

Dünya Toryum Rezervleri ile Küresel Karbonsuz Toryum Kaynaklı Nükleer Elektrik Reaktörleri Geliştirilmesi için Yapılan Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar

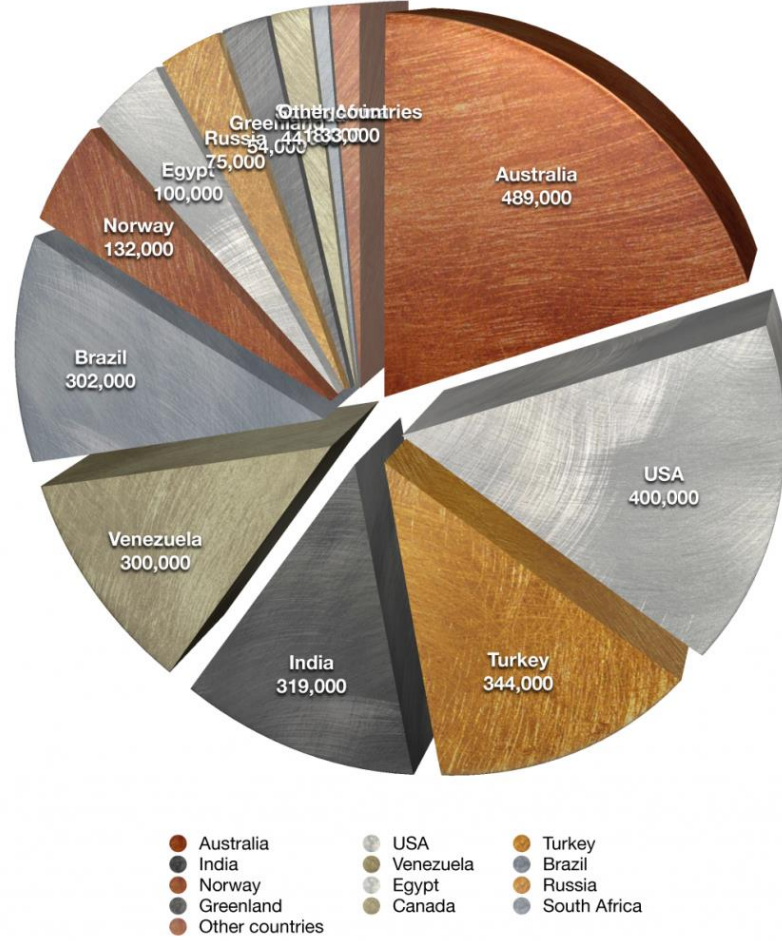
Ahmet Cangüzel Taner
Fizik Yüksek Mühendisi
Fizik Mühendisleri Odası (canguzel.taner@gmail.com)

Son yıllarda Hindistan ve Çin, karbonsuz toryum yakıtlı nükleer enerji santralleri faaliyete geçirmek için yoğun gayret sarf etmektedir. Yoğun çabalarının nedeni olarak hem her iki ülkenin yüksek ekonomik büyüme hızları sayesinde astronomik boyutlara ulaşan elektrik ihtiyaçları hem de süratle artan küresel karbon emisyonları ve global karbondioksit salınımları kaygıları gösterilmektedir. Bu bağlamda Hindistan'da Indira Gandhi Atom Araştırma Merkezi (Indira Gandhi Centre for Atomic Research) ve Bhabha Nükleer Araştırma Merkezi (Bhabha Atomic Research Centre – BARC) 'nde teknolojik ve bilimsel araştırmalar yürütülmektedir. On yıl içinde Hindistan, toryum kökenli ağır su nükleer enerji reaktörleri çalıştırılması ve işletilmesini planlamıştır. Çin'de ise Çin Bilimler Akademisi (Chinese Academy of Sciences – CAS) ve Shanghai Uygulamalı Fizik Enstitüsü (Shanghai Institute of Applied Physics – SINAP) tarafından toryum menşeli nükleer santraller kurulması için bilimsel araştırmalar yapılmaktadır. Çin'in deneme amaçlı prototip toryum reaktörü 2015 yılında faaliyete geçecektir. Ayrıca, eritilmiş toryum florit yakıtlı toryum reaktörü çalışmaları da sürdürülmektedir. Diğer taraftan, Çin ve Hindistan'da yürütülen toryum reaktörleri temelli bilimsel ve teknolojik araştırmalar Türkiye için de büyük önem taşımaktadır. Küresel toryum yatakları açısından Türkiye dünyada Avustralya ve Amerika Birleşik Devletleri'ni takiben üçüncü sırada yer almaktadır. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (International Atomic Energy Agency – IAEA) 2005 yılı tahminlerine göre Türkiye toryum rezervi 344000 ton civarında bulunmaktadır.

