

## TORYUM REAKTÖRLERİYLE İLGİLİ DÜNYADAKİ VE TÜRKİYE’deki DURUM?

Yüksel Atakan, Dr. Radyasyon Fizikçisi - Almanya

**Toryum doğada uranyumun 3 katından çok bulunuyor, Türkiye’de de Sivrihisar çevresinde dünyada ilk sıralarda çok toryum var..**

**Toryum yakıtlı reaktörler, uranyumlu olanlardan çok daha fazla güvenliken ve çok daha az radyoaktif atık üretirlerken, son 50 yıldır neden uranyumlular kullanılıyor?**

**Ancak dünyada durum artık değişiyor! Türkiye Avrupa Birliği Bilimsel Araştırmalarında aktif çalışıyor..**

*Not:Toryum konusunda çalışmayan fizikçiler için hazırlanan bu ayrıntılı yazıda, çerçeve içindeki açıklamalar konuyla yakından ilgilenenler içindir. Konuya yabancı olanlar ya da vakti az olanlar isterlerse bunları atlayarak, yazının baş ve son bölümlerini okuyabilirler .*

### Giriş

- Dünyanın enerjisi toprak altında yatıyor, bu kadar çok toryumumuzu neden kullanmıyoruz, uyan halkım, uyan diyen! yazı ve istekler medyada, popüler bilim sitelerinde yer almayı sürdürüyor, sosyal medyada yazılar, videolar dolaşiyor ve bize de bunun nedeni sık sık soruluyor /1/.

Toryum, bir nükleer reaktörde kullanıldığında, uranyumlu olana göre, birim yakıt kütlesi başına çok daha fazla enerji üretebilmesine, nükleer tepkimeyle yeni yakıt maddesinin kendiliğinden oluşarak (breeder) ek yakıt maddesine gerek kalmamasına, büyük bir nükleer kaza olasılığının bulunmamasına, atom bombası yapımı için elverişsiz olmasına, daha az radyoaktif atık üretmesine, iklimi etkileyen CO<sub>2</sub> salmamasına ve dünyaya 1000 yıldan çok enerji sağlayabileceği kestirimleri de yapılmasına karşın, toryumlu nükleer reaktörler dünyada neden çok değil ve elektrik enerjisi üretiminde hâlâ uranyumlu olanlar kullanılıyor?

Bu yazımızda, toryumlu reaktörlerle ilgili dünyadaki gelişmeleri gözden geçirerek bu sorunun yanıtını vermeye ve Türkiye ile ilgili sonuçlar çıkarmaya çalışacağız (Bu konudaki ayrıntılı bilimsel ya da teknolojik raporlar için bkz./ 2,3,4,5/.

**Toryum nasıl bir element, dünyada, ülkemizde ne kadar var?**

*Toryum, doğada uranyuma oranla 3 kat daha çok bulunan, 1828 yılında İsveçli kimyacı Jons Jakob Berzelius’un bulduğu ve adlandırdığı radyoaktivitesi düşük bir metal olup birçok kaya ve toprakta az miktarda bulunuyor (Toprakta ortalama milyonda 6 oranında). Suda pek çözünmeyen toryum, bu nedenle kumda bulunmasına karşın, deniz suyunda uranyumun aksine pek bulunmuyor. Doğada sadece Toryum 232 (Th 232) izotopu halinde bulunan toryumun yarılanma süresi dünyanın yaşının 3 katı kadardır (Örneğin 100 adet Th 232 atom çekirdeklerinin 50’si ancak 14 milyar yıl sonra radyoaktif bozunmaya uğrayarak 50 adete iniyor ya da Th 232’ye pratikte bozunmayan kararlı bir izotop gözüyle de bakılabilir). Bozunan Th232 atom çekirdekleri, ara izotoplardan sonra Kurşun 208 kararlı atom çekirdeklerinde son buluyorlar. Toryum, doğada en çok %6- %12 oranları arasında ‘toryum fosfat’ halinde Monazit minerallerinde bulunuyor. Dünya toplam Monazit miktarının 16 milyon ton olduğu kestiriliyor. Bunun 12 milyon tonunun güney ve doğu Hindistan kıyılarındaki kumsallarda depolandığı biliniyor.*



© Thomas Seilnacht

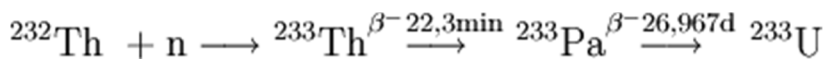
### Resim: Toryumu bol Monazit

IAEA/NEA 2014 verilerine göre toplam bilinen / kestirilen toryum miktarı aşağıdaki çizelgededir /2,3/. Dünya toryum miktarı dağılımı ülkelere göre

| Ülke                | Ton              |
|---------------------|------------------|
| Hindistan           | 846,000          |
| Brezilya            | 632,000          |
| Avustralya          | 595,000          |
| ABD                 | 595,000          |
| Mısır               | 380,000          |
| Türkiye             | 374,000          |
| Venezüella          | 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        |
| <b>Dünya Toplam</b> | <b>6,355,000</b> |

