



# Türkiye'nin Enerji Sorunu ve Nükleer Enerji

*Türkiye'nin enerji politikası, ülkenin enerji gereksinmesinin ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma atılımlarını destekleyip yönlendirecek şekilde, zamanında, yeterli, güvenilir ve ekonomik koşullarda sağlanması olarak belirlenmiştir. Enerji sektöründe bugün ekonomik olmak kaydıyla yerli veya ithal bütün enerji kaynaklarının değerlendirilmesi, birincil ve ikincil enerji taleplerinin, güvenilir bir arz yapısı içinde en ekonomik tarzda karşılanması esas alınmaktadır. Bütün bunların yanında enerji kullanımının ortaya çıkardığı çevre kirliliğinin azaltılmasıyla ilgili çalışmalar da enerji sektörümüzün gündemine girdi.*

**T**ÜM dünyada olduğu gibi Türkiye'de de 1970'li yıllarda enerji politikaları yeni bir boyut kazandı. Bu dönemde yaşanan petrol krizleri alternatif enerji kaynaklarının devreye sokulmasına yol açtı. Yeni enerji politikaları çerçevesinde yerli enerji kaynaklarının geliştirilmesine ağırlık verildi ve elektrik enerjisi üretimi açısından önemli olan termik santraller ile hidroelektrik santrallerinin yapımı hız kazandı. Enerji planlaması çalışmalarında, kısa, orta ve uzun dönemli politika ve tedbirler dikkate alınarak çalışmalar başlatıldı. Bu amaçla kamu kaynaklarının elektrik üretim, dağıtım faaliyetlerinde yetersiz kalacağı dikkate alınarak yerli ve yabancı özel şirketlerin elektrik sektörü faaliyetlerine katılmalarına olanak veren 3096 sayılı

kanun yürürlüğe kondu. Özellikle enerji yatırım ihtiyacının devlet dışı kaynaklardan da karşılanabilmesi amacıyla Yap-İşlet-Devret sistemi geliştirilerek bu sistem çerçevesinde ithal kömüre dayalı termik santral ile özel hidrolik santral yapımı görüşmeleri başlatıldı.

Ülkemizde çevre kirliliğiyle mücadele alanında yapılan çalışmalar genel olarak, düşük kaliteli linyit kullanımı nedeniyle büyük şehirlerde ortaya çıkan hava kirliliğini azaltmak amacıyla yüksek kalorili ve düşük kükürtlü kömür ithal edilmesi, ithal doğalgazın santrallerin ve sanayinin yanı sıra ısınma ve mutfak ihtiyaçları için de kullanılması, linyite dayalı termik santrallerde kükürt çıkışı ve çevreye yayılan kükürt yoğunluğunu azaltmak amacıyla bacagazi kükürt alma tesislerinin inşa edilmesidir.

Son yıllarda çevreyle ilgili çalışmaların yanı sıra enerji tasarrufu çalışmaları da hız kazandı. Özellikle elektrik enerjisi alanında tasarrufun yanında kamu ve özel sektörün birlikte faaliyet göstermesi için yeni yapılaşmaya gidilmesi gibi gelişmeler de vardır. Bütün bu yeni enerji politikalarına rağmen Türkiye'de enerji sorunu büyüktür.

Ülkemizde kullanılan kişi başına birincil enerji ve elektrik enerjisi değerleri gelişmiş ülke ortalamalarının çok aşağısında bulunuyor ve sektördeki yapısal zorluklar da aşılamamış durumda. Kuruluşların çalışmaları arasındaki kopukluklar, birincil enerji üretimindeki yetersizlik, elektrik alt sektöründe bazı dönemler yetersiz, bazı dönemler aşırı yatırım uygulamaları, aşırı atıl üretim kapasiteleri, yetersiz planlama gibi pek çok sorun enerji politikasında öncelikle aşılması gereken engeller olarak karşımıza çıkmaktadır. 1993 yılında birincil enerji arzının %56'sı ithalat yoluyla karşılandı ve bunda en büyük payı petrol oluşturdu. Doğalgazın payı ise giderek artış gösteriyor. Geçen yıl toplam enerji tüketiminin %8'i doğalgazdan sağlandı.