Toryum kendi kendine bölünebilir (fisil) bir element değildir. Toryum nötronlarla bombardımana tabi tutulduğunda uranyum-233 (U-233) izotopuna dönüşmektedir. Böylece, toryum gerekli nötronları temin etmek için klasik reaktörlerde zenginleştirilmiş uranyum veya plütonyumla birlikte yakılabilmektedir. Bununla beraber toryumu florit halinde kullanmak daha iyi bir tasarım ve yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Toryum, berilyum ve lityum florür ile karıştırılmak suretiyle kaynama noktası 1100 °C dan daha kolay izlenebilir düzey olan 360 °C 'a kadar düşürülerek karışım eritilmektedir. Meydana gelen sıvı, fisyonla sıcaklığın yaklaşık 700 °C 'ye ulaştığı özel tasarımlı reaktör kalbi içerisine pompalanabilmektedir. Daha sonra sıvı, genellikle karbondioksit veya helyum gazına yeni kazanılan ısıyı transfer etmek için ısı değiştirici (heat exchanger) ünitesine yönlendirilmektedir. Karbondioksit ya da helyum gazları da türbinlerde elektriği elde etmekte kullanılmaktadır. Soğumuş florit karışımı ise tekrar ısıtılmak üzere yeniden nükleer reaktör kalbine gönderilmektedir. Şimdiye kadar anlatılanlar Amerika Birleşik Devletleri Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı (Oak Ridge National Laboratory – ORNL) deneysel amaçlı toryum reaktörü işletilmesi yöntemini kapsamaktadır. ORNL, ABD Enerji Bakanlığı (US Department of Energy – DOE) adına bilimsel ve teknolojik araştırma projeleri yürütmektedir. ORNL prototip toryuma dayalı nükleer reaktör çalıştırılması ve faaliyeti 1961 yılında durdurulmuştur. Günümüzde söz konusu tesisin modern tipi sıvı florit toryum reaktörü (Liquid Fluoride

Thorium Reactor – **LFTR**) olarak adlandırılmaktadır. **LFTR** tipi toryum reaktörleri sistemlerinin en önemli özelliği, normal atmosferik basınç altında çalıştırabilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum nükleer enerji ekonomisi ve nükleer reaktör maliyetleri kalemlerini çok yakından ilgilendirmektedir. Şu anda yaygın olarak kullanılan hafif sulu nükleer elektrik reaktörleri modellerinde soğutma suyu aşırı yüksek basınç altında tutulmaktadır. Sonuç olarak hafif sulu nükleer güç reaktörleri çelik basınç kapları kılıflarına ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca, nükleer reaktör soğutma sistemi arızalandığında ve radyoaktif buhar ortaya çıktığında söz konusu radyoaktivitenin çevreye salınımının önlenmesi amacıyla kaleye benzer yapı olan reaktör koruma kabı (containment building) inşa edilmesi gerekmektedir. **LFTR** tipi toryuma dayalı nükleer güç santralleri yukarıda ifade edilen nükleer güvenlik sistemleri ve donanımları kurulmasına gereksinim duymamaktadır. Öte yandan, toryum nükleer yakıtı hazırlanması da rakiplerine kıyasla çok daha kolaydır. Doğal uranyumun sadece %0.7 si bölünebilir uranyum-235 (U-235) izotopudur. Geri kalanı uranyum-238 (U-238) olup, üç fazla nötron nedeniyle daha ağırdır. Bahse konu nötronlar sayesinde U-238 kararlılık kazanmakta ve bölünmeye uğramamaktadır. İşte bu sebepten oldukça karmaşık santrifüj yöntemi ile uranyumun zenginleştirilmesi zorunluluk arz etmektedir. Uranyum-238 'in nötronlarla bombardımanı ile plütonyum üretimi gerçekleşmesine benzer şekilde toryum da uranyum-233 (U-233) 'e dönüşmektedir. Ancak, plütonyumun yakılması için ayrı bir nükleer reaktör olması icap etmektedir. Tam tersine, toryum yakıtı cevherden çıkarıldığında reaktörde kullanılmaya hazır konuma gelmektedir. Diğer taraftan, nötronların zincirleme nükleer reaksiyonları başlatabilmesi için de uranyum ve plütonyum gereklidir. Toryum da ise uranyum-233 (U-233) 'e kafi derecede dönüşüm sağlandığında proses kendi kendine yeten düzeye ulaşmaktadır. Bu arada söz konusu düzey, U-233 bölünmesinden gelen nötronlar ile tüketilen U-233 'ün yerini doldurmak için yeterince toryumun transmutasyonu sayesinde korunmaktadır. Böylece, asıl malzeme azalmamakta ve reaktör sistemi içinde fazlasıyla bulunmaktadır. Ayrıca, yakıtın sıvı halinde olması sebebiyle U-233 atomları bölündüğünde oluşan fisyon ürünleri ile birlikte reaktörden akabilmektedir. Benzer şekilde fazla toryum florit de gerektiğinde reaktörden tahliye edilebilmektedir. Neticede toryum kaynaklı nükleer enerji reaktörleri hafif sulu nükleer güç santralleri ünitelerine kıyasla yıllarca fasılasız ve hiç durmaksızın çalışabilmektedir. Hafif sulu nükleer elektrik santralleri ise nükleer yakıt çubukları değiştirilmek üzere her 18 ayda bir kapatılmaktadır. Toryumun başka avantajları ve üstünlükleri de mevcuttur. Örneğin, **LFTR** toryum reaktörleri klasik hafif sulu reaktörlere nazaran daha az zararlı radyoaktif atık üretmektedir. Oluşan nükleer atık iyonlaştırıcı radyasyon doz düzeyleri yüzde bir oranında daha düşüktür. Bu bağlamda **LFTR** toryum reaktörü radyoaktif atıkları yüzyıllar mertebesinde güvenli seviyeye indirgenmektedir. Hafif sulu reaktörlerin radyoaktif atıklarının bekletilme süreleri ise milyonlarca yıla kadar ulaşmaktadır. Toryum elementinden nükleer bomba yapılması çok zor olmasına rağmen çelişkili şekilde çoğunlukla klasik güç reaktörleri kanalıyla elde edilen atom bombaları ile eşdeğer tutulmuştur. Bir ya da iki U-233 bombası 1950 'li yıllarda **ABD** tarafından Nevada çölünde denenmesi ve Hindistan'da da 1990 'lı yılların sonlarında aynı şekilde test edilmesi küresel atom bombaları kaygılarını artırmıştır. Ancak, Amerikan deneyi göz önüne alındığı takdirde U-233 nükleer bombaları erken patlamaya açık, hassas ve kararsız bir yapıya sahip oldukları ortaya çıkmıştır. U-233 'ün güçlü gama radyasyonu üretmesi nedeniyle bomba ateşleme devresinin yanması nükleer silah olarak kullanılmasını riskli kılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri, Nevada testlerinden sonra U-233 atom bombaları imalatı ve yapımını durdurmuştur.

