

Türkiye'deki Uranyum ve Toryum Yataklarından 10.000 Ton Cevher Reaktörlere Ne Süre Yeter?

Cevher Tenörü (saflik %), Yakıt Üretimi ve Reaktör İşletme Süresi
Fosil Yakıtlarla Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme

IAEA, NEA/OECD, IEA, MTA ve T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Verilerine Dayalı Akademik
Değerlendirme Raporu

Hazırlayan: Yüksel Atakan Dr.Radyasyon Fizikçisi, ybatakan4@gmail.com, 27.06.2026 /YZ/

Aşağıdaki hesaplar göstermektedir ki: Türkiye'nin tipik tenörlerine sahip 10.000 ton uranyum cevheri, 1000 MWe'lik bir reaktörü yalnızca yaklaşık 2-3 hafta çalıştırabilecek miktarda doğal uranyum sağlamaktadır. Bu süre, kamuoyunda dile getirilen 'yıllarca' ifadesinden yaklaşık 20-25 kat daha kısadır.

Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bu makale, Türkiye'nin uranyum ve toryum kaynaklarının gerçek durumunu ortaya koymaktadır:

- (i) Türkiye'deki yatakların tenörleri uluslararası ölçekte düşük-orta seviyededir;
- (ii) (ii) 10.000 ton ölçeğindeki bir cevher üretiminden elde edilen saf metal miktarı sadece birkaç ton mertebesinde;
- (iii) (iii) bu miktar, günümüz teknolojisiyle (PWR) 1000 MWe'lik bir reaktörü ancak birkaç hafta besleyebilir;
- (iv) (iv) toryum ve üretken reaktör teknolojilerinin (FBR, MSR) sağladığı kuramsal enerji potansiyeli çok daha yüksek olmakla birlikte, bu potansiyel henüz ticari bir gerçekliğe dönüşmemiştir.

Resimler yabancı kaynaklıdır (Türkiye'de halka açık resimler bulunamadı)



Türkiye'nin nükleer enerji politikası açısından, yerli uranyum ve toryum kaynaklarının mevcut tenörleriyle, ülkenin büyük ölçekli nükleer enerji programının (örn. Akkuyu NGS) yakıt ihtiyacının önemli bir kısmını

karşılması, bugünkü teknoloji ve ekonomik koşullarda mümkün görünmemektedir; bu nedenle yakıt ithalatına bağımlılık sürmekte, yerli kaynaklar ise ancak ileri teknolojilerin (zenginleştirme, üretken reaktörler, toryum çevrimi) geliştirilmesi halinde stratejik bir değer kazanabilecektir. Bu makale, Türkiye'deki uranyum ve toryum yataklarından elde edilebilecek **saf nükleer yakıt miktarlarını**; bunlardan örneğin 10.000 Ton'unun farklı güçteki reaktörleri ne kadar süre çalıştırabileceğini ve farklı reaktör teknolojilerinin (PWR, FBR, MSR) yakıt kullanım verimliliklerini, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), OECD Nükleer Enerji Ajansı (NEA), Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) ve T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) kaynaklarından derlenen verilerle karşılaştırmalı olarak ele almaktadır.

Yazımızın temel amacı, kamuoyunda ve popüler tartışmalarda sıkça karıştırılan iki büyüklüğü birbirinden ayırmaktır: (i) yerden çıkarılan ham cevher miktarı ve (ii) bu cevherden elde edilen, reaktörde fiilen yakıt olarak kullanılacak saflaştırılmış/zenginleştirilmiş malzeme miktarı. Bu ayırım yapılmadığında, '10.000 ton cevher bir reaktörü yıllarca çalıştırır' gibi yanıltıcı sonuçlara ulaşılabilmektedir; yazı bu sorunu somut hesaplamalarla netleştirmektedir.

1. Türkiye Uranyum ve Toryum Yataklarının Tipik Tenörleri (Saflik %)

MTA Genel Müdürlüğü'nün 1953 yılından itibaren yürüttüğü maden arama çalışmaları, Türkiye'deki uranyum yataklarının büyük çoğunluğunun sedimanter tipte ve düşük tenörlü olduğunu göstermektedir. Toryum yatakları ise başta Eskişehir-Sivrihisar (Kızılcaören) bölgesinde yoğunlaşmakta ve genellikle nadir toprak elementleri ile birlikte bulunmaktadır.