### Toryumdan enerji nasıl üretiliyor?

Toryum elementi, 232 kütle numaralı atom çekirdeği olan Th 232'den oluşuyor. Th232, bölünerek (fisyon ile) enerji üretilmiyor. Ancak, Th232 atom çekirdeği, bir nükleer reaktörde, katkı maddesi olarak kullanılan örneğin U235'den bir yavaş nötron kaptığında, ara protaktinyum (Pa 133) oluşuyor ve bu da Uranyum 233 (U 233)'e dönüşüyor. U233 ise aynı U235 gibi bölünerek (ya da fisyonu uğrayarak) yeni radyoizotoplar ortaya çıkıyor ve nötronlar salınarak 'atom enerjisi dediğimiz' büyük bir enerji açığa çıkıyor. Sonunda, bu enerji nükleer santralde elektrik enerjisine dönüştürülüyor. Doğal toryum atom çekirdeğinin reaktörde, nötronla etkilenmesiyle, U233'ün oluşmasını gösteren tepkime:



**Toryumun kullanıldığı Ergimiş Tuz Reaktörlerinde (ETR, Molten Salt Reactors) U 233, enerji üretiminde doğrudan kullanılıyor (Diğer toryum reaktörlerinde ise ara atom çekirdeği olan Protaktinyum 233'ün önce kimyasal olarak ayrılması gerekiyor).**

**Özetle Th 232 nükleer bir reaktörde tek başına enerji üretilmiyor. Th 232'nin yanı başında Th 232 atom çekirdeklerini yavaş nötronlarla tetikleyecek /yönlendirecek U 235 ya da Pu 239 ya da önceden kalmış U 233 atom çekirdeklerinden yayınlanacak nötronlara gerek bulunuyor (Th 232 hızlı nötronlarla da tetiklenebiliyor). Toryum reaktörlerinde, reaktörde en azından kullanıldığı kadar (yakıldığı kadar) U 233 üretilmediğinden, bunlara “doğal üretken (breeder) reaktörler” deniyor (U 233 bölündüğünde ortaya çıkan nötron sayısı, U 235 veya Pu 239 bölünmelerinden daha fazla). Tek bir U 233 atom çekirdeğinin bölünmesiyle (fisyonuyla) ortaya çıkan enerji ise Uranyum 235'inki kadardır: 200 MeV (Milyon elektron Volt).**

### **Toryumun reaktörlerde kullanımıyla ilgili dünyada bugünkü durum?**

**Toryumun şimdiye kadar denendiği reaktör tipleri:**

#### **Katı yakıt kullanan reaktörler**

Ağır sulu reaktörler, Candu (EC6) reaktörleri, Yüksek sıcaklıktaki Gaz soğutmalı reaktörler (HTRs), kaynamalı ve basınçlı sulu reaktörler (BWR ve PWR)

**Toryum kullanılan bugün deneme dönemindeki reaktör tipleri:**

#### **Sıvı yakıt kullanan reaktörler**

Hızlı nötronlu reaktörler (FNR), Ergimiş Tuz Reaktörleri (ETR/MSR) ve Hızlandırıcılarla nötronların ivmelendirildiği reaktörler (ADS).

Bugüne kadar toryum yakıtıyla ilgili yapılan araştırmalardan elde edilen en önemli sonuçlar /2-5/:

1. Toryumlu bir nükleer reaktörün yakıt maddesinin, uranyumlu olanın aksine, yasa dışı patlayıcı bir madde yapılması için elverişli olmaması
2. Kullanılmış toryumlu yakıt maddesi içindeki Uranyum 232'den türeyen yüksek radyoaktiviteli maddelerin (radyoizotopların), çok yüksek düzeyde (doz hızında) gama ışınları yayması sonucu reaktör kalbi yakınlarında zaman zaman çalışması gereken personelin iş göremeyeceği .Bununla ilgili sorunların giderilmesi ya da azaltılması için araştırmalar yapılması beklenir. **R:Uzmen'in notu:**U232'nin gama ışınları daha çok katı toryum yakıtı kullanıp kullanılmış yakıtların yeniden işlenmesi sırasında ciddi engel oluşturuyor. Aslında bu durum insanların giremeyeceği bir ortam oluşturduğundan kendiliğinden nükleer silâh yapımına elverişsizlik olarak görülüyor. Ama ETR'lerde durum farklı; AB projesi EVOL'de 1 yıl sonra U232/U oranı 50 ppm'de kalıyor. Bu da sürekli (günde 40 litre) yakıt temizlemeden kaynaklanıyor. Örtü bölmesinde ise 600 ppm dolayında. Sürekli ve insan elinin giremediği tamamen kapalı bir ortamda yakıt temizleme söz konusu

### **Toryumla elektrik üretiminin ilk dönemindeki reaktörler**

Toryumlu reaktörler, geçmişte çeşitli ülkelerde denenerek elektrik üretildi. Ancak bu ilk denemelerde, **bugün artık kullanılmayan**, yüksek oranda zenginleştirilmiş uranyum (HEU: High Enriched Uranium), Th232 atom çekirdeklerini nötronlarla bombardıman ederek sonunda U233'e dönüştürüp bölünebilir (fisyona uğrayabilir) duruma getirmesini sağlayan katkı maddesi olarak kullanıldı /2-5/.

