

NÜKLEER SANTRAL GÜVENLİĞİ

II. BÖLÜM

"DİĞER KAZALAR VE SORUNLAR"

Metin Beynam
Elk.Yük.Müh.

GİRİŞ

Atom enerjisinin ilk tohumları 1905'te, çağımızın en tanınmış bilim adamı dahilerinden birinin beyninde kıvılcırlandı. Einstein, o barışsever ve iyi kalpli insan, ömrünün son yıllarını, insanlığa bilinen en yok edici silahı armağan etmiş olmanın azabı ve üzüntüsü içinde geçirecekti.

Atom enerjisi 16 Temmuz 1945'te ABD'de, New Mexico çöllerinden Alamogordo'da, gözleri kör edici bir ışık ve patlamayla dünyaya geldi. Olayı seyretmekte olan "atom bombasının babası" diye bilinen J. Robert Oppenheimer'in aklından, o anda *Bagavad, Gita'daki* şu dizeler geçti: "Ben, dünyaların yokedicisi olan ölüm'e dönüşmüş bulunuyorum". Oppenheimer daha sonra hidrojen bombasının geliştirilmesine karşı çıkacak, bu yüzden senatör Joseph McCarthy'nin "kara listesi"ne alınacak ve görevden uzaklaştırılacaktı. O günlerden bu yana, Arthur Compton'dan Leo Szilard'a kadar pek çok atom bilgini, Einstein'ın acısını paylaşmışlardır. Atom enerjisinin sivil kullanımının en hararetle savunucularından olan Alvin Weinberg, şöyle diyor: "Atom enerjisinin kötü yönlerini bu kadar dehşet verici olduğu içindir ki iyi niyetli insanlar arasında onun iyi taraflarına ağırlık verme çabası vardır. Atom fizikçileri, bu kadar ölümcül silahlarla uğraşmış olmayı kendi kendilerine haklı gösterme gereksinimi içindedirler. İşin barışçıl yönüyle ilgilenen bizlerdeki suçluluk duygusu da, diğer meslektaşlarımızdakinden pek eksik değildir."

1954 yılında ABD Cumhurbaşkanı Eisenhower, "Barış için Atom" programını öne sürdüğünde herkes, dev bir enerji kaynağının insanlığa yeni ufuklar açacağı ümidi içindeydi. "Kılıçlar, sabanlara" dönüştürülecek, bu kadar bol bir enerji olunca herkes, "sayaçsız elektrik" kullanabilecekti,

Ne yazık ki bu ümitler çabuk söndü. "Sayaçsız" elektrik şöyle dursun, nükleer enerjinin diğer enerji kaynakları kadar, hatta onlardan daha pahalı olacağı, yanısıra da kendine özgü, çözümlenmesi güç sorunlar getireceği ortaya çıktı. Yazımızın bu bölümünde başta kazalar olmak üzere, bu sorunlara kısaca değineceğiz. Burada anlatılanlar, ister istemez kısa bir özet olmak durumundadır, fakat bu bile genel bir değerlendirme için yeterli olabilir.

1. TMI-ÖNCESİ KAZALAR

İlk Reaktör Kazası

Bilebildiğimiz kadarıyla ilk ciddi nükleer reaktör ka-

zası, 1957'de İngiltere'nin Windscale askeri reaktöründe meydana geldi. Bu gaz soğutmalı reaktör, atom bombası üretiminde kullanılıyordu. 7 Ekim 1957 günü göstergelerden birinde, denetim altına alınamayan bir sıcaklık artışı gözlenmeye başladı. Bir süre sonra reaktörün kalbindeki 3 ton uranyum tutuşmuştu, mavi bir alevle yanıyordu ve normalde yanmaz nitelikteki grafit kalıp da yanmağa başlamıştı. Yangın basınçlı su ile söndürüldü, fakat yangından çıkan radyoaktif gaz çevreye yayıldı.

Bu gazın içindeki iyot-131'in miktarının, ancak 13 kişinin ölümüne yol açmış olabileceği hesaplanmıştır. Fakat onaydan ancak 25 yıl sonra ortaya çıkan bir gerçek vardır ki, o da şudur: İngilizler olay sırasında, bizmut madenini ışınlamak suretiyle polonyum'a dönüştürmekle meşguldüler. Atom bombalarının, çok miktarda nötron üreten bir tetikleme malzemesine gereksinimleri vardır. Bugün bu iş için tritium (bir proton-iki nötronlu hidrojen izotopu) kullanılmaktadır, fakat bu daha gelişmiş bir teknolojinin ürünüdür. Tetikleme işi için ilk kullanılan malzeme polonyum olmuş ve hatta bu, 2. Dünya Savaşı sırasında Amerikalıların atom bombası projesi olan Manhattan Projesi'nin engizli yanlarından birini oluşturmuştu. İngilizler de 1957'de, kendi bombaları için polonyum üretmekte idiler.

Windscale'deki yangın sonucu hatırı sayılır miktarda Polonyum-210, radyoaktif gaz halinde çevreye yayıldı. Bunun sonucu olarak en iyimser hesaba göre düzinelere insan ve belki de yüzlercesi, canlarını yitirdiler.²

Işımanın Etkileri

Yukarıda, son cümledeki belirsizlik ifadesi (radyasyon) ışımının ve radyoaktif artıkların etkilerinin kesin olarak saptanmasındaki güçlüklerden kaynaklanmaktadır. Bu güçlükler kendilerini çeşitli düzeylerde gösterirler. Bunlardan birincisi bünyeseldir; bir organizma, bir benzerine oranla daha dayanıklı olabilir. İkinci bir etken, ışımaya ve serpentinin yayılma alanı ile ilgilidir. Durgun bir havada serpentinin yayılma alanı kaynaklandığı noktanın uzağına pek taşmayacak, oysa rüzgarlı bir havada kimi durumda, kaynağından onlarca, yüzlerce kilometre öteye taşınabilecektir. Yağmur yağar ya da suya karışırsa radyoaktif bir madde, organizmalarla çok daha yakın ve kolay bir etkişmeye girebilecektir.

Işıma etkilerinin kesin hesabını olanaksızlaştıran diğer bir etken, organizmada yarattıkları kalıtsal ve uzun dönemli değişikliklerdir. Işıma bir organizmayı kalıtsal açıdan olumsuz etkilemiş olduğu halde, bunun etkisi hemen anlaşılabilir. Bazı kanserler, ışımının etkisinde kaldıktan 20 yıl sonra ortaya çıkmaktadır. Hatta etki, organizmanın yaşam süresi boyunca bile ortaya çıkmayıp sonraki kuşaklarda kendini belli edebilir. Nitekim Hiroşima'dan bu yana nere-

deyse kırk yıl geçmiş olduğu halde, hibakuşa'ların (atom bombasından etkilenenler) torunlarında hala kan kanseri ve başka kalıtsal bozukluklar gözlenebilmektedir. Bir diğer olay, "Işıma hastalığı" ile ilgilidir. Yüksek dozda ışına hedef olmuş bir insan, bir-iki gün şiddetli mide bulantısı, baş dönmesi ve baş ağrısı çeker, ateşi yükselir, fakat sonra normale dönebilir. Görünüşte herşey artık eskisi gibidir. Ancak böyle bir kimse, normal yaşam süresinden çok daha kısa olan bir süre sonra, birdenbire ölebilir. Bu ve daha başka etkenlerin sonucunda, ışına etkilerinin hesabı, ancak matematik olasılıklar cinsinden yapılabilmektedir ve en doğru hesap bile, on katı bir oynama göstermeye açıktır.

Diğer bir sorun, ışımının hangi düzeylerde tehlikeli hale geldiği ile ilgilidir. Nükleer enerjinin taraftarlarına ve birçok ülkedeki standart uygulamalara göre, ışımının kesinlikle etkili olmadığı dozajlar vardır. Ancak bir eşik değere gelindikten sonra ışıma tehlike yaratmağa başlar. Birçok kalıtmacıya göre ise, böyle bir eşik değer olmadığı gibi, olsa bile gelecek kuşaklar üzerindeki etki hesaplanmadığı için, bu eşik değerinin kesin olarak saptanması da pratikte mümkün değildir. En küçük ışıma dozlarının bile tehlikeli olduğu yolundaki bu sava "doğrusal hipotez" denilmektedir. Nobel ödüllü biyolog George Wald'e göre, "ışımının söz konusu olduğu yerde eşik değer diye bir şey yoktur. Her doz, bir aşırı dozdur." 1979 yılında yapılan bir araştırma, çok düşük ışıma dozlarının bile kansere yol açabileceğini göstermiştir. 21 rad'lık bir ışımının bazı hücreleri öldürdüğü saptanmıştır. Ayrıca bölünmekte olan ve bölünecek hücrelerde zararlar gözlenmiş, hücre yapısında erken yaşlanmayı andıran ve "fibrozis" denilen bir değişim saptanmıştır. Bu, ışıma hastalığına yakalanan bir kimsenin erken ölümünü açıklamak için kullanılmaktadır. Yaygın olarak bilinmeyen başka bir gerçek, ABD'nin nükleer bombalarının deneme sahası olarak kullanılan Marshall Adaları'nda, bölge halkı arasında düşük dozda ışımadan etkilenenler arasında tiroid kanseri olaylarının, yüksek dozdakinden etkilenenlerden daha yüksek olduğu* dur. 2

Işıma etkilerinin araştırılmasında diğer bir sorun, bu etkilerin değişik canlı türleri üzerinde farklı sonuç vermelerinden kaynaklanmaktadır. Bazı türler yok olmakta, bazıları ise etkilenmemekte ya da daha dayanıklı kuşaklar türetmektedirler, örneğin bir atom savaşından sonra canlı kalacak tek hayvan türünün hamamböcekleri olacağı, öteden beri söylenegelmiştir. Memeliler grubu, ışımadan en kötü etkilenenler arasındadır, ama burada da bir kobaydan insana genelleme yapmak kolay olmamaktadır.

Bütün bunlardan iki sonuç çıkmaktadır: En küçük ışıma dozları bile uzun vadede (bizim için değilse de, to-

runlarımız ya da onların torunları için) zararlı olabilir; ışımının etkilerini de kesin olarak değil, ancak olasılıklar cinsinden hesaplayabiliriz. Bu yalnız gelecekte olabilecek değil, geçmişte olmuş olan olaylar için de böyledir.

Sovyetler Birliği'ndeki Nükleer Felaket

1957 sonbaharı ya da 1958'de S. Birliği'nde, Ural dağlarında yer alan felaket de 20 yıl süreyle gizli tutuldu ve ancak, batıya iltica eden biyokimyager Jores Medvedev'in açıklamalarıyla aydınlığa çıktı. Olay, kuzeyinde Sverdlovsk, güneyinde Çelyabinsk kentleri bulunan Kistim kasabasının doğusunda yer aldı. Sovyetler, atom bombası konusunda Amerikalılara yetişebilmek için, Washington eyaletinde Richland'deki çok gizli bir Amerikan silah ve reposes (yakıt sıyırma) tesisini, civatasına kadar kopya etmişlerdi. Ancak nükleer artıkların korunmasına gereken dikkati göstermemişlerdi. Nükleer artıklarını ne şekilde stokladıklarına bağlı olarak, meydana gelen olay değişik senaryo ve yorumlara açıktır.

