclear Association, 2008.

5. SONUÇLAR

Dünya çapındaki önde gelen uranyum tüketicileri, nükleer enerjiden en yüksek paya sahip olan ülkelerdir: Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve Fransa. ABD, 2020'de yaklaşık 18.300 metrik ton uranyum kullandı. Bu, üçüncü sırada yer alan Fransa'nın iki katından fazlaydı. Alternatif enerjilere yönelik küresel eğilimler olmasına rağmen, dünya çapında nükleer enerji tüketimi son yirmi yılda istikrarlı kalmıştır. Bu durum, uranyumun önümüzdeki yıllarda da önemli bir emtia olmaya devam edeceğini gösteriyor. Dünya üzerinde çıkarılan uranyumunun neredeyse tamamı nükleer santrallere güç sağlamak için kullanılmaktadır. Uranyum, yalnızca ulusal kalkınma için önemli bir stratejik kaynak değil, aynı zamanda önemli bir küresel enerji hammadde kaynağıdır. Her yıl doğal uranyumun yaklaşık %98'i nükleer enerji üretim piyasasına satılmakta ve 2020 yılında nükleer enerji piyasasının satış hacmi 64.832 ton olarak gerçekleşmiştir. "Karbon ayak izi" hedefleri kapsamında, dünyanın her yerindeki ülkeler aktif olarak yeşil enerjiye geçiş ve yeni enerji kaynakları alternatifleri aramaktadır. Ayrıca son dönem jeopolitik riskler ve enerjinin temel bir ihtiyaç oluşturması dolayısıyla nükleer enerjinin daha fazla kullanımına ihtiyaç duyulmakta ve yedek enerji kaynağı olarak kullanımını ön plana çekmektedir.

KAYNAKLAR

- Axton, (2008). About Uranium.
- geoinfo.nmt.edu. (2016). Uranium: Where Is It?.
- Guidez, J. and Gabriel, S. (2016). Extraction of uranium from seawater: a few facts, Stanford University, 2016.
- James, G. (2022). Uranium Seawater Extraction Makes Nuclear Power Completely Renewable, Forbes.com. 2022.
- Janeczek J. and Ewing R. C. (1992). Structural formula of uraninite. J. Nucl. Mat. 190, 128-132.
- Ornl.gov. (2016). Advances in extracting uranium from seawater announced in special issue ORNL.
- Peterson, B.T. Depaolo, G.J. (2007). Mass and Composition of the Continental Crust Estimated Using the CRUST2.0 Model. AGU Fall Meeting Abstracts, V33A-1161.
- Plant, J. A., Simpson, P. R., Smith, B., Windley, B. F. (1999). Uranium ore deposits; products of the radioactive Earth. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 38(1), 255-319.
- Qiu, L. Yan, D.-P. Ren, M. Cao, W. Tang, S.-L. Guo, Q.-L. et al. (2018). The source of uranium within hydrothermal uranium deposits of the Motianling mining district, Guangxi, South China, Ore Geology Reviews, 96, 201–217, doi:10.1016/j.oregeorev.2018.04.001
- Ramdohr P. (1980). The ore minerals and their intergrowths 3rd ed.. Pergamon Press, Oxford. 1207p.
- Satista, (2023). <https://www.statista.com/statistics/report-content/statistic/263550>
- Sevior, M. (2006). Considerations for nuclear power in Australia. International Journal of Environmental Studies, 63 (6), 859–72.
- Wilford, J. (2010). A weathering intensity index for the Australian continent using airborne gamma-ray spectrometry and digital terrain analysis, Geoderma, 183–184, 124–142. doi:10.1016/j.geoderma.2010.12.022. 2012.
- World Nuclear Association, (2016). Geology of Uranium Deposits – World Nuclear Association,» www.world-nuclear.org. 2016.