#### **Toryum yakıtlı ilk reaktörlerden bazıları:**

- 1. Almanya'da Hamm-Uentrop'ta 300 MWe gücünde Toryum Yüksek Sıcaklık Reaktörü (THTR) yaklaşık 10 yılda kuruldu, 1983 -1989 arasında çeşitli teknik arızalarla sık sık ara verilerek çalıştırıldı. Gerek sık arızalanması gerekse 1986 Çernobil kazasının halkta uyandırdığı tepkiyle de, sonunda, 1989'da kapatıldı. 674.000 adet tenis topu büyüklüğündeki yakıt maddesi, zenginleştirilmiş uranyumlu (HEU) toryum ve moderatör olarak da grafitten oluşuyordu. Reaktör çalışırken toplar hareket halinde reaktörün kalbinden geçmekteydiler. Reaktör helyum ile soğutuldu.**
- 2. ABD'de 40 MWe'lik Peach Bottom HTR, toryum-HEU reaktörü 1967-1974 arası çalıştı. Bu reaktör 1349 tam kapasite gününde %74 verimle 33 milyar kWh elektrik üretti.**
- 3. ABD Colorado'da 330 MWe Fort St. Vrain HTR 1976-89 arası işletildi. Bu reaktörde de 25 ton toryum ve HEU kullanıldı.**
- 4. ABD Shippingport'da Toryum yakıtının hafif sulu üretken (breeder) bir reaktörde kullanılması ilk kez gerçekleşti. 1977'den 1982'ye kadar işletilen bu reaktörde Th 232'den türetilenle aynı izotop olan U 233 ilk kez katkı maddesi olarak kullanıldı. Bu reaktör ortalama 60 MWe gücünde ve %86 verimle çalışarak 2,1 milyar kWh elektrik üretti.**

#### **Toryumdan enerji üretiminde Hindistan en önde!**

Dünyada en çok toryumun bulunduğu Hindistan'da 1947'den beri toryumla ilgili bilimsel araştırmalar yapılıyor. Hindistan'da uzun bir süre ağır sulu reaktörlerde toryum da kullanıldı. Ülkede bugün elektrik %2 nükleerden, %12 yenilenebilir ve %70 de fosil kaynaklardan üretiliyor. Hindistan dünyada, katı yakıtlı toryumlu reaktörlerin uzun erimli olarak planlandığı, bunların bütçelerinin bulunduğu ve devletin desteklediği tek ülke. Hindistan 2050 yılına kadar elektrik enerjisinin %30'unu toryumlu nükleer santrallardan karşılamayı planlıyor. 62 planlanan nükleer santraldan çoğunun toryumlu reaktörler olması ve 2025 yılında işletmeye açılması bekleniyor. Hindistan'da bugün (Ocak 2018) uranyumla çalışan 22 ve yapımı süren 6 nükleer santral var. Çoğu toryumlu reaktörlerden oluşacak 19 santral planlanıyor ve 46 santral da öneriliyor /3/. Ancak son yıllarda Hindistan, hızlı nötronlu-üretken Ergimiş Tuz Reaktörlerinin (ETR) çok daha verimli bir şekilde toryumu kullanacağını anladığından çok kapsamlı bir toryum-ETR programını yürürlüğe sokmuştur.

#### **Toryum reaktörleriyle uranyumluların karşılaştırılması: Sorunlar neler?**

1960'lı yıllardan bugüne kadar toryum, çeşitli reaktör tiplerinde kullanılmış, toryum reaktörleriyle ilgili bir çok bilimsel araştırma yapılmış, zaman zaman da elektrik üretilmiştir. Uranyum yerine, toryum-uranyum-flüorür karışımı kullanılarak işletilen reaktörlerden edinilen bilgiler ve kazanılan deneyim, toryumlu reaktörlerin, bir çok bakımdan uranyumlu mevcut reaktörlerden daha elverişli ve güvenli olduğunu göstermiştir.

Ancak bu yoğun çalışma ve bilimsel araştırmalar, toryum reaktörlerinin ticarî olarak çok sayıda, uzun süre çalıştırılabilmesi için yeterli görülüyor. Çünkü toryum reaktörleriyle ilgili standartlar henüz yapılmış değil ve lisanslama (onaylama) sürecini geçirmiş bir reaktör yok. Ayrıntıya girersek: Toryum reaktörlerindeki **nükleer ve radyasyon güvenliğiyle** ilgili tüm sistem ve sistem elemanları için (reaktör kabı, pompa, vana, boru hatları, elektronik aletler gibi elemanlar) güvenlik standartlarının, benzer reaktörlerden edinilen deneyimlerin ışığında hazırlanması ve bunlarla ilgili yaptırımlarla kalite kontrollerinin sağlanmasıdır. Bugüne kadar katı yakıtlı toryum reaktörlerinin dünyada ilgi görmemesinin bizce en önemli nedeni standartların yokluğu ve lisanslamanın henüz yapılmamış olmasıdır.