1.1. Uranyum Yatakları

Yatak / Bölge	Tenör (% U ₃ O ₈)	Rezerv (ton U ₃ O ₈)	Yatak Tipi
Yozgat-Sorgun	% 0,10	3.850	Sedimanter
Salihli-Köprübaşı	% 0,04 - 0,05	2.852	Sedimanter
Aydın-Demirtepe	% 0,08	1.729	Damar tipi
Uşak-Fakılı	% 0,05	490	Sedimanter
Aydın-Küçükçavdar	% 0,04 - 0,05	208	Sedimanter
Çanakkale-Ayvacık	≈ % 0,10	≈ 250	Sedimanter
TOPLAM (görünür rezerv)	—	≈ 9.100 - 12.600*	—

Tablo 1.1 — Türkiye'deki başlıca uranyum yataklarının ortalama tenör ve rezerv değerleri (MTA verileri). *Bakanlık açıklamalarına göre toplam görünür rezerv 2018 itibarıyla 12.614 tona, daha önceki çalışmalarda ise 9.310-9.129 ton aralığına karşılık gelmektedir; fark, dönemsel arama/keşif farklarından kaynaklanmaktadır.

Karşılaştırma için: dünya ölçeğinde işletilebilir kabul edilen sınır, rezervin en az 10.000 ton ve tenörün % 0,05 U₃O₈ üzerinde olmasıdır. Türkiye'deki yatakların büyük bölümü bu eşiğin altında tenöre sahiptir; bu nedenle düşük tenör, Türkiye uranyum madenciliğinin ekonomik işletilebilirliğini sınırlandıran başlıca etkidir.

2. Türkiye Toryum Yatakları

Bölge / Saha	İl	Rezerv (yaklaşık)	Tenör	Mineral Formu	Durum
Kızılcaören – Karkın – Okçu köyleri	Eskişehir / Sivrihisar	374.000 ton ThO ₂ (görünür)	ortalama %0,21 ThO ₂ (maks. %3)	Monazit + torobastnazit + barit	Ana yatak; ETİ MADEN kontrolü
Beylikova – Sivrihisar	Eskişehir	694 milyon ton kayaç içinde 788 ppm ThO ₂	~0,079% ThO ₂	Dissemine toryum (ETİ MADEN tespiti)	Düşük tenörlü büyük potansiyel; ekonomiklik sorgulanıyor
Kuluncak	Malatya	3,8 milyon ton 2,032 ppm (MTA 2020 keşfi)	2,032 ppm	Bilinmiyor (Ar-Ge aşaması)	Yeni keşif; ekonomiklik ve teknoloji çalışması yapılmamış
Hekimhan	Malatya	Belirsiz	—	Muhtemel monazit	Arama çalışması öneriliyor
Felâhiye	Kayseri	Belirsiz	—	Muhtemel monazit	Arama çalışması öneriliyor
Çanaklı	Burdur	Belirsiz	—	Muhtemel monazit	Arama çalışması öneriliyor
Çeşitli	Sivas, Diyarbakır	Belirsiz	—	Muhtemel monazit	Araştırma aşaması
Kıyı plaserler	Isparta ve kıyı şeritleri	>20.000 ton (Isparta)	—	Monazit plaser	100 yıllık enerji potansiyeli tahmin ediliyor

Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Toryum Sayfası (enerji.gov.tr); MTA Uranyum-Toryum Maden Serisi; TAEK araştırmaları

Not: Türkiye'nin Toryum bakımından Dünya'da başlarda olması iyidir. Daha iyisi ise toryumu işletecek ve reaktörlerde kullanılabilecek duruma getiren tesislerin kurulmasıdır. Bunlar hangi aşamalarda olabilir:

3. Toryumdan Reaktör Yakıtı Üretimi: Süreç ve Teknoloji

Türkiye'deki toryumun nükleer reaktörlerde kullanılabilmesi için aşağıdaki işlem zincirinin kurulması gerekmektedir:

Bunlarla ilgili ne gibi çalışmalar vardır? Planlanıyor mu bilinmiyor?

