

NÜKLEER ENERJİ, TORYUM ELEMENTİ VE TÜRKİYE İÇİN ÖNEMİ

Y. Doç. Dr. İbrahim ATILGAN
Gazi Üniv., Müh. Mim. Fakültesi
Makina Mühendisliği Bölümü

GİRİŞ

enerji uluslararası politikalara yön verebilen güçlü bir enstrümandır. Küreselleşmeyle birlikte, kısa ve uzun vadede güvenilir kaynaklardan enerjiyi sağlama anlayışı, enerji dünyasının en kritik konusu haline gelmiştir. Dünyada özellikle gelişmekte olan ülkelerde hızlı nüfus artışı ve endüstrileşme, elektrik enerjisine olan talebi de hızla artırmaktadır. Günümüzde ekonomik yeterlilik, bir ülke için bağımsızlığın temel ilkelerinden biridir. Ekonomik yeterliliğin sağlanması, o ülkenin gereksinimini karşılayacak enerjiye sahip olmasına bağlıdır. İhtiyaç duyulan enerjinin üretilebildiği bir ülkede yaşayan insanların yaşam koşulları, daha refah ve çağdaş bir seviyeye ulaşır.

Doğal gaz ve petrol gibi enerji kaynaklarının çok yetersiz olduğu ülkemizde, kömür yakıtlı santraller ve hidroelektrik santrallerden üretilen enerji yeterli düzeyde ihtiyacı karşılayamamaktadır. Bugün ülkemizin bir enerji sorununun olduğunu ve bu sorunun gelecekte daha ciddi boyutlara ulaşacağını rahatlıkla söyleyebiliriz. Dolayısıyla yakın gelecekte enerji sıkıntısıyla karşılaşılması için, şimdiden gerekli önlemlerin alınması yoluna gidilmesi gerekmektedir. Buna göre Türkiye'nin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkeler, gelişmiş ekonomilere sahip ülkelerin düzeyine yetişmek için, daha çok enerji yatırımı yaparak gelişmesini sağlamak zorundadır. Ülkemiz açısından bakıldığında, bu sorunun bir an evvel çözümü için nükleer santrallerin kurulmasına öncelik verilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarını da iyi değerlendirmesi gerekir. Dünyanın ikinci büyük toryum rezervlerine sahip olan ülkemiz, bu yeraltı zenginliğini çok iyi bir şekilde kullanarak değerlendirmesi gerekecektir. Toryum gibi yerli kaynağımızın varlığı, gelecekte tam olarak nükleer enerji kullanımında Türkiye için bir güvence olacaktır.

NÜKLEER ENERJİ

Bugün fizyon sonucu (çekirdek bölünmesi) olayına dayalı nükleer enerji, klasik enerji teknolojileri arasında yer almaktadır. Nükleer santrallerin reaktör ünitelerinde, bugün için nükleer fizyon reaksiyonu güvenli biçimde denetim altına alınmış olarak gerçekleştirilmektedir. Bir nükleer elektrik santralının reaktörü, uranyum gibi fizyona uygun maddelerden oluşan nükleer yakıtın, çekirdek bölünmesi sonucu açığa çıkan nükleer enerjisini, sürekli-güvenli ve kontrollü biçimde ısı enerjisine dönüştüren ana bölümüdür. Bu bölümde elde olunan ısı enerjisi ile buhar elde edilerek, herhangi bir termik santralde olduğu gibi buhar türbini ve jeneratör ikilisinden elektrik üretilmektedir. Fizyon işlemi sırasında ortaya çıkan radyoaktivitenin, reaktör çalışanlarına ve çevreye zarar vermemesi için, reaktör güvenliği kapsamında gerekli önlemlerin alınması en iyi şekilde sağlanabilmektedir. Nükleer enerji ile elektrik üretim teknolojisindeki tehlike olasılığı, diğer elektrik üretim teknolojilerinden daha azdır [1].