Biraz daha ayrıntıya girersek:

Toryumlu nükleer santraller için de çeşitli senaryolara göre ortaya çıkabilecek arıza ve kaza olasılıklarının sistematik olarak incelenmesi, bunlarla ilgili önlemlerin, benzer reaktörlerden kazanılan deneyimlerle standartlara girmesi ise en azından 5-10 yıl gerektirecektir. Örneğin Almanya'da bizim de yıllar önce katılarak hazırlanan 15-20 sayfalık KTA-standartlarının çoğu, ancak 8-10 yılda bitirilebildi. Bu çeşit standartlar ilgili devlet ve özel kuruluşlardan gelen 15-20 kişilik uzmanların yılda 3-5 kez toplanmalarıyla, birlikte çalışma ve tartışmalarıyla hazırlanabiliyor. ABD, NRC'un toryum konusunda çeşitli yayınları bulunuyor /5/. Ancak bunlar henüz reaktör sistemlerini, reaktörün güvenliğiyle ilgili çok çeşitli sistem parçalarını kapsayan standartlar değil. Almanya'da örneğin sadece reaktör kabıyla ilgili KTA standardı vardır ve bu, 50 sayfadan fazladır.

Ayrıca, **uranyumlu nükleer santrallardan** tüm dünyada alınan bilgiler ve kazanılan yarım yy.lık deneyim de nükleer santrallerin güvenli işletilmesinde, bunları ismarlayan ülkeler için çok önemli olmaktadır. Uranyumlu nükleer santraller uzun yılların deneyimleriyle yapıp geliştirilen standartlara göre kurulup işletilmekte olduğundan, ülke yönetimleri bugün de çok denenmiş ve git gide geliştirilen uranyumlu nükleer santrallara daha çok ilgi gösteriyorlar. Uranyumlu reaktörlere bazı ülkelerin ilgi duymasının bir nedeni de bunlarda ortaya çıkan plütonyumdan atom bombası yapılabilmesidir. Toryumlu reaktörlerde ise bu olası değil.

Öte yandan, ABD ve Rusya arasındaki anlaşma sonucu sökülen nükleer silahlardan elde edilen uranyumun da %15 kadar katkısıyla, uranyum piyasaya uygun fiyatta ve çok miktarda sunuluyor. Hatta uranyumun fiyatı toryum fiyatının 3 katına da yükselse, nükleer santral yapımında yakıt maddesinin payı %3-5 kadar düşük olduğundan katı yakıtlı toryum reaktörleri, bu yönden, pek çekici değil.

Temel sorun, gerek nükleer santral kuran şirketlerin, gerekse bunları ismarlayan ülkelerin (Hindistan, Çin ve az sayıdaki başka ülkeler dışında) toryum reaktörleriyle ilgili ileride ortaya çıkabilecek teknolojik sorunlar nedeniyle (gerek santral yapımının yıllarca gecikmesi, gerekse santral fiyatının artımı gibi sorunlar) ülkelerin riske girmek istemeyişleri, yeni nükleer santral projelerinde toryumlu reaktörlere pek öncelik tanımıyor ve uranyum reaktörlü santrallerin yapımı dünyada bugün de çok daha fazla sayıda sürüyor /3/. Genel olarak nükleer santral yapımının çok uzun yıllar almasının en önemli nedeni lisanslama sırasında gelişen teknoloji nedeniyle ek yaptırımların hem teknik hem de parasal olarak sorunlar yaratması hem de konuyu iyi bilmeyen reaktör karşıtlarının direnmeleri, çevreye etkilerle ilgili raporların kabul görmemesi, yargı yoluna gidilmesi olarak özetlenebilir. Örneğin Finlandiya'da 2009 yılında işletmeye açılması planlanan bir nükleer santralin birçok ertelemeden sonra 2019 Mayıs'ta açılması bekleniyor, o da tekrar bir gecikme olmaz ise!. Santral fiyatının ise 3 milyar Euro'dan 8 milyar Euro'ya çıktığı medyada yer alıyor. 2010 yılında sözleşmesi yasa olarak TBMM'den geçen Akkuyu nükleer santralının ise aradan geçen 7-8 yılda henüz temeli atılmış değil (2 yıl kadar önce temeli atılan liman idi ve bu medyaya santralin temeli atıldı şeklinde yansıdı) . Standartları ve lisanslaması deneyimlerle iyi bilinen uranyumlu santraller için durum böyleyken, standartları olmayan ve henüz lisanslaması yapılmamış olan toryumlu santrallara bu nedenle ilgi olmuyor düşüncesindeyiz.