Aşağıdaki grafikte ve tabloda ülkelerin global toryum kaynakları ton ve yüzde olarak verilmektedir. Dünya toryum rezervleri toplamı 2810000 tondur. Türkiye toryum kaynakları ise ülkemizin enerji arz güvenliği sorunları çözümü açısından ciddi bir umut vaat etmektedir.



Kaynak: IAEA,2005

Ülkeler	Toryum rezervleri (ton)	Yüzde (%)
Avustralya	489000	19
Amerika Birleşik Devletleri	400000	15
Türkiye	344000	13
Hindistan	319000	12
Brezilya	302000	12
Venezuela	300000	12
Norveç	132000	5
Mısır	100000	4
Rusya Federasyonu	75000	3
Grönland (Greenland)	54000	2
Kanada	44000	2
Güney Afrika	18000	1
Diğer Ülkeler	33000	1

Öte yandan, gama ışınları problemi toryumun U-233 'e dönüştürülmesi prosesi kapsamında çok karmaşık bir durum da yaratmaktadır. Çok az bir miktar, farklı bir nükleer bozunma serisi yolu izleyerek gerçekten çok radyoaktif olan talyum ile son bulmaktadır. Radyoaktif talyumun gama ışınları aşırı derecede yüksek enerjili olup, bir metre kalınlığındaki betona kadar girebilmektedir. Söz konusu elementten eser düzeyde ihtiva eden materyalin bile işlenmesi ve dökümü küresel ölçekte sadece çok az sayıdaki ulusal nükleer silah laboratuvarları birimlerinde mümkün görülmektedir. Atom bombası üretimi ile ilgilenen ülkeler toryum reaktörleri yerine uluslararası denetimi daha zayıf olan plütonyum bulma yoluna gitmektedir. Sonuçta, toryum küresel nükleer silahlar yönünden terkedilmekle birlikte çağımızın ciddi global enerji arz güvenliği sıkıntıları karşısında yeniden dünya gündemine gelmektedir.