Nükleer Enerjinin Durumu

Büyük boyutlara ulaşan enerji açığını ancak nükleer elektrik santralleri ile (özellikle gelişmekte olan ülkeler için) karşılanabileceği gerekliliğinden, bu enerji kaynağının geliştirilmesi ve yenilenmesi yoluna gidilmiştir. Bugün üçüncü nesil diyebileceğimiz nükleer elektrik santralleri; oldukça geliştirilmiş ve yenilenmiş olması, alternatif enerji

kaynakları içersinde bugün için en uygun çözüm olarak kabul edilmektedir. Nükleer teknoloji, dünyanın elektrik gereksinmesinin % 17'sini karşılamanın yanı sıra, tıpta ve endüstride kullanılan birçok izotopun üretilmesi ile de insanlığın hizmetindedir. Günümüzde 31 ülke nükleer enerji santralini işletmektedir. Dünya genelinde, 1000'i aşkın ticari, askeri ve araştırma amaçlı nükleer reaktör işletilmektedir [2]. Nükleer enerjinin dünyadaki durumuna baktığımızda; Aralık 2000 tarihi ile Eylül 2002 tarihi arasında kurulu bulunan nükleer santral sayısı 438'den 442'ye çıkmıştır. Bu santrallerin net gücü 356746 MWe (MegaWatt-elektrik) ve üretilen enerji 2544 TWh (milyar kW-saat)'dir. İnşa halindeki santrallerin sayısı 35 adet ve bu santrallerin net gücü yaklaşık 27743 MWe olacaktır [3]. Bu ülkelerin nükleer enerji payları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Nükleer Elektriğin Dünyadaki Enerji Payları [4]

ÜLKE	Nükleer Elek. Payı %	ÜLKE	Nükleer Elek. Payı %
Fransa	77	Finlandiya	31
Belçika	58	İspanya	27
Slovakya	53	İngiltere	23
Ukrayna	46	ABD	20
İsveç	44	Çek Cum.	20
Macaristan	39	Rusya Fed.	15
G. Kore	39	Kanada	13
İsviçre	36	Arjantin	8
Japonya	34	G. Afrika	7
Almanya	31	Hindistan	4

Mayıs 2001'de yayınlanan "ABD Ulusal Enerji Politikası" özellikle kaynak çeşitliliğine değinmekte ve bu ilkenin uygulanması amacıyla yerli kaynaklara (gaz, kömür ve petrol) yönelmenin yanında nükleer ve hidroelektrik potansiyelden de faydalanmanın gerekliliğine işaret etmektedir. Bu politikanın paralelinde, ABD 2010 yılında yeni nükleer santralleri devreye almayı planlamaktadır. Dolayısıyla yukarıda belirtilen verilere göre, dünyada nükleer enerjiden vazgeçildiğini söylemek son derece yanıltıcı olur.

Nükleer Enerjinin Çevresel Boyutu

Nükleer santrallerin çevre ve insana zarar verebilecek şekilde kaza yapma riski, günümüzde kullandığımız diğer teknolojik sistem ve ürünlere göre, yok denecek kadar azdır. Bir nükleer santralin çevresinde yaşayan insanlara yüklediği yıllık doz doğal radyasyonun çok altındadır. Günümüzde doğal kaynaklar dışında insan yapımı radyoaktif maddelerden de radyasyon alınmaktadır. Örneğin, x ışınları TV, radyoaktif serpintiler ve çeşitli malzemeler gibi. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan ortalama etkin doz 2,4 mSv/yıl (mSv=0,0001 Sievert=0,1 rem) civarındadır. Normal işletme şartlarındaki bir nükleer güç santralinin toplam doza katkısı 0,01 - 0,001 mSv/yıl arasındadır ve yıllık çevresel radyasyon dozu ise, 1/100 ve 1/300 arasında olmaktadır (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi'nin belirlediği kabul sınır değerleri).