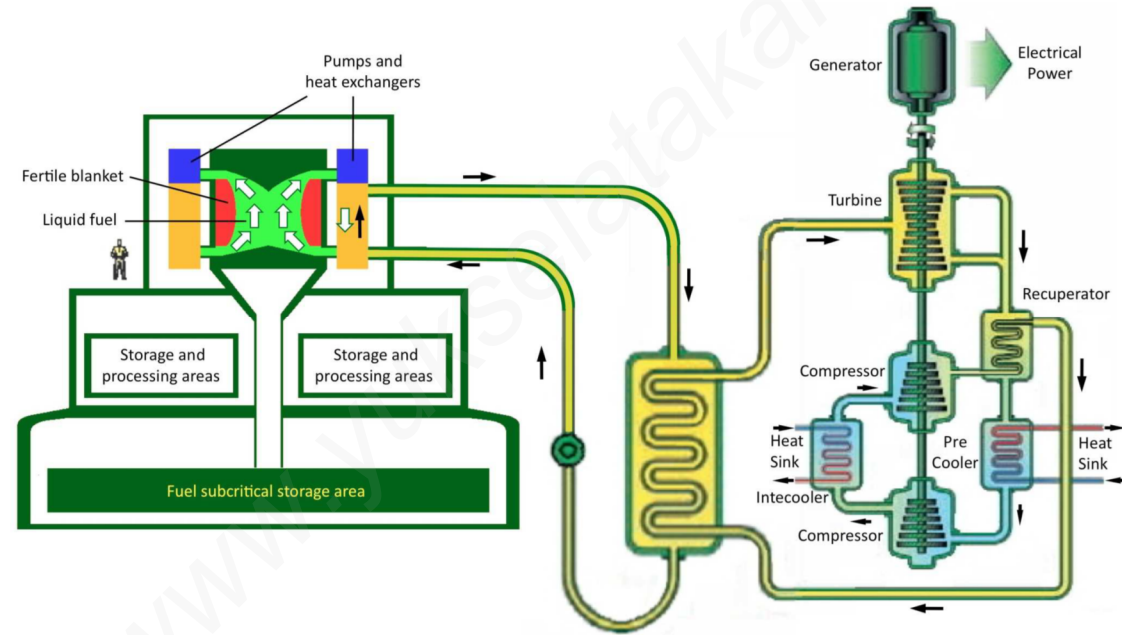
Teknolojinin neredeyse her dalında olduğu gibi ilgili standartların hazırlanması ve lisanslama sürecinin geçirilmesine yine ABD öncülük edecektir ama bugün, görebildiğimiz kadarıyla ABD'de böyle bir gereksinim ve girişim bulunmuyor. Kuşkusuz ABD'de ve diğer gelişmiş ülkelerde bazı çalışmalar ve araştırmalar yapılıyor ama bunlar ticari toryum yakıtlı reaktörlerin çalıştırılmasını kapsayacak ölçüde değil.

**Yeni IV.Kuşak Toryumlu Reaktörler: Ergimiş Tuz Reaktörleri (ETR) /6/ Dünyada bugüne kadar toryum yakıtıyla olan durum artık değişiyor.**

Bugün özellikle Toryumlu Ergimiş tuz reaktörlerinin (ETR), toryum yakıtıyla çalışacak en uygun reaktör modeli olduğu çeşitli kaynaklarda vurgulanıyor. Bunların kaza olasılığının yok derecede az olduğu

çeşitli bilimsel çalışmalarda gösteriliyor ve bunlarla ilgili araştırma çalışmaları AB, Çin, Rusya başta olmak üzere sürüyor. Bu konuda FIGES ARGE Dergisinden bir alıntı aşağıda bulunuyor /6/:

**Aşağıdaki şekilde çevrimi görülen, ergimiş, 600-800 C derece arasındaki toryum-uranyum-lityum flüorür karışımından oluşan sıvı, reaktörde sürekli olarak dolaşır (yeşil bölge). Kırmızı bölgede ise sadece toryum flüorür yer alıyor ve orada Uranyum 233 (flüorür) üretiliyor. Bu tuz karışımı 1400 C'a kadar kaynamadığından sıvı olarak kalıyor. Bu nedenle, uranyumlu nükleer reaktörlerdeki gibi bir patlama ETR'de olmayacağı gibi U 233'ün bölünme ürünlerinin (radyoaktif maddelerin) çevreye, havaya ve sulara karışıp bunları kirletmesi söz konusu değil. Ergimiş tuz reaktörlerinden bugün Çin'de 2 adet, Kanada'da ABD desteğiyle (Terrestrial Energy'nin geliştirdiği Integral ETR/MSR -sırf uranyumla çalışıyor) 400 MW gücünde 1 adet reaktör kurulma aşamasında olup bunlardan 2020 yılında elektrik üretimi bekleniyor. Ayrıca Endonezya da bu reaktörlerle ilgili çalışmalar yapıyor (ABD şirketi ThorCon'un geliştirdiği toryumlu ETR/MSR). AB projesi EVOL ve SAMOFAR kapsamında yayınlanan raporlarda ve sunumlarda bütün fisil madde envanterleri ayrıntılarıyla anlatılıyor. Başlangıçta ya U233/Th flüorür ya da zenginleştirilmiş U/Th flüorür kullanılıyor. U233 veya U235 azalırken Th'dan türeyen U233 zamanla devreye giriyor. Bir de reaktör içindeki örtü bölgesinde bulunan Th'dan Pa233 ve sonra U233 üremesi ayrı bir hat olarak işletiliyor. U233 takviyesi de oradan yapılıyor.**



Avrupa Birliği'nin ilgili araştırma grubunun başlattığı ,SAMAFOR güvenlik değerlendirme projesi, Ergimiş Tuz Reaktörleriyle ilgili çalışmalar yapmakta ve Türkiye'den FIGES A.Ş. de bu projede aktif gözlemci olarak yer alıyor /6,7/.

FIGES A.Ş., AB UFUK-2020 projesi içinde yer alan ve 2009-2014 yılları arasında tasarımı tamamlanmış olan Toryum Yakıtlı Ergimiş Tuz Reaktörü'nün (Evaluation and Viability of Liquid Fuel Fast Reactor System-EVOL) nükleer güvenlik değerlendirme projesi olan SAMOFAR (Safety Assessment of the Molten Salt Fast Reactor) içinde "aktif gözlemci" olarak 2016 Temmuz'undan itibaren katılmış bulunmaktadır. FIGES'e verilen görev yüksek sıcaklıkta çalışan ergimiş flüorürlü tuz sıvısından ısı çekecek olan "ısı değiştiricilerin hesaplama ve tasarımıdır".

**Toryum yakıtlı Ergimiş Tuz Reaktörlerinin Türkiye'ye sağlayacağı yararlar ise FIGES ARGE dergisinde şöyle sıralanıyor:**

- a) **Toryum yakıt çevrimini kullanabilen, dolayısıyla enerji bakımından dışa bağımlılığı çok büyük ölçüde azaltmayı sağlayan;**
- b) **Mevcut konvansiyonel reaktörlerden daha güvenli;**
- c) **Kullanılmış yakıtları olmayan, nükleer atıkları kontrol edilebilir ve miktarca çok daha az olan;**
- d) **Yapım teknolojisi Türkiye'nin mevcut bilgi birikimi ve sanayi altyapısına gayet uygun olan;**
- e) **Hem ısı hem de elektrik enerjisi üretebilen;**
- f) **Elektrik üretim verimi mevcut nükleer reaktörlerin hepsinden daha yüksek olan;**
- g) **Elektrik üretim ve reaktör kurulum maliyeti çok daha düşük olan bir reaktör teknolojisi ortaya çıkmıştır.'**

**Nükleer atıkların ETR'de tekrar kullanımıyla ilgili R.Uzmen'in notu:** Nükleer atıkların (uzun yarı ömürlü Transuranyum elementleri) ETR'de kullanılması/yakılmasıyla ilgili yukarıda fazla ayrıntıya girilmemiştir, ama EVOL çalışmalarında bunlar ayrıntılı olarak yer almaktadır. Akkuyu NGS'den çıkan kullanılmış nükleer yakıtlar Akkuyu NGS sahasında bekletildikten sonra Rusya'ya gidecek. Orada reproses işleminden (tekrar geri kazanımından) sonra kullanılmış bu yakıttaki arta kalmış Uranyum ve üremiş olan Plütonyum geri alındıktan sonra fisyon ürünleri camlaştırılıp Türkiye'ye iade edilecek. Rus yasaları bunu öngörüyor. Ama farklı bir anlaşma olup olmadığı bilinmiyor. Uzun ömürlü Transuranyum elementleri -TRU (Np, Am, Cf...) de Türkiye'ye gönderilebilir. Ama Türkiye bunların flüorür tuzlarının yapılıp gönderilmesini isterse TRU-Flüorürler + ThF<sub>4</sub>, ETR'lerde mükemmel yakıt olarak kullanılabilir. EVOL-SAMOFAR'ın bir versiyonu da buna ait.

#### **SONUÇ: BİZ HAZIR MIYIZ?**

Dünya nüfusunun git gide artması (2050'de 9 milyar), buna paralel olarak ülke ekonomilerinin artan elektrik gereksinimi, fosil yakıtların daha az kullanılarak atmosfere CO<sub>2</sub> salınmasının azaltılması ve yenilenebilir enerjilerin ileride artacak elektrik talebini karşılayamayacağı gerçekleri göz önüne alındığında, güvenli nükleer santrallara olan gereksinimin de ileride (2030 sonrası) git gide artacağı ilgili araştırmalarda vurgulanıyor /7/. Bu nedenle **güvenliği yüksek , ürettiği atığı çok az, özellikle toryum yakıtlı Ergimiş Tuz Reaktörlerinin** daha da geliştirilerek geleceğin reaktörleri olacağı açıktır /8,9,10/. (Ayrıca bkz. [www.samofar.eu](http://www.samofar.eu))

Türkiye, yenilenebilir enerjileri çok daha fazla kullanmasının yanı sıra, çok miktardaki toryumunu, Hindistan örneğiyle değerlendirmeli, önce, büyük bir kaza riski olmayan Ergimiş Tuz Reaktörlü bir deneme reaktörü kurup elektrik üretmeye daha fazla gecikmeden başlamalı, daha sonra da, bundan ve diğer ülkelerdeki deneyimlerin ışığında, standartlarını hazırlamalı ve toryumlu büyük santrallara yönelmelidir.

Araştırmacılarımızın, toryumlu reaktörlerin güvenliğiyle ilgili yukarıda açıklanan SAMAFOR çalışmalarına aktif olarak katılmalarının sürdürülmesi çok yararlı olacaktır. TÜBİTAK ve TAEC'in bu çalışmalara katkıda bulunmaları ve hükümetlerin de bu çeşit reaktörleri kurmak için bütçe ayırmaları beklenir. Sivrihisar'da toprak altında yatan toryumun, güvenli reaktörlerde değerlendirilerek elektrik üretilmesi, enerjide dışa bağımlılığımızı da azaltacaktır (Ergimiş Tuz Reaktörleriyle ilgili olarak 3-4 Aralık 2017 tarihinde yapılan Çalıştayla ilgili Bildirge için bkz./11/).

#### **...ve SON AÇIKLAMALAR..**

Bu yazımız, bir nükleer santral övgüsü ya da propagandası olmayıp, dünyada bu konudaki gerçek durumu, olduğu gibi, gözler önüne sererek, özellikle bu konulara yabancı okuyucuları bilgilendirmeyi

amaçlıyor. Dünyadaki gerçek durumu yansıtan yazıları , açıklamaları propaganda olarak görenler ileride reaktörlerin dünyada çoğaldığını gördükçe kendi kendilerini aldatmış olduklarını göreceklerdir. Görevimiz, dünyadaki bilim ve teknolojiadaki gelişmeleri, ilgili ülkelerin ne yaptıklarını, gerçekleri aynen yansıtmak , halkımızı doğru bilgilendirmek, başımızı kuma sokmamak olmalıdır, değil mi? Unutmamalıdır ki nükleerden çıkan Almanya bugün ve gelecekte endüstrinin ve kentlerin gitgide artan elektriğinin ancak bir bölümünü yenilenebilir enerjilerden karşılayabileceğini bildiği ve politik nedenlerle nükleerden çıktığı için, kömürlü santral yapımını sürdürmek zorunda kalıyor (\*). Bunların ise hem çevreye hem de iklime zararlı etkileri biliniyor. Tek bir kömürlü santralin, 40 yıllık işletilme süresince yaydığı zehirli kimyasal maddeler sonucu 1000 kişinin kanserden ölümüne yol açacağını ileri süren araştırmacılar bulunuyor. Ancak bu ölümler, zamanla ağır ağır olduğundan nedeni tam olarak kanıtlanamıyor. Çünkü bilindiği gibi kanser yapan çok çeşitli madde var.

Öte yandan her çeşit enerji kaynağının etkisinin daha fazla santral kurulmadan azaltılması isteniyorsa, her şeyden önce nüfusun daha fazla artımı, nüfus planlamasıyla önlenmeli ayrıca savurganlığa kendimizden başlayarak son vermeliyiz. Çünkü dünyaya gelen her kişinin besin maddelerinden başlayarak su, giyecek, ev, telefon, araba, okul, yol gibi daha bir çok nesneye gereksinimi var ve bunların her birinin üretiminde ya da kullanımında ise elektrik gerekiyor. Örneğin 70 li yıllarda 40 milyon nüfuslu ülkemizde bugün 80 milyon kişi yaşıyor. Ek 40 milyon kişi için, bu arada artan konfor nedeniyle de iki katının çok üstünde elektrik gerektiği açıktır. Ayrıca savurgan olup olmadığımızı da düşünmeli, kullandığımız **her çeşit fazladan** malzemenin elektrikle üretildiğini göz ardı etmemeliyiz. Örneğin evlerde, iş yerlerinde, halka açık yerlerde musluklardan boşa akan suyun kaybının yanı sıra, bu suyun bir yerden buralara pompalandığını ve bunun için de elektrik gerektiğini hatırlamalıyız. Ancak insanların yaşam tarzlarına, alışkanlıklarına da kimse karışamayacağından, elektriğin her yerde ve yeterli miktarda olmasını istiyorsak, teknolojinin neredeyse her dalına karşı çıkmadan önce, derinlemesine bilgi edinmeli, tüm enerji kaynaklarını ve olabilecek etkilerini inceleyerek en uygun çözümlerin bulunmasına katkıda bulunmalıyız. **İleride güneş ve rüzgar santrallerini olduğunca çok artırırken**, istesek de istemesek de fosil yakıtların ve nükleer enerjinin payının da süreceğini bilmeli, bunları – istemezük! İle savuşturacağımızı sanmak yerine, bunların daha güvenli ve çevreye daha az zararlı olacak şekilde projelendirilip kurulması için katkıda bulunmalıyız. İşte bu nedenle Toryum yakıtlı santraller ileride elektrik enerjisi üretiminde önemli bir yer tutacaklardır. Nitekim bugün Çin, Hindistan, Endonezya, Norveç, Kanada, ABD ve AB başta olmak üzere daha bir çok ülke toryum reaktörleriyle ilgili çalışmalara hız veriyorlar bunları kurmaya başlıyorlar. Ülkemizin de bu kervana katılması halkımızın yararımıza olacaktır. Ancak toryum reaktörlerinin de her güvenlik sistem ve parçası da zamanla yapılacak ilgili uluslararası standartlara göre kalite kontrolleri yapılarak bu santraller kurulmalı, radyasyon güvenliği en üst düzeyde tutularak kaza riski en düşük düzeye indirilmelidir.

.....  
(\* ) Almanya’da elektrik faturalarına eklenen vergilerle sağlanan yılda 10 – 15 milyar Avro yatırımla 7 yılda rüzgâr ve güneş enerjilerinin payı ancak %20’e yükseltilebildi. Buna eskiden beri bulunan %10 kadar odun, çöp yakılması ve su enerjisi de eklendiğinde toplam yenilenebilir enerjilerin payı Almanya’da bugün %30 kadardır. Kalanı kömür, gaz ve nükleer enerjilerdir. Nükleer ve fosil enerjilere karşı olduğu bilinen Greenpeace’in bir yayınına göre Almanya’da irili ufaklı 50’den fazla yeni kömürlü santral yapılıyor.

***Bu yazının hazırlanmasında özellikle FIGES ARGE ve SAMOFAR projesiyle ilgili bilgileri aktarması ve bu yazıma katkıları nedeniyle ÇNAEM eski Md. ve FİGES AŞ Nükleer Teknoloji Direktörü Sayın Dr. Reşat Uzman’a teşekkürlerimi sunuyorum.***

***Not: Yazar, Almanya’da Nükleer Santral projelerinde, Nükleer Yakıt üretiminde, bunların lisanslanmasında (onaylanmasında), ilgili standartların (KTA) hazırlanmasında 25 yıl çalışmış ve ABD Babcock & Wilcox nükleer santrallerinde da zaman zaman bakım ve onarım çalışmalarında personelin aldığı radyasyon dozlarının azaltılmasıyla ilgili araştırma projelerini yönetmiş, 80’li yıllarda planlanan Akkuyu NGS projesiyle ilgili işletme öncesi çevre radyasyon ve radyoaktivite ölçüm ve değerlendirme programını kısa süreli IAEA uzmanı olarak yapmıştır***

.....

### Kaynakça

- /1/ Toryum Ender Topraklar platformu, Doç.Dr.Ç.Ertek'in yazıları  
<https://groups.google.com/group/toryum-ender-topraklar-platformu>
- /2/ IAEA 171 sayfalık toryum raporu:  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1540\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1540_web.pdf)
- /3/ <http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/thorium.aspx>
- /4/ "German Brazilian Program of Research and Development on Thorium Utilization in PWRs", Final Report, Kernforschungsanlage Jülich, 1988.6. A. Galperin, A. Radkowsky and M. Todosow, A
- /5/ Competitive Thorium Fuel Cycle for Pressurized Water Reactors of Current Technology, Proceedings of three International Atomic Energy Agency meetings held in Vienna in 1997, 1998 and 1999, IAEA TECDOC 1319: Thorium fuel utilization: Options and trends, IAEA-TECDOC-1319.
- /6/ Toryum Ergimiş Tuz Reaktörleriyle ilgili ayrıntılar için FIGES ARGE dergisindeki açıklamalar (R.Uzmen) [http://www.figes.com.tr/dergi/dergi\\_13/13\\_web.pdf](http://www.figes.com.tr/dergi/dergi_13/13_web.pdf)
- /7/ SAMAFOR internet sayfasındaki yayınlar <http://samofar.eu/publications>
- /8/ Toryumlu ETR Reaktörlerle ilgili ,World Nuclear Org. açıklamaları  
<http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/molten-salt-reactors.aspx>
- /9/<http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx> (Dünya Nükleer Reaktör listesi: Ocak 2018)
- /10/ Toryumla ilgili ABD NRC yayınları:  
<https://www.nrc.gov/docs/ML1615/ML16155A324.pdf>  
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/contract/cr7176/>
- /11/ TÜBİTAK MAM Ergimiş Tuz Reaktörleri Belirleme Çalışmayı Sonuç Bildirgesi, 3-4 Aralık 2017