Türkiye'nin planlanan elektrik enerjisi artışı ile 2000 yılında bugünkü kurulu güç kapasitesinin yaklaşık 1.5 katına, 2010 yılında ise en az 3 katına çıkması öngörülmüyor. Bunun öncelikle yerli kaynaklardan karşılanması düşünülüyor. Ancak hidroelektrik kapasitenin 2010 yılında %65'inin, termik kapasitenin ise %90'ının kullanılmış olacağı hesaplar arasında. Yerli kaynakların kısıtlı oluşu ve kurulu santral-

ların çevre sağlığı açısından olumsuz özellikler taşıması nedeniyle alternatif kaynaklara yönelmek zorunda kalınması olasılığı var.

Ülkemizdeki petrol tüketimi de büyük oranlardadır. 1993 yılı dünya petrol tüketimi %0.8 oranında azalırken, ülkeler bazında değerlendirildiğinde tüketimi en çok düşen ülke %29.1 ile Ukrayna, en çok artan ülke ise %14.7 ile Türkiye oldu.

## Türkiye'de Nükleer Enerji

Yurtdışından ithal edilen doğalgaz bağlantılarının tehlikeye düşmesi veya petrolün teminindeki güçlükler karşısında nükleer enerji alternatif bir kaynak olarak devreye girebilir. Ancak nükleer enerji esas olarak kömürün yerine geçecek ve elektrik üretiminde kullanılacak bir alternatif kaynak olarak düşünülmelidir.

Elektrik arz sisteminin optimal olarak geliştirilmesine yönelik olarak yapılan uzun vadeli üretim programına göre 2005 yılından itibaren nükleer enerjinin enerji bilançolarımıza dahil edilmesi bekleniyor.

Halen ticari nükleer santrallerin yatkınlık durumunda olan uranyum, ülke-



mizde Salihli-Köprübaşı havzasında ve Yozgat-Sorgun'da yoğunlaşmış durumda.

Türkiye'de toplam tabii metal uranyum rezervi halen 9129 tondur. Eskişehir Sivrihisar'da dünyanın en büyük toryum rezervleri bulunmuştur. Bunun miktarı yaklaşık 380.000 tondur.

Ülkemizde toryum rezervlerini enerjiye dönüştürebilecek nükleer enerji teknolojilerinin de geliştirilmesi gerekiyor. Böyle bir projeye ülkemizin ithal enerjiye bağımlı olmaktan bir ölçüde kurtulacağı olası görünüyor.

## Ülkemizde Nükleer Güç Santrallerinin Geçmişi

Ülkemizde nükleer güç santrali kurulması ilk kez 1965 yılında gündeme geldi. Bu dönemde henüz TEK kurulmamıştı. Atom Enerjisi Komisyonu tarafın-

dan davet edilen Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'ndan bir uzmanlar grubu Türkiye'de nükleer enerjinin bir alternatif enerji olarak ele alınabileceği görüşünü ileri sürdü. Böylece 300 MWe gücünde ilk nükleer santralin kurulmasına ilişkin fizibilite çalışmalarına başlandı. Ancak 1977'de faaliyete geçirilmesi planlanan bu santral yer seçiminde karşılaşılan güçlükler ve bazı politik kararsızlıklardan dolayı gerçekleştirilemedi. 1970 yılında TEK'in kurulmasıyla, nükleer güç santralleri ile il-

1994-2010 Dönemi Birincil Enerji Kaynak Talepleri (Orijinal Birimler)  
Jeotermal