Nükleer güç santralleri işletme sırasında atmosfere kirlenici gazlar salmazlar. Fosil yakıt kullanımında ise sera etkisine sebebiyet veren karbondioksit (CO₂) iklim değişikliği üzerinde etkiler yaparken diğer emisyonların etkileri bölgeseldir. Özellikle fosil yakıtların yanmasından çevreye ve insan sağlığı açısından çok daha vahim sonuçları olan kükürtdioksit (SO₂) ve azotoksitler (NO_x) asit yağmurlarına yol açarak, göllerdeki doğal yaşamı tehdit etmekte, ormanları ve tarım alanlarını tahrip edebilmektedir. Bu tür emisyonları en az salan enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerjidir. Eğer şu an dünyada kurulu bulunan 442 adet nükleer santral yerine, aynı gücü üreten kömürle çalışan termik santraller olsaydı, her yıl dünya atmosferine 2300 milyon

ton CO₂ , 42 milyon ton SO₂ , 9 milyon ton NO_x ve 210 milyon ton kül daha fazla olarak atılmış olacaktır [3]. 1000 MWe gücüne sahip bir kömür santralının yıllık yakıt, atık ve emisyon miktarlarının, aynı güçteki bir nükleer santralının miktarlarıyla karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir[5].

2020 yılına yönelik tahminlerde, enerji talebi % 65 artarken, CO₂ emisyonunun da aynı paralelde (yaklaşık % 65) artacağı öngörülmektedir. Kyoto Protokolü şartları gözönüne alındığında ve bunun sonucunda fosil kaynaklara olan bağımlılığın azaltılması gereği düşünüldüğünde, nükleer enerjiye olan talep gelecek yirmi yılda, ciddi bir şekilde artma eğilimine girecektir. Kyoto Protokolü global CO₂ emisyonunu, 2008-2012 yılları arasında 1990 yılı değerinin % 5,2 altına indirmeyi hedeflemektedir. Ayrıca CO₂ emisyon vergisi gündemdedir ve söz konusu vergilendirme nükleer santralleri, üretim maliyeti açısından, kömürle çalışan termik santrallere göre daha cazip hale getirecektir [3].

Her enerji alternatifinde olduğu gibi nükleer enerji üretiminde de atık problemi söz konusudur. Nükleer sektör son yıllarda atık teknolojisinde önemli gelişmeler kaydetmiştir ve modern radyoaktif atık depolama teknolojileri, oldukça yüksek güvenlik kriterlerini sağlamaktadır. Nükleer atıklar genel olarak düşük, orta ve yüksek seviyeli atıklar olarak sınıflandırılır. 1000 MWe gücünde, % 75 yük faktörü ile çalışan ve yılda 6,6 milyar kWh enerji üreten bir nükleer güç santrali için yıllık radyoaktif atık miktarları aşağıda verilmiştir:

Düşük seviyeli radyoaktif atık 460 ton

Orta seviyeli radyoaktif atık 310 ton

Yüksek seviyeli radyoaktif atık 27 ton (3 m³)

(kullanılmış yakıt)

Düşük ve orta seviyeli atıklar kolayca yeraltında veya yer üstünde saklanabilmektedir. Bunlar santralde kullanılan plastik kutular, eldivenler, filtreler vb., endüstride kullanılan atıklar, tıpta kullanılan radyoaktif maddelerden oluşurlar. Kullanılmış yüksek seviyeli atıklar olarak bilinen yakıtlar, reaktörden çıkarıldıktan sonra içersindeki radyasyon miktarının çok düşük düzeye inmesi için reaktör binası içersindeki havuzlarda uzun müddet bekletilir. Yaklaşık on yıl sonunda kullanılmış yakıtlar % 99 oranında radyoaktivitelerini kaybederler. Geriye çok uzun yarı ömürlü izotopların (çekirdeğindeki proton sayısı aynı, nötron sayısı farklı atomlar) yer aldığı bu yüksek seviyeli radyoaktif atıklar camlaştırılarak korozyona dayanıklı kaplar (3 mm çelik, 100 mm kurşun ve 6 mm titanyum) içersinde derin jeolojik yapılar (deniz dibi, yeraltı sularının bulunmadığını gösteren tuz yatakları, kristal veya sediment kayalar) içersinde izole edilirler. Ayrıca atık depolama ile ilgili, ayrıştırma/dönüştürme seçeneği ise son zamanlarda araştırma aşamasındadır [6, 7].

