



Dostumuz mu, Düşmanımız mı? Nükleer Enerji

Enerji çağdaş yaşamın stratejik gir-dilerinden birisi. Metabolizmik bir benzetmeyle, toplumsal organizmanın kanındaki şekeri andırıyor. Nasıl ki kanındaki şekeri miktarı azalan insan halsiz düşerse, az enerji tüketen toplumlar da benzeri şekilde letarjik, çok ve akılcı enerji tüketenler ise dinamik, üretken ve enerjik oluyorlar. Enerji tüketebilmek içinse önce onu üretebilmek gerekiyor. En ciddi üretim seçeneklerinden birisi de nükleer enerji.

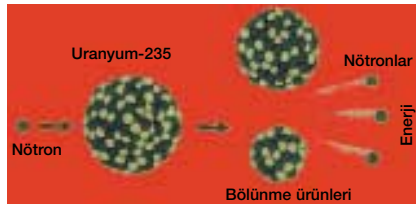
Nükleer enerji, atomun çekirdeğiyle ilgili bir olay. İki şekilde elde edilebiliyor. Birincisi, iki küçük çekirdeğin birleştirilmesi, yani füzyon, ikincisiyse büyük bir çekirdeğin parçalanması, yani fisyon. Her iki halde de, tepkimeden açığa çıkan enerji ısıya dönüştürülebilir, bu enerjiyle su kaynatılıp buhar elde edilebilir. Sonra da bu buhar, tıpkı termik santrallarda olduğu gibi, yüksek basınç altında bir türbine gönderilir ve türbin dönerken, kendisine bağlı bir elektrik jeneratörünü de döndürünce, elektrik enerjisi üretilir.

Mühendislik bilimleri aslında, nükleer enerjiyi terbiye etmeyi başarmış bulunuyor. Fakat bunu füzyon yoluyla değil, öteki tepkime biçimi olan fisyon, yani büyük bir çekirdeğin parçalanmasıyla gerçekleştirdi.

Kolayca parçalanıp fisyonla uğrayan ve bu arada enerji açığa çıkaran çekirdeklerin "fisil" (parçalanabilir) oldukları söylenir. Doğada bulunan uranyum, hemen tümüyle, iki tip izotoptan oluşuyor. Birindeki proton ve nötronların toplam sayısı 235, ötekinkiler-

se 238. Dolayısıyla bu çekirdekler, U-235 ve U-238 diye tanımlanıyor. İkisinde de proton sayısı aynı (92). Fakat ikincisindeki nötron sayısı, birinciden üç adet daha fazla. Biz bu teknik notasyonla uğraşmak yerine, U-235'lerin "kırmızı", U-238'lerin de "siyah" olduklarını düşünelim. Kırmızılar bir nötron çarptığında parçalanmaya çok daha yatkınlar. Parçalandıklarında iki ya da üç de nötron çıkarırlar.

Dolayısıyla, bir uranyum kütlesi düşünenecek olursak ve bu kütlenin içine bir avuç nötron salarsak; bu nötronlar "kırmızı" uranyumlara çarpıp, bu



Bir uranyum çekirdeğine çarpan nötron, çekirdeği daha küçük parçalara bölerken, ortaya çıkan yeni nötronlar, zincirleme tepkimeye yol açıyorlar.

izotopların parçalanmasına yol açacak, parçalanmalardan açığa çıkan nötronlar, gidip başka kırmızılara çarpacak, buradan yine nötronlar çıkacak ve bu böyle sürüp gidecek. Yani kütle uygun büyüklükte seçilirse, içinde bir zincirleme tepkime gerçekleşecek ve sürekli olarak açığa enerji çıkacak. Kütlenin uygun büyüklük ve kompozisyonda seçilmesi önemli. Çünkü fisyonlardan açığa çıkan nötronların bir kısmı, ilgisiz çekirdeklerde yutulur ya da kütlenin kenarından dışarı kaçarak, bir bakıma ziyan oluyor. Kütle küçükse,

nötron kaçakları çok fazla oluyor ve zincirleme tepkime, daha başlayamadan duruyor. Öte yandan yeterince büyük bir uranyum kütlesinin içine, dışardan nötron atmak da gerekmiyor. Çünkü kırmızı izotoplar, kendilerine çarpan nötronlar bulunmadığı zaman dahi, durup dururken parçalanıyorlar. Çok yavaş bir şekilde de olsa, kendiliklerinden fisyonla uğrayıp nötron salıyorlar.