Birinci Durum: Eğer patlama, nükleer artıkların bir araya yığıldığı bir yerde olduysa, bu, artıklar arasından plütonyumun süzülüp çökmesiyle olmuş olabilir. Benzer bir kaza tehlikesi, 1972'de Richland'deki Hanford tesislerinin Z-9 artık havuzunda atlatılmıştır. Burada gelişigüzel nükleer artıkların 100 kg plütonyum, çok ince, 51 m³ hacminde bir toprak tabakasına çökelmiş bulunuyordu. (Bir nükleer patlama için uygun koşullarda 2 kg plütonyum yeterlidir.) ABD Atom Enerjisi Komisyonu'nun hazırladığı resmi bir rapora göre, bu toprağa su sızmış olsaydı, bir zincirleme reaksiyon tetiklenebilirdi. Plütonyumun bu şekilde birikime uğrayacağı başlangıçta uzmanlar tarafından tahmin edilmişti.

İkinci Durum: Eğer artıklar, basınç altında yeraltı jeolojik tabakalarına pompalanmışsa (ki Sovyetler, on yıl süreyle 1400 m derinliğe 700 bin ton sıvı artık pompalamışlardı), bu yüksek basınç sonucu bir patlama oluşmuş olabilir.

Bunun yanında başka senaryolar da mümkündür. Kazaya, yakıt sıyırma (reposes) tesisindeki bir patlama yol açmış olabilir. Hatta kazanın nükleer artık değil, reaktör kazası olduğunu düşünenler de vardır. Bundan başka kanıtlar, bir büyük ve bir dizi küçük kazaya işaret etmektedir. Olayın ardındaki gerçek, ancak o günleri yaşayan Sovyet bilginleri bir gün anılarını açıklarlarsa anlaşılabilir. Kesin olan bir şey varsa, o da şudur: Korkunç, volkanvari bir patlama sonucu büyük miktarlarda radyoaktif madde çevreye yayıldı, özellikle Teça nehri ve dolayları kirlenmeye uğradı. Kuvvetli rüzgarlar, bu maddeleri çok uzaklara kadar taşıdılar. Etkilenen arazi konusunda en düşük hesaplar, 25 km² ve 65 km² dolaylarındadır. Medvedev'in he-

sapları ise bundan çok daha büyük bir bölgenin 2000 km²'nin etkilendiğine işaret etmektedir. Bu alanın 40 bin km² olduğu da öne sürülmüştür. Medvedev, bir tek göldeki stronsiyum-90 ve sezyum-137'nin radyoaktivitesini 50 milyon Kürf (Curie: Ci) olarak hesap ediyor ki bu, gölün dibinde yüz milyonlarca küri'lik, yani en az yüz ton radyum'a eşdeğer radyoaktif madde yattığını gösterir.

Sovyetler, etki altında kalan bölgeyi boşaltmakta ellerini ağırdan aldıkları için, ışımadan etkilenenlerin sayısı daha çok oldu ve on binlerce insan etkilendi, yüzlerce insan da öldü. Sonuçta 10 bin insan tahliye edildi ve geri dönmelerine izin verilmediğinden birçok köy, resmen haritadan silindi. Resmi rakamlar Sovyet hükümetleri tarafından hiçbir zaman açıklanmamıştır. Etkilenen ve o tarihlerde bir görgü tanığının ifadesine göre "ayın yüzeyini andıran" bölge, boşaltıldıktan sonra dünyanın en büyük gamma-ışım alanı haline geldi ve doğal çevredeki değişimlerin bilimsel incelemesine ancak 7 yıl sonra başlanabildi. Amerika'daki en büyük nükleer kuruluş olan Oak Ridge'nin fizikçilerinden Stanley Auerbach, Medvedev'i desteklemiş ve yayılan radyoaktivitenin, "bir atom serpintisinden bin defa daha yüksek" olduğunu belirtmiştir.³

Windscale'in 25, Ural'lardaki olayın ise 20 yıl sonra açığa çıkmış olması, başka ne gibi açıklanmamış nükleer kazalar olmuş olabileceği sorusunu, ister istemez akıllarda uyandırmaktadır. (Sovyetler Birliği'nde ikinci bir nükleer kaza, 1974'te askeri bir tesiste meydana gelmiş ve 30 kişinin ölümü ile sonuçlanmıştır.)

Almanya

Bavyera eyaletinin Niederaichbach kasabasında, 6 yıllık inşaattan sonra 1972 yılında devreye giren 100 MW'lık reaktör, hiçbir zaman anma gücünün %40'ından fazla elektrik üretmedi. Hatalı yapım nedeniyle ısı alışveriş birimlerinde sızıntılar oluştu ve bu sızıntılar, tehlikeli boyutlara ulaştılar. Reaktör 1974 yılında, sadece iki yıl üretim yapabildikten sonra verimli ömrünün sonuna gelerek devreden çıkartıldı. Bundan on yıl sonra 1984'te, yakıt çubukları çoktan çıkartılmış olduğu halde, santralın bazı bölümlerinde radyoaktivite hala ölümcül düzeylere çıkmaktadır. Bu reaktör, yakında sökülecek ve böylelikle sökülen ilk ticari nükleer santral olma özelliğini taşıyacaktır.⁴

Amerika'daki Kazalar

Ocak Ridge'deki bilim adamları, 1969-1979 dönemi içindelediklerinde, bu dönem içinde Amerika'da ciddi boyutlara erişip kalp erimesiyle sonuçlanabilecek 169 olayın varlığını saptamışlardır. Burada elbette bunların hepsini sıralamağa olanak yoktur. Bu nedenle biz, sadece en önem/i kazalara kısaca değinip geçeceğiz.

Ocak 1961. Idaho Falls'daki SL-1 deneysel reaktörü havaya uçtu ve üç teknisyeni öldürdü. Olay, operatör dikkatsizliği olarak yorumlandı. Işıma o kadar şiddetli idi ki, cesetlerin bazı kısımlarını radyoaktif artıklar-la birlikte gömmek gerekti.

Ekim 1966. Detroit'teki deneysel Enrico Fermi üretken reaktörü, sodyumlu soğutma sistemi tıkanınca kısmi kalp erimesine uğradı. Işıma o kadar şiddetli oldu ki, işçiler bir ay süreyle binaya giremediler.

Haziran 1970. Illinois eyaletinde Morris'deki Dresden 2 reaktöründe oluşan kaza, reaktörün geçici olarak durdurulması ile sonuçlandı. Bozuk bir gösterge, bir teknisyenin birincil soğutma sistemine su pompalamasına yol açtı. Bu ise reaktörün koruma binası için 100 bin litre radyoaktif su dolmasına yol açtı. (Böyle birkaç olay başka santrallerde de yer almıştır.)

Mart 1975. Alabama eyaletinde Decatur'daki Brown's Ferry reaktöründe bir işçi, bir mumun alevini kullanarak hava sızıntıları tespit etmeye çalışıyordu. Alev, elektrik kablolarını tutuşturarak yangın çıkmasına yol açtı. 1600 kablo yandı, 618 güvenlik sistemi çalışmaz hale geldi. Beş kalp soğutma sisteminin hepsi yitirildi ve erimeye karşı santralın güvenliği, geçici olarak ortadan kalktı. İtfaiyeciler reaktöre yoğun biçimde su püskürttüler, fakat bir kalp erimesi, açık kalan bir pompanın gönderdiği su ile önlenemedi. Oysa bu pompanın, acil bir durumda kapalı olması gerekiyordu.

Kasım 1977. Washington eyaletinde Richland'daki Hanford reaktörü, Columbia nehrine 240 bin litre radyoaktif su sızdırdıktan sonra geçici olarak kapatıldı.

Ocak 1978. Colorado eyaletinde Denver'deki FortSt. Vrain santralında bir bacadan iki saat müddetle radyoaktif helyum kaçağı oldu. 200 işçi tahliye edildi.⁵

2. TMI -SONRASI KAZALAR

Japonya

Nisan 1981'de Japonya'nın Tsuruga santralında yer alan olaylar, bu ülkenin de nükleer arıza konusunda adını duyurmasını sağladı. Bir boşaltma sarnıcı 3 saat süreyle taşarak, santral zeminine 40 m³ radyoaktif madde ve çökelek boşaltmıştı. Bir dizi dikkatsizlik sonucu bu maddeler, kendilerini Tsuruga körfezinin sularında buldular. Bundan önceki 21 benzer olayın bildirilmemiş olduğu, sonradan ortaya çıktı.

Tsuruga'dan üç ay sonra, bu seferde Mihama santrali gündeme geldi. Burada üç ton radyoaktif birincil soğutucu suyu sızmış, bu su korunabilmiş, fakat havalandırma kulesinden çevreye radyoaktif gaz yayılmıştı. Daha önce 1974'te santral, bir buhar üretici kazasının ardından kapanmıştı. Gene 1977'de, şirketin bir nükleer yakıt çubuğundaki kırığı gizlemeğe çalıştığı öğrenildi.

Bunun ardından, 28 Aralık 1981 'de, 30 Ci'lik kobalt - 60 taşıyan bir mahfaza yarılarak depolama havuzuna bu maddenin yayılmasına yol açtı. Kirlenen 130 tonluk sudan 1 tonu, yanlış ölçümler sonucu yakındaki bir ırmağa aktı.⁶

Amerika'daki TMI -Sonrası Kazalar

Burada gene, ancak en önemli kazaları sıralayabilme durumundayız.

Ocak 1982. Newyork eyaletindeki Robert E. Ginna santralındayız. Ayın 25'inde, reaktörün birincil soğutma sisteminde sızıntı olmuştu. Buharlaşmayı önlemek için 150 Newton/cm²'lik bir basınç altında tutulan 250°C sıcaklıktaki suyun basıncı 40 dakika süreyle 70 N/cm²'ye düştü. Sızıntı, buhar üreticindeki birincil soğutucu borularından birinin yarılması sonucu oluşmuştu. Bu açığı kapatmak üzere acil soğutucu pompaları harekete geçti, fakat oluşan aşırı basınçta basınç düşürme vanası attı ve boşaltım sarnıcı dolmağa başladı. TMI'yi andıran bir gelişme ile, sarnıç zarı patladı ve koruma binası zeminindeki çukura 5000 litre radyoaktif su toplandı. 485.3 Ci'lik radyoaktif madde açığa çıkmış oldu. Ancak TMI olayından da ders almış olan operatörler, durumun büyümesini kısa sürede önlediler.

Önce üreteçteki borunun yarılmasına paslanmanın yol açmış olduğu düşünüldü. Ancak incelemeler, 1975 ile 1979 arasında yapılan birkaç değişiklik sırasında 10.3 cm uzunluğunda bir metal plakasının üreteç içinde unutulmuş olduğunu gösterdi. Bu plakanın ince borulara yaslanmış biçimde titreşmesi, yarılma ile sonuçlanmıştı. Bundan önce, buhar üreteçlerinde unutulmuş gevşek parçaların sorun yaratacağı düşünülmemişti. Fakat başka santrallerdeki durum kontrol edildiğinde, Ginna olayından sonraki bir yıl içinde 7 santral, buhar üreteçlerinde böyle parçalar buldular. Wisconsin eyaletindeki bir santralde, gene daha önce yapılmış değişiklikler sırasında unutulmuş olan, 1.5 metrelik metal bir çubuk ve 15 cm'lik bir mengene bulundu.

