

# Nükleer Enerji

11 Mart 2011'de Japonya büyük bir deprem ve ardından gelen tsunami ile sarsıldı. Fukushima'da bulunan nükleer reaktörler bu sırada kapatıldı, ancak reaktörlerin çekirdeğinin soğutulmasında yaşanan sorunlar nedeniyle reaktör büyük hasar gördü. Bu kazadan sonra da dünyada nükleer enerji tartışması hız kazandı.

Kazanın hemen ardından Almanya başta olmak üzere bazı ülkeler nükleer reaktörlerin lisanslarını yenilememeye karar verdi, bazı ülkeler ise kazanın enerji politikaları üzerinde bir etkisi olmayacağını açıkladı. Fukushima'nın üzerinden üç sene geçtikten sonra nükleer enerjinin geleceği ne durumda?



**F**ukushima Daiichi nükleer enerji santralinin yapımı 1967 senesinde onaylandı. Bu reaktör 2011'de hâlâ kullanılan en eski tasarımlı reaktörlerden biriydi. O zaman doğal afet bilgisi sınırlı olduğundan şimdikiye göre hayli tutucu sayılabilecek tahminler yapılarak 8,2 büyüklüğünde depremlere, 10 metre yüksekliğinde tsunami dalgalarına dayanacak şekilde tasarlandı. 2011 senesi-

nin Mart ayında Fukushima 9,0 büyüklüğünde bir depremle, bir saat sonrasında da 14 metre yüksekliğinde bir tsunami dalgası ile yüzleşti. Deprem başladıktan hemen sonra reaktör sistemleri güç üretimini durdurdu ve reaktör kapatıldı. Ancak nükleer reaktörlerin çekirdekleri reaktör kapatıldıktan sonra da ısı üretmeye devam ettiğinden, çekirdekteki artan ısıyı azaltmak için dizel yakıt ile çalış-

an jeneratörler kullanılarak su ile soğutma başlatıldı. Ne yazık ki bu dizel jeneratörler bir saat sonra gelen 14 metrelik dalgaların etkisi ile su altında kalarak çalışamaz duruma geldi. O zaman reaktörde bulunan yedek piller devreye girip çekirdeği 8 saat daha soğutmaya devam etti, ancak bu süre sonunda pillerdeki enerji tükendi ve reaktör çekirdeğinin sıcaklığı artmaya başladı.

# Geleceğin Geleceği



## Kömür reaktörleri nükleer reaktörlerden daha fazla radyasyon yayıyor.

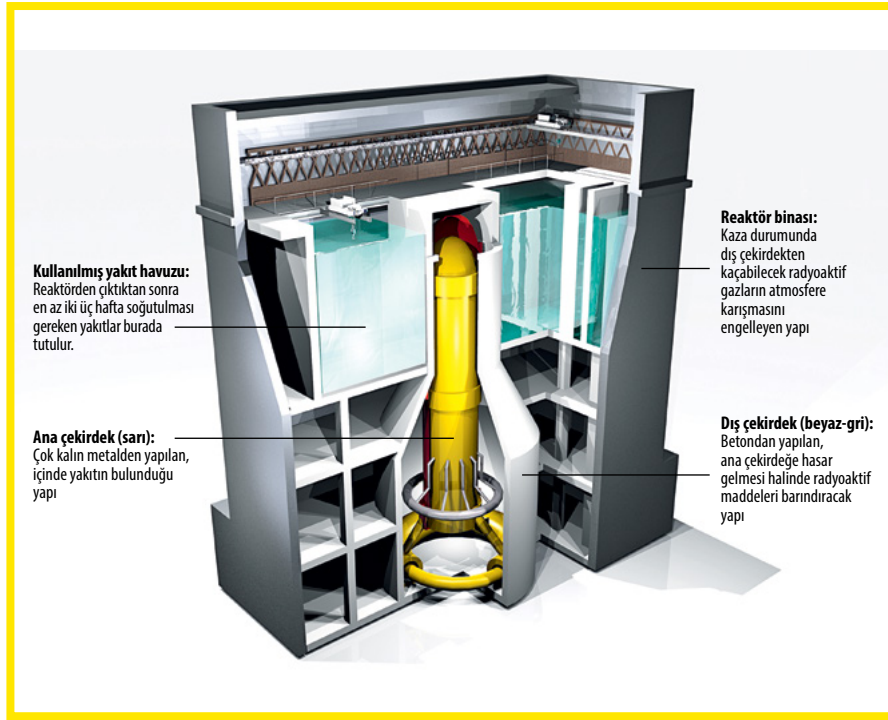
Deniz suyunda ve toprakta olduğu gibi, kömürde de az miktarda toryum ve uranyum bulunur. Bu iki element radyoaktiftir. Kömür yandığı zaman bu elementler küllerde birikir. Bu küller çevredeki suya ve toprağa karıştıkça çevredeki uranyum ve toryum yoğunluğu artmaya başlar. Nükleer reaktörlerde yakıt, çekirdeğin içinde tutulduğundan reaktörlerden çevreye radyasyon salımı çok kısıtlıdır. Standart bir kömür santralinin 1 km çevresinde yaşayanlar, nükleer santral çevresinde yaşayanlara göre yüzde 50-200 arası daha fazla radyasyona maruz kalır.