| Yıllar | Taşkömürü<br>(Bin Ton) | Linyit<br>(Bin Ton) | Asfaltit<br>(Bin Ton) | Petrol<br>(Bin Ton) | Doğalgaz           |                   | Elektrik<br>(Gwh) | Isı<br>(Bin Tep) | Güneş<br>(Bin Tep) | Nükleer<br>(Gwh) | Elektrik<br>İthalatı<br>(Gwh) | Merkezi<br>Isıtma<br>(Bin Tep) | Odan<br>(Bin Ton) | Hayvan ve |        |
|--------|------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------|--------|
|        |                        |                     |                       |                     | ve LNG<br>(mil.m3) | Hidrolik<br>(Gwh) |                   |                  |                    |                  |                               |                                |                   | Bit.Art.  | Toplam |
| 1994   | 9508                   | 58392               | 750                   | 26269               | 6804               | 31124             | 75                | 80               | 44                 | -                | -44                           | 0                              | 18272             | 10763     | 62970  |
| 1995   | 9794                   | 63259               | 750                   | 27034               | 8501               | 35821             | 90                | 215              | 51                 | -                | 0                             | 65                             | 18374             | 10682     | 67007  |
| 1996   | 9905                   | 78368               | 750                   | 26949               | 10327              | 36313             | 90                | 301              | 58                 | -                | 0                             | 84                             | 18591             | 10519     | 71103  |
| 1997   | 9856                   | 81404               | 750                   | 27792               | 12822              | 37924             | 90                | 422              | 65                 | -                | 0                             | 110                            | 18811             | 10353     | 75258  |
| 1998   | 9577                   | 96114               | 750                   | 28317               | 15460              | 37924             | 90                | 591              | 74                 | -                | -                             | 145                            | 19034             | 10185     | 80201  |
| 1999   | 9722                   | 99317               | 750                   | 29091               | 18609              | 37924             | 90                | 828              | 83                 | -                | -                             | 185                            | 19259             | 10013     | 85009  |
| 2000   | 10117                  | 112849              | 750                   | 29931               | 19988              | 41933             | 90                | 1160             | 94                 | -                | -                             | 241                            | 19487             | 9839      | 90083  |
| 2001   | 11911                  | 124699              | 750                   | 30622               | 21093              | 46979             | 90                | 1372             | 106                | -                | -                             | 274                            | 19515             | 9679      | 95272  |
| 2002   | 12888                  | 129614              | 750                   | 31474               | 23362              | 51803             | 90                | 1624             | 120                | -                | -                             | 311                            | 19543             | 9520      | 100141 |
| 2003   | 15507                  | 139201              | 750                   | 32314               | 24178              | 56626             | 90                | 1921             | 135                | -                | -                             | 353                            | 19571             | 9361      | 105270 |
| 2004   | 16681                  | 144428              | 750                   | 33181               | 25912              | 63132             | 90                | 2273             | 152                | -                | -                             | 401                            | 19599             | 9205      | 110197 |
| 2005   | 21229                  | 147101              | 750                   | 34157               | 25879              | 64991             | 90                | 2689             | 172                | 7017             | -                             | 456                            | 19627             | 9045      | 116922 |
| 2006   | 26566                  | 156949              | 750                   | 35166               | 26685              | 66651             | 90                | 3032             | 193                | 7017             | -                             | 506                            | 19655             | 8887      | 123690 |
| 2007   | 31957                  | 168054              | 750                   | 36275               | 27549              | 67752             | 90                | 3418             | 217                | 7017             | -                             | 561                            | 19683             | 8730      | 130912 |
| 2008   | 36622                  | 172978              | 750                   | 37406               | 28520              | 68147             | 90                | 3853             | 244                | 14035            | -                             | 623                            | 19711             | 8573      | 139098 |
| 2009   | 42115                  | 178979              | 750                   | 38612               | 29446              | 73585             | 90                | 4344             | 274                | 14035            | -                             | 691                            | 19739             | 8417      | 147003 |
| 2010   | 49117                  | 183941              | 750                   | 39811               | 30594              | 77556             | 90                | 4897             | 308                | 14035            | -                             | 767                            | 19767             | 8260      | 155586 |



gili çalışmalar buraya devredildi ve kurum bünyesinde Nükleer Santraller Dairesi kuruldu. TEK'in bu konudaki çalışmaları yer seçimi ve uluslararası ihalelerin hazırlanması olarak iki noktada yoğunlaştı. 3. Beş Yıllık Kalkınma Planı'ndaki ilgili hükümler, TEK'in nükleer teknolojiye girişinin sağlanması, nükleer enerjinin uzun dönemde elektrik enerjisi üretiminde yurtiçi kömür, petrol ve hidrolik kaynakların ihtiyaçları karşılayamadığı dönemde işletmeye alınacak tarzda planlanması yönündeydi. Bu amaçla TEK, büyük bir nükleer güç santralının kuruluşuyla ilgili önceki yapılabirlik etüdlerinin revize edilmesi ve maksimum 80 MWe gücünde eğitim amaçlı bir prototip santralin yapımı için çalışmaları başladı. Ancak birim yatırım harcamalarının yüksek olacağı ve santralin kuruluşunun bu sebeple gecikeceği gerekçesiyle 1974 yılında eğitim amaçlı prototip nükleer santralin kuruluşuyla ilgili çalışmalar iptal edildi.