Şubat 1983, New Jersey eyaletinde Salern'deki santralin birinci reaktöründe, şimdiye kadar Amerikan tarihinde hiç rastlanmamış ve umulmadık bir olay meydana geldi. 22 Şubat'ta reaktörü kapatmak isteyen operatörler, otomatik kapamayı çalıştırdıkları halde bu sistem çalışmadı ve denetim çubukları kalbin içine düşmediler. Ancak kısa süre sonra çubuklar el kumandasıyla düşürüldü, fakat operatörler bir şeyin farkına varmadılar. Kesiciler arızalanarak santrali devreden çıkarmamış, dolayısı ile de santralin otomatik acil kapanması önlenmişti. Operatörler ancak, 25 Şubat'taki ikinci bir kapama sırasında kesiciler gene çalışmayınca durumun farkına vardılar ve el kumandasıyla reaktörü kapadıktan sonra, durumu derinlemesine incelediklerinde olayın farkına vardılar. Bilindiği gibi reaktörün söndürülmemesi, oluşabilecek en ciddi olaylardan birisidir.

Bunun ardından, Salem'deki çiftte arıza öncesinde bu kesicilerin başka santrallerde de en az 16 kez çalışmamış olduğu saptandı. Oysa otomatik tüyme sisteminin çalışmaması için daha önceden hesaplanan olasılık, 33 bin reaktör-yılda bir idi. (Toplam dünya deneyimi, bugün 2500 reaktör-yıl civarındadır.)

Şubat 1984. Georgia eyaletinde Baxley'deki çift reaktörlü Hatch santralında bir buhar borusunda büyük bir yarık keşfedildi.⁷

Sovyetler Birliği

Reaktör kazaları ve çevreye olan etkileri, nükleer enerjinin hararetli bir şekilde savunulduğu Sovyetler Birliği'nde de endişelere yol açmıştır.

Batıdakinden farklı olarak, Doğu Bloku'nun nükleer enerji konusunda kendine özgü birtakım uygulamaları vardır. Reaktörlerin modüler yapısı, reaktör devreden çıkmadan bir bölümünün yakıtının tazelenmesini sağlayabilmektedir. Batı'da ise yakıt tazelemesi için reaktörün tamamen söndürülmesi gereklidir. 440 ve 1000 MW'lık VVER tipi reaktörlerin standart seçilmesi, seri üretime olanak tanımıştır. Öte yandan Batı, reaktörlerini sadece elektrik enerjisi üretmekte kullanırken, Sovyetler nükleer enerjisi ev ve fabrika ısıtmasında da kullanmaktadır ve üretken reaktör teknolojilerinde ilerlerler.

Bu avantajlara rağmen, Sovyetlerin resmi bir yayın organında atom enerjisiyle ilgili kuşku dile getirilebilmiştir. Atom mühendisi Nikolai Dollejal ve ekonomist Yuri Koryakin, Ekim 1979'da yayınladıkları bir yazıda olayın çeşitli yönlerini aydınlatmışlar. Sovyetler Birliği nüfusunun % 80'i daha gelişmiş durumda olan Avrupa kısmında toplanmıştır, oysa bu bölgedeki doğal enerji kaynakları, ülke kaynaklarının % 20'si kadardır. Enerji kaybını önlemek için ve ısıtma amaçları nedeniyle Sovyetler, o tarihe kadar biri hariç bütün nükleer santrallerini, Volga ile Vola-Baltık Kanalı'nı birleştiren çizginin batısında kalan ve nüfusun % 60'ını barındıran bölgeye kurmuşlardı. Ayrıca kurulması planlanan bütün diğer nükleer santraller de aynı bölgedeydi. 1980'de 32 reaktör, ülkedeki elektrik üretiminin % 5'i olan 13 GWe ürettiyordu ve 1985 sonuna kadar devreye girmeleri beklenen 14 GW'lık 15 santral ile bu oran, % 10'a ulaşacaktı. (Bir kıyas yapmak açısından aynı tarihlerde ABD'de 70 nükleer santralda 60 GW üretiliyordu ve nükleer enerjinin ülke elektrik genelindeki payı, % 12 idi.) 1984'te SSCB'de 40 reaktör, ülke elektriğinin % 7'sini (ABD'de 82 reaktör % 13'ünü) ürettiyordu.

Bunun da ötesinde Sovyetler, nükleer elektrik üretimlerini 1990'da 80 GWe çıkartmak niyetindeydiler;

1990'da yılda 5000 MW'lık, 2000 yılında ise yılda 10 000 MW'lık nükleer santral kapasitesi devreye giriyor olacaktı.

Dollejal ve Koryakin, makalelerinde, bu kadar hızlı bir nükleer gelişmeden duydukları endişeyi dile getirdiler. Sovyetler Birliği'nin Avrupa kesiminde giderek artan yoğunluktaki nükleer santraller, bir kaza halinde bu küçük bölgede yaşayan yoğun nüfusu tehlikede bırakacaktı. Ayrıca örneğin 4000 MW'lık bir santralin 20-25 km²'lik bir su rezervuarına gereksinimi vardı, bu ise kırsal kesimde milyonlarca insanın tahliye edilmesi anlamına geliyordu. Yazarlar, santrallerin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinden de söz ettiler. Ancak, nükleer santrallerin acil durumlarda Volga nehrine su bırakmaları nedeniyle, Volga yatağındaki radyoaktivitenin zaten kat kat artmış olduğuna değinmediler.

Bu makale, yüksek düzeydeki Sovyet bilim adamlarından oluşan bir grup tarafından resmen kınandı. Ancak bu eleştiriler, kaza tehlikesini azaltmadı. Sovyetlerin atom programı ardındaki dev reaktör fabrikası, güneydeki Volgodonsk kasabasında kurulmuş olan ve yılda 8 reaktör inşa etmesi planlanan Atommaş'dır. Temmuz 1983'te bu fabrikada bir bina çöktü, fakat ısıma tehlikesi doğmadı. Bundan önce ise Ukrayna'da Rovno'daki santralde, Aralık 1981'de TMI benzeri bir olay yer aldı. (Bilindiği gibi SSCB, PWR teknolojisini benimsemiş bir ülkedir.) Birincil soğutma sisteminde oluşan basınç artışı, buhar üreticini tahrip ederek reaktörün kapatılmasını gerektirdi. Şevçenko'daki diğer bir reaktör, borularda ve türbinlerde oluşan arızalar nedeniyle aylarca kapalı kaldı. Finlandiya için Lovisa'da yapılan reaktör ise, buhar üreteçlerindeki kaynak hatası nedeniyle 7 aylık tamir çalışması gerektirdi.

Sovyet reaktörlerini inceleme olanağı bulan gözlemciler, genellikle malzeme ve işçiliğin kötülüğünden söz etmektedirler. 1979 yılına kadar Sovyetler, reaktörü barındıran özel bir koruma binasına da gerek duymuyorlardı. Son yıllarda kalitesiz inşaat ve bürokratik darboğazlar, plan hedeflerine ulaşmayı güçleştirmiş bulunmaktadır. Ancak Sovyetler, Amerika'da uygulanan güvenlik önlemlerini aynen benimsemişlerdir ve kendi ülkelerinde de sıkı bir şekilde uygulamaktadırlar.⁸

Kanada

Kanada, diğer dünya ülkelerinden farklı olarak, kendine özgü reaktör tekniği geliştirmiştir. CAEL (Canada Atomic Energy Limited) Şirketi tarafından yapılan bu reaktörlerin, bir iyi yanı ve bir de kötü yanı vardır. İyi yanları, doğrudan doğruya doğal uranyum kullanıp, zenginleştirmeye gerek göstermemeleridir. Kötü yanları ise hidrojenin bir proton-bir nötronlu döteryum izotopuna yerini bıraktığı "ağırsu" kullanmaları-

dır. Gerçi ağır su ihtiyacı, reaktörlerin bakım masraflarının sadece % 5'ini oluşturmaktadır; fakat dünyada Kanada'dan başka ülkelerde ticari miktarlarda ağır su üretilmemektedir. Kullandıkları sistemden ötürü, bu reaktörler KANDU (Kanada-Döteryum-Uranyum) olarak anılırlar.

Çok yakın zamanlara kadar KANDU reaktörleri, dünyanın en üstün performanslı ve en güvenilir reaktörleri arasında idiler, özellikle Ontario Hydro şirketinin işlettiği 11 KANDU'dan 7'si, dünyanın en iyi on reaktörü arasında sayılıyordu. Ancak 1 Ağustos 1983'te başlayan olaylar dizisi, KANDU'ların güvenilirliğine, altı hafta gibi kısa bir süre içinde gölge düşürmeğe yetti.

Olaylar, Ontario eyaletinin Toronto kenti yakınlarındaki Pickering'de bulunan KANDU'nun beş reaktöründen birinde başladı. Bu KANDU, bir yıldan fazla bir süredir hiç durmamacasına çalışarak, kendi alanında bir rekor kırmıştı. Ancak Pickering-2 biriminde başlayan radyoaktif ağır su sızıntısına, 5 Ağustos'ta Pickering-1'deki sızıntı eklendi. Pickering-2 biriminde, reaktörün herhangi bir kaza anında otomatik olarak söndürülmesi gerektiği halde, nükleer reaksiyon 20 dakika boyunca devam etti. Bu sırada her dakika bir ton ağır su dışarıya sızılmaktaydı. Reaktör nihayet kapatıldıktan sonra, bu kez de aygıtlar sızıntısının kaynağını saptamakta güçlük çektiler. Uzun uğraşlardan sonra çatlağın bir basınç borusunda olduğu saptandı. Bu yatay boruların içine, kurşun kalem kalınlığındaki yakıt çubukları yerleştiriliyordu. Söz konusu boruda 2 metre boyunda bir yarığın açılmış olduğu ve yakıt çubuklarından birinin buradan dışarı düşmüş olduğu saptandı. Daha sonra ikinci bir çubuğun da başına aynı işin geldiği anlaşıldı. Üçüncü bir reaktörde ise reaktörün kapatılması, buhar birikimine yol açarak bu buharın Pickering kasabası üzerine salınmasıyla sonuçlandı. Böylece bir hafta içinde beş reaktör biriminden, üçünde olay çıkmış bulunuyordu.

Kısa bir süre sonra aynı yöredeki Bruce Point ve Douglas Point reaktörlerinde de radyoaktif su sızıntıları ortaya çıktı. Douglas Point'un sızıntısı Ontario Gölü'ne akarak buraya 6000 küri'lik radyoaktivite bıraktı. Bu sayı, Kanada Atom Eerjisi Denetim Kurulu'nun saptadığı günlük sınırın iki katı idi. Soruların basınç borularından kaynaklanması durumunda, bütün KANDU reaktörlerinde bu boruların değiştirilmesi gerekecekti. Her reaktör bir yıl sönük kalacak ve işin maliyeti beher reaktör için çeyrek milyar dolar olmak üzere toplam 1.5 milyar doları bulacaktı. Ayrıca Zircaloy adı verilen zirkonyum alaşımının da yeni baştan incelenmesi gerekecekti, çünkü basınçlı su borusunun hammaddesi olan bu alaşım, aynı zamanda dünyadaki reaktörlerin büyük çoğunluğunda yakıt kabuğu ola-

rak kullanılıyordu. Ancak yakıt bilyecikleri reaktörde çok uzun süre kalmadıklarından, fazla bir yıkım olacağı düşünülüyordu.⁹

3. DİĞER SORUNLAR

Yaşlanma

KANDU reaktörlerinde oluşan çatlak ve sızıntılar, reaktörlerde yaşlanma konusunu gündeme getirmektedir. Gerçekten de KANDU'lar, yıllardır sorun çıkarmaksızın çalışmakta idiler. Ancak nükleer ışımanın yıkıcı etkisi, yapımda kullanılan malzemenin vaktinden önce göçmesine yol açmaktadır. Bu malzemenin en hassas olduğu yer, genellikle en ince olduğu yerdir. Bir basınçlı su reaktöründeki buhar üreteçleri, içinden binlerce ince duvarlı boru geçen kazanlardır. İnce boruların içinden, reaktör yakıtı ile doğrudan temasta bulunmuş radyoaktif su akar. Bu su, üreteç kazanı içinden akmakta olan suyu ısıtarak buhara dönüştürür. Radyoaktif suyun buhara karışarak reaktör binasına bu buharın salınmasını önleyen etken, duvar kalınlığı sadece 0.9-1.4 mm olan borulardır. Bu nedenle yüksek basınç sistemlerinde bu boruların sık sık incelenmesi gerekir.