Fukushima reaktörlerinin dış ünitelerinde hidrojen gazı biriktiği ve bu gazın bazı ünitelerde dış binayı patlatmış olduğu kazayla ilgili bilinen şeylerden biri. Bu bilgiyi dikkate alarak çekirdekdeki yakıtın bir kısmının bir süre su dışında kaldığını varsaymak mümkün, ancak yakıtın gördüğü hasarı bilmek mümkün değil. Kazada reaktörün kalın metal çekirdeği sağlam kaldığı için yakıtın ve çekirdeğin gördüğü ha-

sarın toplum sağlığı açısından önemi yok. Fukushima kazasında dikkate alınması gereken en önemli iki şey çekirdeğe pompalanan su ve çekirdek dışında saklanan kullanılmış nükleer yakıtlardaki hasardır. Her ne kadar çekirdekte bulunan maddeler kadar radyoaktif olmasa da, çekirdeğin soğutulması için kullanılan tonlarca suyun gerektiği gibi saklanması, Fukushima'da çalışanların en önemli görevleri arasında.

Bu su çekirdekle temas ettiği için radyoaktif maddeler barındırıyor, bu nedenle de denize ve yeraltı sularına karışması istenmiyor. Suyun saklanması için önerilen çözümler arasında beton duvar dökülmesi veya buzdan duvar oluşturulması var. >>>





Kazanın üzerinden yaklaşık üç sene geçmiş olsa da reaktörlerin temizlenmesi hâlâ devam ediyor. Kullanılmış yakıtların güvenli bir şekilde çıkarılması, reaktör binası ve yakıt hasarlı olduğu için tehlikeli bir işlem. Bu olağandışı işlem sırasında bir kaza yaşanmasından endişe edildiği için kullanılmış yakıtlardaki kimyasal aşınmanın belirlenmesi amacıyla iki yakıt çubuğu test edildi. Test edilen çubuklarda herhangi bir hasara rastlanmadı. Ancak yalnızca iki çubuğun test edilmesiyle yakıt çıkarma işleminin güvenliği garanti altına alınmaz.

Bunun yanı sıra tsunami dalgalarının reaktör çevresinde bıraktığı enkazın (54.000 metreküp beton ve metal, 68.000 metreküp ağaç) radyasyon ölçümü ve sınıflandırılması henüz yapılmadı. Ancak Fukushima santralının çevresinde yapılan sezyum (en tehlikeli radyoaktif elementlerden biri) ölçümlerine göre Ekim 2013'teki radyoaktivite seviyesi (0,01 GBq/saat) kazadan hemen sonra ölçülen seviyenin 80 milyonda biri kadar. Aynı zamanda Fukushima reaktörlerinden kaynaklanan çevre alanlardaki senelik doz miktarı (0,03 mSv/yıl) Dünya'nın ortalama doğal radyasyon seviyesinin yüzde biri seviyesinde.