Bir nükleer reaktördeyse bu zincirleme tepkime, yavaş ve kontrollü olarak gerçekleşiyor. Reaktörün yapısı biraz karmaşık ve uranyum dışında, bazı destek unsurları da barındırıyor. Örneğin, fisyon sonucu açığa çıkan nötronlar hızlıdır. Oysa yavaş hareket eden nötronlar, her ne kadar tuhaf görünse de, kırmızı çekirdekleri daha kolay parçalayabiliyor. Bu nedenle hızlı nötronların yavaşlatılması gerekiyor ve bunu da, reaktör kalbine konulan sudaki hidrojen atomları gerçekleştiriyor. Hidrojenlerle çarpışan hızlı nötronlar yavaşlar. Bu durumda, fisyonun yeni çıkmış olan hızlı nötronun, yavaşlamak için hidrojen atomlarıyla çarpışması, bunun için de, doğduğu uranyumdan çıkıp, bir süre su içinde dolaşması gerekiyor. Bu amaçla uranyum metali, çubuklar halinde bir araya getirilip aralarından su geçiriliyor. Hidrojen içeren su, bir "yavaşlatıcı" işlevi görüyor. Ayrıca, fisyon sonucu açığa çıkan enerjiyi soğutmak için de soğutucuya gereksinim var. Su, bu işlevi de üstleniyor. Böylelikle bir taşla iki kuş vurulmuş, hem nötronlar yavaşlatılıp hem de reaktör kalbi soğutulmuş

oluyor. Aslında aynı işi sudan başka, karbondioksit ya da helyum gibi gazlar da yapabiliyor. Hangi tür yavaşlatıcı ve soğutucunun kullanıldığı, reaktörün tipine göre değişiyor. Fisyondan çıkan hızlı nötronların yavaşlatıldığı reaktörlere, "yavaş" anlamında, "termal" reaktör denir. Bu sıfat aslında reaktörün değil, kalbin içinde hareket eden nötronların yavaş olduğunu ifade ediyor.

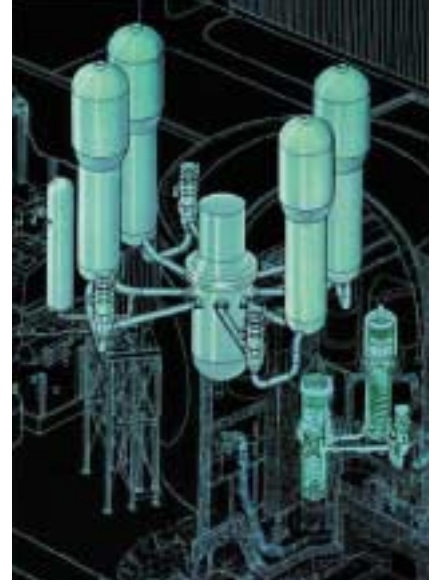
Ayrıca, reaktör kalbine konulan uranyum, çoğu kez doğada bulunan uranyumdan farklı. Çünkü doğal uranyumda, az miktarda fisil izotop, yani benzetmemize göre kırmızı çekirdek bulunuyor. Şöyle ki; doğal uranyumun her bin atomundan yalnızca, yaklaşık 7'si fisil oluyor. Böyle olunca da, zincirleme tepkime için gerekli olan nötron üretim hızlarına erişmek güçleşiyor ve doğal uranyumun zenginleştirilmesi gerekiyor. Bu, bir parça doğal uranyum alıp, içindeki siyah çekirdekleri ayıklayıp atmaya ve geride, siyahlara oranla daha fazla sayıda kırmızı çekirdek bırakmaya benziyor. Fakat söz konusu "izotop zenginleştirme" işlemi, o kadar da basit değil; yavaş çalışan pahalı işlemler gerektiriyor.

Demek ki doğal uranyumun yalnızca binde birinden azı, nükleer enerji üretimi açısından işe yarayan "fisil" çekirdeklerden oluşuyor. Bu çekirdeklerin 1 gramı, yaklaşık 2.5 ton kömürünkine eşdeğer enerji potansiyeline sahip. Fakat uranyum, "nadir toprak metalleri" sınıfında yer alıyor. Yani yer kabuğunda varolan, işletme açısından ekonomik olan miktarı, "nadir" denecek kadar az. Dolayısıyla, dünyamızın "fisil uranyum çekirdeği" stoku, enerji gereksinmemizi uzun bir süre karşılayabilmekten uzak; yaklaşık 200 yıl yetecek kadar. Ancak fisil olmayan "siyah" çekirdekler, tümüyle işe yaramaz değil. Çünkü bir nötron yutmaları halinde, radyoaktif hale geliyorlar ve iki ışımadan sonra, fisil olan bir başka izotopa, plütonyuma dönüşebiliyorlar. Ohalde, zenginleştirme işlemi sırasında ayıklanan siyah çekirdekler, bir köşeye atılmayıp, reaktör kalbinde uygun bir yere konabilir ve nötron yutarak kırmızılaşmaları sağlanabilir. Eğer reaktör kalbindeki nötron üretim hızı yeterince yüksek ise, hem kırmızı çekirdeklerin parçalanması sonucu enerji üretmek, hem de siyah çekirdekleri kırmızıya dönüştürmek