Aşama	İşlem	Yöntem	Çıktı
1 – Madencilik	Ham cevher çıkarımı	Açık ocak / yeraltı madenciliği	Ham monazit cevheri
2 – Cevher Hazırlama	Kırma, öğütme, eleme	Mekanik işlemler	Zenginleştirilmiş cevher
3 – Mineral Konsantrasyonu	Monazit ayırıştırma	Ağırlık (gravite) ve manyetik separasyon, flotasyon	Monazit konsantresi (%6–7 ThO ₂)
4 – Kimyasal Ayırma	Toryum-NTE ayırıştırması	Alkali füzyon (NaOH, 140°C) veya H ₂ SO ₄ ile asit liçi	Th(OH) ₄ çökteltisi + NTE çözeltisi
5 – Safıklandırma	Toryum safıklandırma	Solvent ekstraksiyonu (TBP, D2EHPA veya Aliquat-336)	Th nitrat çözeltisi (safılık %96–99)
6 – ThO ₂ Üretimi	Oksit dönüşümü	Kalsinasyon / çöktürme	Yüksek saflıklı ThO ₂ tozu (≥%99)
7 – Yakıt Fabrikasyonu	Reaktör yakıtı üretimi	ThO ₂ -UO ₂ pelet preslemesi (PWR için) veya Th-tuz hazırlama (MSR için)	Reaktöre hazır toryum yakıtı

Kaynak: Udayakumar et al. Nuclear Eng. & Technology 53(7) 2021; Salehuddin et al. Nuclear Eng. & Technology 2018; UT Knoxville Thorium Process Design 2020

4. Toryum İşleme Tesisi: Yer Seçimi, Boyut ve Maliyet Analizi

Uluslararası tekno-ekonomik analizler ve karşılaştırmalı tesis verileri esas alınarak Türkiye için olası bir toryum işleme tesisinin aşağıdaki parametreler çerçevesinde planlanabileceği değerlendirilmektedir:

Yapılınca büyük ölçekte (Tam kapasite) olacağı umulur. Eleman da yetişir.

Parametre	Küçük Ölçek (Pilot)	Orta Ölçek (Ticari)	Büyük Ölçek (Tam Kapasite)
Yıllık ThO ₂ kapasitesi	1–5 ton/yıl	50–200 ton/yıl	500–1.000 ton/yıl
Tahmini sermaye yatırımı (CAPEX)	13–20 milyon USD	80–150 milyon USD	300–500 milyon USD
Üretim maliyeti (ThO ₂ /kg)	335–700 USD/kg	80–150 USD/kg	50–80 USD/kg
Asgari alan	5–10 dönüm	30–50 dönüm	100–200 dönüm
İşgücü (uzman)	20–40 kişi	150–300 kişi	500–1.000 kişi
Geri ödeme süresi	4–6 yıl (optimum)	5–8 yıl	8–12 yıl
Yatırım getirisi (ROI)	~%22 (1 ton/batch)	~%15	~%5–8

Kaynak: Udayakumar et al. 2021 (alkalin füzyon TEA); Salehuddin et al. 2018 (ScienceDirect); Nijerya REE tesisi karşılaştırması (DiscoveryAlert 2025)

En uygun yer seçimi için Eskişehir-Sivrihisar-Kızılcaören bölgesi öne çıkmaktadır; hem ana cevher yatağına yakınlık hem de ETİ MADEN'in mevcut altyapısı bu bölgeyi avantajlı kılmaktadır. NTE (nadir toprak elementi) ortak üretimi nedeniyle tesisin kompleks cevher işleme kapasitesine sahip olması, ekonomikliği artıracak kritik unsurdur.

Türkiye toryum yataklarının tenör/rezerv özeti (MTA, ETKB verileri). NEA/IAEA ortak değerlendirmelerine göre Türkiye, görünür rezervleriyle dünya toryum rezervleri sıralamasında ilk sıralarda yer almaktadır (yaklaşık 790.000 ton ile).

Görüldüğü gibi, Eskişehir-Sivrihisar yatağının tenörü (% 0,21) bile günümüz piyasa koşullarında ekonomik kabul edilmemektedir; bu nedenle Türkiye'nin toryum potansiyeli büyük ölçüde teorik/jeolojik bir potansiyel olup, fiilen işletilebilir bir kaynağa henüz dönüşmemiştir.