Dolayısıyla hasarlı reaktörlerdeki şu anki sızıntı şimdilik insan sağlığını tehlikeye atacak seviyede değil. Ancak reaktörlerin ve çevrenin temizliği henüz tamamlanmadı. Temizleme işlemleri sırasında gerçekleştirilecek kazalar çevreye daha yüksek miktarda radyasyon yayılmasına yol açmanın dışında istenmeyen radyoaktif elementler salınmasına da yol açabilir. Ayrıca temizlikle sorumlu kurum TEPCO santral çevresinden toplanan enkazın radyasyon ölçümünü yapmadığı için bu enkazın yol açabileceği tehlikeler de henüz bilinmiyor.

## Almanya'nın Korkusu

Fukushima olayından sonra en büyük tepkilerden biri Almanya kamuoyundan ve yönetiminden geldi. 1998'de kurulan hükümet nükleer enerjiden uzaklaşma kararı almıştı, ancak 2009'da kurulan hükümet bu karardan vazgeçti. 2011'de yaşanan kazadan sonra ise Alman hükümeti nükleer enerjiden uzaklaşma politikasına devam kararı aldı ve nükleer reaktörlerini sekizini kapattı.

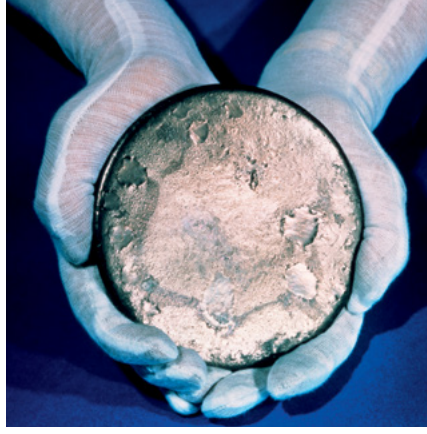
Almanya Fukushima kazasından önce elektriğinin %25'inden fazlasını 17 nükleer santralden elde ediyordu. 2013'te ise elektriğinin yarısından fazlasını kömür ile

üretmeye başladı. Bu üretim payı, son 24 yılın en yüksek seviyesi demek. Almanya her ne kadar yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımı hızlandırmış olsa da, eğer nükleerden uzaklaşma politikası devam ederse 2020'de çevreye fazladan 300 milyon ton karbondioksit salacağı hesaplanıyor. Bu salım Avrupa Birliği'nin 335 milyon ton daha az karbondioksit salımı hedefini neredeyse sıfırlıyor. Bunun yanı sıra nükleer enerjiden vazgeçmenin faturası Avrupa'nın en yüksek elektrik fiyatları olarak halka, 1000 milyar Euro olarak da devlete kesiliyor (nükleer enerji santrallerinin kapatılıp alternatiflerinin üretilmesinin maliyeti bu). Ayrıca Almanyada geçen yıl güneş enerjisinden elde edilen elektriğin maliyeti, nükleer enerjiden elde edilenden dört kat pahalıya geldi. Almanya nükleer enerji kullanmamak ve yenilenebilir enerjilere destek olmak için, 2020'de "25.000 MW kurulu güç eşdeğerinde elektrik ithal etmek zorunda kalacak.

## ABD'de Nükleer Atık Sorunu

Almanya nükleerden vazgeçmeye çalışırken ABD nükleer atıklarını nasıl saklayacağını belirlemeye çalışıyor. Nükleer atıklar geçmişte de sıkça gündeme gelmiş bir konu. Madenlerden çıkarılan uranyum yakıt haline getirildikten sonra nükleer reaktörlere yollanıyor. Nükleer reaktörlerde kullanıldıktan sonra çekirdekte çıkan yakıt, nükleer atık oluyor. Ancak günümüz nükleer reaktörleri nükleer yakıttaki enerjinin %90'ını kullanmıyor. Bu durum, kömür santrallerinde kömürün onda birinin yakılıp küllerin geri kalan onda dokuzun üzerine dökülmesine ve ortaya çıkan şeye "yanmış kömür" denmesine benziyor. Günümüzde su ile soğutulan nükleer reaktörlerin nükleer atıkları iyi kullanılmıyor olması, gelecekte de kullanamayacakları anlamına gelmiyor. Bu atıklar yalnızca nükleer enerji için değil gıda sterilizasyonu, kanalizasyon temizliği ve tıbbi alanlarda da kullanılabilir. Dolayısıyla ABD hükümeti bu atıkları bir daha ulaşılamaz bir şekilde gömmek değil, geçici olarak saklamak istiyor. Geçici olarak saklamak ise depolama fiyatlarını yükseltiyor.