İsveç'te 1982 yılında Ringhals 3 santralında bu borular, normal kalınlıklarının % 10'una kadar aşınmış oldukları bir sırada patladılar. Aşınmanın nedeni, boru girişlerinde oluşan vurun tulu su akımları olarak saptandı. Reaktör tam kapasiteyle çalıştığında bu akımlar boruları titreştirerek, aşınmalarına yol açıyordu. Benzer şekilde Amerika'nın New York eyaletindeki Indian Point 3 reaktörünün buhar üreticinin borularında da, "permatüre" iğne deliği iriliğinde noktacıklar oluştu. ABD'de 1982 sonunda çalışmakta olan 5¹ basınçlı su reaktöründen 40'ının buhar üreteçleri, bir ya da birden fazla biçimde de bozulmaya uğramıştı ve bunlardan dört tanesindeki borular da patlamış bulunuyordu.

NRC'den bir yetkilinin belirttiğine göre, 1980-82 döneminde reaktörlerde meydana gelen anormal olayların neredeyse hepsinin, birden fazla nedeni vardı. Bu ise sorunlara teker teker çözüm getirme yaklaşımının gücünü kırıyordu. Bu nedenle yaşlanma sorunlarının yalnız mekanik parçalar değil, elektrik kabloları ve diğer sistemler üzerinde de incelenmesi gereği doğuyordu. Yeryüzünde kurulu bulunan nükleer reaktörlerin, zaman geçtikçe yaşlanmadan daha çok etkilenecekleri kuşkusuzdur.¹⁰

Standartlaşma

Nükleer santrallerin sorunlarının temel nedenlerinden biri, standartlaşma konusudur. Diğer dünya ülkelerinde nükleer endüstri fazla kazaya uğramazken, teknolojinin daha üstün olabilmesine rağmen ABD'de kazaların çokluğu da bu noktadan kaynaklanmaktadır.

Almanya, İngiltere, S.S.C.B. ve diğer ülkeler, standart bir model üretmenin ve bunu geliştirmenin yararlarını erken bir aşamada farketmişlerdir. Böylelikle sananmış, deneyimli ve güvenilir santraller kurmak mümkün olabilmekte, herhangi yeni bir önlem de bütün santrallerde uygulanabilmektedir. Amerika'da ise, yapımcı firma sayısının çok az olmasına rağmen, aşağı yukarı her santral tasarımı diğerlerinden farklılıklar göstermektedir. Bu yüzden her santralde, o santrale özgü ve kolaylıkla genelleştirilemeyen sorunlarla karşılaşmaktadır. Santralin çeşitli bölümleri farklı inşaat şirketi ve müteahhitlere yaptırıldığı için de uyumsuzluklar doğmaktadır, örneğin bir santralde bazı metal desdeklerin yanlış yere inşa edilmiş olduğu, bir diğerinde ise birbirleriyle birleşmesi gereken boruların arasında 10-20 cm açıklık olduğu; sonradan keşfedilmiş olan bu tür durumlar için verilebilecek birer örnektir. Sorular, değişik santrallerde farklı biçimlerde ortaya çıkmaktadır. Zimmer santralında NRC görevlileri, kalifiye olmayan işçiler tarafından yetersiz standartta çeliğe yapılmış binlerce hatalı kaynak buldular, ayrıca işçiler tarafından da tehdit edildiler. Midland'de, birkaç binanın yavaş yavaş toprağa gömülmeğe olduğu ve çatlamağa başladığı görülünce inşaat 1982'de bir yıl süreyle durduruldu. San Andreas çatlağı yakınındaki Diablo Canyon'de mühendisler ozalitleri yanlış okuyunca, santrali depremlere karşı koruyacak destekler yanlış yere inşa edildiler.

Bir diğer sorun da maliyeti azaltmak ümidiyle mühendislik çalışmaları ve proje tasarımının, inşaat devam ederken yapılmasından kaynaklanmaktadır. WPPSS şirketinin iflasına temel neden olarak, böyle sırası gel-dikçe yapılan bölük pörçük tasarımlar gösterilmiştir. Bu gibi durumlarda tasarım düzeltmelerini kağıt üzerinde değil, tamamlanmış inşaat üzerinde yapma zorunluluğu doğmaktadır, öte yandan işe başlamadan önce tasarımının % 75'ini bitirmiş olan şirketler, başarılı sonuç elde edebilmektedirler.

Isı Şoku

Bir nükleer santrali etkisi altına alabilecek tehlikelerden birisi de ısı şokudur. Reaktör kalbini içeren çelik kazan, çok yüksek düzeylerde nötron ışımasına hedef olur. Kalbin hizasında bulunduğu orta bölüm için bu özellikle böyledir. Zamanla bu ısıma, çelikte gevremeye yol açar ve onu kolay kırılır ya da çatlar hale getirir. Aynı zamanda çelik, yüksek bir ısı altında işlevini sürdürmektedir. Fakat herhangi bir acil durumda kalbi bol miktarda soğuk suya boğmak gerekirse, ani ısı farklılaşması çelikte çatlamaya ya da yarılmaya yol açabilir. Buna çelikte zaten bulunan mikro çatlaklar da katkıda bulunabilirler. Bundan sonra olabilecekleri kestirmek zor değildir. Reaktörün birincil soğutma

devresi, 30 tonluk yüksek patlayıcıya (TNT:Trinitrotoluen) eşdeğer depolanmış mekanik güç altında çalışmaktadır. Oluşabilecek patlamada kalp öğeleri, doğrudan doğruya havayla temas eder duruma gelecektir. Mart 1978'de Amerika'daki Rancho Seco santralında operatörler, farkında olmaksızın böyle bir "termik şok provası" atlattılar, fakat reaktör o tarihlerde henüz yeni (üç yıllık) olduğu için istenmeyen bir sonuç doğmadı. Ancak reaktörler yaşlandıkça, termik şoktan oluşacak bir kaza olasılığı da o ölçüde artmaktadır. "

Yedek Güç Kaynaklarının Çalışmaması

27 Aralık 1983'te İsveç'teki bir nükleer santralde tamir edilmekte olan bir trafo parçası yere düştü ve santralin devreden çıkmasına yol açtı. Bunun ardından İsveç'teki 10 nükleer santralden biri dışında hepsi, peşpeşe devreden çıktılar. Bu dev enerji kaybı, İsveç'in dörtte üçünü ve Danimarka'nın bir bölümünü karanlıkta bıraktı. Fakat esas tehlike, her nükleer santralin hem kendi ürettiği enerjiden, hem de bir acil durumda reaktörün söndürülmesi için güvenlik sistemlerinin gereksinme duyduğu dış enerji kaynaklarından yoksun kalması idi. Neyse ki bütün santrallerdeki yedek güç kaynakları olan dizel ve gaz türbin generatörleri, otomatik olarak çalışmaya başladılar ve güvenlik sistemlerinin işlevi kesintiye uğramadı. Eğer bu olmamış olsaydı, geriye kalan kısa-sürelili akümülatör ve kal kalp erimesine yol açılabilirdi.

1982 yılında ABD'de 12 santralde hem dış elektrik kaynağı, hem de yedek kaynak olan dizel generatörleri yitirildi, ancak bu olaylar farklı zamanlarda oldu. Illinois'un Cordova kentindeki Quad Cities santralında bir reaktörün dış kaynağı kesildiği gibi, dört dizel generatöründen üçü çalışmadı ve reaktörün bir elektrik kesintisi tehlikesine uğramasına ramak kaldı.

Dizel generatörleri konusundaki deneyimler, bunların güvenilir olmadığını ortaya koymuştur. Bazı santrallerde "yedeği de yedeklemek" için gaz türbinleri kurulmuştur ve bir santral de yedek enerjisini yakındaki küçük bir hidroelektrik generatöründen sağlamaktadır. Ancak nükleer elektrik santrallerindeki elektriğin kesilmesi, henüz garantili bir biçimde önlenilebilmiş değildir.¹²

Üretken Reaktörler

Son yıllarda gündeme gelmiş olan bir konu da "üretken", "hızlı üretken" ya da "hızlı" olarak anılan reaktörlerdir. Bu reaktörlerin özelliği, tükettiklerinden daha fazla nükleer yakıt üretebilmeleridir.

Uranyum-235'in, doğada ancak binde 7 oranında bulunduğunu anımsayalım. Geriye kalan % 99.3'lük Uranyum-238, işe yaramaz durumdadır. Ancak bunu bir reaktörde ışınırsak, Uranyum-238 Plütonyum-

239'a dönüşecektir ki, bu da çok güzel bir nükleer yakıt olabilmektedir.

Üretken reaktörlerde yakıt olarak plütonyum kullanılır. Bir plütonyum-239 atomu yüksek enerjili (hızlı) bir nötron tarafından bölündüğü zaman ısı ve 2 ya da 3 (ortalama 2.9) nötron açığa çıkar. Bu nötronlardan bir tanesi, başka bir plütonyum atomunu bölmek suretiyle reaksiyonu sürdürür. Geri kalan 1.9 nötron ise U-238'i Pu-239'a dönüştürmeye yarar. Bu nedenle, üretken bir reaktör uranyumdan, olağan bir reaktöre göre 60 kat daha fazla enerji sağlayabilmektedir.

Üretkenlerde, termodinamik verimi arttırabilmek için, su yerine daha yüksek sıcaklıkta (540°C) ergimmiş sodyum kullanılır. Sodyumun kullanımının ikinci bir nedeni, kalpten geçerken nötronları yavaşlatmamasıdır. Birincil soğutucu çevrimi, kalpten geçen radyoaktif sıvı sodyumdur. Bazı reaktörler için tasarlanmış olan ikincil çevrim, radyoaktif sodyumla suyun bir kaza halinde etkileşimini önlemek için konulmuştur ve gene sıvı sodyumdan oluşur. Üçüncü çevrimde ise, türbin ve jeneratörü çalıştıran su vardır. Aksi halde ikincil çevrim doğrudan doğruya sudan oluşur.

Üretken teknolojisine özellikle İngiltere, Fransa ve Sovyetler Birliği önem vermişlerdir. İngilizler 60 MW'lık bir test reaktörü ile, 600 MW'lık bir ön tür üretken geliştirmişlerdir. Sovyetler Birliği'nde 600 MW'lık üretkenler geliştirmiştir. Enerjisinin % 75'ini ithal eden Fransa, bu bağımlılığı 2000 yılında % 50'ye indirebilmek için üretken geliştirme programına hız vermiş ve önce, 1973'te devreye giren 250 MW'lık Phenix, sonra 1983'te devreye alınan 1200 MW ve 2.3 milyar dolarlık Süperphenix'i geliştirmiştir. Bunların hepsi, Sıvı-Metal-Soğutmalı hızlı üretken reaktörlerdir. (LMFBR).

Dounreay'daki 600 MW'lık İngiliz üretkeninin soğutucu sodyumu 1000 tondur. Burada metalik yakıt da denenmiş, ama karışık plütonyum/uranyum oksit yakıtın (mox) daha uygun olduğu görülmüştür. Bu yakıt da seramik bilyecikler halindedir ve paslanmaz çelik çubuklara konur.