Türkiye için yeni bir teknoloji olan nükleer santrallerle ilgili çalışmaları yürütebilmek amacıyla 1975 yılında 3 İsviçre ve 1 Fransız firmasından oluşan yabancı bir müşavir-mühendislik konsorsiyumu ile sözleşme imzalandı. 1976 yılında Akkuyu'da bir nükleer santralin kurulması için TAİK'dan (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) "Yer Lisansı" alındı ve 8,5 km<sup>2</sup> lik yerin TEK'e tahsis edilmesi sağlandı. Aynı yıl içinde yabancı müşavir ile yapılan ortak çalışmalar sonucunda, dünyada elektrik enerjisi üretimi amacıyla üç tip santralin (PWR,BWR,CANDU) kurulması için ön projeler ve ihale şartnameleri hazırlandı.

1977 yılı başında nominal 600 MWe gücünde bir santralin nükleer ve türbin paketleri için, her üç reaktör tipine açık olarak uluslararası ihaleye çıkıldı. Aynı senenin ortalarında alınan tekliflerin değerlendirilmesi sonucunda, nükleer santral için ASEA-ATOM, türbin kısmı için

de STAL-LAVAL İsveç firmaları ile kontrat görüşmelerine başlandı. Bu firmalarla görüşmeler 1980'e kadar sürdü, fakat İsveç hükümetinin sağlanan kredi üzerindeki garantiyi kaldırması üzerine görüşmeler kesildi.

1982 ve 1983 yıllarında yeniden bazı firmalarla temasa geçildi. Bu girişimde Ja-

ponya hariç, dünyanın tüm nükleer enerji üreticileri konu ile ilgilendiler. AECL (Kanada), KWU (Almanya), FRAMATOM (Fransa), NNC (İngiltere), W (ABD) ve AEE (SSCB) firmaları teklif getirdiler. Bunlardan Kanada, ABD ve Almanya ile görüşmelere oturuldu ve 1983 yılı başında 3 firmanın (AECL,KWU,GE) 4 nükleer santral (Akkuyu'da 635MWe gücünde 1 ünite CANDU PHWR, 960 MWe gücünde 1 ünite KWU-PWR ve Sinop'ta 1085 MWe gücünde 2 ünite GE-BWR) kuracağı açıklandı. Bu firmalar dış para ihtiyacının tümünü karşılayacak şekilde kredi teklifleri getirdiler ve iç para ihtiyacının karşılanması için de dış finansman temin etme is-

## Ekonomik Açından Nükleer Santraller

B. Nazım Bayraktar  
Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

Her ülkenin enerji problemi, kaynakları, mali ve coğrafi durumu, siyasi ve sosyal yapısı bakımından kendine özgüdür. Bu problemin doğru çözümü, o ülkenin özel şartları dikkate alınarak yapılan çözümdür. Bununla birlikte, ülkelerdeki enerji üretim fiyat tahminlerini öğrenmek enerji planlamasında yol gösterici olacaktır.

Bir güç santralında birim elektrik enerjisi üretim maliyeti; 1. İlk yatırım maliyeti, 2. Yakıt maliyeti, 3. Bakım ve İşletme maliyeti olarak üç ana bileşenden ve dış maliyetten oluşur. Nükleer güç santrallerinin ilk yatırım maliyetleri alışlagelmiş santrallara göre yüksektir fakat yakıt maliyeti düşüktür. Toplam maliyet, santral gücüne, inşaat süresine, iskonto oranına ve kredi şartlarına (peşin, yap-işlet-devret vb.) bağlı olarak değişir. Bu bakımdan yatırım değerlendirilmesinde birim güç başına maliyete (\$/kWe), ekonomik değerlendirmelerde de birim elektrik enerjisi üretim maliyetine (mills/kWh) yani elektriğin kaçta üretildiğine bakılır.

### 1. İlk Yatırım Maliyeti

İlk yatırım maliyeti, tesis inşaatı için yapılan tüm harcamaları, tasarım ve mühendislik hizmetlerini, danışmanlık ve kurucuların harcamalarını kapsar. İlk yatırım maliyetine, nükleer güç santralının sökülmesi de dahildir. Sökülme, ekonomik olarak ömrünü tamamlamış nükleer tesisin ortadan kaldırılması için yapılan masraflardır. Nükleer tesislerde, radyoaktif maddelerin bulunması bu tesislerin ortadan kaldırılması maliyetini artırmaktadır. Tesis ilk yatırım maliyetinin %2-%10'u söküm maliyeti olarak kabul edilmekte ve hesaplamalarda dikkate alınmaktadır.