Tablo 2. 1000 MWe Gücündeki Nükleer ve Kömür Santrallerinin Yıllık Karşılaştırılması

Yakıt, Atık ve Emisyonlar	Nükleer	Kömür
Yakıt (tüketilen miktar)	27 ton	2,6 milyon ton
Kullanılmış yakıt (yüksek radyoaktiviteli atık)	27 ton	-
Yüksek radyoaktiviteli atık	3-5 m ³	-
Orta ve düşük seviyeli rad. yakıt	800 ton	-
CO ₂	-	6,5 milyon ton
Kül	-	300 000 ton
SO ₂	-	20 000 ton
NO _x	-	4 000 ton
Ağır metal	-	400 ton

Nükleer Teknolojide Güvenlik

Nükleer santraller gerek normal çalışma koşullarında, gerekse olası bir kaza durumunda çevreye zarar vermeyecek biçimde tasarlanırlar. Tasarım aşamasında, santralin normal işleyişi esnasında olabilecek her türlü insan ve alet hatasının kazaya neden olmaması için gerekli tüm önlemler alınır. Örneğin reaktöre su sağlayan bir pompa devreden çıkarsa (bozulursa), diğer yedek pompalar bu işlevi yerine getirecektir. Sistemi çalıştıran ani elektrik kayıplarına karşı, elektrik kaynağının çeşitlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Buna göre şebeke elektriğine ilave olarak, otomatik sisteme giren dizel jeneratörler ile akü sistemleri ayrıca kullanılabilir. Olası bir kaza durumunda yerçekimi etkisinden faydalanılarak sistemi % 100 korumaya alan oluşumlar mevcuttur. En önemlileri, nötron yutucu kontrol çubuklarının basınçlı su reaktörlerinde yerçekimi etkisiyle aşağı düşerek reaktördeki fizyonu durdurması veya reaktör basınç kabından belli bir yükseklikteki su rezervinin, yine yerçekimi etkisiyle soğutma suyunu sağlamasıdır. Fizyon olayını durduracak daha değişik kontrol sistemleri de vardır. Örneğin, nötron yutucu özelliği olan boronlu suyun reaktöre basılması ve fizyon olayının durdurulması sağlanır.

Nükleer santrallerde fizyon sonucu açığa çıkan radyoaktif maddelerin ve radyasyonun çevreye ulaşabilmesi için, aşması gereken iç içe pek çok engel mevcuttur. Bunlar en içten dışa doğru sıralanırsa:

Yakıt: Nükleer yakıtların seramik yapıda oluşları nedeniyle radyoaktif maddelerin sadece % 1 yakıttan dışarı çıkabilir.

Yakıt Zarfı: Nükleer yakıt elemanları zirkonyum alaşımından yapılmış iki ucu kapalı silindirik bir boru içersindedir. Bu borular aşınmaya karşı çok dayanıklı olup radyoaktif maddelerin soğutucuya geçmesini engeller.

Reaktör Kabı (Kalbi): Paslanmaz çelikten imal edilen bu kap; basınç, sıcaklık ve radyoaktiviteye karşı oldukça dayanıklıdır. Dizaynları, üretimleri ve testleri titizlikle yapılır.

Beton Zırh: Reaktörün en dışında, biyolojik kalkan görevi yapan 120 cm kalınlıkta betondan yapılmış zırhtır. Dışarıya radyasyon çıkmamasını garanti altına alır.

Birinci ve İkinci Koruma Kabuğu: Birinci yapı çelikten imal edilmiştir, santralin nükleerle ilgili tüm parçaları bunun içersinde yer alır. İkinci yapı ise betonarme olup 1,5-2 metre kalınlığında son koruyucu bariyerdir. Her iki koruma kabuğu da reaktörü olası bir kaza durumunda radyoaktif sızıntıların çevreye ulaşmasına engel olur. Ayrıca uçak düşmesi, füze saldırıları gibi dış etkilerden reaktör ekipmanlarının korunmasını sağlamış olurlar.

