

TORYUM VE URANYUM

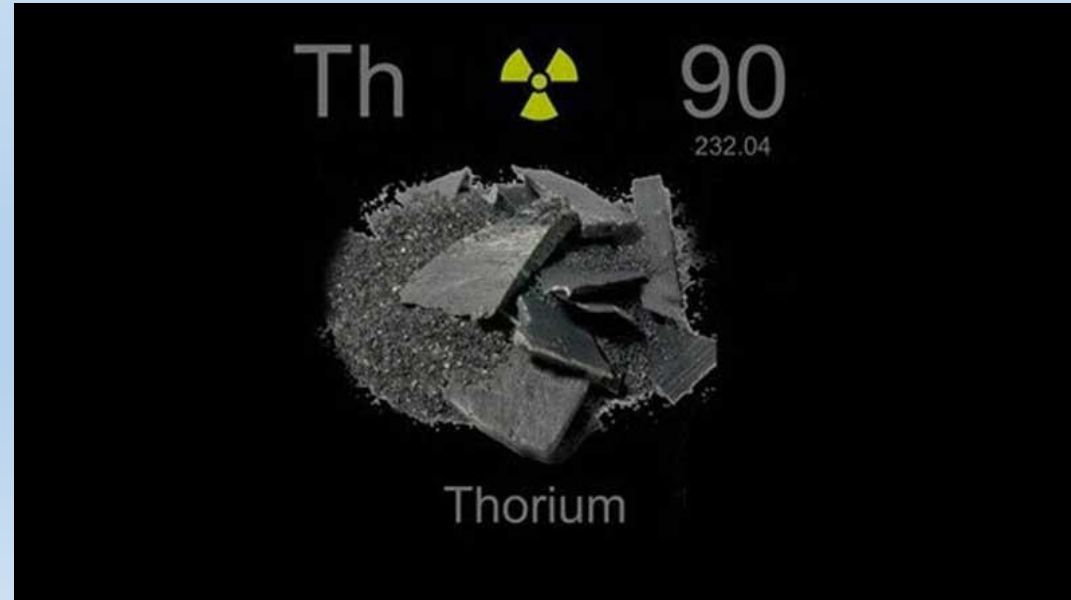
Prof. Dr. Uğur ÇEVİK

TORYUM

- Radyoaktif bir element olan Toryum ilk kez 1828 yılında Norveçli mineralog Morten Thrane Esmark tarafından keşfedilmesine rağmen İsveçli kimyager Jons Jacob Berzelius tarafından tanımlanarak periyodik cetveldeki yerini almıştır.
- Element adını mitolojide savaş tanrısı olarak kabul edilen Thor'dan almıştır.

- Toryumun yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonu yaklaşık **7 ppm** olup, diğer bir radyoaktif element olan uranyuma göre yer kabuğunda birkaç yüz kat daha fazla bulunmaktadır.
- Toryumun doğada bulunma sıklığı molibden, arsenik ve kalaydan da yaklaşık 2 kat daha fazladır.
- Bununla birlikte kayalar içindeki konsantrasyonları oldukça düşüktür.

- 2016 verilerine göre dünyada bilinen toplam toryum rezervinin yaklaşık 6,35 milyon ton olduğu ve ortalama % 6-7 civarında toryum içerdđđ tahmin edilmektedir.
- Rezervler ağırlıklı olarak Hindistan, Brezilya, Avustralya, ABD ve Türkiye’de bulunmaktadır.