Nükleer enerji endüstrisi kurulmaya başlandığı zaman ABD hükümeti nükleer yakıtların devletin sorumluluğu altında olduğu kararını aldı. Nükleer atıkları saklamanın finansmanının sağlanması için de nükleer santral işletmelerinden özel bir vergi toplamaya başladı (bu vergi ABD'de hâlâ toplanıyor). Zaman geçtikçe ve ülkenin nükleer yakıt konusundaki bilgi birikimi arttıkça ABD hükümeti atık depolanması için hazırlıklara başladı. Nevada'daki Yucca Dağı'nın en ideal yer olduğuna karar verildi ve proje başlatıldı. Ancak Yucca Dağı Nükleer Atık Deposu'nun proje şartları arasında, depo tasarımının radyasyon sızıntısına karşı bir *milyon* sene dayanıklı olması ve yakıtın erişilebilir olması da vardı. Bu iki şart maliyeti çok artırıyordu. Amacı ne olursa olsun, bir binanın bir milyon sene ayakta kalacağını garanti etmek tahmin edilebileceği gibi hayli zor. Bunun yanı sıra atığın istendiğinde erişilebilir olması şartı da atığı gömmeyi imkânsız hale getiriyordu. Sonuçta yüksek fiyattan dolayı bu projeden vazgeçildi.



Nükleer atıklarıyla kendileri başa çıkmak zorunda bırakılan 100'ün üzerindeki nükleer reaktör işletmesi ise ödedikleri verginin kendilerine iade edilmesi için ABD hükümetine dava açmaya başladı. Günümüzde nükleer atıkların saklanması hâlâ çözülememiş bir sorun. Bu nedenle de doğal olarak ABD'de yeni nükleer reaktörlerin yapımı işletmelerin gelecek kaygısı nedeniyle askıya alınmış durumda. Nükleer atıklar ABD'de ciddi bir sorun olarak görülse de bazı ülkelerde yeniden kullanılarak azaltılabilir. Bu ülkelerde nükleer atık sorunu yaşanmıyor.

## Fransa'nın Nükleer Atıklara Çözümü

Nükleer reaktörler farklı farklı yakıtlar, soğutucular ve nötron yavaşlatıcılar ile çalışabilir. Nasıl hava ulaşımı için pervaneli uçaklar, jetler, helikopterler gibi farklı araçlar varsa, nükleer santral tasarımları da farklı farklı olabilir. ABD'de kullanılan nükleer reaktörlerin neredeyse tamamı su ile soğutuluyor. Su ile soğutulan nükleer reaktörler, yakıtı yalnızca sınırlı bir seviyeye kadar kullanabiliyor. Fransa ise su ile soğutulan reaktörlerin yanı sıra başka teknolojiler de kullanıyor. Farklı malzemeler kullanan bu reaktörler ile hem nükleer atık tekrar yakılarak yakıttaki potansiyelin daha verimli kullanılması sağlanıyor hem de nükleer atığın radyoaktivitesi ve kütlesi de ciddi miktarda azaltılıyor.