Nükleer santrallerin yapımında diğer önemli husus, santralin yapılacağı yerin seçilmesidir. Yer seçiminde en önemli kriter, reaktörün yapılacağı bölgenin sismik ve meteorolojik özellikleridir. Sismik özellik denilince meydana gelebilecek bir depremde, santrale ne kadarlık bir ivmeyle kuvvet uygulanacağını göstermesi açısından önemlidir. Nükleer santral genelde santral sahasından yaklaşık 60 km uzaklıkta Richter ölçeğine göre 8 ve santral yerinin 30 km derinliğinde Richter ölçeğine göre 6,5 büyüklüğünde meydana gelebilecek depremlere karşı önlem alınabilecek tasarımı yapılır. Meteorolojik olaylar da (hortum, tayfun, sel gibi doğal afetler) göz önüne alınarak tasarımda dikkate alınır [3].

TORYUM ELEMENTİ

Bu element, torit torianit ve monazit gibi cevherlerin içinde bulunan ve uranyumdan üç kat daha fazla rastlanan metaldir. Doğal toryum, tümü radyoaktif olan izotopların bir karışımından oluşur. Özellikle toryum 232, yakın gelecekte nükleer santrallerde geliştirilmekte olan reaktörlerde yakıt olarak kullanılarak, nükleer sanayi için önemli bir enerji elementi olacaktır. Toryum, 21. yüzyılın en stratejik maddesi olma nedeniyle, 2005 yılına kadar yapılması planlanan yeni tip nükleer enerji santrallerinde bir numaralı yakıt olarak kullanılacak, bu durum trilyonlarca varil petrole eş değerde bir enerji karşılığına denk gelmiş olacaktır. Belirtildiği gibi yeni nesil nükleer santraller, uranyum yakıtının yanı sıra, toryum elementi gibi daha tehlikesiz, verimli ve problemsiz yakıtların yakılması dönüşümüne uğrayarak, bu tür enerji santrallerinin önemini bir kez daha ortaya koyacaktır.

1980 yılında nükleer güç santrallerinin verimi % 60 civarında idi, 2001 yılı sonu itibarıyla bu değer % 30 artış ile % 90'a çıkmış durumdadır. Bu artış yakın zamanda toryum gibi yeni elementlerin yakıt olarak kullanılmasıyla daha da artacaktır. Bu örneklerden anlaşılacağı üzere enerji açığının kapatılmasında nükleer enerjinin önemi, bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Toryum uranyum gibi doğrudan enerji üretilebilecek bir madde olmamasına karşın, uranyum ve/veya plutonyumla birlikte kullanıldığında, uranyuma göre fazla ve uzun süreli enerji üretme kapasitesine sahiptir. Toryum katkılı yakıtlar, sırf uranyum içeren yakıtlara göre çok daha az miktarda bölünme ürünü (radyoaktif atıklar) çıkartmaktadırlar. Bütün bu avantajlar toryumu nükleer yakıt olarak kullanmak için cazip hale getirmektedir. Ancak bunların yanı sıra teknik ve ekonomik bazı zorluklar vardır. Bunların başında halen dünyada işletilmekte olan nükleer güç reaktörlerinin temel tasarımında bir değişiklik yapmadan toryumun kullanılmasının sağlanması gelmektedir. Bu konuda gerek AB, gerek ABD, Kanada, Kore ve Japonya'nın halen sürdürülen çalışmalarında, temel hedef, mevcut Hafif Sulu Reaktörler (LWR) veya Ağır Sulu Reaktörler (HWR) gibi ticari reaktörlerin yakıt dizaynında bir değişiklik yapmadan toryum-uranyum-plutonyum yakıtlarının etkin olarak kullanılması ve böylece plutonyum stoklarının azaltılmasıdır [8].