mümkün. Hatta uygun bir tasarımla reaktör, birim zamanda tükettiğinden daha fazla kırmızı çekirdek üretebilir. Bu durumda reaktörün, net olarak yakıt ürettiği söylenir. Yani reaktör "üretken"dir. Bu işlem, yavaş nötronlar yerine hızlı nötronlarla daha kolay başarılabilir. Bu yüzden de "üretken" reaktörlerdeki nötronlar, fisyondan çıktıktan sonra yavaşlatılmazlar. Suyun yavaşlatıcı etkisinden kaçınmak için soğutucu olarak, su yerine sıvı sodyum kullanılır ve böyle reaktörler "hızlı üretken" reaktör adını alır. Hızlı üretken reaktörler sayesinde Dünya kabuğundaki uranyumun, binde birinden azı yerine tümü, nükleer enerji elde etmek amacıyla kullanılabilir. Ancak hızlı üretken reaktör yakıtlarının, önce termal reaktörlerde üretilmesi gerekiyor. Böyle bir "termal-hızlı üretken" reaktör programı, dünya uranyum rezervlerinin enerji potansiyelini 100 misli kadar artırır ve bu potansiyelin yeterlilik süresini, 200 yıldan 9000 yıla çıkarır.

Zincirleme fisyon tepkimeleri termonükleer füzyon tepkimelerinden önce terbiye edildi. İlk fisyon reaktörü 2 Aralık 1942 tarihinde, İtalyan asıllı Amerikalı fizikçi Enrico Fermi liderliğindeki bir grup tarafından, Chicago'da kritik hale getirildi. Bu reaktörde yavaşlatıcı olarak, saf karbon ya da grafit kullanıldı; yani nükleer çağ bu "grafit yığını" ile açıldı. Nükleer endüstri hızla gelişerek büyük adımlar attı ve dünyanın her yanında reaktörler kurulmaya başlandı. 1 gram uranyum, 2.5 ton kömüre eşdeğer enerji üretebildiğine göre, nükleer bir santralin yakıt masraflarının yok denecek kadar az olacağı, bir kez kurulduktan

Nükleer santrallarda reaktörün durumu modern kontrol odalarında sürekli biçimde izleniyor.



Bir nükleer santralin reaktör kalbinde oluşturulan yüksek sıcaklık, buhar jeneratörleri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülüyor.

sonra, santralin neredeyse bedavaya çalıştırılacağı sanıldı. Nükleer endüstri bu nedenle, bol ve ucuz elektrik enerjisi vaad etti; hatta bir süre sonra evlere elektrik sayacı takmaktan vazgeçileceği söylendi. Nükleer endüstri bu ütopyik vaadi ile ilk hatasını yapmış oldu. Çünkü kazın ayağı hiç de öyle çıkmadı.

Radyoaktivite, Radyasyon ve Etkileri

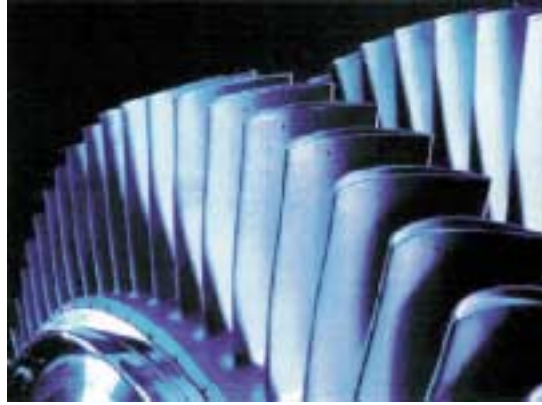
Reaktör kalbinde parçalanmış uranyum çekirdekleri, daha küçük iki çekirdeğe dönüşür ve "fisyon ürünleri" denilen bu yeni çekirdekler, yüksek enerjilerle doğar. İçinde buldukları malzeme tarafından sonunda durdurulurlar, ancak bu arada, çevredeki çekirdeklerle çarpışarak epeyce hasar yaratırlar. Ayrıca kararsız olduklarından, oluşumlarından belli bir süre sonra, başka çekirdeklere dönüşürler. Bu arada, gama ışınları denen yüksek enerjili elektromanyetik ışınım ya da elektron ve pozitron gibi tanecikler yayımlarlar. Böyle bir etkinlik gösteren çekirdeklerin, "radyoaktif" oldukları söylenir. Radyoaktif çekirdeklerin bozunması çoğu kez, öteki radyoaktif çekirdeklerin oluşumuyla sonuçlanır. Bunlar da bozduklarında, daha başka radyoaktif çekirdeklere dönüşebilir. Kısacası, işletmeye alındıktan bir süre sonra bir nükleer reaktörün kalbinde