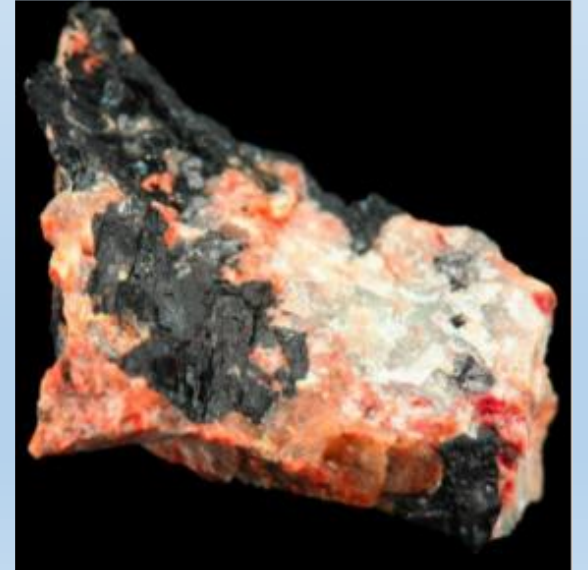


- Toryum doğada serbest halde bulunmaz, yaklaşık 50 civarında mineralin yapısı içinde yer alır.
- Bunlardan sadece monazit, torit, torianit ve allanit toryum üretiminde kullanılmaktadır.
- Bu mineraller de genellikle nadir toprak elementleri ile birlikte bulunmaktadır.
- Toryum, doğada en çok %6-12 oranları arasında 'toryum fosfat' halinde Monazit minerallerinde bulunur.
- Dünya toplam Monazit miktarının 16 milyon ton olduğu tahmin ediliyor.
- Bunun 12 milyon tonunun güney ve doğu Hindistan kıyılarındaki kumsallarda depolandığı biliniyor.

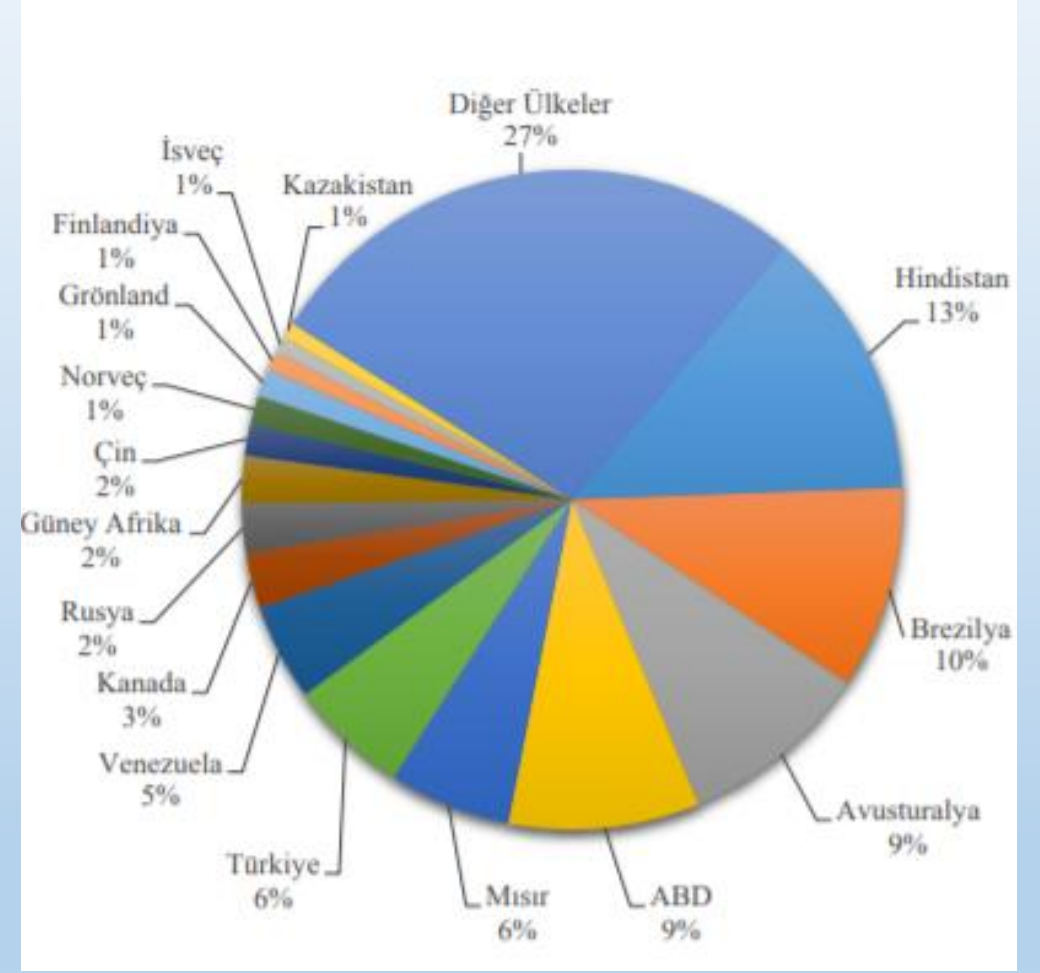
TORYUM



Toryum elementi
(Zirconolite)



Ülke	Ton
Hindistan	846.000
Brezilya	632.000
Avustralya	595.000
ABD	595.000
Mısır	380.000
Türkiye	374.000
Venezuela	300.000
Kanada	172.000
Rusya	155.000
Güney Afrika	148.000
Çin	100.000
Norveç	87.000
Yunanistan	86.000
Finlandiya	60.000
İsveç	50.000
Kazakistan	50.000
Diğer ülkeler	1.725.000



- Ülkemizdeki toryum cevherlerine ilişkin ilk çalışmalar MTA tarafından Eskişehir’de 1960’larda uranyum arama çalışmaları sırasında ortaya çıkarılmıştır.
- Bu sondajlar sonucunda %0,21 ortalama tenörlü toplam 374.000 ton toryum (ThO_2) görünür rezervi tespit edilmiştir.
- Bölgede toryum, monazit ve torobastnazit minerallerinin kafes yapısında yer almaktadır.
- Tenör bazı örneklerde % 3’e kadar çıksa da yatağın ortalama tenörü % 0,2’dir

- Dünya maden potansiyeli içerisinde ülkemizin payına bakıldığında, toryum madeninde önemli miktarda rezerve sahip olduğumuz görülmekte ve rekabet gücümüzün yüksek olduğu anlaşılmaktadır.
- Ancak ortalama tenörün düşüklüğü (% 0,2) ve rezervin yapısının karmaşık olması, toryumun tek başına ekonomik olarak çıkarılabilirliğini güçleştirmektedir.

- Toryumun üretildiği mineraller genel olarak nadir toprak elementleri ile bulunduğundan Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne ait Eskişehir kompleks cevherinden yılda 5.000 ton Nadir Toprak Elementleri üretildiğinde, ortak ürün olarak 150 ton Toryum dioksit elde edilecektir.

- Toryum tek başına nükleer yakıt olarak kullanılamaz.
- Fertil bir izotop olan Th-232'nin bir nötron yutarak fisyon yapabilen bir izotop olan U-233'e dönüştürülmesi gerekir.
- Th-232'nin düşük enerjili nötronlarla tepkimesi sonucunda daha az kararlı olan Th-233 oluşmaktadır.
- Th-233 ise, 23 dakika içinde, bir beta parçacığı yayarak Pa-233'e (protaktinyum) ve Pa-233 de 27 gün içinde fisil U-233'e dönüşmektedir.

- IV. nesil ileri reaktör sistemleri arasında yer alan Ergimiş Tuz Reaktörlerinin (ETR) (Molten Salt Reactor-MSR) en büyük özelliği hem hafifçe zenginleştirilmiş uranyumu ($>19.75\%$), hem nükleer atıkların içinde yer alan TransUranyum (TU) elementlerini ve hem de Türkiye'de çok zengin kaynakları olan toryumu (Th) enerji üretiminde kullanabilmesidir.

- Toryumlu yakıt denemeleri 1960 yıllarının ortalarında başlamış olmasına rağmen deneysel olarak enerji reaktörlerinde kullanılmasına 1976 yılında başlanmıştır.
- Toryumun uranyumdan daha az nükleer tehlike içermesi, bazı ülkelerin toryumla çalışan nükleer santral yapımı için projeleri hızlandırmıştır.
- ABD, Çin, Norveç, Kanada ve Hindistan gibi ülkeler, toryumun elektrik üretiminde kullanılabilmesi için projeler geliştirmektedirler.

- Hindistan, toryumla çalışan santraller konusunda dünyada en büyük ilerlemeyi sağlayan ülkelerin başındadır.
- Hindistan'ın çok zengin toryum kaynaklarına sahip olması ve bu elementle elektrik üretmeyi başarması durumunda hammadde sıkıntısını tamamen aşacak olması, bu ilerlemelerindeki en büyük etkidir.
- Çin'de de ülkenin tüm elektrik ihtiyacını tam 20 bin yıl boyunca karşılamaya yetecek kadar toryum rezervi olduğu iddia edilmektedir.

URANYUM

- Radyoaktif bir element olan Uranyum (U), 1789 yılında Martin Heinrich Klaproth tarafından keşfedilmiştir.
- O yıllarda radyoaktivite ile ilgili fazla bilgi olmadığından diğer elementler gibi düşünülmüş ancak 1896 yılında bilim tarihinin önemli isimlerinden olan Dimitri Mendeleyev'in çalışmalarıyla radyoaktif bir element olarak sınıflandırılmıştır.

- Doğada serbest olarak bulunmayan uranyum, çeřitli elementlerle birleřerek uranyum minerallerini meydana getirmektedir.
- Hemen her tip kayaç içerisinde ve eser miktarda sularda bulunur.
- Bařlıca uranyum mineralleri uraninit, autinit, pitchblend, tobernit ve koffinittir.



- Yer altı su tablasının üstünde, satıh ve satha yakın yerlerdeki mevcut oksidasyon şartlarında +6 değerlikli uranyum içeren ikincil uranyum mineralleri kolayca eriyebilirler ve uranil iyonları halinde solüsyona geçerek yer altı suları vasıtasıyla uzun mesafelere taşınırlar.
- Taşınma sırasında uygun indirgeme şartlarıyla karşılaştıklarında +4 değerlikli uranyuma indirgenerek Uraninit ve Pitchblende (uranyum oksit içeren maden cevheri) olarak çökelir ve böylece uranyum yatakları oluşur.

- Uranyumun yeryüzündeki ortalama konsantrasyonu 2-4 ppm arasında olup, geniş bir alanda küçük konsantrasyonlar şeklinde pek çok mineralin içinde bulunabilmektedir.
- Bir uranyum sahasının değerlendirilme aşamasında; cevherin U_3O_8 tenörü, rezervi, maden işletme ve cevher kazanım teknolojisi bir bütün olarak değerlendirilmektedir.
- Rezerv miktarının 10.000 ton ve tenörünün %0,05 U_3O_8 üzerindeki değerlere sahip olan uranyum cevher yatakları işletilebilir özelliktedir.

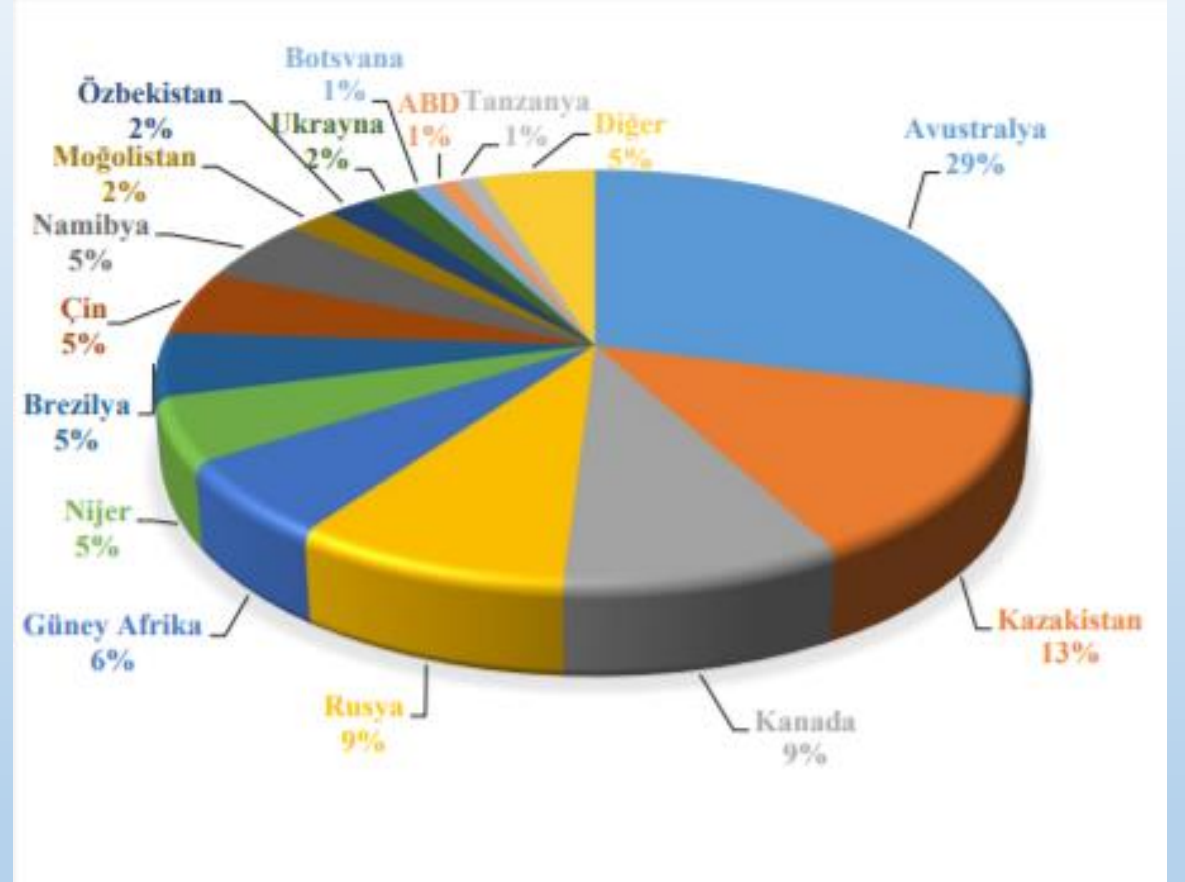
URANYUM



Sarı Pasta
(UO_2)



ÜLKE	Rezerv (TON)
Avustralya	1.664.100
Kazakistan	745.300
Kanada	509.000
Rusya	507.800
Güney Afrika	322.400
Çin	272.500
Brezilya	276.800
Nijer	291.500
Namibya	267.000
Özbekistan	130.100
Ukrayna	115.800
Moğolistan	141.500
ABD	62.900
Tanzanya	58.100
Botsvana	73.500
Diğer Ülkeler	280.100
TOPLAM	5.718.400



- Uranyum üretiminde uygulanacak yöntemin seçimi, yatağın oluşum türüne, derinliğine, tenörüne ve rezervine bağlı olarak değişmektedir.
- Açık veya yer altı işletmesi yöntemleriyle çıkarılan cevher, kırma-öğütme işlemlerinden sonra, ön zenginleştirme işlemlerinden geçirilerek saflaştırılır, rengi ve biçimi nedeniyle "Sarı Pasta" (uranyum oksit, UO_2) olarak adlandırılan katı bir forma çevrilir.
- Elde edilen katı haldeki sarı pasta (UO_2), zenginleştirme işlemleri için gaz formuna (UF_6 - uranyum heksaflorid) çevrilerek varillerde depolanır ve zenginleştirme tesislerine gönderilir.

- Nükleer enerji santrallerinin yakıtı olarak kullanılan uranyumun üretiminde Kazakistan, Kanada ve Avustralya başta gelmektedir.
- Bu üç ülke toplam uranyum üretiminin % 71'ini gerçekleştirmektedir.
- Toplam uranyum üretiminin %39'unu karşılayan Kazakistan'ı, %22'lik üretimle Kanada ve %10'luk üretimle de Avustralya takip etmektedir.
- Uranyum üretim miktarı Kazakistan'da 24.575 ton, Kanada'da 14.039 ton ve Avustralya'da 6.315 ton 'dur.
- Nijer'de 3.477 ton, Namibya'da 3.315 ton ve Rusya'da 3.004 ton olarak gerçekleşmiştir.

- 2017 yılı verilerine göre Ülkemizde toplam 12.614 ton uranyum rezervi olduğu belirlenmiştir.

<u>Bölge</u>	<u>TENÖR (% U3O8)</u>	<u>REZERV (ton)</u>
Manisa - Köprübaşı	0,04 - 0,07	3.487
Uşak-Eşme-Fakılı	0,05	490
Yozgat-Sorgun	0,1	6.700
Aydın-Küçükçavdar	0,04	208
<u>Aydın-Demirtepe</u>	<u>0,08</u>	<u>1.729</u>
TOPLAM		12.614

- Ülkemizdeki mevcut yatakların ortalama tenör ve rezervleri, aranıp bulundukları yıllarda, dünyaca kabul edilen ekonomik sınırlarda olmalarına rağmen, günümüzde bu değerler söz konusu sınırların altında kalmıştır.
- Bunun nedeni, son yıllarda nükleer santral planlamalarında önemli değişiklikler olması ve özellikle Kanada ve Avustralya'da yüksek tenörlü ve üretim maliyetleri düşük olan uranyum yataklarının bulunmasıdır.