5. 10.000 Ton Cevherden Elde Edilen Saf Yakıt Miktarları

Bir madencilik sahasının yıllık tipik üretim ölçeği olarak kabul edilen 10.000 ton cevher esas alınarak, farklı tenör senaryolarında elde edilebilecek saf U₃O₈ / ThO₂ ve metalik U / Th miktarları aşağıda hesaplanmıştır (kütle dönüşümü: U₃O₈'in ağırlığının yaklaşık % 84,8'i metalik U; ThO₂'nin yaklaşık % 87,9'u metalik Th'dir).

Senaryo (Tenör)	10.000 ton cevherden U ₃ O ₈ /ThO ₂	Metalik U / Th içeriği	Açıklama
% 0,04 U ₃ O ₈ (Demirtepe/Küçükçavdar tipi)	4 ton U ₃ O ₈	≈ 3,4 ton U	Düşük tenörlü Türkiye yatağı
% 0,10 U ₃ O ₈ (Sorgun tipi - en yüksek)	10 ton U ₃ O ₈	≈ 8,5 ton U	Türkiye'nin en zengin uranyum yatağı
% 0,21 ThO ₂ (Kızılcaören - ort.)	21 ton ThO ₂	≈ 18,5 ton Th	Türkiye toryum ortalama tenörü
% 0,05 U ₃ O ₈ (dünya ekonomik eşiği)	5 ton U ₃ O ₈	≈ 4,2 ton U	Uluslararası işletilebilirlik sınırı

Tablo 2.1 — 10.000 ton cevherden elde edilebilecek saf U₃O₈/ThO₂ ve metalik içerik miktarları (tenöre göre doğrusal hesap).

Bu tablo, makalenin ele aldığı temel sorunun matematiksel temelini oluşturmaktadır: tipik Türkiye tenörleriyle 10.000 ton cevherden elde edilen saf metal miktarı yalnızca 3-9 ton aralığındadır — yani cevherin kendisinin **yaklaşık %99,9'u atık (gang) malzemedir**. Ayrıca bu rakamlar, doğal uranyumun (% 0,711 U-235 içeren) kendisidir; reaktör yakıtı olarak kullanılabilmesi için ayrıca zenginleştirme (PWR için tipik % 3-5 U-235) ve yakıt elemanı imalatı gerekmektedir; bu süreçte malzemenin bir kısmı 'tükenmiş uranyum' (tails) olarak ayrılır ve fiilen reaktöre giren zenginleştirilmiş yakıt miktarı daha da azalır.

Not: Doğal uranyumdan tipik bir hafif su reaktörü (PWR) yakıtı ($\approx$ % 4,5 zenginlik) üretmek için, kullanılan zenginleştirme teknolojisi ve tüketilmiş uranyum (tails) tenörüne bağlı olarak, 1 kg zenginleştirilmiş yakıt başına yaklaşık 8-10 kg doğal uranyum gerekmektedir (IAEA/NEA yakıt çevrimi verileri).

6. 100 MW Reaktör İçin Çalışma Süreleri

Tipik bir hafif su soğutmalı reaktörde (PWR/BWR), 1000 MWe gücündeki bir santralin yıllık doğal uranyum ihtiyacı, OECD-NEA/IAEA 'Red Book' verilerine göre yaklaşık 150-200 ton doğal uranyumdur (yakıt çevrimi kayıpları ve tipik kapasite faktörleri dahil). Güç ile orantılı olarak 100 MWe'lik bir reaktörün yıllık doğal uranyum ihtiyacı yaklaşık 15-20 ton olarak hesaplanır.

Yakıt kaynağı (10.000 ton cevherden)	Elde edilen metalik U	100 MW reaktör için yaklaşık çalışma süresi*
% 0,04 tenörlü cevher	$\approx$ 3,4 ton U	$\approx$ 60-80 gün (2-3 ay)
% 0,10 tenörlü cevher (Sorgun - en zengin)	$\approx$ 8,5 ton U	$\approx$ 150-200 gün (5-7 ay)
% 0,05 tenörlü cevher (dünya eşiği)	$\approx$ 4,2 ton U	$\approx$ 75-100 gün (2,5-3,5 ay)