800 kadar farklı radyoaktif çekirdek türü birikir. Bu çekirdeklerin tümünün sahip olduğu "ışınlama gücü"ne, "radyoaktivite envanteri" deniyor. Radyoaktif envanter, reaktör kapatıldıktan, yani zincirleme fisyon tepkimeleri durdurulduktan sonra da ışımasına devam eder. Gerçi bu ışıma zamanla azalır. Herhangi bir radyoaktif izotopun, başlangıçtaki sayısının ve dolayısıyla da ışıma gücünün yarıya inmesi için gereken süreye "yarı ömür" deniyor. Bu süre çekirdekten çekirdeğe değişir. Bazıları için saniyenin küçük bir kesiri, bazıları için ise binlerce yıl. Birkaç yüz MW gücündeki bir reaktörde, kapatıldıktan hemen sonra, saniyede milyarlarca kere milyarlarca bozunum meydana geliyor. Buysa reaktörün çalışma halinde ürettiği enerjinin %10 kadarının üretilmeye devam etmesi demek. Bu "bozunum ısısı"nın azalması için zaman geçmesi gerekiyor. Bir başka deyişle, kömüre dayalı bir termik santral kapattığınızda, kazanına kömür atmayı durdurur ve enerji üretimine son verirsiniz. Halbuki bir nükleer santral, kapatılsa dahi, normal gücünün %10'u kadar enerji üretmeye devam eder. Bu durumda reaktörü soğutmayı sürdürmek zorundasınız: Ta ki "bozunum ısısı" önemsiz düzeylere inene kadar... Yoksa reaktör kalbindeki uranyum yakıt elemanları eriyebilir, çok yüksek sıcaklıkta sıvı bir kütle oluşturup, önüne gelen herşeyi eritebilir. Uranyum ağır bir metal olduğundan, erittiği kütlenin dibine çöker ve yeni konumunda neyle karşılaşırsa eritmeye devam eder. Reaktör binasının beton temelini dahi eritip, toprağa ulaşabilir. Bundan sonra, varsayımsal olarak; ABD'deki bir reaktör kalbi toprağı, dünya eksenini boyunca eriterek, dünyanın öbür tarafından, Çin'den çıkabilir. "Çin Sendromu" denilen bu senaryo, elbetteki gerçekçi değildi. Ancak, bir "soğutucu kaybı kazası" sonucu reaktör kalbinin erimesinin olası sonuçları, son derece ciddi.

Radyasyon parçacıkları, mikroskopik birer mermi gibi, önlerine çıkan malzeme içerisinde durdurulup soğutulana kadar, o malzemeye enerji aşırlar. Malzeme, tıpkı üzerine bir tabanca ile defalarca ateş edilen çelik bir

levha gibi ısınır. Bundan öte, radyasyon parçacıkları, yolları üzerindeki moleküler bağları kırarak, maddenin yapısında değişiklikler de yaratır. Eğer malzeme uzun molekül zincirlerinden oluşuyorsa, ışınımın kırdığı molekül parçaları bazen de, yine radyasyon ışınlarının etkisi sonucu, gelişigüzel yerlerinden birbirlerine bağlanır. Yani radyasyon, tıpkı bir oksijen tüpünün ucundaki alev gibi uzun çubukları bazı yerlerinden eriterek kesmekte, başka yerlerinden de, parçaları birleştirmektedir. Bu olguya "radyasyonla polimerizasyon" denir ve bazı plastik türleri bu yolla sertleştirilir. Ancak bu olay canlı bir organizmada zararlı sonuçlar verir.

Yeniden nükleer reaktörlere dönelim: Fisyon sonucu oluşan bazı radyoaktif izotopların, reaktör kalbini soğutan suya karışması mümkün. Kaldı ki;



Dev türbinler, buharı elektrik enerjisine dönüştürüyor.

suyun içerisinde nötronlar dolaşmakta, suyu oluşturan çekirdekler tarafından yutulmakta. Örneğin hidrojen, bir nötron yutup döteryum, döteryum bir nötron daha yutup trityum olabilir. Her iki ürün de radyoaktiftir. Keza, sudaki oksijen bir nötron yutup radyoaktif bir izotopa dönüşebilir. Dolayısıyla, soğutma suyu, reaktör içerisinde dönüp durdukça radyasyon biriktirir ve dışarı sızması gerekir. Halbuki her endüstriyel girişim, bazı kaza olasılıklarını da beraber getirir. Nükleer reaktörlerin de, ufak tefek kazalar sonucu radyoaktivite sızdırması, çevrede sağlık sorunlarına neden olması kaçınılmaz gibi. Nitekim en gelişmiş ülkelerdekiler de dahil olmak üzere, dünyanın çeşitli yerlerinde inşa edilen yüzlerce nükleer santralde ortaya çıkan radyasyon sızıntılarının sayısı, yüzleri

bulmuş durumda. Nükleer endüstri ikinci hatasını burada yaparak, bütün bu kazaları saklamaya çalıştı; saklamadıklarını yalanladı.