Üretkenlerle ilgili iki temel kavram, üretkenlik oranı ve iki katına çıkma süresidir. Üretkenlik oranı, birim yakıt başına ne kadar yeni yakıt üretildiğini gösterir. Örneğin 1.2'lik bir oran, 1 kilo plütonyum yakıldığında, 1.2 kilo plütonyum elde edildiğini göstermektedir. İki katına çıkma süresi ise, yakılan yakıt kadar yeni yakıtın elde edilme süresidir. Bu süre genellikle çok uzundur (30 yıl), fakat bazı yöntemlerle kısaltılması mümkün olabilir.

Bugüne dek herhangi bir kaza ile karşılaşılmasına rağmen, bir kaza halinde üretkenlerin tehlikesi, normal reaktörlerdekinden daha çoktur. Herşeyden önce kullanılan yakıt, silah ayarındır ve dünyanın en toksit maddesi olan plütonyumdan, bir üretkende en az 1-3

ton vardır. Soğutucu olarak kullanılan sodyumun kendisi de, kimyasal açıdan son derece reaktif ve tehlikeli bir metaldir. Denetim çubuklarının çalışmaması halinde plütonyum hemen kritik hale gelerek ("prompt criticality") bir patlamaya yol açabilecektir. ¹³

Artıklar Sorunu

Görmüş olduğumuz gibi nükleer artıklar, insanları öldüren, kalıtsal bozukluklar, kanser ve başka hastalıklara yol açan radyoaktiviteye sahiptirler. Üstelik de bu özelliklerini çok uzun süre korurlar. Kısa dönemde, ilk yüz yıl boyunca, sezyum-137 ve stronsiyum-90 en büyük tehlikeyi arzederler. Fakat 30 yıllık yarı ömürleri olduğu için etkinlikleri bu sürenin sonunda azalır. Sonra diğer artıklar devreye girerler. 24000 yıl yarı-ömürlü plütonyum, 100 bin yıl sürer. Bu uzun ömürlülük, ne kadar uzun süre saklanırlarsa saklansınlar, artıkların belli bir aşamada korumadan kurtulup doğaya yayılmaları ve çeşitli bitki ve hayvanların oluşturduğu doğal beslenme zincirlerinden geçerek, ya da doğrudan doğruya tekrar insana ulaşmaları tehlikesini yaratır. Işıma'nın dönüşüm (mutasyon) yarattığı da bilinmektedir, örneğin beton variller içinde okyanus dibine gömülen artıklar bir süre sonra sızmağa başlamışlar ve buldukları yer 1976'da incelendiğinde, daha önce ne görülmüş, ne duyulmuş olan beyaz bir sünger çeşidinin türediği görülmüştür.

Yalnız ABD toplamı 3 milyon m³'ü geçen nükleer artıklar, beş kalemede incelenebilir: Yanmış yakıt, yüksek düzeyli artıklar, (uranyum ötesi) (transuranik) artıklar, alçak düzeyli artıklar ve uranyum maden ve tesis artıkları. Ancak bunlara geçmeden önce, yakıt sıyırmanın (reproses) ne olduğunu görmemiz gerekiyor. ¹⁴

Reproses (Yakıt Sıyırma)

Yakıt Sıyırmadan amaç, yanmamış yakıtı kurtarmak olup, bu yolla yanmamış yakıtın % 40'ı kurtarılabilir. Ancak kurtarılan yakıtta bulunan U-232 ve U-236 izotopları, zenginleştirmeye uygun değildir. Bu nedenle kuramsal olarak tekrar kullanılabilmesi gereken kurtarılmış uranyum, bir kenara bırakılır ve nükleer elektrik santrallerinde sürekli olarak taze uranyum kullanılır. Zaten 1980'de de yanmış yakıtın sadece % 20'sini sıyırmaya yeterli tesis vardı.

Bu nedenle yakıt sıyırmanın gerçek hedefi, yanmış yakıttan plütonyumu ayıklamaktır. Yakıt sıyırma tesislerinde, yakıt çubukları derin, berrak ve minerallerden arındırılmış suda barındırılır ve Çerenkov etkisi olarak bilinen mavi bir ışık saçarlar. Mekanik kollar tarafından çelik mahfazalarından çıkarılan çubuklar, hidrolik kollarla mekanik bir labirente sokulurlar, burada sudan çıkarılıp "kanyon" adı verilen bir odaya alınırlar. Kanyonun duvarları 1.5 m kalınlığındadır.

Pencereleri yoğun kurşun içeren 8 cam tabakasından yapılmıştır ve bunların arası yağ ile doludur. Her pencere 12.5 ton ağırlığında ve on binlerce dolar değerindedir. Uzaktan kumandalı kollar, kanyonun içinde, bir insanın anında ölmeden yapamayacağı işleri başarırlar: Çeliği salata doğrar gibi kesen bir giyotin, yakıt çubuklarını parçalar ve bir dizi kimyasal işlem, uranyum ve plütonyumu hem birbirinden, hem de diğer bölünme ürünlerinden ayırır.

Ayrılan plütonyum, üretkenlerin fazla sayıda olmadığı günümüzde, ya stoklanır, ya da nükleer bomba imalinde kullanılır. ¹⁵

Şimdi, artık çeşitlerinin incelenmesine dönebiliriz.

Artık Çeşitleri

1. *Yanmış yakıt.* Dünyada toplam 50 bin ton, ABD'de ise 8 bin tonu (3 bin m³) bulan yanmış yakıt çubukları, reaktör yakınında bulunan derin su havuzlarında geçici olarak saklanmaktadır. 1000 MW'lık bir nükleer santral yılda 9 m³'lük yanmış çubuk üretir. Bu çubukların ana bölümünü yanmamış uranyum oluşturur. Uranyumun ancak % 3'ü yanabilmiştir, bu noktadan sonra ise U-235 verimsiz bir biçimde yanar. Çubuğun geri kalan kısmını bölünme ürünleri ve plütonyum oluşturmaktadır. Bu çubuklar son derece tehlikeli olup, 10 metre uzaklıktan 10 dakikada insana öldürücü bir doz aşılabilir. Yanmış yakıt ışımalarının doğada bulunan uranyum ışımalarına doğru düşmesi, en az 10 bin yıl alır. Çubuklar iyi saklanmazsa patlamaya yol açabilecek bir kritik kütle oluşturabilirler ki, ABD'de bugüne kadar en az 12 "istenmeyen kritiktik" durumu oluşmuştur.

2. *Yüksek düzeyli artıklar.* Bunlar, yanmış yakıttan sıyırma sonucu elde edilen artıklardır. İlk elde edilimleri sıvı biçimindedir. Sonradan toz, çamur ya da pasta kıvamına getirilebilirler. Bunlardan ABD'de her yıl 2000 m³ birikmektedir. Bu sayının büyük çoğunluğu, askeri amaçlı yakıt sıyırmaya aittir. Askeri yakıt sıyırmadan 283 bin m³, ticari reaktör artıklarından ise 2300 m³ yüksek düzeyli artık birikmiş bulunmaktadır. Bu miktarın 1 800 000 litresi de şu veya bu şekilde doğal çevreye dökülmüştür. Çok yüksek düzeyde ışımaya yaydıkları için bu maddelere "yüksek düzeyli artıklar" denilmektedir. Etkinlik süreleri 600-6000 yıldır.

ABD'de 100 milyon litrelik yüksek düzeyli sıvı, çamur ve pasta, yeraltında çelik kazanlar içinde saklanmaktadır. Işımalarına ek olarak soğutulmaları gerekmektedir ve bu işlem için 2-3 bin MW enerji gereklidir. 1967'den beri 250 adet 50 cam boyunda silindirik paslanmaz çelik kapsülde saklanmakta olan 1 m³'ten fazla stronsiyum ve sezyumun ise, 600 yıl boyunca

ca denetlenmesi gerekecektir. Stronsiyumlu kapsüller 432°C sıcaklıkta olup, 1 metre uzağa saatte 450 Röntgenlik, sezyumlu kapsüller ise 204°C sıcaklıkta olup aynı uzaklığa 1500 R'lik ışına yaymaktadırlar ve uzun dönemde, taşı bile eritebilirler.

3. Uranyum-ötesi (Transuranik) artıklar. Bunlar, askeri amaçlı uranyum ve plütonyum sıyırması sonucunda elde edilirler. Bölünme ürünleri kadar radyoaktif değildirler, fakat buna karşılık yarı-ömürleri çok daha uzundur. ABD'de 55 000 m³ transuranik artık sığ hendeklere gömülmüştür. 256 000 m³'ü ise geçici olarak saklanmaktadır. Solunur ya da sindirilirse insan bedenine içeriden büyük zarar verirler. Transuraniklerin hepsi askeri kaynaklıdır.

4. Alçak düzeyli artıklar. Gram başına 10 nanoküri (InCi: 10⁻⁹ Ci) den daha az radyoaktivitesi olan herşey bu sınıfa girer. Temizlik sıvıları, paçavralar, koruyucu giysiler, aletler, makinalar, tıbbi malzeme ve araştırma malzemeleri bunların arasındadır. ABD'de bunların 1 470 000 m³'ü askeri kaynaklıdır ve yerin 6 m altına gömülmüştür. 515 000 m³'ü ise santrallerden gelen artıklardır. Bazen bunlardaki ışımanın tehlikeli düzeylere çıktığı görülebilmektedir. 1000 MVV'lık bir santral, yılda bu artıklardan 200 litrelik 2300 varil üretir.

5. Uranyum maden ve tesis artıkları. Bunlar, uranyumun çıkartılması ve işlenmesi sırasında oluşan düşük ışımalı artıklardır. ABD'de bunlardan 25 milyon tonu eskiden kalma, 172 milyon tonu da aktif tesis alanlarındadır. Bu artıkların bir bölümünün yapı malzemesi olarak kullanılması, hammadesini oluşturdukları evlerde barınanların, uranyum madencilerinden daha yüksek dozda ışımaya maruz kalmalarına yol açmıştır. 1959'dan bu yana 4 baraj patlaması, iki sel ve 5 boru hattı kazası, uranyum artıklarını Amerikan ırmaklarından aşağı akıtmıştır.

Şimdi işlemekte olan reaktörler de, ömürlerini tamamladıklarında altıncı bir artık grubu oluşturacaklardır.

Artıkların Depolanması

Bu kadar tehlikeli ve hacimli maddelerin saklanması ise, henüz çözülemeyen bir sorun oluşturmuştur. Son olarak getirilen çözüm, bu artıkların, milyonlarca yıldır kararlı oldukları bilinen jeolojik tabakalarda saklanmasıdır. Bunlar tuz, bazalt ya da granit cinsinden olabilir. Beş aşamalı bir depolama düşünülmektedir:

1. Artıklar, katılaştırılacak ve cam ya da seramiğe gömülecektir. Buna "Camlaştırma" (vitrifikasyon) denmektedir. 28 cm kalınlığında düşünülen bu camın erimesi, 3500 yıl alacaktır.
2. Cam ya da seramik, metal bir kapsül içine yerleştirilecektir. Titanyum ve kurşundan oluşan bu kap-

sül, binlerce yıl bozulmadan kalabilecektir.

3. Kapsül, radyoizotopları emen bir maddeyle çevrilecektir.
4. Kapsül için açılmış olan çukurun çeperleri gerisin geriye doldurulacaktır. Bazı tasarımlara göre bentonit betondan oluşan bir tampon tabakası, on binlerce yıllık güvenlik sağlayacaktır.
5. Tuz ya da granit tabakası, artık paketini tecrit edecektir.