Toryumun Türkiye'deki Durumu

Dünyanın ikinci büyük toryum rezervlerine sahip olan Türkiye'nin en önemli toryum yatağı Eskişehir-Beylikahır bölgesi ve Sivrihisar-Kızılcaören yakınlarındadır. Bunun dışında Malatya-Darende-Kuluncak, Kayseri-Felahiye ile Sivas ve Diyarbakır il sınırları içinde toryum izlerine rastlanmıştır. MTA tarafından yapılan çalışmalarda Koca Devebağirtan ve Küçük Höyükli yörelerinde görünür rezerv olarak % 2,78 ortalama tenörlü (elementel yoğunluk) toplam 4500000 ton nadir toprak oksiti (NTO) ile % 0,21 ortalama tenörlü yaklaşık 380000 ton toryum oksit (ThO₂) olduğu belirlenmiştir. Aslında bu görünür rezerv yurdumuzun kesin potansiyeli değildir. Toryum rezervinin kesin olarak tespiti için çalışmalar sürdürülmektedir. Koordinatörlüğü TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) Teknoloji Dairesi Başkanlığı tarafından yürütülmekte olan "Türkiye'deki Toryum Yataklarının Haritalandırılması, Zenginleştirilmesi Yöntemlerinin Geliştirilmesi ve Projelendirilmesi" adlı proje ile çalışmalar devam etmektedir. Dünyada bulunan önemli toryum rezervleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Dünyadaki Toryum Rezervleri (Ton)

ÜLKELER	Çıkarılabilir	Belirlenmiş*
ABD	158 000	298 000
Avustralya	44 000	49 000
Brezilya	16 000	18 000
Kanada	100 000	100 000
Hindistan	292 000	300 000
Malezya	4 000	4 000
Norveç	166 000	183 000
G. Afrika Cum.	117 000	196 000
TÜRKİYE		380 000

* Derinlik, kalınlık, cins ve kalite bakımından madencilik ve üretim işlemlerine bağlı olarak fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş kısımdır.

Tablo 3'de görüldüğü gibi dünyadaki genel rezervlere bakıldığında Türkiye'deki miktarın önemi, yakın gelecekte enerji sektörü için oldukça önem teşkil edecektir.

Türkiye'deki rezerv, toryum-232 olarak yüzde yüz oranda oksitlenmiş toryum içermektedir. Reaktörlerde yakıt olarak kullanılırken kurşun hedef denilen bir muhafaza (silindirik boru) içerisinde toryum tabletler kullanılır. Bu sistem üzerine (kurşun hedefler takımı) hızlı protonlar gönderilerek atomsal parçalanma neticesi enerji elde edilir. Bu yeni nesil reaktörlerin eskileriyle mukayese edilmesi mümkün değil ayrıca kesinlikle patlama (reaktör kor erimesi) tehlikesi olmadığı gibi Çernobil benzeri bir felaketle karşılaşılması söz konusu değildir. Radyoaktif kalıntı da minimum seviyelerde olmaktadır. Bu da nötronlarla yok edilerek kontrol altında tutulabilmektedir. Herşeyden önemlisi doğa kirlenmesi olmayarak temiz bir çevre etkileşimi ortaya çıkacaktır.

Dünya toryum rezervlerinin Türkiye'de dahil olmak üzere belirli birkaç ülke elinde toplanmış olması, uranyum üretiminde şimdilik bir sıkıntı çekilmemesi nedeni ile, toryuma dayalı nükleer santraller üzerindeki geliştirme çalışmaları şu an yavaş ilerlemektedir. Fakat yine de bu tür santrallerle ilgili ön araştırmalar tamamlanmıştır. Avrupa'nın ilk prototip toryumlu nükleer santral 2005 yılına kadar tamamlanacaktır. Ayrıca Japonya ve ABD'de yeni nesil kendi santrallerini yapma çalışmalarını sürdürmekte ve bizler gibi gelişmekte olan ülkeler için, pazar sahasını şimdiden araştırmaktadırlar. Buna göre Türkiye, nükleer stratejisini en kısa zamanda belirleyerek orta ve uzun dönemde toryum yataklarının değerlendirilmesiyle ilgili tüm çalışmalara bir an önce başlamalıdır.