Çünkü dünya kamuoyu, o dönemde tırmanan Soğuk Savaş'la birlikte, nükleer silahlar karşısında dehşete kapılmış, radyasyonun olası zararları anlaşıldıkça da, nükleer santrallara karşı güvensizlik duymaya başlamıştı. Nükleer endüstri kendisini savunmaya çalışırken, teknolojisini sanki kazalardan muafmiş gibi göstermiş, "soğutucu kaybı" gibi ciddi bir kazanın asla olmayacağını iddia etmişti. Endüstri üçüncü hatasını da burada yaptı; bu savı da yanlış çıkınca, ağır töhmet altında kaldı.

Çünkü 1979 yılında ABD'nin "Three Mile Island" nükleer santralındaki ünitelerden birinde, olası en kötü kaza gerçekleşti; soğutucu kaybı sonucu reaktör kalbi eridi. Gerçi kaza esnasında ölen olmadı, çevreye de fazla radyasyon salınmadı. Ancak, Amerikan kamuoyu, nükleer endüstrinin "olmaz" dediği kazayı yaşamış oldu ve bu alternatifi ciddi bir şekilde sorgulamaya başladı. Elektrik üretim şirketleri yeni siparişler vermeyi durdurdu; daha önceki siparişlerini iptal edenler de oldu. Bu nedenle nükleer endüstrinin girdiği darboğaz, birden bire çok daha ciddi bir sorun nedeniyle daha da ağırlaştı: 1986 yılında Sovyetler Birliği'nin Çernobil nükleer santralındaki ünitelerden birisi, aynı kazaya uğradı. Ancak, bu sefer kaza kontrol altına alınamadı. Oluşan radyasyon bulutu haftalarca, Türkiye dahil Avrupa üzerinde dolaştı; yağmurlarla birlikte besin zincirine karıştı. Kazadan dolayı 30'dan fazla insanın öldüğü biliniyor. Radyasyona maruz kalmış olup da kanser riski artarlarsa, onbinlerle ölçülüyor. Sonuçta nükleer endüstrinin imajı ağır bir yara daha almış, kamuoylarının nükleer enerjiye güveni sarsılmış oldu. Fakat dile getirilen endişelerde, psikolojik boyut ağır basar görünüyor.

Risk ve Ödül

Çünkü nükleer santrallarda ortaya çıkan kazalar, "işletme riskleri" kapsamında bulunuyor ve nükleer endüstrinin bu açıdan performansı aslında, ol-

dukça saygın. Yaklaşık 10 bin “reaktör yıl”lık işletme deneyimi sırasında meydana gelen ciddi kazaların sayısı bir elin parmaklarını geçmiyor. Bu kazalarda ölenlerin sayısı da 50'yi ancak bulmuş durumda. Tabii ki çevreye salınan radyasyon, zamanla kanser vakalarında artışlara yol açacak ve bunun sonucu olarak, pek çok insanın ömrü kısalmaya gidecek. Ancak teknolojik yaşam, ödüllerin yanında bazı riskler de getiriyor. “Her nimetin bir de külfeti olması” kuralı, öteki sanayi kolları için de geçerli. Örneğin 1974 yılında, Hindistan'ın Bhopal eyaletinde, Union Carbide şirketine ait bir gübre fabrikasında yer alan siyanid gazı kaçağı, 3,400 insanın zehirli buharlar soluyarak ölmesine yol açtı. Fakat kimya endüstrisi bu nedenle kapanmadı. Ülkemizde kömür madenlerinde, her yıl ortalama 60 işçi ölüyor. Ancak hiç kimse kömür madenlerinin bu yüzden kapatılmasını istemiyor. Keza trafik kazaları nedeniyle Türkiye'de yılda, 7,000'e yakın insan ölüyor; 60,000 kadarı da sakat kalıyor. Fakat otomobil kullanımının yasaklanmasını isteyen yok. Çeşitli iş kollarında meydana gelen kazalarda ölenlerin bir yıllık dökümü belki de, şimdiye kadarki tüm nükleer kazalarda ölenlerin sayısından fazla. Bu riskler olağan sayılırken, nükleer enerjiye karşı sert tepki gösteriliyor. Demek ki kamuoyları, “toplumsal risk sıralaması”nda önyargılı davranıyorlar. Bunun bir nedeni, nükleer santrallerin nükleer silahları çağrıştırmaları. Bir başka neden de, sözkonusu radyasyon riskinin görünmez, neredeyse “mistik” bir tehlike olması. Uzmanlar durumu kamuoyuna anlatmaya çalışıyor; ancak, endüstri güvenirliliğini yitirmiş olduğundan, aradaki diyalog kopmuş görünüyor.

Halbuki nükleer santrallerin bir nükleer bomba gibi patlaması olanaksız. Hatta nükleer santraller, bir kaza durumunda reaktör kalbi ısınmaya başlayınca, kendi kendilerini kapatıp, zincirleme tepkimeyi durduracak şekilde tasarlanmış bulunuyorlar. Nitekim Three Mile Island ve Çernobil'deki reaktörler de, anormal gelişmeler başlar başlamaz durdular. Zincirleme tepkimenin sona ermiş olmasına karşın kalbin erimesine, buradaki radyoaktivite stokunun ışınlarının yol açtığı “bozunma ısı” neden oldu.