Herhangi bir aksilik olasılığı hesaba katılarak, paketlere 50 yıl süreyle erişilebilmesi ve ondan sonra mühürlemeleri de öngörülmüştür. Ancak, binlerce yıl süreyle saklanması zorunlu olan bu kapsüllerin bir kazaya uğramayacağı konusunda hiçbir jeolog garanti verememektedir. Çünkü aktif fay bölgelerinde kalmayan yerlerde de beklenmedik depremler gözlenebilmiştir. Bilinen tarihinde hiç deprem görmemiş olan İsveç bile, bu artıkları güvenli olarak gömecek bir yer bulamamıştır. Artıkların Kuzey Kutbu'ndaki buz tabakasının dibine gönderilmesi, ya da uzaya fırlatılması gibi hayalci çözümler ise henüz müşteri bulamamıştır.

Kapsüllerin varlığının unutulması ve buldukları tuz tabakalarının bundan bir yıl sonra işlenmesi halinde ise, 200 bin kişinin kanserden ölebileceği hesaplanmıştır. Son olarak, düşünülen yöntemlerin gerçekten güvenceli olduğu kabul edilse bile, hiç kimse kendi arazisine artık gömülmesini istememektedir.¹⁶

Kazalardan Doğan Masraflar

Kazalarla birlikte gündeme gelen diğer bir konu, reaktörlerde meydana gelen bir arızanın bedelini kimin ödeyeceği sorunudur. Genellikle şirketler, elektrik kesilmesini önlemek için kendi sistemleri dışından fahiş fiyatla enerji ithal etmek zorunda kalırlar. Üstelik bazı arıza ya da kaza durumlarda bu, çok uzun bir süre alabilir. Gerek özel şirketler, gerekse devlet kuruluşları bu giderleri, reaktörün tamir giderleriyle birlikte müşteriye yansıtmak eğilimindedirler. Masraflar devlet desteği ile karşılanırsa bile, yük sonuçta vergi ödeyen vatandaşlara aktarılacaktır. Böyle durumlarla karşılaşan Amerika'daki elektrik şirketlerinin faturalarında % 50 civarında fiyat artışları görülmüştür.

Bir kaza'nın, bir şirketi nasıl iflasın eşiğine getirebileceği TMI olayında açıkça ortaya çıkmıştır. TMI-2'nin temizlenmesinin başlangıçta 500 milyon dolara mal olacağı tahmin edilmişken, bu masraf 900 milyon doların üzerine çıkmıştır. Oysa TMI-2'nin kuruluş maliyeti, en fazla 780 milyon dolardı. TMI'ı işleten GPU şirketi, olay sırasında arızası olmadığı halde durduran TMI-1'in bir an önce faaliyete geçmesini istemekte, şirketin mali varlığını sürdürebilmesi açısından bunun bir ölüm-kalım meselesi olduğunu belirtmektedir, fakat bu birim çevre halkının muhalefetinin de et-

kişiyile hala çalıştırılmamıştır. 72 milyon dolara kurulmuş olan Niederaichbach'daki küçük reaktörün sökülmesi de 36 milyon dolara mal olacaktır. Görüldüğü gibi bir kaza durumunda, bir reaktörün astarı yüzünden pahalıya gelebilmektedir. ¹⁷

Artan Yapım Masrafları

1960'lı yıllarda bir reaktörün yapım fiyatı, 100 dolar/kilowatt gibi bir masraf gerektiriyordu. 1970'li yılların başında bile bir nükleer santral ile kömürlü bir termik santralin yapım masrafları arasında fazla fark yoktu. Ancak bu zamandan başlayarak, nükleer santrali arın inşaat masrafları hızla arttı. Çizelge 1, 1970 ve 1980 civarında nükleer ve kömürlü santrallerin kW başına maliyeti ile, nükleerin kömürlüye göre pahalılık derecesini göstermektedir.

Çizelge 1. Nükleer ve Termik Santrallerin Kuruluş Maliyetlerinin Karşılaştırılması.

Yıl	Nükleer Santral Kuruluş Maliyeti (\$/kW)	Termik Santral Kuruluş Maliyeti (* /kW)	Pahalılık Oranı (%)
1970 dolayları	200	175	114
1980 dolayları	700	500	140
1984	3000	1200*	250

* 1200 sayısına, çevre kirlenmesine karşı alınan önlemlerin masrafları dahildir.

Görüldüğü gibi, nükleer santral maliyetlerinde giderek büyüyen bir artış gözlenmektedir. Bu bakımdan nükleer santrallerin aynı temele indirilmiş maliyetlerini karşılaştırmak, aydınlatıcı olacaktır. 1980 dolarları cinsinden ABD'de işletmeye alınan bir nükleer santralin ortalama masrafı 1970'de 356 \$/kW, 1980'de ise 850 \$/kW idi. Bu değer 1992'de 1500 \$/kW'a fırlayacağı tahmin edilmektedir. 1970 ile 1980 arasında % 238'den fazla artış vardır.

Nükleerle üretilen elektriğin fiyatının ise, santral inşaat masraflarından daha hızlı yükseleceği tahmin edilmektedir. 1982 yılında kWh başına fiyat bakımından, kömür ve nükleer eşit görünüyordular. Bir incelemeye göre bu fiyat nükleer için 3.1 sent/kWh, kömür için 3.5 \$/kWh idi. Diğer bir incelemeye göre ise bu değerler, sırasıyla 3.2 ve 3.19 idi. Ancak nükleer elektrik fiyatının kısa sürede kömürü geride bırakacağı tahmin edilmekte, 1980 dolarları cinsinden 1982'de 1.84 \$/kWh olan nükleer elektrik enerjisinin, 1990'da gene aynı baz üzerinden 5.2 \$/kWh'a çıkacağı hesaplanmaktadır.

Santral masraflarındaki artışın dörtte üçü, reaktör fiyatının artışından kaynaklanmaktadır. Bunun en önemli nedeni ise güvenlik önlemlerinin artırılmasıdır. Artışın geri kalan dörtte biri ise artan faiz bedellerinden ileri gelmektedir. Bunun nedeni, bir yandan fa-

iz oranlarında görülen artış, öte yandan da santralin normalde 5.5-6 yıl olan inşaat süresinin bürokratik işlemler nedeniyle 12-14 yıla çıkmış olmasıdır. Faiz oranları, üretilen elektrik enerjisinin fiyatında da artışa neden olmaktadır. İnşaat süresinin uzamasında diğer etkenler ise yavaş istem (talep) artış ve firmaların karşılaştıkları mali sorunlardır.

Bütün bunların sonucu olarak, santral ve işletme fiyatları giderek artmıştır. ABD Enerji Bakanlığı'nın bir etüdüne göre, incelenen 47 nükleer santralden 36'sı, başlangıçta tahmin edilenin 2 katı masrafa mal olmuştur. 13 tanesi ise ilk tahminin 4 katına çıkmıştır. Çizelge 2'de, bazı santrallerin fiyat artışları verilmektedir. Bu çizelgede ilk tahminin 10 katını aşan artışlar gözlemek mümkündür.

Çizelge 2. Bazı Nükleer Santrallerdeki Fiyat Artışları

Reaktör	Orijinal Proje Fiyatı (Milyon Dolar)	Gerçek Fiyatı (Milyon Dolar)	Artış (%)	Notlar
Shoreham (New York)	241	4000	1560	9 Yıl gecikmiş
Midland (Michigan)	267	4400	1548	9 Yıl gecikmiş
Plant Vogthe (Georgia)	660	6600	900	
Diablo Canyon (California)	450	4400	877	Tamamlanmamış, bekletiliyor.
Seabrook (New Hampshire)	973	5800	496	Temmuz 1985'de üretime geçecek. Yan bitmiskin terkedildi.
Marble Hill (Indiana)	1400	7000	400	
St. Lucie 2 (Florida)	360	1400	288	Devrede.
Palo Verde (Phoenix)	2800	6000	114	
Trojan (Oregon)	235	460	%	1976'dan beri devrede.
Yankee (Massachusetts)	48	44	- 83	196V'den beri devrede.

Görüldüğü gibi 1961'de devreye giren bir santralin fiyatında umulana oranla düşüş bile olurken, sonraki yıllarda durum bunun tersine dönmüş ve özellikle, gecikmeli santrallerde aşırı artışlar olmuştur.

Bu durum, şirketleri büyük zararlarla karşı karşıya bırakmıştır. Amerika'da nükleer enerjiye geçmişte en çok ağırlık vermiş kamu kuruluşu olan Tennessee Vadisi Kurumu (TVA), dört nükleer birim siparişini iptal etmiş ve 1.8 milyar dolarlık bir zararı sineye çekmiştir. TVA artık kömüre dönmektedir. Aynı derece şanslı olamayan Washington Eyaleti Elektrik Şirketi (WPPSS) ise, Amerikan tarihinin en büyük kamu kuruluşu zararına uğrayarak 1983'te iflas etmiştir. 1981'de şirket, o sırada inşa edilmekte olan iki reaktörün inşaatını durdurmuştu. Bunun nedeni, fiyatla-

rın denetimsiz biçimde büyümüş olması idi: Herbir reaktör, 1992'de tamamlandığında dört milyar dolara ya da 4000 £/kW'a mal olacaktı, bu ise 1970'e göre on kattan fazla bir artış idi. Reaktörlerin tamamlanamaması, şirketin 2 yıl sonra iflas etmesinde en önemli rolü oynadı.

Ocak 1984'te ise Ohio eyaletinde Moscow'daki Zimmer nükleer santralının sahibi olan elektrik şirketi, görülmemiş bir eylemle bu santrali kömüre dönüştüreceğini açıkladı. Santralin % 97'si zaten tamamlanmış olduğundan bu, santrali neredeyse yeni baştan inşa etmek anlamına geliyordu.

Fiyat artışları ve azalan siparişler, aynı şekilde olmasa bile başka ülkelerin reaktör firmalarını da etkilemiştir. Brezilya'nın, Alman Kraftwerk Union (KWU) firmasından satın almak istediği 8 reaktör ile yakıt çevrim tesislerinin fiyatının, 1975'te 5 milyar dolardan günümüzde 30 milyar dolara fırlamış olması bunun bir örneğidir. Nükleer enerjinin ayrıca kamuoyu tepkisini çektiği İsveç ve Almanya'da, şirketler dış yatırımlara yönelmek durumunda kalmışlardır. Ancak TM I-sonrası ortamda nükleer endüstrinin bir çıkmaza girmesi, reaktör üreten özel şirketlerin devlet desteği olmadan ayakta durabilmelerini zorlaştırmıştır. Böylece Asea-Atom'un kuracağı reaktör için İsveç, Siemens'e bağlı Kraftwerk Union(KWU)'un kuracağı reaktör için de Alman hükümetlerinin, alıcı ülkede kredi olanakları açmayı önerdikleri görülmüştür.¹⁸

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Buradaki gibi kısa ve zorunlu olarak ayrıntılara girmeyen bir incelemeden bile çıkarılabilecek bazı sonuçlar vardır. Hem olumlu, hem olumsuz görüşleri kapsayan bellibaşlı sonuçlar, aşağıda sıralanmıştır.

