

NÜKLEER ENERJİNİN GELECEĞİ VE SAKINCALARI

Kenneth F. Weaver



Alabamada Browns Ferry reaktörü. Elektrik kablolarında çıkan kontak nedeni ile tüm soğutma sistemi durduğu halde radyasyon tehlikesi söz konusu olmamıştır.

Nükleer enerjinin ölmek üzere olduğu veya nükleer gücün korkunç gelişiminin artık tercih değil bir gereksinme olduğu şeklinde belirtilen iki zıt görüş, bölünen atomların verdiği enerjinin yararlı ve zararlılığı konusundaki çelişkiyi vurgulamaktadır. Çatışma sık sık heyecanlı, kırıcı ve çoğu kez de karmaşık bir nitelik kazanmakta nükleer ışımanın zararları konusunda anlatılan korkutucu öykülerin yanı sıra bu enerjinin terkedilmesinin ekonomik ve çevresel çöküntülere neden olacağı söylenmektedir.

Çok yakın bir geçmişe kadar nükleer endüstriye aşırı ölçüde ümit bağlanmıştı. Nükleer elektriğin en ucuz, en temiz ve en uygun enerji türü olduğu savunuluyordu. O yıllarda nükleer santral yapan firmalara çok sayıda sipariş gelmeye başlamıştı. 1973-74 de Petrol ambargosunun başlaması ile elektrik tüketiminin daraltılması konusunda devlet baskıları yoğunlaştı ve elektrik fiyatları da arttırılarak elektriğe olan isteklerin azaltılması yoluna gidildi. Böylece yeni reaktör siparişlerinde bir düşme oldu. Bununla

birlikte, örneğin A.B.D. de tüketilen elektriğin sekiz'de biri halen nükleer enerji ile karşılanmaktadır. 27 eyalette 70 den fazla nükleer güç kuruluşu işletme ruhsatı almış durumdadır. 90 dan fazlası da yapım halindedir.

O halde nükleer enerjinin geleceği ne olabilir? Bir ölü noktaya mı varılmıştır, yoksa bugünkü sorunlarından sıyrılarak yakın geçmişteki parlak ümitlerini birkaçını olsun gerçekleştirebilecek midir?

Nükleer gücün temel fikri, yer kabuğunda bulunan uranyum gibi bazı ağır elementlerin bölünebilen izotoplara sahip olduğu gerçeğine dayanır. Bu tür bir atom çekirdeğinin yanılması ile aslınıkinden biraz daha hafif parçacıklar oluşur, kütleli fark ise enerjiye dönüşür. Bölünen atom bu anda nötron ve ağır atom altı parçacıkları yayar. Uygun koşullar altında bu parçacıklar diğer bölünebilir atomlara çarparak bunların da yanılmalarına neden olur, böylece zincirleme bir çekirdek tepkimesi ortaya çıkar.

Bir reaktör, çekirdeğin bu bölünmesini her an

denetleyerek büyük ölçüde hızlandıran teknik bir kuruluştur. Isı şeklinde ortaya çıkan enerji, elektrik üreten jeneratörleri çalıştıran türbinler için gerekli su buharının elde edilmesinde kullanılır. Bilimsel kuralın basit olmasına karşın nükleer enerjinin güvenilir bir şekilde üretilmesi son derece karmaşık bir mühendislik uygulamasını gerektirir.

Bir reaktörün soğutulması en önemli sorundur. Reaktörleri soğutmak için gaz veya ağır sudan da (Döteryum veya ağır hidrojen içeren su) yararlanılırsa genellikle normal su kullanılır. Bu tür reaktörler iki tip olurlar: birincisi basınçlı su reaktörleridir ve reaktör göbeğini soğutmak için normal basınçlı su kullanılır, üretilen ısı ikinci bir su devresine aktarılıp güç üreten türbinler için gerekli buharı sağlar; kaynamalı su reaktörleri adı verilen ikincisinde ise yine normal soğutma suyu kullanılır ve bu su türbinler için buhar üretmek üzere doğrudan doğruya kaynatılır. Hızlı üretim yapan özel bazı reaktörler ise (Fast-Brider tipi) sıvı sodyum ile soğutulur.

Tipik bir basınçlı su reaktörünün göbeğine bakıldığında, yaklaşık 3,6 m. uzunluğunda ince ve parlak tüplerden oluşan demet şeklinde bir nükleer çekirdek görülür. Yakıt çubuğu adı verilen her tüpte zenginleştirilmiş uranyum ile doldurulmuş 200 kadar "hap" bulunmaktadır (Şekle bakınız). Bu enerji hapları yaklaşık bir kuşun kalemin iki katı kalınlığında ve 1,5 cm. boyundadır. Oldukça ağır olan bir hapın taşıdığı enerji 1 ton kömüre veya herbiri yaklaşık 160 litre olan 4 varil ham petrolünkine eşdeğerdedir. Fiyatı ise 5-10 dolar kadardır.

Bugün çalışmakta olan büyük bir reaktörde yaklaşık 100 ton ağırlığında 8 milyon kadar uranyum hapi ile doldurulmuş onbinlerce yakıt çubuğu bulunur. Bu tür bir reaktörün kapasitesi kabaca 1000 megawatt (1 milyon kilowatt) elektrik gücünde olup 600.000 nüfuslu bir şehre yeterlidir. Buna karşılık çekirdeğin ömrü oldukça sınırlıdır. Bir reaktörün beklenen 30 ila 40 yıllık yaşamı süresince yakıtının üçte birinin her yıl yenilenmesi gerekir.