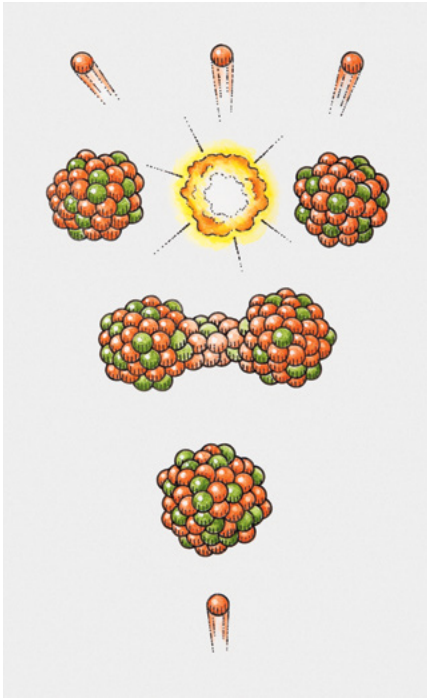
Fransız nükleer enerji şirketleri nükleer atıkta kalan enerjinin %96'sını geri dönüştürdükten (%95 uranyum ve %1 plütonyum) sonra kalan %4'ü de güvenli bir

şekilde depoluyor. Nükleer atıktan üretilen bu yeni yakıtta MOX adı veriliyor. ABD'de MOX ile çalışan reaktörler çok az olduğu ve devletin nükleer silah üretimine karşı önlem olarak nükleer atığın geri dönüştürülmesine karşı olması nedeniyle nükleer atıklar ülkede sorun yaratıyor. Almanya'da 1972'den beri, Fransa'da ise 1987'den beri MOX yakıtlar kullanılıyor. Fransa'nın 21 nükleer reaktörü MOX ile çalışıyor (MOX ile çalışan bir reaktör, standart yakıt olan "UO<sub>2</sub>" tipi yakıtla da çalıştırılabilir). 1980'lerden bu yana Belçika ve İsviçre'de de MOX yakıt kullanılıyor.

Fransız şirketleri yabancı ülkelere de nükleer atık çözümleri sunuyor. Hollanda'nın elektriğinin %4'ü, ülkenin 1973'te inşa edilen tek nükleer reaktöründen geliyor. Hollanda nükleer enerjiden vazgeçme kararı almış olsa da yakın zamanda bu kararı iptal etti. Ülkenin nükleer endüstrisi büyürken nükleer atık sorununun çözümü de Fransadan geliyor. Fransa Hollanda'nın nükleer atığını alıp MOX'a çevirdikten sonra kullanıyor. Geriye kalan atık da Fransız şirketlerce işlenen COVRA Nükleer Atık Deposu'nda saklanıyor. COVRA halka açık bir depo, nükleer atıklardan rahatsız olan herkes gidip görebiliyor.

## İngiltere'nin Karbon Hedefi

Avrupa Birliği önümüzdeki senelerde karbondioksit salımı için bazı hedefler belirlemiş durumda. Karbondioksit salımını 2020 senesinde 1990 seviyesinin %20 altına, 2050 senesinde de 1990'ın %80-95 altına indirmeyi hedefliyor. İngiltere de bu hedefleri kendi topraklarında tutturmaya kararlı. İngiltere'nin enerji politikasında ciddi değişiklikler yapmak istemesinde 2009'da Rusya ile Ukrayna arasında yaşanan, ancak bütün Avrupa'yı etkileyen doğal gaz krizinin etkisinden de bahsedilmelidir. Fiyat anlaşmazlığı sonucu başlayan sorun, 7 Ocak'ta Rusya'nın Ukrayna üzerinden geçen doğal gaz kaynaklarını kapatması ile ciddi bir hal almış, 13 gün boyunca doğal gazı kesilen Avrupa ülkelerinin doğal gaza bağımlılıklarını azaltma konusunda daha da ciddileşmesine yol açmıştır.



Nükleer enerji ağır elementlerin atomaltı parçacıklar kullanılarak daha küçük elementlere dönüşmesi ile açığa çıkıyor. Çekirdeğe çarpan nötron, bir uranyum çekirdeği ile birleşiyor. Birleşme sonucu istikrarsızlaşan uranyum ikiye bölünüyor, bu sırada da çekirdek ortalama üç nötron salıyor. Bu nötronlardan en az bir tanesi başka bir uranyum çekirdeği ile birleşerek zinciri devam ettiriyor. Yakıtta ki uranyum bölünmeler sonucu belli bir seviyenin altına düşünce bu zincir devam edemiyor ve yakıt tüketilmiş oluyor