1. Tarafsız her gözlemci, nükleer elektrik enerjisi yüzünden bugüne dek hiçbir tüketicinin ölmediğini kabul etmek zorundadır. Bilinen en ciddi nükleer santral kazası olan TMI'de bile ölen olmamıştır. Santraldan işleyen personel arasında birkaç ölüm olayı olmuştur, fakat bu da işi ile ilgili değildir. Bunu, termik santrallerin işletilmesi için gerekli olan kömürün çıkartılması sırasında, dünyada binlerce işçinin can verdiği gerçeği ışığında değerlendirmek gerekir. Aşırı kuşkuca bir yaklaşım, ölüm olaylarının yer almış, fakat başarıyla gizlenmiş olduğunu savunabilir. Hangi şık doğru olursa olsun, ikisini de büyük bir başarı saymak gerekir. Nükleer enerji gerçekten ölümlere yol açmıştır; ama bu, ya askeri ve araştırma reaktörlerinde, ya da artıklar yüzünden olmuştur. TMI olayı da içinde olmak üzere, nükleer teknoloji ile onu uygulayan şirket, bilim adamı, mühendis ve teknisyenler tüm aksamlara rağmen gerekli güvenliği sağlamakta başarılı olmuşlardır.

2. Nükleer artıklar için durum böyle değildir. Alınan tüm önlemlere rağmen bu artıklar, şimdiye kadar en az yüzlerce insanın canına mal olmuşlardır. Miktarları giderek çoğalan bu artıkların ne yapılacağı da tam bir açıklığa kavuşmamıştır. Önerilen tüm çözüm yolları şu veya bu açıdan eleştiriye konu olmuştur. Japonların kendi ülkelerindeki nükleer enerji için söyledikleri gibi, "tuvaleti olmayan bir ev inşa etmiş bulunmaktayız".

3. 1967 yılında meydana gelen bir kazada, içlerinde Virgil Grissom'un da bulunduğu Uç Amerikalı uzay adamı, feci şekilde yanarak can verdiler. Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Yönetimi (NASA), bunun üzerine tam bir teknolojik güvenlik sistemi geliştirme yoluna gitti. Bunun için çok-birimli yedekleme de önemli bir yer tutuyordu. Buna rağmen 1972 yılında, Apollo 13, yakın yıllarda da Columbia Uzay Mekiği'nde bir dizi arıza engelenemedi. Öte yandan tüm koruma önlemleri, 1977 yılında New York kentinin elektriğinin, kimi yerde 25 saate varan sürelerle kesilmesine engel olamadılar. Gene, kullanılan en ileri teknolojilere ve konunun kritik önemine karşın, Amerikan Savunma Sistemi yıllardır yanlış saldırı uyarılarıyla alarma geçmektedir.

Bütün bunlar, çağdaş teknolojinin kurduğu karmaşık sistemlerde, tüm çabalara rağmen ve o teknolojiye tam olarak egemen olunabildiği durumlarda bile, kazaların ortadan kaldırılmadığını göstermektedir. Bir noktada çağdaş sistemlerin karmaşıklığı, o sistemleri kullananların açmazı durumuna gelmektedir. Yapılacak teknolojik ilerleme ve harcamalarla nükleer kaza olasılığı azaltılabilir, fakat tamamen ortadan kaldırılabileceğini söylemek çok güçtür.

4. Bir toplumun hangi teknolojiyi kullanacağı sorunu, temelde teknik değil, ahlaksal, toplumsal ve siyasal bir tercihtir. 1983 yılında ülkemizde, 32680 trafik kazasında 6112 kişi ölmüş, 40469 kişi yaralanmış ve bunların çoğu sakat kalmış, 10 milvar liranın üzerinde maddi hasar olmuştur.¹⁹ Bu portre her yıl tekrarlanmaktadır, fakat hiç kimse Türkiye'de motorlu taşıt teknolojisine son vermeyi düşünmemektedir. Gene, 29 Mayıs 1984'te Aslantaş barajının bir kapağının kopması sonucu 17 köyü su basması, ya da iletim hatlarının kopması sonucu meydana gelen sakatlanma ve ölümler, elektrik enerjisinden vazgeçmemizi şimdiye kadar kimsenin hatırına getirmemiştir. Her teknolojinin, hatta yaşamın kendisinin, bir rizikosu vardır ve bir toplum, herhangi bir şeyin kendisi için gerekli olduğuna karar verirse, kendisini oluşturan bireylerden bir kısmını feda etmek pahasına o şeyi benimseyecektir.

5. Bu durumda konu, nükleer enerjinin Türkiye için ne derece gerekli olduğunun incelenmesinde düğüm-

lenmektedir. Nükleer teknolojiyi kullanan ülkelere bakıldığında, ABD'de bu teknolojiden bir kaçış görülmektedir; ABD'nin başka zengin enerji kaynakları vardır. Batı dünyasında nükleer enerji programlarına hız veren Fransa, Belçika, Almanya, Japonya gibi ülkeler, enerji kaynakları açısından dışa ve özellikle OPEC ülkelerine bağımlı olduklarından, bu bağımlılığı kırmak için nükleer teknolojiye sarılmaktadırlar. Doğu Bloku'nda ise nükleer teknolojinin durumu, tartışmaya açık değildir ve yetkili bürokratik organların kararlarına bağlıdır.

Görüldüğü gibi nükleer seçimin yapılmasında temel kistas, genellikle enerji açısından bağımsızlık olmaktadır. Bu seçimi yapan bir ülkenin: 1) Başka enerji kaynaklarının bulunmaması ya da bunları tüketmiş olması, 2) nükleer teknolojiye, kendi reaktörlerini kurup işletecek ölçüde egemen olması gerekmektedir.

6. Beşinci maddedeki iki ister açısından Türkiye'ye bakıldığında, bunların ikisinin de yerine getirilemediği görülmektedir. Çünkü 1) Türkiye'nin henüz kullanılmamış zengin bir enerji potansiyeli vardır, ve 2) Türkiye, nükleer teknolojiye egemen bir ülke değildir.

İkinci noktayı deşmeğe gerek yoktur, çünkü Türkiye henüz klasik teknolojiye bile tam olarak egemen durumda değildir. Birinci noktayı ise biraz açmakta yarar vardır:

Türkiye halen ekonomik hidrolik potansiyelin % 13' ünü kullanmaktadır. Geriye kalan ekonomik hidrolik potansiyel 110 milyar kWh'tır. (Ancak bu değer, çok eski bir etüde dayanmaktadır ve gerek enerji fiyat artışları, gerekse ilerleyen teknoloji, bu miktarı 160-170 milyar kWh'a çıkartmış olabilir.) Bugünkü üretimin 30, devreye girecek termik santrallerin 60 milyar kWh'a eşit olduğunu düşünür ve 2000 yılında ulaşılacak tüketim için 170 milyar kWh gibi abartmasız bir değer seçersek, hidrolik potansiyelden 80 milyar kWh gibi bir bölümün kullanılması ile 2000 yılındaki tüm enerji ihtiyacının karşılanmış olacağı görülür. Bu durumda en kötümser olasılıkla geriye, bugün kullanılmayan ekonomik hidrolik potansiyelin % 27'si ayrılmış olarak kalacaktır. Dolayısı ile taşkömürü ve linyit potansiyelini, yani termik olanakları hiç hesaba katmadan, enerji sorunu çözümlenebilecektir.²⁰

Hidrolik santrallerin başka avantajları da vardır.

Kuruluş masrafları daha azdır: 1000 MVlık bir nükleer santralin bedeli 1 milyar dolardır, aynı fiyata mal olacak Atatürk santrali ise 2400 MW üretecektir. Gene hidrolik santraller, sulama ve tarım işlerinde de kullanılabilirler.

Öte yandan, gerekli hidroelektrik santrallerin kurul-

ması için nereden kredi bulunacağı belli değildir. Nükleer enerji tercihini, bir noktada kredisizlik doğurmaktadır. Çünkü nükleer endüstrinin bu kriz döneminde yabancı şirketler, cazip kredi olanaklarıyla karşımıza çıkmaktadırlar.

Ancak, görmüş olduğumuz gibi nükleer santraller, aşırı fiyat artışlarına uğrayabilmektedirler. Bu tür artışlar olsun ya da olmasın, kredi demek "hibe" demek değildir ve işin faturası sonuçta gene Türk milletinin sırtından çıkacaktır.

7. Türkiye'nin nükleer teknolojiye geçmesine yurdu-muzda karşı çıkanlar, bunun enerji bakımından ülkemizin dışa bağımlılığını azaltmayıp, arttıracığı görüşündedirler. Gerçekten de bu görüşe katılmamak mümkün değildir, çünkü Türkiye hem hammaddesini, hem de teknolojisini dışarıdan almak zorunda kalacaktır. (Ülkemizdeki bulunan 5300 ton uranyum % 0.04 tenörlü olup, çok fakirdir ve işletilmesi ekonomik değildir).

8. Nükleer santrallerin ve artıkların doğal çevre için doğurduğu tehlikeler, tüm dünyada olduğu gibi yurdu-muzda da endişelere yol açmıştır. Bir nükleer santral, deprem, uçak düşmesi, kasırga ya da teröristlerin yapacakları sabotajlara hedef olabilir. Çevreye önemli ölçüde radyoaktif madde saçılması halinde pek çok insanın öleceği ve büyük bir bölgenin yıllarca yaşanmaz hale geleceği kuşkusuzdur. Artıklar sonucu ise zaten çözümlenememiştir. Türkiye'nin deprem kuşağında olması, bu sorunu çözmeye olanağını iyice kısıtlamaktadır. Diğer bir nokta da, artıklar kendi kendilerini gömemeyeceklerine göre, maliyet hesaplarına artıklardan kurtulmanın maliyetinin de er geç yansıtılması gerekeceğidir.

9. İleri ülkelerde nükleer santrallerin yayılmasına karşı çıkanların üzerinde durdukları bir konu da, reaktör teknolojisinden nükleer silah teknolojisine geçmenin hiç zor olmadığıdır. Bugün artık, reaktörlerde uranyumun normal yanması ile oluşan plütonyumdan atom bombası yapılabileceği bilinmektedir. Nükleer santrallerin yayılması, en küçük ülkelerin bile atom bombası üretebilir hale gelmeleriyle sonuçlanacak, bu da zaten zorlukla korunan "dehşet dengesi"ni çok olumsuz bir yönde etkileyecektir. (İran'la Irak'ın, ya da Yunanistan'ın elinde atom bombası bulunduğunu düşünün). Küçük bir ülkenin bile nükleer silah kullanması, derhal süper devletleri de hızlı bir tırmanışın içine çekecek ve dünya bir Üçüncü Dünya Savaşı'nın girdabında yok olup gidecektir. Gerçi 1968 tarihli Nükleer Silahların Sınırlanması Anlaşması'nı imzalayan ülkelerde, yakıt ve artık envanterleri, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) müfettişlerince denetlenmektedir. Fakat kuşku uyandırmayan plütonyum stoklamak mümkün olduğu gibi, bu anlaşmayı imzalamamış ülkeler de vardır.

10. Bu ve benzeri değerlendirmeler sonucu Batı'da, son onbeş yıldır değişik bir düşünce biçimi ortaya çıkmıştır. Bu görüşe göre, yerkünün yeraltı enerji kaynakları sınırsız değildir ve enerji tükenmek durumundadır. Bunların çarçur edilmesi; bir mirasyedinin babasından kalan toplu parayı yemesine benzetilmektedir. Oysa güneş, rüzgâr ve gelgit gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının devreye sokulması, her ayın başında yeniden maaş alan ve böylece hiçbir zaman aç kalmayan kişinin durumuna benzeyecektir. Gelişmiş ülkeler bir yandan bu enerji kaynaklarına geçmeğe çalışmakta, bir yandan da kömür, petrol ve uranyum kaynaklarını, geçiş dönemini atlatabilmek için kullanmaktadırlar.