Three Mile Island'daki ile aynı kazaya uğramasına karşın, Çernobil'deki kazanın sonuçlarının ağır olmasınaysa bu santralde, Batı standartlarıncı öngörülen bazı güvenlik sistemlerinin bulunmaması yol açtı. Şimdiyse, eski Doğu Bloku ülkelerinde bulunan santraller de Uluslararası Nükleer Enerji Ajansı'nın denetimine açılmış, bu santrallerin, Batı'daki akranlarında var olan güvenlik sistemleriyle donatılmalarına başlanmış bulunuyor.

Tekrarlamak gerekirse; nükleer teknolojinin işletme performansı, her şeye karşın, hiç de fena değil. Fakat nükleer santrallerin, kamuoyumuzda yeni yeni tartışılmaya başlanan bir sorunu daha var: Reaktör kalbinde fisyonla uğrayarak enerji üreten uranyum yakıtı, zamanla fakirleşiyor ve belli bir noktadan sonra, değiştirilmesi gerekiyor. Bu “kullanılmış yakıt”lar, kimyasal yöntemlerle parçalanıp, içindeki işe yarar izotoplar alınıyor. Geride kalan kimyasal çözeltilerde, “üst düzeyde radyoaktif” olan ve fakat işe yaramayan çekirdekler kalıyor. Bu “üst düzeyde radyoaktif sıvı atıklar”ın gelişigüzel atılmamaları, çevreye zarar vermemeleri için özenle zırhlı olarak saklanmaları gerekiyor; ta ki radyoaktivite seviyesi zararsız düzeylere inene kadar...

Radyoaktif bir maddenin aktivitesinin yarılanması için gereken zamana “yarı ömür” demiştik. Böyle bir maddenin aktivitesini artık kaybetmiş olduğunu söyleyebilmek içinse, parmak kuralı olarak “10 yarı ömür”ün geçmesi gerekiyor. Nükleer reaktör atıkları arasında; Stronsiyum-90 ve Sezyum-137 gibi çekirdekler en önemli yeri tutuyor. Bunların yarı ömürleri, sırasıyla 28 ve 30 yıl civarında. Dolayısıyla, 300 yıl süreyle, emniyetli bir şekilde sak-

lanmaları gerekiyor. Öteki bazı çekirdeklerin yarı ömürleri ise çok daha uzun. Örneğin plütonyumunki 24,000 yıl kadar. Ancak reaktörde plütonyum, kendisi de fisil olduğundan, az miktarda birikir. Öte yandan, termal reaktörlerde biriken plütonyum, hızlı üretken reaktörlerde yakıt olarak kullanılabilir. Bu yapılmadığı takdirde, bu çekirdeğin de keza, özenle saklanması gerekir. Oysa dünya “hızlı üretken reaktör programı” askıya alınmış olduğundan, termal reaktörlerde üretilen plütonyum birikmeye başlamış durumda. Plütonyum için “10 yarı ömür” 240,000 yılı buluyor. Bu denli uzun bir zamansa insanı ufkunun ötesinde. Güvenli saklanabilmesi için, jeolojik zaman ölçeğinde çalışmak gerektiğinden, tüm radyoaktif atıkların, camlaştırıldıktan sonra, depremlerden muaf yeraltı galerilerinde saklanması düşünülüyor. Ancak, çözümlerin sağlıklı olabilmesi için, kamuoyunda geniş bir katılımı tartışılması, kabullenilebilir riskler üzerinde anlaşılması gerekli. Oysa bu konu yeterince tartışılmıyor; nükleer santrallerin işletme sorunları ise, ön planda tutuluyor.

Özetlenecek olursa, termal nükleer tepkimelerin terbiye edilebilmesi halinde insanlığın enerji sorunu, neredeyse ebediyen çözülebilecek. Fakat bu gerçekleşene kadar, öteki enerji kaynaklarıyla yetinmemiz gerekecek. Nükleer enerjinin, bu “bol enerjili geleceğe” giden köprüde önemli bir rol oynaması kaçınılmaz görünüyor. Ancak tüm ötekiler gibi bu seçenek de, beraberinde, herkesi ilgilendiren bazı riskler getiriyor. Dolayısıyla konunun kamuoylarında, geniş katılımı tartışılması; riskler, ödülleri ve ödenecek bedeller üzerinde anlaşılması gerekiyor.

Düşük Düzeyde Radyasyonun Zararları

Aykut Kence

Prof. Dr., ODTÜ Biyoloji Bölümü

Nükleer santraller bir kaza anında, örneğin Çernobil kazasında olduğu gibi milyonlarca kişinin düşük dozlu radyasyona maruz kalmasına neden olabilirler. Milyonlarca kişinin maruz kaldığı düşük dozlu radyasyonun toplum açısından bir önemi var mıdır?