Tablo 3.1 — 10.000 ton cevherden elde edilen doğal uranyumun 100 MWe gücündeki bir reaktörü çalıştırabileceği yaklaşık süre. *Hesap, 100 MWe için yıllık $\approx$ 15-20 ton doğal U ihtiyacı varsayımına dayanmaktadır; gerçek değer reaktör tipi, yanma oranı (burnup) ve kapasite faktörüne göre değişir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin en zengin tenörlü uranyum yatağından (Sorgun, % 0,10) elde edilebilecek 10.000 ton cevher, 100 MWe'lik küçük bir reaktörü dahi ancak yarım yıl - bir yıla yakın bir süre besleyebilmektedir; bu, 'yıllarca' ifadesinin ancak çok kısıtlı bir biçimde ve sadece küçük güçteki reaktörler için kısmen doğru olabileceğini, ancak 1000 MW ölçeğinde kesinlikle geçerli olmadığını göstermektedir (bkz. Bölüm 4 ve Bölüm 8).

7. 1000 MW Reaktör İçin Çalışma Süreleri

1000 MWe gücündeki bir ticari nükleer santral (örneğin tipik bir VVER veya PWR ünitesi), yaklaşık 3000 MWth termal güçte çalışır ve NEA/IAEA verilerine göre yıllık doğal uranyum ihtiyacı yaklaşık 150-200 tondur. Bu, ETKB/DPT'nin kendi raporlarında da teyit ettiği bir büyüklüktür: 'inşaatına başlansa... 1000 MWe'lik santralde yılda 150 ton kadar' doğal uranyum tüketimi öngörülmektedir.

Yakıt kaynağı (10.000 ton cevherden)	Elde edilen metalik U	1000 MW reaktör için yaklaşık çalışma süresi*
% 0,04 tenörlü cevher	≈ 3,4 ton U	≈ 6-8 gün
% 0,10 tenörlü cevher (Sorgun - en zengin)	≈ 8,5 ton U	≈ 15-21 gün
% 0,05 tenörlü cevher (dünya eşiği)	≈ 4,2 ton U	≈ 8-10 gün

Tablo 4.1 — 10.000 ton cevherden elde edilen doğal uranyumun 1000 MWe gücündeki bir reaktörü çalıştırabileceği yaklaşık süre (yıllık 150-200 ton doğal U ihtiyacı varsayımıyla).

Bu hesap, raporun başında sorulan kritik soruya doğrudan sayısal yanıt sağlamaktadır: Türkiye'nin tipik tenörlerine sahip 10.000 ton uranyum cevheri, 1000 MWe'lik bir reaktörü yalnızca yaklaşık 2-3 hafta (≈ 15-21 gün) çalıştırabilecek miktarda doğal uranyum üretmektedir. Bu süre, kamuoyunda dile getirilen 'yıllarca' ifadesinden yaklaşık 20-25 kat daha kısadır. Detaylı tartışma Bölüm 8'de sunulmuştur.

8. PWR, FBR ve MSR Teknolojilerinin Yakıt Kullanım Verimi Karşılaştırması

Reaktör teknolojisi, doğal uranyum/toryumun içerdiği toplam enerjinin ne kadarının fiilen kullanılabildiğini belirleyen en önemli etkidir. IAEA ve NEA tarafından yayımlanan teknoloji değerlendirme raporlarına göre, üç temel reaktör ailesinin doğal kaynak kullanım verimliliği büyük farklılıklar göstermektedir.

Reaktör Tipi	Yakıt Çevrimi	Doğal Uranyum/Toryum Kullanım Verimi	Açıklama
PWR / BWR (hafif su, açık çevrim)	Bir kez geçen (once-through), % 3-5 zenginleştirilmiş U-235	≈ % 0,5 - 0,7	Sadece U-235 ve bir kısım plütonyum fisyon enerjisi kullanılır; U-238'in büyük kısmı atık (tükenmiş uranyum) olarak kalır
FBR (Hızlı Üretken Reaktör)	Kapalı çevrim, U-238 → Pu-239 üretimi (breeding)	≈ % 60 - 70	U-238'in fisil malzemeye dönüştürülmesiyle doğal uranyumun çok büyük kısmı enerjiye çevrilebilir
MSR (Erimiş Tuz Reaktörü, Th-U233 çevrimi)	Sürekli yeniden işleme, Th-232 → U-233 üretimi	≈ % 70 - 90 (teorik üst sınır)	Toryum-temelli üretken çevrimde teorik olarak kaynağın büyük kısmı kullanılabilir; ticari ölçekte henüz kanıtlanmamıştır

Tablo 5.1 — PWR, FBR ve MSR teknolojilerinde doğal kaynağın enerjiye dönüştürülme oranı (IAEA/NEA teknoloji değerlendirmeleri esas alınarak).