Kaynaklar:

- Yeni Nesil Nükleer Güç Reaktörleri, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2006.
- Atom, Radyoaktivite, Radyoizotoplar ve Radyasyon Türleri, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2007.
- Nükleer Güç Santralleri ve Nükleer Enerjinin Geleceği, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2007.
- Nükleer Reaktörler, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2007.
- Fransa'da Nükleer Santraller ve Nükleer Reaktörlerin Geleceği, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2008.
- Nükleer Santraller ve Gelecekteki Nükleer Enerji Projeksiyonları, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2008.
- İngiltere'de Enerji Arz Güvenliği, Enerji Kaynaklarının Çeşitlendirilmesi, Nükleer Santraller ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2008.
- Avrupa'da Nükleer Santraller ve Nükleer Enerji Perspektifleri, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2009.
- İleri Reaktörler, Karbon Borsası ve Küresel Finansal Kriz, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2010.
- İleri Nükleer Santraller, İklimsel Değişim Mekanizmaları, Küresel Isınma ve İklim Değişiklikleri Bilimsel Raporları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2010.
- İngiltere; Yenilikçi Nükleer Santraller ve Enerji Ulaşım Telekomünikasyon Altyapı Yatırımları, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2010.
- Amerika; Yeni Nesil Nükleer Elektrik Santralleri ve Nükleer Rönesans, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2010.
- Çağdaş Nükleer Santraller ve Avrupa Basınçlı Su Reaktörleri (**European Pressurized Water Reactor - EPR**) ile ilgili Fransa'nın Pazarlama İnkilemi, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2011.
- Almanya; Enerji Stratejisi ve Nükleer Güç Santralleri İşletilmesi Perspektifi, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2010.
- Japonya Depremi Tsunami ve Nükleer Reaktörler, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2011.
- Fukushima Nükleer Güç Santralleri Kazaları Sonrası Modern Nükleer Santraller Ahmet Cangüzel Taner, **FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2011.

- Japonya Deprem Tsunami Sprt Dalgaları Doğal Felaketler Sonucu Nükleer Reaktör Kazaları Sonrası Almanya Nükleer Enerji Politikası Sarmalı, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011.
- Almanya Nükleer Elektrik Santralleri Kapatılması Perspektifi, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011.
- Almanya Nükleer Santraller Kapatılması Kararı Sonrası Elektrik retimi ıkmazı, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011.
- Amerika Birleşik Devletleri Enerji Politikası ve Evrimsel Nükleer Santraller, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011.
- Almanya Enerji Devrimi ve Enerji Dönüřümü-**Energiewende** Politikaları, Fosil Yakıtlı ve Nükleer Enerji Tabanlı Ekonomi Sistemi Portföyünden Yenilenebilir Enerji Kaynakları Temelli Ekonomi Sistemi Portföyüne Transformasyon, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2012.
- ABD** Nükleer Enerji Politikaları erevesinde Geliřtirilen Modern Yeni Kuřak Nükleer Elektrik Santralleri Stratejileri, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2012.
- Almanya Yeřil Enerji Devrimi **Energiewende** Enerji Dönüřümü Süreci İçinde Elektrik Őebekesi Sistem Kararsızlıkları ve Gerilim (Voltaj) Dengesizlikleri, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
- Güney Afrika Elektrik retimi Portföyü, Enerji Arz Güvenliği Zafiyeti ve ıkmazı Sorunları Nedeni lke Genelinde Yařanan Elektrik Kesintileri ile Enerji Kısıntıları Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
- Çin, Yeni Kuřak Nükleer Enerji Santralleri, Global Yenilikçi Nükleer Santral İnşaatları ve Dünya Sera Gazı Emisyonları, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
- Almanya Enerji Reformu Düřük Karbon Ekonomileri Yenilenebilir Enerji Kaynakları **YEK** Devrimi ve **Energiewende** Enerji evrimi Amazı, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
- İngiltere Elektrik Arz Güvenliği Sarmalı ve ıkmazı Kapsamında Elektrik Kısıntıları ve Enerji Kesintileri Riski ile Karbonsuz Baz Yük Kaynağı Modern Yeni Nesil Nükleer Güç Santralleri Kurulması alışmaları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2014.
- Almanya Düřük Karbon Ekonomisi Enerji Dönüřümü Paradoksu ile Temel Yük Kaynağı Karbonsuz Nükleer Güç Santralleri Kapatılması ve Elektrik Devrimi (**Energiewende**) eliřkisi, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2014.
- Polonya Farklı Enerji Transformasyon (Energiewende) Politikası, Kömür Yakıt Kaynaklı Elektrik retimlerinden Nükleer, **YEK** ve Gaz retimlerine Dönüşüm, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2014.
- Japonya 2011 Yılı Deprem ve Sprt Dalgaları Doğal Felaketler Sonucu Fukushima Nükleer Elektrik Santrali Kapatılması Sonrası Nükleer Enerji Teknolojileri Stratejisi, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2014.
- Global Karbonsuz Toryum Yakıtlı Nükleer Güç Santralleri Elektrik retimi için Çin ve Hindistan'da Yürütülen Araştırma Geliřtirme **ARGE** Faaliyetleri, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2014.
- The Economist Dergisi, (12 Nisan 2014 –18 Nisan 2014).

Fizik Mühendisleri Odası Resmi İnternet Sitesi:
[www.fmo.org.tr/ yayinlar/faydali-bilgiler](http://www.fmo.org.tr/yayinlar/faydali-bilgiler)