11. Gene gelişmiş ülkeler, yeni enerji kaynaklarına hiç dokunmaksızın, yalnız varolan kaynakları daha verimli kullanmak ve enerji tasarrufu yapmakla, doğan yeni enerji gereksinimlerinin karşılanabildiğini görmüşlerdir. İlk bakışta inanılmaz gibi görünen bu gelişmedin somut sonuçları ortadadır. 1979 yılındaki ikinci petrol krizinde OPEC ülkeleri, ham petrolün varil başına fiyatını 40 dolara çıkarınca, ABD'de tüketiciler tasarruf yoluna gittiler. Elektrik istemi 1980 yılında sadece % 1.7, 1981'de % 0.3 arttı, 1982'de ise % 2.3 azalma gösterdi. Amerikan elektrik şirketlerinin elinde şimdi ihtiyaçtan % 30 fazla üretim kapasitesi vardır ve bu değer % 20-25'lik acil yedekten çok fazladır. ABD'de nükleer enerjinin çıkmazlarından biri de bu noktadan kaynaklanmış ve 1982'de, 18 nükleer santral siparişi iptal edilmiştir. Görüldüğü gibi nükleer enerji herşey demek olmayıp, bir ülkenin enerji politikasının ancak bir bölümünü oluşturabilir.

Teknolojik araştırma ve geliştirmenin tasarrufa yöneltilmesi de, bu yolda atılan adımların diğer bir yönünü oluşturmuştur. Örneğin Japonlar, 1975 ile 1982 arasında buzdolaplarının verimini iki katına çıkarmışlardır. Philips şirketinin geliştirdiği SL ampulleri, benzerlerinden dört defa daha verimlidir. Santral ve fabrikadaki artık ısılardan evleri ısıtmakta kullanılması, ya da evlerdeki ve fabrikalardaki fazla enerjiden elektrik üretilmesi uygulanan diğer yöntemler arasındadır. Almanya'da üretilen elektriğin üçte biri bu yolla sağlanmaktadır. Böyle yöntemlerle nükleer elektriğin önemli bir yeri olan İngiltere'de, nükleer enerjiden tamamen vazgeçilebileceği hesaplanmaktadır.²¹

Kuşkusuz, Türkiye gelişmiş ülkelerle aynı düzeyde değildir ve daha bir süre enerji üretimini arttırmak zorundadır. Ancak bu, enerji tasarrufunun bizim için daha da acil bir sorun olduğunu göstermektedir. Oysa bu konuda herhangi ciddi bir girişim içinde bulunmuşumuz söylenemez. Bir yandan (haklı olarak) halktan fazla lambalarını söndürmeleri istenmekte, fakat öte yandan bir Ambarlı santralında günde üç bin ton pet-

rol tüketilmektedir. "Yiyiniz, içiniz, fakat israf etmeyiniz" mantığı toplumun her düzeyinde yerleşmedikçe, enerji üretimini hangi yöntemle arttırır ir sak arttırılmaz, yeterli enerji hiçbir zaman sağlanamayacaktır.

12. Karşıt tüm görüşlere rağmen, Türkiye'de bir ya da birkaç nükleer santralin kurulacağını varsayalım. Bu yazıda incelenmiş olan gerçekler ışığında, dikkat edilmesi gereken olgular neler olmalıdır?

- a) Her seferinde yeni ve denenmemiş bir reaktör modeli geliştirmiş olan ülke ve firmalardan uzak durulmalıdır. Standart bir model geliştirmiş, bu modeli yıllardır uygulamış ve edindiği deneyimler ışığında modelini yenilemiş ülke ve şirketlere bakılmalı, bu ülke ve şirketlerin de gene yeni ve denenmemiş modellerine yaklaşılmamalıdır.
- b) Şirketin kendi ülkesinde aldığı güvenlik önlemlerini bizde de aynen uygulaması konusunda ısrar edilmelidir.
- c) Şirketin vereceği modelde geçmişte ortaya çıkmış olan hatalar incelenmeli ve bunların kurulacak santralde oluşmaması için gerekli önlemler alınmalıdır.
- d) PWR teknolojisi satın alınacaksa, reaktör kalbindeki su düzeyini açık seçik gösteren bir aygıt konusunda özellikle ısrar edilmelidir.
- e) Denetimde modern bilgisayar teknolojisinin benimsendiği bir model seçilmelidir. Santral operatörleri acil bir durumda yanıp sönen yüzlerce ışık ve pekçok alarmla karşı karşıya bırakılmamalı, durumu doğru olarak, insanı telaşa düşürmeksizin ve açık seçik bildiren bir sistem edinilmelidir. Gerekiirse bilgisayarın bir yedeği de bulunmalıdır.
- f) Denetlenen ve denetleyen sistemler arasında "güvenlik kilitlemesi" yapılmalıdır. Sistemin tamamı kilitlemeden, reaktörü çalıştırmak mümkün olmalıdır.²²
- g) Operatörün bilinçli ya da bilinçsiz olarak yapacağı yanlış uygulamalar, denetim sistemi tarafından iptal edilmeli ve geçersiz kabul edilmelidir.²²
- h) Koruma binasında basınç artışını önleyecek, buhar-hava karışımından radyoaktif maddeleri süzecek ve belli bir basınç değeri aşıldığında otomatik olarak harekete geçecek bir havalandırma sistemi üzerinde ısrar edilmelidir. Bir kalp erimesi halinde radyoaktif maddelerin çevredeki su kütlelerine karışmayacağı da garantilenmelidir.²³
- i) Santral, en yakın yerleşim merkezinden, en az 20 km uzağa, normal uçak rotalarının uzağına, deprem tehlikesi arzuetmeyen ve dışarıdan yapılabilecek saldırılara karşı korunmalı bir bölgeye kurulmalıdır.

- j) Santral, ülkemizde rastlanan deprem düzeyine ve bölgeden geçen uçakların tipine uygun biçimde, bunların düşmesine karşı korunumlu olmalıdır.
- k) Operatörler, eğitim, yetenek, reaktör işleyişi konusundaki bilgileri ve ani durumlar karşısında soğukkanlılıklarını kaybetmemeleri açısından çok üstün düzeylerde olmalıdır.
- l) Gerekli görülen durum ve yerlerde en yakın köy ve kasabalardaki her kişiye, potasyum iyodür tabletleri önceden dağıtılmalı ve bu yerleşim merkezlerinin gereğinde derhal ve düzenli bir şekilde boşaltılabilmesi için gerekli önlemler alınmalıdır. ²⁴

Yukarıda sayılanların dışında, başka güvenlik önlemleri de akla gelebilir. Bunların uygulanması, nükleer santral kurmanın tehlikesini önemli ölçüde azaltacaktır. Bu yazıda incelenmiş olan olayların ışığında, bu tür önlemlerin alınmasında büyük yararlar olacağı ortadadır.

KAYNAKLAR

Kaynak çokluğu nedeni ile bu bölümde dergilerdeki makale ve yazar isimleri sıralanmamış, verinin alındığı kaynak ve sayfa numarasının belirtilmesiyle yetinilmiştir.

- 1) New Scientist, 14/10/1982, s.84-7; 18/11/1982, s.430-1, 31/3/83, s.867, 873-5; 29/9/83, s.911.
- 2) New Sci. 8/11/79, s.439; BuDefin of the Atomic Scientists, 12/80, s.28.
- 3) New Sci. 4/11/76, s.264-7; 30/6/77, s.761-4; 11/10/79, s.115-7; 1/11/79, s.369; 26/7/79, s.267; 2/8/79, s.351; Time 9/4/79, s.39; Science, 8/7/83, s.138. (Zhorcs Medvedev, Nuclear Disaster in the Urals, London: Angus and Robertson, 1979.)
- 4) Time, 13/2/84, S.19.
- 5) New Sci. 15/7/82, s.144; Newsweek, 16/4/79, s.20; (4), s.9; New Yorker, 6/4/81, s.95.
- 6) Buü. At. Sci. 5/83, s.36-8; Newsweek, 4/5/81, s.26.
- 7) New Yorker, 6/4/81, s.118, s.13; Time, 13/2/82, s.291-2; Nuclear Engineering International, 5/83, s.3, 6/83, s.13; Time, 13/2/84, s.10.
- 8) New Sci. 8/11/79, s.419-20; IEEE Spectrum, 11/79, s.105, 107-8; Bull. At. Sci., 2/81, s.55; Time, 26/10/81, s.20; U.S. News and World Report, 10/10/83, s.37.
- 9) New Sci. 11/8/83, s.394; 15/9/83, s.950; 6/10/83, s.4
- 10) IEEE Spectrum, 9/82, s.60; 3/83, s.62.
- 11) New Sci. 25/3/82, s.773-6; BuU. At. Sci., 5/74, s.28; Science, 214 (1981) s.766-8.
- 12) IEEE Spectrum, 4/84, s.47.
- 13) IEEE Spectrum, 3/82, s.66-8; 4/80, s.35-37; Unesco Courier, 7/81, s.21; New Sci. 14/3/74, s.693.
- 14) New Yorker, 19/10/81, s.77, 139; New Sci. 3/11/83, s.350; IEEE Spectrum, 12/80, s.39.

- 15) Elektrik Mühendisliği, 3/82, s.84; John McPhee, The Curve of Binding Energy, New York: Ballantine, 1974, s.32.
- 16) El. Müh. 3/82, s.86; New Yorker, 19/10/81, s.111, 113, 126, 129, 72; IEEE Spectrum, 11/79, s.103; 12/80, s.39; Cumhuriyet, 30/5/84, s.8; New Sci. 3/11/83, s.351.
- 17) Time, 13/2/83, s.14-19; Business Week, 16/4/79, s.2Ş.
- 18) Time, 13/2/83, s.8-19; IEEE Spectrum, 2/84, s.54; New Sci., 17/5/84, s.31.
- 19) Hürriyet, 29/5/84, s.15.
- 20) Cumhuriyet, 29/5/84, s.8
- 21) Time, 13/2/83, s.11; 16/4/79, s.41; New Sci. 19/8/82, s.494.
- 22) New Yorker, 6/4/81, s.100-104.
- 23) BuU. At. Sci. 8-9/82, s.52-9; IEEE Spectrum, 11/79, s.79.
- 24) (23); Science, 2/9/83, s.906.

KISALTMALAR

- BWR: Boiling Water Reactor (Kaynar Su Reaktörü)
- IAEA: International Atomic Energy Agency (Uluslararası Atom Enerjisi)
- LMFBR: Liquid, Metal Fast Breeder Reactor (Sıvı Metal Hızlı Üretken Reaktörü)
- LWR: Light Water Reactor (Hafif Su Reaktörü: BWR + PWR)
- mox: mixed oxide (karışık uranyum/plütonyum oksitli yakıt)
- MPC: Maximum Permissible Concentration (izin verilen en yüksek yoğunluk)
- NASA: National Aeronautics and Space Administration (ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Yönetimi)
- NCR: Nuclear Regulatory Commission (ABD Nükleer Düzenleme Komisyonu)
- PWR: Pressurized Water Reactor (Basınçlı Su Reaktörü)
- rad: roentgen absorbed dosage (emilen röntgen dozu)
- rem: roentgen equivalent in man (insanda röntgen eşdeğeri)
- TM I: Three Mile Island (Üç Mil Adası)
- TVA: Tennessee Valley Authority (Şirket)
- WPPSS: Washington Public Power Supply System (Şirket)