Binlerce ton su ile çevrilmiş olan nükleer göbekteki tepkimeler başladığı anda artan sıcaklığı belirli limitler arasında tutabilmek ve üretilen fazla ısıyı dışarı atabilmek için bu su çok yüksek basınç altında göbeğin içine süzdürülür. Süresiz devrettilen bu su ayrıca nötron akımını yavaşlatarak zincirleme tepkimeyi de denetler. Çekirdek ve su ağır bir çelik basınç kabının içerisinde korunur. Bu kab ise radyoaktivitenin dışarıya kaçmasını önlemek amacı ile ayrıca betonarme bir kabuk ile çevrilmiştir (Şekle bakınız).

Radyoaktivitenin dışarıya sızdığını varsayalım. Bu durumda ne olur? Görünen ışık gibi bir ışın türü diğerlerine oranla zararsızdır. Buna karşılık radyoaktif maddelerin, örneğin X ışını araçlarının yayınladığı ışın yüklenmiştir (iyonize olmuştur) ve görünmemesi ve hissedilmemesine karşın insan bedenindeki hücre yapı-

larında önemli değişimlere yol açabilir. Işımaya eşlik eden yüksek enerji, hücrelerdeki molekülleri bozabilir hatta yokedebilir. Genlerdeki D.N.A. zincirlerini kırar. Bu olay uzun sürerse bozulmuş hücreler denetimden kaçır ve çok çabuk çoğalarak kansere dönüşür veya hücreler kendilerini denetim dışı anarak kalıtımı düzenleyen D.N.A. zincirlerinin anormal bir yapıda birleşmelerine neden olur. Bu ise doğum bozukluklarına ve gelecek kuşaklardaki genetik değişimlere yol açar.

Elektrikle yüklü yani yüklenmiş (iyonize olmuş) iki tür ışın vardır: helyum atomunun çekirdeklerinden oluşan α parçacıkları ve elektronlardan oluşan β parçacıkları. α parçacıkları havada sadece birkaç santimetre yol alırlar ve derinin içine giremediklerinden önemli bir sorun yaratmazlar. Bununla birlikte plütonyum tozu gibi bir α yayınılayıcısı nefes borusuna girerse ağır α parçacıklarındaki aşırı enerji çok duyarlı olan akciğer zarında hasar yaparak zamanla kansere neden olabilir. β parçacıkları ise havada birkaç metre yol alabildiklerinden insan bedenine rahatça girebilirler. Bunlar özellikle Tiroid bezlerini etkiler. Bu parçacıklar genellikle ince metal veya tahta tabakalarıyla durdurulabilirler.

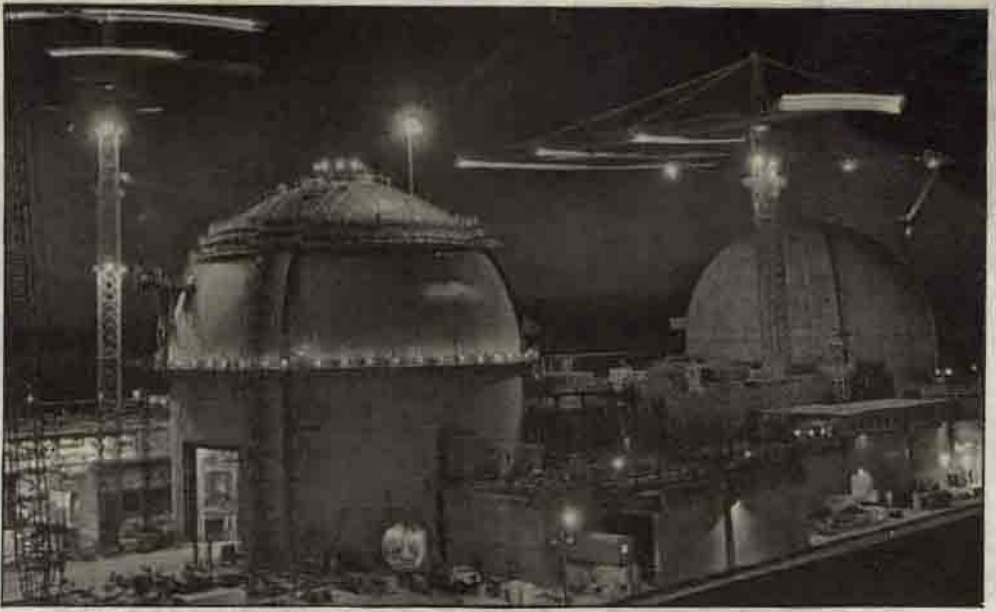
Üçüncü bir yüklenmiş ışın türü kabul edilebilen γ ışınları ise X ışınlarına benzeyen kısa dalgalı ve yüksek enerjili elektromanyetik ışınlardır. Bunlar insan bedenine kolaylıkla girebilir. Reaktörlerde γ ışınlarının şiddetini azaltan kalın betondan yapılmış biyolojik bir siper bulunur.

Bunların yanı sıra insan bedeni az miktarda bir doğal ışına ile sürekli olarak yıkanmaktadır. Örneğin, uzaydan gelen kozmik ışınlar deniz düzeyinde yılda 40 milirem iken (1 rem, bir canlıya gelen ışın birimidir) yükseklerde ise çok daha fazladır. Ayrıca taşa, toprakta ve betonadaki uranyum, radyum ve toryum ile bedenimizde suda ve besinlerde bulunan radyoaktif karbon ve potasyum birleşerek kaçınılmaz bir ışın ortamı yaratırlar. Bu doğal kaynaklardan, ortalama bir insan, yılda yaklaşık 100 milirem kadar bir ışına almaktadır.

Yutulmuş doğal ışınların yanı sıra birçok kişi yapay olarak yüklenmiş ışınlarla karşı karşıya kalmaktadır. Örneğin X ışınlarından ortalama kişiye yılda 70 milirem ışına düşer. Televizyon araçları ile radyum ayarlı bilek saatlerinden bu miktarda yılda 1 milirem daha eklenir. Böylece tüm doğal ve yapay kaynaklardan kişi başına düşen toplam ışına yılda 200 milireme ulaşır.