İyonlaştırıcı radyasyonun en önemli özelliklerinden biri, canlı hücrelerinde kalıtsal bilgiyi içeren DNA molekülünde değişiklikler yaparak kuş-aktan kuş-ağa aktarılabilen mutasyonlar oluşturmaktır. Canlıların tüm özellikleri genler tarafından belirlendiği için gen mutasyonlarının etkileri fiziksel ve mental sağlığımızın hemen hemen her yönünü içine alırlar. Kalıtsal açıdan, üreme hücrelerinde oluşan mutasyonlar önem taşırlar. Çünkü bu mutasyonlar bir sonraki kuşaklara aktarılabilmektedir. Vücut hücrelerinde oluşan somatik mutasyonlar ise kansere neden olabilecekleri için önem taşırlar.

Radyasyonun kalıtsal etkileri hakkında yapılan araştırmalar sonucunda kalıtım bilimcilerinin vardığı ortak nokta zararsız olan hiçbir radyasyon dozu olmadığıdır. Öyle ise neden "maksimum permissible" doz ya da izin verilen en yüksek doz denen doz sınırları konulmuştur? Çernobil kazasından sonraki dönemde yetkili kişiler sık sık "bir insanın hiç bir risk yüklenmeden bir yılda alacağı toplam doz 500 mremdir." şeklinde açıklamalarda bulunmuşlardır. Bu limitlerin altında da radyasyonun etkileri söz konusudur. Ancak nükleer

Nükleer yakıt atıklarındaki bazı radyoaktif zehirler

İZOTOP	YARILANMA ÖMRÜ
Hidrojen-3 (trityum)	12 yıl
Berilyum-10	1 milyon 600 bin yıl
Karbon-14	5 bin 700 yıl
Fosfor-32	14 gün
Potasyum-40	1 milyar yıl
Kobalt-60	5 yıl
Selenyum-79	65 bin yıl
Rubidyum-87	47 milyar yıl
Strontiyum-90	29 yıl
Niobyum-94	20 bin yıl
Molibdenum-93	3 bin 500 yıl
Teknetiyum-99	200 bin yıl
Rutenyum-106	1 yıl
Iyot-129	15 milyon 700 bin yıl
Sezyum-135	2 milyon 300 bin yıl
Hafniyum-182	9 milyon yıl
Tantalum-182	100 gün
Renyum-187	50 milyar yıl
Kurşun-205	14 milyon 300 bin yıl
Polonyum-210	138 gün
Radyum-224	37 gün
Radyum-226	1 bin 600 yıl
Aktinyum-225	10 gün
Toryum-228	2 yıl
Toryum-231	1 gün
Toryum-232	14 milyar yıl
Uranyum-233	200 bin yıl
Uranyum-234	200 bin yıl
Uranyum-235	700 milyon yıl
Uranyum-236	23 milyon yıl
Uranyum-238	4 milyar yıl
Neptünyum-237	2 milyon yıl
Plütonyum-238	88 yıl
Plütonyum-239	24 bin 100 yıl
Plütonyum-240	6 bin 500 yıl
Plütonyum-241	14 yıl
Plütonyum-242	400 bin yıl
Amerikyum-241	400 yıl
Amerikyum-242	100 yıl

enerji üretimi, bilimsel araştırma gibi, toplum için yararlı olabilecek faaliyetlerin sürebilmesi için, kişinin yaş-amında karşılaşabileceği diğer bazı risklerle (örneğin trafik kazaları) kıyaslanabilecek düzeyde risk yükleyen doz limitleri konulmuştur. Bu doz limitleri bir çok ülkede son bilgilere göre gözden geçirilmiş ve aşağıya doğru çekilmiştir (örneğin A.B.D.'de yılda 25mrem, Almanya'da 30 mrem, İngiltere'de 100 mrem; Türkiye'de ise bu limit 500 mrem).

Düşük düzeyde radyasyona maruz kalan bir insanda mutasyon oluşması olasılığı çok az olabilir, fakat milyonlarca insanın her biri böyle bir doza maruz bırakılırsa mutlaka bazı mutasyonlar meydana gelecektir. Şayet az sayıda insan, düşük dozda radyasyon alıyor iseler bunun bireysel riski oldukça küçüktür. Ama milyonlarca insan düşük dozlu radyasyona maruz kalıyor iseler, toplumsal risk söz konusudur. Örneğin 50 milyon insanın her biri 500 mremlik doza maruz kalırsa bunun etkileri ve doğuracağı sonuçlar çok önemlidir. Böyle bir dozun genetik sonuçları 25 milyon insanın her birinin 1000 mrem, ya da 250.000 kişinin her birine 100 rem radyasyon vermekle aynıdır. Bu durumda toplum tarafından alınan kolektif doz 25 milyon kişi-rem ya da 250.000 kişisievert olarak ifade edilir. (1-Sievert 100 reme eşittir). Bu doz yaklaşık olarak Hiroşima'da atom bombasından kurtulanların aldığı dozun iki katıdır.