Karbon salımını azaltma ve doğal gaz bağımlılığını düşürme hedeflerine ulaşmak için İngiltere elektrik üretiminde kullanılabilecek hemen hemen her teknolojiyi inceledi. Maliyetleri, yakıtlarının kaynakları, gelecekteki önemleri, sürdürülebilirlikleri ve karbon salımları açısından ele alınan bu teknolojiler arasında nükleer enerji, doğal gaz, kömür, petrol, güneş enerjisi, termik santraller, rüzgâr ve gelgit teknolojisi vardı.

Bu analiz sonucu İngiltere hükümeti nükleer enerjiye ayrılan payın artırılmasına karar verdi. Nükleer enerji doğaya neredeyse hiç karbon ve radyasyon salmadığı, ulusal enerji bağımsızlığı sağladığı ve gelişmiş bir teknoloji olduğu için sektöre yatırımın artırılması kararı alındı. İngiltere başbakanı Fukushima'dan sonra nükleere devam edileceğini, karbon salımı hedeflerini ve ulusal enerji bağımsızlığını çözmeyen alternatif teknolojilerin dikkate alınmayacağını söyledi.

Japonya, Çin ve Hindistan gibi İngiltere de nükleer enerjiye yatırım yapmaya devam ediyor. Bu ülkeler günümüzde kullanılan nükleer enerji teknolojisinin yanı sıra nükleer atıkları tekrar kullanabilmek için farklı nükleer santrallere de yatırım yapıyor.

### Nükleer Enerjinin Önündeki Engeller

Tahmin edilebileceği gibi nükleer enerjinin önündeki en büyük engellerden biri yatırım maliyeti. Nükleer reaktörlerin en büyük maliyet kalemini santralin inşaatı oluşturuyor. Santral inşa edildikten sonra nükleer yakıt maliyeti ilk yatırım maliyetine göre çok düşük. Yatırım maliyetinin düşmesi için de reaktör üretiminde tecrübeye ihtiyaç var. Ancak nükleer enerji teknolojisi hızla geliştikçe ve yeni reaktör çeşitleri tasarlandıkça eski tasarımların üretiminden elde edilen tecrübelerin yeni tasarımların üretim maliyetine katkısı da azalıyor. Dolayısıyla nükleer santrallerin üretim maliyetinin düşmesi uzun zaman alabilir. Yani ne kadar çok nükleer reaktör üretilirse nükleer enerjinin fiyatının da o kadar düşmesi bekleniyor.

Nükleer enerjinin karşısındaki ikinci büyük engel toplumun bu konudaki görüşleri. Her ne kadar Avrupa'da, ABD'de ve Japonya'da toplumun yarısından fazlası nükleer enerjiyi desteklese de nükleer enerji politikalarını hazırlayan politikacılar toplumun bu konudaki endişelerinden hayli etkileniyor. Nükleer enerji radyasyon ile ilişkili olduğu için özünde tehlikeli görülüyor. Ancak modern hayatta kullanılan birçok teknolojide olduğu gibi, nükleer enerji de risklerinin yanı sıra avantajları ile birlikte ele alınmalı. Nükleer enerji de alternatiflerine kıyasla doğaya ve topluma olan faydaları ile ele alınırsa daha hızlı gelişir. Ancak tabii ki toplumun doğru bilgilendirilmesi, hükümetlerin denetim yapması, standartların her zaman yüksek tutulması ve doğru kararlar alınması nükleer enerjinin güvenli olması açısından çok önemli.

ABD başta olmak üzere bazı ülkeler nükleer atıklar ile başa çıkmakta zorlanıyor. Bu her ne kadar teknik bir sorun olsa da son zamanlarda teknolojinin ilerlemesiyle giderek politik bir sorun olmaya başladı. Devletlerin doğru adımlar atarak nükleer atıkları geri dönüştürebileceğini Fransa başarıyla gösteriyor. Nükleer silah üretimi ve güvenlik kaygıları da nükleer enerji sektörünün dikkate alınması gereken konular arasında. Dünya politikasında nükleer silahlara verilen önem giderek

azalıyor. Enerji elde etmek için kurulmuş bir nükleer reaktörden henüz nükleer silah üretilmiş olmaması ve teknoloji ilerledikçe nükleer silah üretiminin daha da zorlaşması bu sorunun ciddiyetini de bir ölçüde azaltıyor. Nükleer enerjinin güvenli olması ise her geçen gün artan uluslararası işbirliği ve teknolojinin gelişmesiyle sağlanabilir.

### Nükleer Enerjinin Geleceği

Dünyanın enerji ihtiyacı artarken nükleer enerjiye verilen önem de artıyor. Güneş ve rüzgâr enerjileri iklimle bağlı olduğu için, uygun olmayan hava koşullarında enerji üretimi eski yöntemlere kalıyor. Büyük şehirlerin ihtiyaç duyduğu enerjinin verimli olarak depolanması günümüzde neredeyse imkânsız olduğu için, yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen elektrik tek başına yeterli olmuyor. Kömür, doğal gaz ve petrol ile üretilen elektrik de yüksek karbon salımına neden olduğu için nükleer enerji iyi bir seçenek olarak öne çıkıyor. Dünyanın her yanından mühendisler nükleer enerjiyi daha verimli, güvenli ve ucuz hale getirmek için çalışıyor.

Nükleer enerjide yaşanabilecek en büyük gelişmeler yeni yakıtlar ve bu yakıtları kullanabilecek yeni reaktörler olabilir. UO<sub>2</sub> ve MOX dışında başka oksit yakıtlar, metal-uranyum yakıtlar, karbon ve



nitrat temelli yakıtlar ve toryum yakıt kullanılması gündemde. Japonya ve ABD başta olmak üzere bazı ülkeler, uranyum fiyatlarının artmasını uzun dönemde engellemek için okyanus suyundan uranyum toplanması konusunu da ele alıyor.

Okyanus suyundan uranyum çıkarılması son senelerde ele alınan bir fikir. Okyanuslarda toplam 4,5 milyar ton uranyum var. Bu 4,5 milyar ton uranyumun yarısı Dünya'nın elektrik ihtiyacını 6000 sene boyunca karşılamaya yetecek miktarda. Yani bir metre küp okyanus suyunda yaklaşık 3,3 mg uranyum bulunuyor. Bu uranyumun ayrıştırılması için sünger gibi çalışan malzemeler kullanılıyor. Bu malzemeler uranyum toplamak için tasarlanıyor olsa da gelecekte suya karışmış ve doğaya zarar veren atıkların, örneğin petrol atıklarının toplanması için de kullanılabilir. Halen geliştirilmekte olan ve henüz sadece prototip olarak üretilmiş bu sistem, madenlerden çıkan uranyum fiyatına göre uranyumun kilosuna başına yaklaşık iki kattan biraz daha az mal oluyor. Ancak bu bilgi bile nükleer reaktör yatırımcıları için önemli, çünkü okyanustan elde edilen uranyumun maliyeti nükleer yakıtın azami maliyetine eşit.

Bu gelişmelere ek olarak nükleer reaktörler de yeniden tasarlanıyor. Microsoft'un kurucusu Bill Gates'in de milyonlarca dolar yatırım yaptığı mum tipi nükleer reaktörler geliştiriliyor. Bu reaktörler çalıştırılmadan önce çekirdek reaktörün ömrü boyunca yeterli olacak kadar yakıt ile dolduruluyor. Bu yakıt bir mum gibi yavaş yavaş yanıyor. Mum tipi nükleer reaktörler yakıtlarını çok verimli bir şekilde kullanıyorlar, ayrıca kullanımda oldukları sürece yakıtlarının yenilenmesine de gerek kalmıyor. Çekirdek erimesine dayanıklı olacak şekilde tasarlanıyorlar. Bir mum yanarken bütün mumun değil de yalnızca ucunun yanması gibi, bu reaktörler de ömürleri boyunca yakıtı bir uçtan ötekine, yavaş yavaş kullanıyor. Ancak bu teknoloji hâlâ tasarım aşamasında ve tasarımcılarının aşması gereken çok engel var.

Mum tipi reaktörler tasarlanırsa, bazı ülkelerde başka bir nükleer enerji teknolojisi üretildi bile. Küçük modüler reaktörler (KMR) denen, standart nükleer reaktörlerden yaklaşık on kat daha düşük enerji üreten reaktörler inşa ediliyor. Dünyada otuz iki KMR tipi reaktör var. KMR'ler küçük oldukları için finansmanları daha kolay oluyor, çekirdekleri daha küçük olduğu için verimlilikleri düşse de güvenlik seviyeleri çok yükseliyor. Büyük bir yatırım ile bir defada inşa edilen bilindik nükleer reaktörlerden farklı olarak KMR'ler parça parça fabrikada üretilip kara yolu ile nakledilebiliyor; finansman da parça parça sağlandığı için yatırım yükü çok azalıyor.

Birkaç çekirdekli santraller yerine 10 ile 20 çekirdek bulundurulabilen KMR santrallerinde yaşanabilecek kazaların büyüklüğü de azalıyor. Küçük olmaları aynı zamanda bu reaktörlerin çekirdeklerinin erimeye karşı çok güvenli olmasını sağlıyor.

Fukushima kazasından sonra nükleer enerji konusu büyük ilgi topladı. Ülkeler nükleer enerjiye farklı tepkiler verdi. Bazı ülkeler nükleer enerjiden vazgeçerken, bazı ülkelerin karbon salım hedefleri nedeniyle nükleer enerjiye ilgisi arttı. Nükleer enerjiye ilgi duyan ülkeler farklı alanlara yoğunlaşarak, farklı nükleer enerji teknolojileri geliştiriyor. Gelecekte nükleer enerjinin rolünün ne olacağını ve küresel enerji ihtiyacını net olarak bilmek çok zor olduğu için, farklı ülkelerin farklı teknolojiler geliştirmeye devam etmesi çok önemli bir gelişme. Bu sürdükçe gelecekte kullanılacak seçenekler de artacak. Gelecekte Dünya'nın enerji ihtiyacı ve kaynakları ne olacak olursa olsun, küresel olarak hazırlıklı olmak açısından ülkelerin farklı yaklaşımlara sahip olması ve bunlara göre yatırım yapmaları olumlu bir gelişme.



#### Kaynaklar

- Tagawa, A., Miyahara, K., Nakayama, S., "Environmental Remediation Following The Fukushima-Daiichi Accident", Japan Atomic Energy Agency, 2013.
- Chabert, C. ve ark., "Technical and Economic Assessment of Different Options for Minor Actinide Transmutation: The French Case", Alternative Energies and Atomic Energy Commission, 2013.
- Maeda, K. ve ark., "Results Of Detailed Analyses Performed On Boring Cores Extracted From The Concrete Floors Of The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Reactor Buildings", Japan Atomic Energy Agency, 2013.
- Bandstra, M. ve ark., "Measurements of Fukushima Fallout by the University of California, Berkeley Nuclear Engineering Department", Department of Nuclear Engineering, UC Berkeley, 2011.
- Gregg, R., Heske, K., "The Benefits of a Fast Reactor Closed Fuel Cycle in the UK", United Kingdom National Nuclear Laboratory, 2013.
- TEPCO, "Progress Status of the Long-and-mid Term Roadmap towards the Decommissioning of Units 1-4 of TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station", [http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/roadmap/images/t121022\\_01-e.pdf](http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/roadmap/images/t121022_01-e.pdf), 2013.
- Jamasnie, C., "Coal use in Germany the highest in 24 years", <http://www.mining.com/coal-use-in-germany-the-highest-in-24-years-48776/>, (8/1/2014)
- The Breakthrough, "Cost of German Solar Is Four Times Finnish Nuclear", <http://thebreakthrough.org/index.php/programs/energy-and-climate/cost-of-german-solar-is-four-times-finnish-nuclear/>, (14/3/2013)
- <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=coal-ash-is-more-radioactive-than-nuclear-waste>