Düzenli işleyen bir nükleer reaktörün bu ışınaya olan katkısı çok az olup çevrede yaşayanlara bundan yılda sadece birkaç milirem düşer. Aslında içerdigi uranyum ve radyum nedeni ile kömürü kuruluşlar da yılda bu oranda radyoaktivite yayınlırlar.

Önemli olan bize gelen zararlı ışınların miktarıdır. Radyobiologlar tek dozda alınan 600 remin (600.000 milirem) birçok insan için



California'da San Onofre Reaktörü, tüm A.B.D. nin elektriğinin % 12 sini bu tür kuruluşlar üretmektedir. 1977'deki kuraklık Kuzey Batı Pasifikteki hidroelektrik güç alanını büyük ölçüde azaltınca bu reaktör eyaletteki elektrik gereksinimini fazlasıyla sağlamıştır.

öldürücü olduğunu, tüm bedene gelen 100 rem'in ışına hastalıklarına neden olacağını, 10 rem'in lenf düğümlerini ve dalağı tahrip edeceğini ve etkileri hissedilmemekle birlikte kan ve ilik hücrelerinde azalma yapacağını söylemektedirler.

Uzun bir süre içerisinde bedene gelen birkaç milirem hatta birkaç rem'in etkisi az sayılabilir. Bazı bilim adamlarının ışımamanın hiçbir kalıcı veya sürekli etki yapmadığı bir eşik bölgesinin varlığını kabul etmelerine karşın birçoğu ise ışımamanın her düzeyde zararlı olduğunu savunmaktadır. Oak Ridge ulusal laboratuvarının sağlık fiziği bölümü eski başkanı Dr. Karl Z. Morgan bu görüşü şöyle özetlemektedir:

"Çok sayıda yapılan deney sonuçlarından ışımamanın herhangi bir güvenlik miktarının var olmadığı ve ölüm riskini sıfıra düşürecek bir ışımama dozunun bulunmadığı anlaşılmıştır. O halde çok düşük bir radyasyonun riski var mıdır diye bir soru olamaz. Sorulması gereken bu riskin ne kadar olduğudur. Bir başka deyimle belirli bir ışımama, beklenen yararı sağlamanın yanısıra ne ölçüde riski birlikte getirir?"

Bir nükleer kuruluşu gezen bir yabancı, nükleer güç ile bunu denetim altında tutmak için alınan olağanüstü önlemlerin etkisinden ürker. Bunun nedeni ışımamanın çevreyi ne ölçüde etkilediğini bilmemesidir. Halbuki reaktörden sızan radyoaktivitenin izin verilen limitlerin dışına çıkıp çıkmadığını saptamak amacıyla

reaktör çevresinde bulunan toprak ürünleri, canlılar ve hava sürekli bir denetim altında tutulur. Söz konusu limitler taşılınca, sorun çözümlene dek kuruluş derhal kapatılır.

Bunların dışında, üstünde durulması gereken en büyük sorun atıkların zararsız duruma getirilmesidir. En önemli atık yakıt çubuklarının harcanmasında ortaya çıkar. Bölünebilir uranyum 235 atomları reaktörün çekirdeğinde yarıldıkça Sezyum 137 ve Stronsiyum 90 gibi yine bölünebilen ara ürünler oluşturur. Bunların birçoğu şiddetle radyoaktif olup reaktör kapalı olduğu zaman bile ısı yayınlılar. Göbekte kullanılmış yakıt çubukları yenilenince işi biten çubuklar, radyoaktivitelerinin zamanla yokolacağı ve dokunulmadan yıllarca kalacakları yakın depolama havuzlarına uzaktan yönetilen mekanizmalarla el değmeden aktarılırlar.

Radyasyon bölgelerinde devamlı barınan ve çalışan insanların bir miktar radyasyona maruz kalmaları önlenemez. Nükleer komisyonların kurallarına göre yılda 500 miliremlik ışımama normal birikim dozu olarak saptanmıştır. Bu limite ulaşan kişi yılın geri kalan kısmını ışımamanın bulunmadığı bir bölgede geçirmek zorundadır. Birçok ülkelerde komisyonlar ortalama bir nükleer personelin yılda aldığı ışımamanın 700-800 miliremi aşmadığını saptamışlardır. Çevrede yaşayan halk için ise bu limit 25 milirem olarak kabul edilmiş olup pratikte bu değerin küçük bir bölümüne ancak ulaşabilmektedir.

Sogutma Kulesi.
Sogutucunun borularin-
dan gelen su bu kulede
buharlaşma yoluyla so-
gutulur ve yeniden kul-
lanılmak üzere sogutucu-
ya geri gönderilir. (kul-
enin tabanı görülyor).

İç yapı.
Çelik kaplı betonarme
kabuk -yaklaşık 60m.
yükseklik ve 1,1m. ka-
lınlık- reaktörü çevre-
ler.

Yakıt demeti.
Uranyum taşıyan yakıt
çubuklarından oluşan de-
met, yeniden kullanılmak
üzere, reaktör çekirdeği-
ne indirilir. Bu reaktö-
rün kapanmasını gerektiren bir işlemdir.

Atık yakıt deposu.
Kullanılmış yakıt demet-
leri suya batırılarak
kalen ısı ve ışınlarını
vermeleri sağlanır.

Biyolojik örtü.
1,5m-3m kalınlığında
beton duvarlar basınç
kabını çevreleyerek ya-
kın bölgeleri ışımadan
korur.

Basınç kabı.
25cm kalınlığında karbon
çeliğinden yapılmış pas-
lanmaz çelikle kaplı ve
basınca dayanıklı olan
bu kap reaktör göbeğini
ve kontrol çubuklarını
korur.

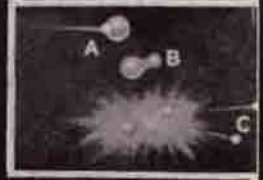
Kontrol çubukları.
Nütron emici olan bu çu-
buklar orçalışma hizını
düzenlemek amacı ile
yüksektilio alçaltıla-
bilirler.

Reaktör göbeği.
Yüzlerce ton uranyum di-
okait taşıyan yakıt de-
metleri, su ile çevrili
olan göbeği oluşturur.
Parçalanmadan açığa çı-
kan enerji suyu ısıtır.

BİR NÜKLEER KURULUŞUN ANATOMİSİ

İnsanoğlunun elektrik üretmek için düşündüğü en mükemmel yapılardan biri olan nükleer güç santrali, fosil yakıtı ile işleyen kuruluşlarınkı gibi çok basit ilkelere dayanır; ısınan suyun ürünü olan buhar, elektrik üreten bir jeneratörü döndüren bir türbini çalıştırır.

Bir nükleer kuruluşun ısı kaynağı parçalanmadan veya parçalanabilir maddelerin çekirdeklerinin (temelde uranyum 235) yarılmasından açığa çıkan enerjidir. Uranyum 235 çekirdeği (A) ile çarpışan bir nötron onu ikiye yarar (B). Çekirdeği bütün halinde tutan enerjinin bir kısmı ısı halinde açığa çıkar ve



çekirdekten başka nötronlar fırlatır (C).

Diğer uranyum 235 çekirdekleri bu fırlayan ve dibe çöken nötronlarla parçalanarak zincirleme bir tepkileşim oluşur. Reaktör göbeğindeki (soida 1) uranyumun parçalanması ile oluşan zincir tepkime enerjisi, buhar jeneratörünün tüplerine (2) basınç altında pompalanan çevredeki suyu ısıtır. Bu su ise elektrik üreten jeneratördeki esas suyu ısıtmada kullanılır. Bu reaktör tipine basınçlı su reaktörü denir.

Tüplerdeki ısı jeneratörde bulunan suyu buhara dönüştürerek yüksek basınçlı türbin (3) rotorlarının dönmelerini sağlar. Bu türbinlerden çıkan düşük enerjili buhar, düşük basınçlı diğer bir türbin dizisine gider "(4) ve (5)".

Bir elektrik jeneratöründe (6) dönen türbin millerinden gelen enerjiyi tüketiciye iletmek üzere, yüksek voltaj hatlarından (7) geçen elektrik gücü haline getirir.

Türbinlerden çıkan ve enerjiden yoksun olan buhar, bir soğutucunun (8) borularından geçerek suya dönüşür ve yeniden ısınmak üzere buhar jeneratörüne geri gönderilir.

Yan soğutma.
Soğutuculara borularla gönderilen az miktarda nehir suyu, soğutma kulesindeki buharlaşmanın neden olduğu su kaybını karşılar.

Bütün bu güvenlik önlemlerine karşın kaza olasılıkları da her reaktörde gözönüne alınmış bulunmaktadır. Herşeyden önce bir nükleer kuruluşun bomba gibi patlamasının asla mümkün olmayacağı bilinmelidir. Zira ısı reaktörlerinde kullanılan Uranyum 235 bir nükleer patlamayı gerçekleştirecek zenginlikte değildir. Bir nükleer kuruluşun ancak bazı koşullar altında buhar patlaması tehlikesi ile karşılaşılabilir. Ayrıca akla gelen en önemli kaza soğutma suyunu göbeğe ileten ana borulardan birinin kırılmasıdır. Bu durumda kuruluşun kapanması sorunu çözmez. Reaktörün kapatılması halinde zincir tepkimeleri dursa bile yakıt çubuklarındaki radyoaktif bölünme ürünleri parçalanmaya ve ısı yaymaya devam ederler. Soğutma suyu olmadan göbek birkaç saat içerisinde şiddetle ısınıp eriyerek reaktör kabının dibine çöker ve bir günde çelik ve beton içerisinde yanıp gider. Kabin içerisindeki bölümlerde oluşacak yüksek basınç cidarları parçalayarak radyoaktif gazın biyosfere yani canlılarla dolu dış dünyaya taşmasına neden olur. Bu tür bir kaza yüksek sayıda ölüm, kanser, tiroid bozuklukları, yüzey ve yeraltı sularının, havanın kirlenmesi ve belki de yüzlerce kilometrekairelik toprağın yıllarca kirlenmesi ile sonuçlanır. Bu yıkımın uzantıları birçok değişik kene bağlıdır.

Nükleer kuruluş planlamacıları bu olasılıkları doğal olarak düşünmüşler, birçok önlemler ve kurtulma yolları tasarlamışlardır. Reaktör göbeğinin soğuk tutulması en önemli faktör olduğundan, bir reaktör, ana sistemin dışında, 4-6 yan soğutma sistemiyle donatılır. Eğer ana sistemde bir aksaklık olursa bunlardan herhangi biri anında devreye girer. Bu durumda sorulması gereken şudur: bütün bu yan sistemlerin de başarısız olma ve tüm önlemlere karşın göbeğin ısınarak erime olasılığı nekadardır? Bu ve buna benzer diğer olasılık hesapları reaktör güvenlik çalışmalarının konusudur ve bu tür çalışmalar A.B.D. ulusal reaktör komitesi şefi ve M.I.T. nükleer mühendislik departmanında görevli Prof. Norman C. Rasmussen tarafından yapılmış ve yayınlanmıştır.

Hesap sonuçlarına göre çalışan 100 reaktörden birinin 40 km. uzağında oturan bir insanın herhangi bir reaktör kazasından bir yıl süre içinde ölme olasılığı 5 milyarda birdir (Bu sayı uzun süreli kanser ölümlerini kapsamaz). Aynı rapora göre daha güncel kazalarda, örneğin trafik kazalarındaki ölüm olasılığı bir yıl içinde 4.000 de bir, yangında 25.000 de bir, hava taşımacılığında 100.000 de bir ve yıldırım çarpmasında 2.000.000 da bir olarak saptanmıştır. Bu raporun en fazla eleştirildiği nokta sabotaj olasılığını gözönüne almamasıdır.

Bunlardan daha önemli bir sorun radyoaktif

nükleer atıklara ne gibi bir işlem yapılması gerektiğidir. Bu tür atıklar üç guruba ayrılırlar:

a) *Düşük düzeyli atıklar*: Bunlar büyük hacimli, az kirlenmiş örneğin giyim eşyası, endüstriyel hurda ve süprüntü gibi düşük radyoaktivite taşıyan maddelerdir.

b) *Aşırı uranyumlu atıklar*: Daha yüksek ısıma düzeylerinde uzun ömürlü çarparcıkları yayınlayan kaynaklara sahip daha tehlikeli maddelerdir.

c) *Yüksek düzey atıkları*: (1) Tipik bir büyük reaktörün yılda ürettiği 30-40 ton kadar kullanılmış yakıtlar, (2) silahlanma programlarının yan ürünleri. Yüksek düzey atıkları yüzyıllardanberi yüksek ısı üretme ve derinlere kadar girebilme özellikleri ile tanınırlar.

Bu son derecede tehlikeli maddelerin gerek yaşayan ve gerekse gelecek kuşaklara zarar vermeyecek şekilde saklanması sorunu yıllar boyu ihmal edilmiş olup ancak çok yakın geçmişte ciddi olarak düşünölmeye başlanmıştır.

Atık sorununun tüm suçunun sadece nükleer güce yüklenmesinin doğru olmadığı anlaşılmış bulunmaktadır. Problem, A. B. D. nin bundan 35 yıl önce nükleer bomba için gerekli plütonyumu elde etmesi ve denizaltılara nükleer reaktörler yerleştirilmesi ile başlamıştır.

Nükleer silah atıkları bugün çok büyük boyutlara ulaşmıştır. Yaklaşık 500.000 ton yüksek düzeyde radyoaktif madde ve 2 milyon m³ kadar da düşük düzeyli radyoaktif atık birikmiştir. Bu atıklar A. B. D. de geçici bir süre için bidadlara doldurularak çukurlara gömölümekte ve saklanmaktadır.

Bir dev birikme nükleer tesislerin katkısı, tümü reaktör yakınındaki havuzlarda soğutulan, 5.000 ton kadar kullanılmış yakıt çubuğu ile 0,5 milyon m³ kadar düşük düzeyli maddelerdir.

Bütün bunlara karşın radyoaktivite korkusu büyük ölçüde güç tesisleri üzerinde yoğunlaşmaktadır, zira bu tür kuruluşlardan elde edilen atıkların daha fazla radyoaktif oldukları ve silah atıklarından daha hızlı biriktikleri bir gerçektir. Bu nedenle, eleştirmenler nükleer gücün bir geleceğinin varolabilmesi için daha önce atık sorununun çözölmesi gerektiğini savunmaktadırlar.

Bugün için A. B. D. dışında 41 ülkede nükleer enerji programı yürürlüktedir. Bunların 21 inde işleyen ve kapasitesi 56.000 MW olan 151 reaktör işler durumdadır. Buna yakın sayıda kuruluş ise halen yapım halinde daha fazlası da sipariş edilmiş bulunmaktadır. Ayrıca bugün A. B. D., Sovyetler Birliği, Almanya, İngiltere, Fransa, Çin gibi nükleer silah yapan tüm ülkeler atık sorunu ile karşı karşıyadır. Bu ülkeler nükleer atıkların dışarılanması için çeşitli yöntemler uygulamaktadırlar. İngilizler düşük düzeydeki atıkları

Güney Carolina'daki bir reaktörde bir atık yakıt depolama havuzu. Dikdörtgen çubuk demetlerindeki kullanılmış yakıt bu depolama havuzunda bekletilir.



borularla İzlanda denizinin derinliklerine yollarlar. A.B.D. de 1946 dan 1970 e dek düşük düzeydeki onbinlerce bidon atığı Maryland-Delaware kıyısının 200 km. doğusunda Atlantige ve San Francisco'nun 55 km. uzağında Pasifik Okyanusuna atıyorlar. Sovyetler Birliği ise orta düzeydeki sıvı atıkları 2.000 metre derinlikteki kilin geçirgen olmayan tabakalarında bulunan kumtaşının içine pompalamaktadırlar. Almanya'da ise Hannover yakınlarında Asse'deki tuz yataklarında dünyanın ilk atık deposu yapılmıştır. Kirlenmiş giysiler ve araçlar, radyoaktif küller ve nükleer tesislerden çıkan hava filtreleri 200 litrelik fiçılara doldurulmaktadır. Bu fiçılar koruma kutularına konularak ve kamyonlarla özel yapılmış tünellerden geçirilerek Asse'ye taşınmakta ve uzaktan yönetilen vinçlerle kutularından çıkarıldıktan sonra etrafı tamamen kapalı derin mahzenlere atılmaktadır.

Batı Avrupa'daki tüm ülkeler nükleer güce enaz A.B.D. de olduğu kadar direnmektedirler. Örneğin Elektriğinin 1/4 ünü atomdan üreten İsveç'te bu yüzden iki kez hükümet düşmüştür. Fransa'da bu başkaldırılan, dünyanın ticarî amaçla kurulan ilk reaktörünün bulunduğu Super-Phénix'de kanlı bir çatışma ile sona ermiştir. Oysa A.B.D. de nükleer enerji tartışmaları bu denli şiddet ölçülerine henüz varmamıştır. Bunların birlikte yüksek düzeyde bir gerilim söz konusudur. Bazı eyaletler, atık sorunu kesin bir çözüme kavuşana dek nükleer kuruluş yapımını yasaklamışlardır.

Atığı nereye depolamalardır? Uzaya veya güneşe fırlatma olanağı var mıdır? Uzmanlara göre gerekli roket kızakları geliştirilmedikçe bu işlem inanılmaz ölçüde pahalı olacaktır.

Antartikadaki büyük buz kütleleri veya derin okyanus diplerinin her ikisi de düşünülmüş olup bunlarında duyarlı sorunlar oluşturacağı saptanmıştır.

Simyagerleri kopya ederek -yani nükleer atıkları atom altı parçacıklarla döverecek bunları kararsız radyoaktif elementler halinden kararlı ve zararsız maddelere dönüştürmek de düşünülmüştür. Bu fikir görüldüğü kadar saçma değildir, çünkü radyoaktif bozulma gerçekte bir dönüşüm şeklidir. Fakat ne yazık ki bu işlemin pratik ve ekonomik bir yolu henüz bulunamamıştır.

Bütün bu hayal ürünü çözümleri bir yana bırakırsak gerek A.B.D. ve gerekse diğer ülkelerdeki çok sayıda uzman tehlikeli ve uzun süre yarıyor radyoaktif atık türlerinin katı forma getirilip konsantre edilerek saklanması en iyi çözüm olduğunu savunmaktadırlar. Bu duruma getirilen atıklar koruyucu fiçılar içerisinde kapatılıp yüzlerce hatta binlerce metre derinlikte uygun jeolojik tabakalar içine gömülebilirler. Bilim adamları tuz yatakları, granitler, bazaltlar ve şistleri uygun tabakalar olarak düşünmekte ve radyoaktif sızıntıyı en iyi önleyebilen hangisi olduğunu bulmaya çalışmaktadırlar. Bugünkü teknoloji, atıkları jeolojik tabakaların derinlikle-



Yakıt demetlerindeki çubukların içerisine üstüste dizilerek doldurulan fiçiler.

rine gönderip saklayacak denli gelişmiştir.

Atığı cam formunda katılaştırma süreci şu anda denenmektedir. Fransa'daki Marcoule nükleer merkezinde geçen yıldanberi nükleer atıkları cam haline sokma tesisi yeryüzünde ilk kez işlemeye başlamıştır. Fransız işleminde sıvı radyoaktif atık önce buharlaştırılmakta, arta kalanlar çok yüksek sıcaklıkta 750 kiloluk çok sert cam bloklar haline getirilmektedir. Fransız yetkililerine göre bunlar metal fiçiler içine kapatılıp gömülerek yüz yıllarca güvence altında korunabilirler.

Bazı Amerikan uzmanları ise camlaştırma konusunda kötümserdir ve seramiğin sızıntıya daha dayanıklı olduğunu savunmaktadırlar.

Hangi yöntem olursa olsun sorun uzun süre depolamadır. Bu süre en sehirli izotopların yarı-ömürlerinin bir başka deyimle o andaki radyoaktivitenin yarısının yokolma süresine bağlıdır. Yarı ömür, örneğin, 30 yıl ise atomların yarısı 30 yılda parçalanır. Geri kalanın yarısı daha sonraki 30 yılda, geriye kalanda ondan sonraki 30 yılda yarıya düşer ve böylece süre ilerler. 10 yarı ömür süresi içinde radyoaktivitenin sadece binde biri ve 20 yarı ömür sonunda ise yalnızca milyonda biri kalır.

Raslantı sonucu nükleer atıklardaki kuvvetli Y yayınlayıcılarının bir çoğunun yarı ömürleri 30 yıl veya daha azdır. Bu durumda atıklar 300 yılda hemen hemen güvenilir 600 yılda ise tümünden zararsız olurlar. Buna karşılık plütonyum 239 un yarı ömrü 24400 yıldır ve Y radyasyonunun çoğunun yokolması için çeyrek milyon yıl geçmesi gerekir.

Atıkların her koşul altında yeraltı suyunun kolayca erişemeyeceği ve deprem ve benzeri tektonik etkinliklerin düşük olduğu bölgelerde depolanması gerekir. Ayrıca buraları insan elinin değmeyeceği yerler olmalıdır.

Nükleer atıkların tümünün kaynağı güç tesisleri ve silah endüstrisi değildir. Maden

ocaklarındaki atıkların da işima bakımından tehlikeli oldukları anlaşılmış bulunmaktadır. Bu atıklar beton ve tahtadan geçebilen radyoaktif Radon 222 gazı yayımlarlar. Bu gaz ise çevreye zararlı α parçacıkları saçar. Ayrıca bunların bozulma ürünleri (bu ürünlere Radon'un kızları denmektedir) γ ışınları yayımlayan ve havadaki tozlara yapışıp akciğerlere yerleşebilen katı parçacıklardan oluşmuştur. Fakat Radon, yarı ömrü 1622 yıl olan Radyum 226'nın bir bozulma ürünüdür ve bu sorun şu anda önemli değildir. Atık problemi, hızlı üreten reaktörler ve nükleer yakıtın yeniden kullanılması gibi büyük tartışmalara yol açan iki sorun ile birleşerek daha karmaşık bir duruma gelmiş bulunmaktadır. Hızlı üreten reaktörler özel bir reaktör tipidir ve bunlar tükettiklerinden daha fazla yakıt üretme özellikleriyle tanınmaktadır. Konuyu anlayabilmek için uranyum hakkında biraz daha fazla bilgi vermek yararlı olacaktır.

Uranyum cevheri temelde iki izotoptan oluşur: a) Uranyumun binde 7 sini içeren ve bölünebildiğinden yakıt olarak da kullanılabilen uranyum 235 izotopu, b) bölünemiyen ve uranyumun çoğunu oluşturan uranyum 238 izotopudur. A.B.D. de yakıt olarak kullanılan haptarda U235 oranı yüzde 3 kadar zenginleştirilmektedir.

Uranyum 235 reaktörde yakıldıktan sonra çok fazla miktarda uranyum 238 atık olarak kalır. Fakat bu atık bir hızlı üreticinin göbeği içine ve çevresine yerleştirilerek hızlı nötronlarla dövülürse uranyum atomlarının bir bölümü bu nötronları emerek plütonyum 239'a dönüşür. Bu sonucusu ise bölünebildiğinden reaktörlerde yeniden yakıt olarak kullanılır.

Bu sonuca göre hızlı üreten reaktörlerde kullanılan uranyumdan normal reaktörlerden elde edilen kuramsal olarak 60 katı fazla enerji elde etmek mümkündür. Zira burada U238 tekrar tekrar yakıt olarak kullanılabilir. Hızlı reaktörlerin bu yararının yanı sıra sorunları da vardır. Bunlar normal reaktörlerden çok daha tehlikeli ve daha karmaşıktır. Soğutucu olarak su yerine sıvı sodyum kullanılır. Sodyum yumuşak ve ergime noktası suyun kaynama noktasının biraz altında olan gümüş renginde bir metaldir. Hava ile temasta derhal yanar ve su ile şiddetli bir tepkimeye girer. Buna göre sodyum ile işlem yapılırken olağanüstü önlemler gerekir.

Bütün bu sorunlarına karşın hızlı reaktörler, fosil yakıtları az ve uranyum ve reaktör yakıtı konusunda dışa bağımlı ülkeleri fazlasıyla çekmektedir. Örneğin İngiltere, hızlı reaktörler ve 5.000 ton uranyum kullanarak Kuzey denizinden elde edebildiği eşit enerji üretmektedir. Halen Uzakdoğu'da dört ülke bu tür reaktörleri kullanmaktadır. Sovyetler Birliğinde Caspian denizinde Shevchenko'daki 350 MW lık kuruluş ile hem elektrik üretilmekte hem de deniz suyu tuzdan arıtılmaktadır. Japonya'da küçük bir hızlı reaktör çalışır durumdadır. İngiltere, Dounreay'daki 250



Yakıt Demeti

MW lık kuruluş ile İskoçya santrallerini beslemektedir. Fransa'da Phénix hızlı reaktörü işlemlenmektedir ve ayrıca İtalya ve Batı Almanya ile ortaklaşa Lyon yakınlarında bir Super-Phénix daha yapılmaktadır. A.B.D. hızlı reaktör konusunda Batı Avrupalının gerisindedir. Oysa bu ülke



Atık problemi. Binlerce yıl radyoaktif kalan yüksek düzeyli atıkları ne şekilde saklamalı. Bu atıklar özel bidonlara konularak Pasifiğin ve Atlantığın derinliklerine gömülmektedir. Bugün bazı bidonlarda radyoaktif kaçaqlara rastlanmıştır.

1951 de küçük bir hızlı reaktör yaparak nükleer enerjiden elde edilebilecek en yüksek elektriği üretebilmiştir. A.B.D. deki bu duraklamanın en güçlü nedeninin toplumun karşı koyması olduğu ifade edilmekte ise de bu gerçeği tam olarak yansıtmamaktadır.

Hızlı reaktör yapımı bugün uluslararası bir sorun haline almıştır. Zira biraz evvel açıklandığı gibi hızlı reaktörlerde U238 den nötron bombardımanı ile Plütonyum 239 elde edilmekte ve bu da yeniden yakıt olarak kullanılabilir. Fakat Plütonyum sadece reaktör teknolojisinin değil nükleer silah endüstrisinin de temel maddesidir. Hızlı reaktörler nükleer bomba yapımı için gerekli Plütonyumu çok daha rahat elde edilebilir hale soktuğundan A.B.D., halen nükleer silah yapamayan ülkelerin de bu kolaylıktan yararlanabileceğini düşünmektedir.

A.B.D. nin Avrupa ülkelerine hızlı reaktör yapımından vazgeçmeleri konusunda yaptığı baskıya Avrupa ülkeleri doğal kaynaklarının kısıtlı olması nedeniyle karşı koymuşlar ve bu konuda yapılan propagandaları karşılamak amacı ile Rusya ve Japonya'nda içinde buldukları Uluslararası Atom Enerjisi Komisyonu'nu (I.A.E.A.) kurmuşlardır. I.A.E.A. uzmanları birçok ülkedeki nükleer kuruluşu gezerek plütonyum

kaynaklarına ve diğer bölünebilir maddelere veterince koruyucu önlemlerin alınıp alınmadığını denetlemektedirler.

Nükleer bombaların ve reaktörlerin temel maddesi olan plütonyum ve uranyum teröristler veya sorumsuz bir diktatör tarafından çalınır mı olur? 1968 yılında öyküsü bir polisiye film senaryosu kadar ilginç böyle bir çalıntı olayı gerçekleştirilmiştir. Zaire cevherinden elde edilen 200 ton Uranyum oksit (Uranyum oksidin ticari adı sarı kek'dir) Antwerp limanından Cenova limanına sevkedilmek üzere Liberya bandıralı bir gemiye teslim edilmiştir. Gemi uluslararası sulara çıkar çıkmaz sarı kek bidonları kaybolmuş ve gemi Genovaya uğramayarak 15 gün sonra bir Türk limanında yakalanmıştır. Yapılan araştırmalar sonunda 3,7 milyon dolarlık değerli kargonun yerinde yeller estiği görülmüştür. Gizli ajanlar aracılığıyla yapılan tüm araştırmalar hiçbir sonuç vermemiş ve bu olayın gizi bugüne kadar çözülememiştir. Bu basit bir soygun mudur yoksa değerli uranyum bir İsrail çölünde gizlenmiş bir nükleer laboratuvara mı kaçırılmıştır?

Radyasyon, nükleer atık, plütonyum ve nükleer silah yapan ülkelerin hızla çoğalması

nükleer enerji konusuna gölge düşüren öğelerdir. Nükleer enerjinin maliyeti de bir başka çatışma sorunudur. Birçok yetkili, reaktörlerin kömürlü kuruluşlardan daha ucuz elektrik ürettiğini savunurlar. Bazı ekonomistler de bundan emin olmamakta ve atık probleminin maliyeti arttırdığına dikkati çekmektedir. Bunlar bir reaktörde atık depolanmasının kuruluş masrafinin % 25-30 na eşit olacağını ileri sürerler. Birkaç yıl önceye kadar küçük bir nükleer reaktör KW-Kapasite başına 200 dolara yapılırken bugün bu değer üç misline çıkmıştır. 1990 da ise 9 misli olacaktır. Kömürle çalışan kuruluşların yapım değerlerinin de aynı hızla yükseldiği bir gerçektir.

O zaman nükleer güçten vazgeçilecekse yerine ne konulacaktır?

Petrol mü? Petrolün varili başına 1973 de başlayan aşırı ödeme ayrıcalıksız petrol dışalımını yapan tüm ülkelerin, özellikle geri kalmış ülkelerin, dış ödemeler dengesini kötü yönde etkilemektedir. Gelecekte petrol birçok ülkeler için satın alınmaz bir ham madde olacaktır. O halde petrol çözüm değildir.

Doğal gaz mı? Otoriteler gazın endişe verici ölçüde azalması nedeniyle kömüre dönmeye başlamışlardır. Şu anda bilinmeyen gaz kaynakları düşünüldüğünde çok fazla olsa bile bunların kazılması seneler alacaktır.

Kömür mü? Kömür çıkardığı sülfür oksitler, azot oksitler ve asit yağmurları ile gün geçtikçe

çevreye çok pahalı bir tehlike olmaya başlamıştır. Daha da kötüsü kömür yakılması atmosferde çok aşırı ölçüde karbondioksit birikimine neden olur, bu da yeryüzünden ısı şeklinde kaçan radyasyonu önler. Sonunda yeryüzünün sıcaklığı artar. Birçok bilim adamının inancına göre ortalama sıcaklıkta zamanla oluşacak olan bu artış gelecek yüzyılda global iklimdeki anormal değişikliklere ve bir CO₂ yıkımına neden olabilir.

Başka enerji kaynakları mı? Ülkeler artık güneş enerjisi, rüzgâr gücü ve jeotermal enerji üretmeye çalışmaktadır. Özellikle güneş enerjisi gelişmiş teknoloji ile büyük olasılıklar sağlayabilir. Fakat bundan elektrik üretimi ancak yıllar sonra gerçekleştirilebilir. Daha da ileri bir gelecekte ise nükleer kaynağın olanakları yatmaktadır. Bir başka deyimle hidrojen atomlarının kaynaşmasından (yıldızların ve güneşin enerjisi) gelecekte insanoglunun ümidi doğacaktır.

Bütün bu söylenenler endişe ve belirsizliklerle dolu karanlık bir tablo sergilenmektedir. Bu kaosun içinden rahatlatıcı olmamakla birlikte sızan tek bir ışık vardır. Enerji bir daha hiçbir zaman bugünkü kadar ucuz ve kolay elde edilebilir olmayacaktır.

NATIONAL GEOGRAPHIC'den
Derleyen: Nilsun INCE - Sacit TAMEROĞLU

TÜRK ÇAYI HAKKINDA KISA NOT

Ülkemizde çay yetiştirilmesine önce geçen yüzyılın sonlarında Osmanlı İmparatorluğu döneminde teşebbüs olunmuş, ancak 1888 ve 1892'de Bursa ilinde yapılan her iki ekim denemesi de başarısız kalmıştır. Cumhuriyet döneminin başlangıcında, 1922-1924 yılları arasında Profesör Ali Rıza Ertem'in Rize ve çevresinde yaptığı incelemeler sonucunda bu bölgenin çay ekimine elverişli olduğu anlaşılmıştır. Esasen 1922 yılında tarım uzmanı Zihni Derin deneme için Batum'dan getirttiği fidanlarla Rize'de bir deneme fidanlığı kurmuş bulunuyordu. Cumhuriyetin ilanından bir yıl sonra, 1924'te kabul edilen 407 sayılı kanunla Rize ve çevresi çay ekim alanı sayılmış, buradaki çay tarımının başarıya erişmesi üzerine 1940'ta çıkarılan 3788 sayılı kanunla ekim alanı Trabzon'un Artakalı deresinden Batum'a kadar uzanan kıyının 15 kilometre içerisine kadar uzanan bölgeyi kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Bugün Türkiye'de çay en çok Rize'de yetiştirilmektedir. 1971'de Rize'deki çaylık alan 283.000 dekar aşmış bulunuyordu. Çay ayrıca az miktarda olmak üzere Trabzon, Artvin, Giresun ve Ordu illerimizde de yetiştirilmektedir. Türkiye'nin çay üretimi resmî istatistiklere göre kuru yaprak olarak 1974'te 42.800, 1975'te 55.600, 1976'da 59.500 ve 1977 yılında 100.000 tona erişmiş bulunmaktadır.

Dr. Ergin KORUR