Yapılan bilimsel tahminlere göre 1 milyon kişi-remlik bir doza maruz kalma 1200 çekinik mutasyona neden olacaktır. Bir mutasyonun toplumda kalış süresi, ve etkileyeceği kişi sayısı mutasyonun zararlı etkileri ile ters orantılıdır. Bir de toplumda bireyler arasında radyasyona duyarlılık bakımından farklar bulunmaktadır. Örneğin Ataxia teleangiectasia adlı hastalık genetik bir hastalıktır ve bir çift çekinik gen tarafından kontrol edilir. Bu geni taşıyan bireylerde DNA onarım sistemi iflas etmiştir. Bu hastalığın toplumda görülme sıklığı 40.000'de birdir fakat bu geni tek olarak taşıyan heterozigot bireyler ise 100 de birdir. 50 milyonluk toplumda 500.000 kişi Ataxia teleangiectasia geni bakımından heterozigottur. Yani geni tek olarak taşırlar ve normal görünümündedirler. Fakat bu bireylerin kanser olma riskleri normal insanlara göre 5 kat daha fazladır. DNA onarım sistemi ile ilgili onlarca mutasyon olabileceğini düşünürsek, toplumda radyasyona duyarlı bireylerin sayısının bir hayli yüksek olduğunu görebiliriz.

Çevre politikalarının oluşturulmasında, herhangi bir etmenin çevreye geri dönülmez, onarılmaz bir zararı söz konusu ise, bu konuda yeterli veri yoksa bile, zararın kesin olduğu yaklaşımı geçerlidir. Buna, Tedbirlilik İlkesi (Precautionary Principle) denir. Türkiye'de nükleer santral yapımıyla ilgili çevre politikalarında bu ilkenin gözönünde bulundurulması insan gen kaynaklarının korunması anlamına gelecektir.

Sonuç

Nükleer endüstrinin yakın geleceğe yönelik çalışmalarının hedefi, günümüzdeki reaktörlerin, kamuoyunun istediği güvenlik düzeyine ulaştırılması. Buysa, daha sıkı standartlar ve yatırım gerektirdiğinden, nükleer enerjiyi, alternatiflerine oranla pahalı kılıyor. Aslında enerji fiyatları, petrol şokları nedeniyle genelde artarken, ülkelerin tasarrufa yönelmeleriyle, enerji tüketimi yerinde saymış bulunuyor. Bu da insana, "her işte bir hayır" vardır sözünü hatırlatıyor. Çünkü en temiz ve en ucuz enerji, tasarruf ile sağlanan enerji.

Nükleer endüstrinin orta vadeli çalışmaları, daha güvenli reaktör tasarımlarına yönelik. Çalışmalar, işletme sırasında, istesenez ve uğraşsınız da kalbini eritemeyeceğiniz "ultra güvenli" sistemler üzerinde yoğunlaşıyor. Örneğin bunlardan birisi gaz soğutmalı bir sistem. "Gelişkin gaz soğutmalı reaktör", top şeklinde yakıtlar kullanıyor. Bir başkasının, küçük bir gölün dibine kurulması tasarlanıyor. Bu "ultra güvenli reaktör"ün, hiçbir durumda soğutucu kaybına uğramaması amaçlanıyor.

Nükleer endüstrinin uzun vadeli çalışmalarıysa, "atıkların güvenli depolanmasıyla" ilgili. Üst düzeyde radyoaktivite içeren sıvı atıkların, katı hale getirildikten sonra "camlaştırılmaları" planlanıyor. Böylece, dış kabın delinmesi ve radyoaktif çekirdeklerin çevreye yayılarak besin zincirine girmeleri önlenmiş olacak. Çünkü cam kırılma dahi, yalnızca kırılma yüzeyindeki radyoaktif çekirdekler açığa çıkıyor, cam bünye içindekiler dışarı sızamıyor. Ayrıca bu cam koruyucuların "şok emici" jeolojik tabakalara gömülmesi, böylelikle de deprem şoklarından korunmaları amaçlanıyor. Bu tabakalar geçmişte olduğu gibi, yüzbinlerce yıl değişmeden duracak, radyoaktif atıkları içlerinde saklayacaklar. Ancak, zaman ölçeği uzun olduğundan, olası gelişmeleri tümüyle öngörebilmek güç. Burada da, kamuoyunun yapıcı eleştirilerine gereksinme var.

Kamuoyunu, açık fikirlilikle yürütülecek bir diyaloga davet ederken, göz önünde bulundurulması gereken bir hususu hatırlatmakta yarar var: olmayan enerjinin bedeli, geçmiş kazalarda ödenmiş olanlardan çok daha ağır.

Vural Altın

Prof. Dr., Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi