

Temiz ve Ucuz Elektrik

Nükleer santraller, normal çalışma düzenlerinde çevreyi kirletecek hiç bir etki yaratmazlar. Fosil yakıtlı santrallerin aksine, çevreye zararlı olan CO₂, SO₂ ve NO_x gazlarını salmazlar ve kül bırakmazlar. Fosil yakıtlı santral yerine bir nükleer santral yapılması durumunda, fosil yakıtlı santralin çevreye atacağı zararlı maddelerin sözkonusu olmaması nedeni ile nükleer santrallerin çevreyi temizlediği de söylenebilir. 1000 MWe gücündeki bir hafif-su soğutmalı nükleer reaktörden yılda yaklaşık 27 ton (7 m³) kullanılmış yakıt çıkar. Bu miktar, aynı kapasitedeki bir kömür santralinin atık

miktarına göre ağırlık olarak 250-300 bin kere, hacim olarak 70-80 milyon kere daha azdır. Hemen belirtelim ki nükleer santrallerin gündelik atıkları fosil-yakıtlı santrallerin atıklarına kıyasla yok denecek kadar azdır ve normal çalışmaları sırasında çevreye yaydıkları radyasyon, nükleer santral civarında yaşayan bir kişinin doğal kaynaklardan almakta olduğu radyasyonun 100 ile 200'de biri kadardır. Nükleer enerjinin elektrik üretiminde kullanılmaya başlamasından bu yana ticari nükleer reaktörlerin işlemesi sonucu ortaya çıkan atıklar, şimdilik santrallerde saklanmakta ve ileriki bir tarihte gömülmeyi beklemektedir. Nükleer atıkların tehlikesi, kurşun, cıva veya arsenik gibi zehirli atıklara kıyasla da-

ha azdır. Nükleer atıkların radyoaktivitesi, zamanla durduğu yerde azalırken, zehirli atıklar çevreye atıldıkları ilk günkü gibi kalırlar.

Normal işletme sırasında çevreyi hemen hiç kirletmeyen nükleer santrallerin en korkulan yönü, bir kaza sonrasında çevreyi temizlenemez şekilde kirletme olasılıklarıdır. Nükleer teknolojinin elli yıla yakın

Nükleer Atıklar

Okan Zabunoğlu
H.Ü. Nükleer En. Müh. Bim.

Hiçbir yakıt enerji üretmek üzere yakıldığında yok olmaz; ancak "atık" adını verdiği başka formlara dönüşür. Bu kömür için de böyledir; uranyum için de. 1000 MWe gücündeki bir hafif-su soğutmalı nükleer reaktörden çıkan kullanılmış yakıt, yaklaşık olarak %95.5 uranyumdioksit, %3.5 fisyon ürünleri (atom ağırlıkları farklı izotoplar), %0.9 plutonyum ve %0.1 uranyum-ötesi elementler (neptünyum, amerisyum, kuryum) içerir. Yani orijinal yakıtın yalnızca %4.5'i eksilmiştir; bu eksilen kısmın yerini reaktörde çeşitli nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan fisyon ürünleri, plutonyum ve uranyum-ötesi elementler almıştır. Kullanılmış nükleer yakıtları işleyerek (reprocessing) uranyum ve plutonyumu geri kazanmak olasıdır. Bu durumda geriye fisyon ürünleri ve uranyum-ötesi elementlerden oluşan bir karışım kalır; işte bu karışıma, Yüksek Aktiviteli Nükleer Atık adı verilir. Eğer kullanılmış nükleer yakıtların yeniden işlenmesi yolu benimsenmezse - bu ispatlanmış bir teknoloji olmasına rağmen oldukça külfetli ve ekonomik açıdan tartışmalı bir işlemdir - o zaman kullanılmış yakıtın kendisi Yüksek Aktiviteli Nükleer Atık (içerdiği yüksek radyoaktivite nedeniyle) olarak nitelendirilir.

Kimyasal ayırım süreci içinde önce uranyum ve plutonyum son derece aktif fisyon ürünlerinden; daha sonra da bir dizi darbeli kolon aracılığıyla birbirlerinden ayrılırlar.

Yüksek Aktiviteli Nükleer Atıkların, insana ve çevreye zarar vermeyecek şekilde tasfiyesi önemli bir konudur. Bilimsel çevreler, nükleer atık tasfiyesini yeni bir teknoloji gerektiren teknik bir problem olarak görmedikleri halde, kamuoyu, nükleer atıkları diğer endüstriyel atıklara kıyasla yaşamı ve çevreyi daha fazla tehdit eden bir unsur olarak algılamaktadır. Bu durum nükleer teknolojiye sahip gelişmiş ülkelerde, yüksek aktiviteli nükleer atıkların tasfiyesi konusunda alınması gereken politik kararları geciktirmiş ve sorunun "çözülmemiş bir problem" olarak da algılanmasına neden olmuştur. Örneğin Amerika'da kömür yakmaktan kaynaklanan hava kirliliğinin her yıl 10000 ölüme yol açtığı ve bu durumun nisbeten "çözülmüş bir sorun" olarak görüldüğü düşünülürse, nükleer atıkların tasfiyesini "çözülmemiş bir problem" olarak ele almak da pek doğru değildir.

Yüksek Aktiviteli Nükleer Atıkların yer yüzünün 500 ile 1200 m altında özel olarak seçilmiş jeolojik oluşumlarda inşa edilecek büyük bir maden işletmesini andıran depolara (repository) gömülmesi planlanmakta ve bu konudaki çalışmalar sürmektedir. Yer se-

çiminde jeolojik ve çevresel faktörler (yeraltı suyu hareketleri, kaya yapısı, erozyon, sel, deprem ve volkanik hareketler, doğal kaynaklar, nüfus yoğunluğu, vb.) dikkate alınır. Yeraltına gömülü nükleer atıkların biyosfere ulaşmasını sağlayabilecek tek mekanizma, yeraltı suyu hareketleri olduğundan, jeolojik oluşumun yeraltı suyundan özellikle uzak olması istenir. Jeolojik ortam olarak granit, bazalt, tuz ve tuf yeterli özelliklere sahip bulunmuştur. Kullanılmış nükleer yakıtlar, son derece radyoaktif olmalarının yanı sıra, soğutmaya gerektirecek ölçüde ısı da üretirler ve bu nedenle de reaktörden alındıktan sonra havuzlarda su ile soğutulmuş muhafaza edilirler. Tasfiye öncesi kullanılmış yakıtlar, önce paslanmaz çelik (veya titanyum) silindirlere konur, sonra bu silindirlere metal muhafazalara konur ve yeraltındaki tüneller-



kullanım süresi içinde iki önemli reaktör kazası olmuştur. Bu iki kaza birbirinin çok benzeri olmasına rağmen sonuçları ve çevreye etkileri birbirinden son derece farklıdır. Güvenlik felsefesi önemsenen ülkelerin tasarımlarından biri olan Three Mile Island reaktöründe, tahmin edilen en büyük kaza gerçekleşmiş; fakat reaktör çalışanları dahil hiç kimse, öngörülen miktarlardan fazla radyoaktiviteye maruz kalmamıştır. Çok pahalı bir deney olarak kabul edilebilecek bu kaza sonunda nükleer reaktör güvenliği sınavdan geçmiş ve başarılı olmuştur. Diğer taraftan nükleer güvenlik felsefesine önem vermeyen, iyi tasarlanmamış bir nükleer reaktörün iyi işletilmesinin sonuçlarının ne denli acı olduğunun kanıtı da Çernobil kazası-

İsveç'in batısında bulunan Ringhals nükleer santralleri. Bir kilometre karelik bir alan içinde toplam 3510 MW gücünde üç basınçlı su ve bir kaynar su reaktörü görülmektedir.



dır. Bu kaza, nükleer teknoloji den kaçan ülkelerin bile, istemedikleri halde nükleer kazaların zararlarına katlanmak zorunda olduklarının da bir göstergesidir. Nükleer reaktörlerin maliyetinin yüksek olması, bazı ülkelerin nükleer enerjiden uzak kalmalarının başka bir nedenidir.

Bir güç santralinden elde edilen elektriğin maliyeti, temel olarak o santralin inşaatı ve elektrik üretir, hale gelmesi için, yapılması gereken yatırım maliyetini, ömrü boyunca santralin verimli çalışmasını sağlamaya yönelik işletme ve bakım giderlerini ve elektriğin üretiminde kullanılan yakıtın temini için gerekli yakıt maliyetini içerir. Bir santralin ekonomik olması için üretilen elektriğin satılması sonucu elde edilen gelirin, en azından maliyetini karşılaması ve ayrıca diğer elektrik üretimi seçeneklerine göre daha ucuz olması gerekir.

Elektrik maliyetine etki eden harcamalar değişik zaman dilimlerinde yapılmakta; oysa elektrik üretimi santralin ömrü boyunca gerçekleşmektedir. Enflasyonun olmadığı sabit bir para birimi ile, bir santralin tüm ömrü boyunca yapılan harcamaların bugünkü değerinin o santralde üretilen elektriğin bugünkü değerine oranı, bize ortalama bir elektrik maliyeti verecektir. Elektrik üreticisi, ürettiği elektriğin fiyatını bu ortalama maliyete eşit olarak seçerse, yaptığı tüm harcamaları, paranın bugünkü değeri gözönüne alınarak karşılayabilecektir. Bu maliyet, yaklaşık olarak aynı koşullarda çalışan sistemlerin karşılaştırılmasını da olası kılar.

Nükleer santraller genel olarak, ilk yatırım maliyetleri yüksek, yakıt ve işletme giderleri düşük santrallerdir. Yatırım maliyetleri ise, elektrik maliyetinin yarısından fazlasına denk gelmektedir.

Bir santral inşaatının başlangıcı ile devreye girmesi arasında tipik olarak altı ila sekiz yıl civarında bir süre geçmesi gerekmektedir. Nükleer santrallerden elde edilen elektriğin mali-

de (veya odalarda) açılmış deliklere yerleştirilirler. Deliklerin üstüne bir tıkaç konur ve dolgu malzemesi (muhtemelen kil) ile kapatılır. Yeraltı deposu dolunca tüneller de doldurulur ve depo kapatılır; böylece de ek bir koruma sağlanmış olur.

Kullanılmış yakıtlar, içerdikleri uranyum ve plutonyumu geri kazanmak üzere işleme tabi tutulurlarsa, fisyon ürünleri ve uranyum ötesi elementlerden oluşan bir sulu atık çözeltisi elde edilir. Bu çözelti kuruya kadar buharlaştırıldıktan sonra yüksek sıcaklıkta cam eriyiği ile karıştırılıp metal silindirlere içine boşaltılır ve soğuduğunda katılaşır camsı bir yapı (camlaştırılmış atık) oluşturur. Cam, suda kolay çözünmeyen, uygun mekanik özelliklere sahip, binlerce yıl kararlı olarak kalabilen, nisbeten ucuz ve işlenmesi kolay bir malzeme olduğu için günümüzde nükleer atık formu olarak tercih edilmektedir. Camlaştırılmış nükleer atık ile dolu silindirlere, bir metal muhafaza içine konup yeraltı deposundaki deliklere yerleştirilirler. Yukarıdaki plan yeni bir teknoloji gerektirmemektedir ve bu planın uygulanmasında teknik ve ekonomik zorluklardan çok, politik kararlar ve bu kararların hayata geçirilmesinde karşılaşılan güçlükler etkili olmaktadır.

Nükleer atıkların derin jeolojik oluşumlara gömülmesi konusunda en sık sorulan sorulardan bir tanesi şudur: "Acaba radyoaktivite bir yolunu bulur da tekrar yeryüzüne döner mi?" Bunun tek yolu, yeraltı suyunun yeraltı deposuna ulaşmasıdır. Je-

olojik oluşumu seçerken en fazla dikkat edilen noktanın, yeraltı suyu olan uzaklık olduğunu hatırlatalım; en azından bin yıl boyunca bu oluşumlara yeraltı suyunun ulaşmayacağından emin olabiliriz. Yine de diyelim ki yeraltı suyu jeolojik oluşuma ulaştı; önce yeraltı deposunu çevreleyen jeolojik ortamı ve sonra muhafazalar etrafındaki dolgu malzemesini (dolgu malzemesi kil olduğundan, ıslanmışta şişerek suyun geçişini iyice zorlaştırır) geçmesi gerekir. Daha sonra metal muhafazayı ve metal silindiri aşmalı ve suda zor çözünür olması dikkate alınarak seçilmiş camı çözmelidir. Böylece nükleer atıklar yeraltı suyuyla buluşurlar. Nükleer atıkların yeraltı suyu da aynı yollardan tekrar geçerek (bu sırada jeolojik ortamın ve dolgu malzemesinin bir filtre rolü oynayacağı da unutulmamalıdır) biyosfere ulaşmalıdır. Son olarak yeraltı suyunun son derece yavaş (ortalama 30 cm/gün) hareket ettiğini ve yerin 1 km altından yeryüzüne çıkabilmek için kaya tabakaları arasında yaklaşık 80-100 km yol katettiğini (günde 30 cm'den 80 km gitmek 730 yıl alır) belirtelim. Tüm bunlara rağmen, atıklar, tehlikeli seviyede radyoaktivite içerdikleri süre içinde yeryüzüne ulaşmanın bir yolunu bulabilir mi? Belki de bulabilirler. Ancak diğer enerji üretim sistemlerinin atıklarının ve endüstriyel atıklarının yarattığı riskler gözönüne alındığında, burada söz konusu olan risk, yüzlerce kere, örneğin kömür yakmakla karşılaştırıldığında yaklaşık 1400 kez daha azdır.