SONUÇLAR ve İRDELEMELER

Sürdürülebilir kalkınmanın çevresel uyumluluk kriteri çerçevesinde nükleer enerji, mevcut enerji üretim teknolojileri arasında öncelikli tercihlerden birisi olmak durumundadır. Özellikle Türkiye gibi enerji yoğunluğu yüksek teknolojileri kullanma gereği olan ülkelerde çevresel uyumluluk şartını en iyi sağlayan seçenek nükleer teknolojidir. Nükleer enerji kullanımı, başta CO2 olmak üzere SO2 , NOx ve toz emisyonları gibi çevre ve biyosfer kirleticilerini en aza indirmenin en etkin yoludur. Nükleer teknolojiye güvenlik sürecinde, yenilik ve sürekli iyileştirmelerle uygun gelişmeler sağlanmıştır. Günümüzde işletilmekte olan modern nükleer santrallerin, nükleer güvenlik açısından en istenmeyen durum olan, reaktör kor (kalp) erime olasılığı, bir işletim yılında, yaklaşık olarak 1/100 000 ile 1/10 000 000 arasında değişmektedir. Bu oran, nükleer santrallerin oldukça güvenilir olduğunu göstermektedir.

Toryum elementi Türkiye için oldukça önemli bir yeraltı zenginliğidir. Ortalama % 0,2 tenör değeri ile belirlenmiş rezerv, yaklaşık 380000 ton dur. Bu değer dünyanın ikinci büyük rezervidir. Yapılacak yeni araştırmalarla rezervin önemli ölçüde artması beklenebilir. Toryum tek başına fisil madde olmadığından doğrudan nükleer yakıt olarak kullanılamaz ve bir tetikleyiciye gereksinimi vardır. U235 veya Pu239 ile birlikte kullanıldığında nötron-

Th232 tepkimesi sonucunda U233 fisil maddesi üretilebilir. Bu madde modern reaktör tasarımında kullanılacak en iyi yakıt tipidir. Yeni nesil ticari reaktörlerde yakıt tasarımında bir değişiklik yapılmadan toryum-uranyum-plutonyum yakıtları etkin bir şekilde kullanılacaktır [8]. Bu nedenle toryum elementi, ülkemiz açısından oldukça önemlidir. Buna göre ülkemizde kurulması planlanan nükleer santraller için toryuma dayalı yakıt çevrimi opsiyonu mutlaka değerlendirilmeli ve seçilecek teknolojinin bu opsiyona açık olması bir ölçüt olmalıdır. Ayrıca ülkemizde mevcut olan toryum cevherinin çıkarılmasına ve nadir toprak elementlerinden ayrıştırılmasına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarına hız verilmelidir.

KAYNAKÇA

1. Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği, "21. Yüzyıla Girenken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi", TÜSİAD-T/98-12/239, İstanbul, 1998.
2. Devlet Planlama Teşkilatı, "Elektrik Enerjisi", "Özel İhtisas Komisyonu Raporu", DPT : 2569-ÖİK:585, Ankara, 2001.
3. TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu), "Sürdürülebilir Kalkınma ve Nükleer Enerji", Ankara, 2000.
4. IAEA (International Atomic Energy Agency), News Brief, 2002.
5. IAEA, "Choosing The Nuclear Power Option Factors to be Considered", Viyana, 1998.
6. Rogner, H., "Sustainable Energy Development-Economics and Externalities", IAEA, 2000.
7. TAEK Teknoloji Dairesi, "Nükleer Atık İdaresi ve Dünyadaki Uygulamalar", Ankara, 2000.
8. UAEA, "Utilisation of Thorium Fuel, Options in Emerging Nuclear Energy Systems", Teknik Komite Toplantısı, Viyana, 1999.