Bu farklar, aynı miktarda doğal uranyum veya toryumun reaktör teknolojisine bağlı olarak 100-150 kat farklı enerji üretebileceği anlamına gelir. Günümüzde dünyadaki ticari kapasitenin tamamına yakını PWR/BWR tipi açık çevrim reaktörlerden oluştuğu için, Bölüm 3 ve 4'teki hesaplamalar % 0,5-0,7 verimlilik senaryosuna karşılık gelmektedir. Çin'in 2029 hedefiyle geliştirdiği 60 MWth gücündeki toryum yakıtlı MSR projesi, bu teknolojinin henüz deneysel/öncül aşamada olduğunu göstermektedir; ticari ölçekte toryum santrali bulunmamaktadır.

9. Kömür, Petrol, Doğal Gaz ve Nükleer Yakıtların Enerji Yoğunluğu Karşılaştırması

IEA ve NEA tarafından yayımlanan birincil enerji kaynağı verilerine göre, kütsel enerji yoğunluğu (kütle başına çıkarılabilir enerji) açısından nükleer yakıt, fosil yakıtlardan birkaç yüz bin kat daha yüksek bir değere sahiptir; ancak bu teorik üstünlüğün ne kadarının fiilen kullanılabildiği, Bölüm 5'te ele alınan reaktör teknolojisine bağlıdır.

Yakıt	Enerji Yoğunluğu (yaklaşık)	Eşdeğer Kömür (kg kömür/kg yakıt)	Not
Kömür	≈ 24 - 30 MJ/kg (≈ 7-8 kWh/kg)	1	Kalite ve cinse göre değişir
Ham petrol	≈ 42 - 45 MJ/kg (≈ 12 kWh/kg)	≈ 1,5	—
Doğal gaz	≈ 50 - 55 MJ/kg (≈ 14-15 kWh/kg)	≈ 1,8	Hacimsel olarak ≈ 38 MJ/m ³
Doğal uranyum (PWR, açık çevrim, fiilen kullanılan)	≈ 450.000 - 500.000 MJ/kg	≈ 16.000 - 20.000	Yalnızca % 0,5-0,7'lik kullanım oranıyla
Doğal uranyum (FBR, tam çevrim varsayımı)	≈ 60.000.000 - 75.000.000 MJ/kg	≈ 2.500.000 - 3.000.000	U-238 dahil tüm fisil/fertil içerik
U-235 (tam fisyon, teorik)	≈ 80.000.000 MJ/kg	≈ 3.300.000	Fiziksel/teorik üst sınır

Tablo 6.1— Fosil yakıtlar ve nükleer yakıtların kütsel enerji yoğunluğu karşılaştırması (IEA, NEA ve nükleer fizik referans değerleri).

Bu tablo, nükleer yakıtın fosil yakıtlara kıyasla taşıdığı muazzam teorik enerji potansiyelini açıkça göstermektedir. Ancak bu potansiyelin günümüz ticari reaktörlerinde (PWR/BWR) yalnızca binde 5-7'lik bir kısmı kullanılabilmektedir; bu nedenle 'fiilen kullanılabilir enerji yoğunluğu' (kömüre kıyasla ≈ 16.000-20.000 kat) ile 'teorik enerji potansiyeli' (≈ 2,5-3 milyon kat) arasında devasa bir fark bulunmaktadır. Bu fark, Bölüm 7'de özetlenmiştir.

10. Teorik Enerji Potansiyeli ile Fiilen Kullanılabilen Enerji Arasındaki Fark: Özet Tablo

Büyüklik	PWR (açık çevrim, mevcut teknoloji)	FBR (üretken çevrim)	MSR (Th-U233, teorik)
Doğal kaynağın enerjiye dönüşüm oranı	≈ % 0,5 - 0,7	≈ % 60 - 70	≈ % 70 - 90
10.000 ton tipik Türkiye cevherinin (≈ 8,5 ton U) 1000 MWe'de sağladığı çalışma süresi	≈ 15-21 gün	≈ 4-6 yıl (teorik, varsayımsal)	≈ 5-8 yıl (teorik, varsayımsal)
Ticari olgunluk düzeyi (2026 itibarıyla)	Tam ticari, dünya kapasitesinin tamamına yakını	Sınırlı ticari/demonstrasyon (Rusya BN-800 vb.)	Deneysel/öncül (Çin 2029 hedefi)
Türkiye'deki uygulama durumu	Akkuyu NGS (VVER, PWR ailesi) inşa/işletme aşamasında	Yok	Yok

Tablo 7.1 — Teorik enerji potansiyeli (kaynağın fiziksel enerji içeriği) ile fiilen kullanılabilen enerji (mevcut/öngörülebilir reaktör teknolojisiyle elde edilebilen) arasındaki fark özeti. FBR/MSR satırlarındaki süreler, ilgili teknolojilerin tam üretken verimle ve ticari ölçekte çalıştığı varsayımsal bir senaryoyu yansıtmaktadır; günümüzde bu teknolojiler Türkiye'de mevcut değildir.

Tablo 7.1'in en önemli çıkarımı şudur: aynı 10.000 ton cevher, bugün Türkiye'de mevcut olan ve fiilen kullanılabilecek tek teknoloji olan PWR tipi reaktörlerde 1000 MWe gücünde yalnızca 2-3 hafta yakıt sağlarken; henüz ticarileşmemiş üretken (breeder) teknolojilerde teorik olarak yıllar mertebesinde bir süre sağlayabilir. Bu nedenle 'yıllarca çalışır' iddiası, ancak var olmayan/deneysel teknolojiler için ve büyük belirsizlikle geçerli olabilecek bir senaryodur; mevcut teknoloji ve mevcut Türkiye tenörleri için geçerli değildir.

11. Temel Soru: '10.000 Ton Uranyum veya Toryum Cevheri, 1000 MW'lık Bir Reaktörü 20 Gün mü, Yıllarca mı Çalıştırır?'

Kısa Yanıt

Bu günkü reaktör teknolojisi ve Türkiye'nin tipik cevher tenörleri esas alındığında, bilimsel yanıt '20 gün' ifadesine çok daha yakındır; 'yıllarca' ifadesi yalnızca henüz ticarileşmemiş üretken reaktör teknolojileri (FBR, MSR) için ve teorik bir varsayım olarak kısmen savunulabilir.

Hesabın Dayandığı Mantık

- 10.000 ton ham cevher, Türkiye'nin en zengin uranyum yatağı olan Sorgun'un tipik tenörüyle (% 0,10 U_3O_8) işlendiğinde yaklaşık 10 ton U_3O_8 = 8,5 ton metalik doğal uranyum verir.
- 1000 MWe gücünde, açık çevrimli (PWR/VVER tipi) bir santralin yıllık doğal uranyum ihtiyacı, NEA/IAEA ve ETKB/DPT kaynaklarına göre yaklaşık 150-200 tondur.
- 8,5 ton / (150-200 ton/yıl) = yaklaşık 0,043 - 0,057 yıl = 15,5 - 20,7 gün.

- Bu nedenle 10.000 ton tipik Türkiye cevheri, 1000 MWe'lik bir reaktörü yalnızca yaklaşık 2-3 hafta ($\approx$ 20 gün mertebesinde) besleyebilir; bu, 'yıllarca' iddiasından yaklaşık 20-25 kat daha düşüktür.

'Yıllarca' İddiasının Hangi Koşulda Kısmen Doğru Olabileceği

- Eğer söz konusu 10.000 ton, ham cevher değil, doğrudan saf/zenginleştirilmiş nükleer yakıt (10.000 ton metalik U veya UO₂ yakıt) olarak yorumlanırsa, bu miktar 1000 MWe'lik bir reaktörü onlarca-yüzlerce yıl besleyebilir (10.000 ton / 150-200 ton/yıl $\approx$ 50-65 yıl). Ancak soru açıkça 'cevher' demektir; cevher ile saf yakıt birbirine karıştırılmamalıdır.
- Eğer reaktör, FBR veya MSR gibi üretken (breeder) bir çevrimle çalışıyorsa, aynı miktardaki doğal kaynaktan 60-90 kat daha fazla enerji elde edilebileceğinden, çalışma süresi yıllar mertebesine çıkabilir (bkz. Tablo 7.1). Ancak bu teknolojiler 2026 itibarıyla ticari ölçeğe mevcut değildir.
- Eğer reaktör gücü 1000 MW değil, çok daha küçük (örn. 100 MWe veya altı) ise, çalışma süresi orantılı olarak uzar (Bölüm 3), ancak yine de 'yıllarca' ifadesine ancak kısmen yaklaşılabılır ($\approx$ 5-7 ay).

Sonuç

Soruda belirtilen koşullar (10.000 ton ham cevher, 1000 MWe güç, günümüz teknolojisi) altında bilimsel olarak doğru yanıt '20 gün' senaryosuna karşılık gelmektedir. 'Yıllarca çalışır' ifadesi, cevher ile saf/zenginleştirilmiş yakıtın karıştırılmasından veya henüz ticarileşmemiş üretken reaktör teknolojilerinin varsayılmasından kaynaklanan bir yanılgıdır.

Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bu makale, Türkiye'nin uranyum ve toryum kaynaklarının durumunu ortaya koymaktadır:

- (v) Türkiye'deki yatakların tenörleri uluslararası ölçeğe düşük-orta seviyededir;
- (vi) (ii) 10.000 ton ölçeğindeki bir cevher üretiminden elde edilen saf metal miktarı sadece birkaç ton mertebesinde;
- (vii) (iii) bu miktar, günümüz teknolojisiyle (PWR) 1000 MWe'lik bir reaktörü ancak birkaç hafta besleyebilir;
- (viii) (iv) toryum ve üretken reaktör teknolojilerinin (FBR, MSR) sağladığı teorik enerji potansiyeli çok daha yüksek olmakla birlikte, bu potansiyel henüz ticari bir gerçekliğe dönüşmemiştir.

Türkiye'nin nükleer enerji politikası açısından, yerli uranyum ve toryum kaynaklarının mevcut tenörleriyle, ülkenin büyük ölçekli nükleer enerji programının (örn. Akkuyu NGS) yakıt ihtiyacının önemli bir kısmını karşılaması, bugünkü teknoloji ve ekonomik koşullarda mümkün görünmemektedir; bu nedenle yakıt ithalatına bağımlılık sürmekte, yerli kaynaklar ise ancak ileri teknolojilerin (zenginleştirme, üretken reaktörler, toryum çevrimi) geliştirilmesi halinde stratejik bir değer kazanabilecektir.

Kaynaklar

- IAEA & NEA/OECD, Uranium: Resources, Production and Demand ("Red Book"), güncel baskılar.
- IAEA, Nuclear Fuel Cycle Information System ve İlgili Teknik Raporlar.
- NEA/OECD, Nuclear Energy Data; Advanced Nuclear Reactor Technologies (FBR/MSR değerlendirmeleri).
- IEA, World Energy Outlook ve Key World Energy Statistics (enerji yoğunluğu ve birincil enerji verileri).
- MTA Genel Müdürlüğü, "Uranyum-Toryum" Maden Serisi Raporu, mta.gov.tr.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Toryum" ve "Uranyum" Sayfaları, enerji.gov.tr.
- Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik ÖİK Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Raporu (Nükleer Enerji Hammaddeleri Uranyum-Toryum), DPT.
- Eroğlu, G., Dünyada ve Türkiye'de Uranyum ve Toryum, (rapor).
- MTA Bülteni, "Dünyada ve Türkiye'de Uranyum, Toryum" makalesi, bulten.mta.gov.tr.
- ResearchGate, "MTA ve Ülkemizde Uranyum Aramacılığı".

Not: Bu makalede kullanılan reaktör yakıt ihtiyacı, yakıt çevrimi verimliliği ve enerji yoğunluğu değerleri, IAEA/NEA/IEA yayınlarında yer alan genel kabul görmüş mertebe (order-of-magnitude) değerleridir; kesin santral-spesifik veriler için ilgili kurumların güncel teknik raporlarına başvurulması önerilir.