### 2. Nükleer Yakıt Maliyeti

Yıllık yakıt harcaması maliyetidir. Bir nükleer güç santralında yakıt harcamalarının birim enerji üretim maliyetine etkisi, alışlagelmiş santrallara göre çok küçüktür. Alışlagelmiş santrallarda, yakıtın toplam maliyet içindeki payı %30-%85 arasında değişmektedir. Bu bakımdan 25-30 yıllık işletme ömrü boyunca yakıt maliyetlerinde olabilecek artışlar birim üretim maliyetini büyük ölçüde etkileyecektir. Nükleer güç santrallerinde (NGS) yakıtın toplam maliyet içindeki payı düşük olduğundan (%6-%30) fiyatlardaki artışlar toplam üretim maliyetini az etkileyecektir. Bu özellik doğal uranyumlu yakıtla çalışan NGS'nde daha da belirgindir. NGS'nin ekonomikliğini kaybetmesi için, nükleer ya-

kıt maliyetinde 2-3 misli bir artış gereklidir. Oysa son yıllarda ABD ve diğer bazı ülkelerde, ekonomik durgunluk ve tasarruf önlemleri dolayısıyla gerileyen veya değişmeyen elektrik tüketimi nedeniyle NGS inşaatlarının durdurulması veya iptal edilmesi, gerek hammadde gerekse dönüştürme ve zenginleştirme hizmetlerinde bir arz fazlalığına yol açmış ve fiyatlar 1980'li yıllarda düşmeye başlamıştır. Dünyada büyük miktarda uranyum üreten ABD, Kanada ve Avustralya gibi ülkelerin politik ve ekonomik yönlerden kararlı olmaları da dikkate alınarak, yakın gelecekte nükleer yakıt fiyatlarında önemli bir artış beklenmemektedir. OECD'de yapılan tahminlerde, birkaç istisna dışında, nükleer yakıt fiyatının önümüzdeki 30-35 yıl içinde çok fazla artmayacağı (%5 iskonto oranı ile %10-%35 fiyat artışı) beklenmektedir.

Ayrıca savaş başlıklarında bulunan çok zengin uranyum ve plutonyum stoğunun yakıt olarak kullanılması amacıyla çalışmalar başlatılmıştır. Yakıt çevrimi maliyeti, genellikle yakıtın reaktörde kullanılmasından önceki maliyetini ve kullanılmış yakıt idaresi maliyetini kapsar.

Bir nükleer güç santrali kullanan ve yakıtını ithal eden bir ülke için, tüm nükleer yakıt servisi dahil olmak üzere, yakıtın kWh başına fiyatı 2.8-5.5 mills civarındadır. Bu değeri 1.2-2 mills'i uranyumun 1992 yılı kontrat fiyatıdır. (U.O.'in kg'ı yaklaşık 18-20 ABD dolarıdır).

Kömür Fiyatları: 2040 yılına kadar yapılan tahminlerde, bazı ülkelerde kömür fiyatlarının artmayacağı, bazı ülkelerde ise kömürün normal fiyat artışını (%5 iskonto oranı ile %40-%60 fiyat artışı) devam ettireceği tahmin edilmektedir. OECD'nin kömür fiyatı artışı için tahmini yıllık %0.7 şeklindedir.

Doğal Gaz Fiyatları: Doğal gaz santrallerinde, birim enerji üretim maliyetinin büyük bir kısmı birim yakıt maliyetine bağlı olduğundan, doğal gaz santrallerinin ekonomiklikleri için işletme yıllarındaki doğal gaz fiyatını tahmin etmek çok önemlidir. Uluslararası piyasalarda, doğal gaz fiyatını tahmin etmek kömür fiyatını tahmin etmekten zordur. Doğal gazın taşınması zor ve pahalı olduğundan, doğal gaz rezervlerine yakın olmayan ülkeler için ucuz ve istikrarlı bir enerji kaynağı değildir.

### 3. Bakım ve İşletme Maliyeti

Bakım ve işletme maliyetine tesis işletme harcamaları

teğine olumlu cevap verdiler. Eylül 1984'te Türk Hükümeti, nükleer santralin Yap-İşlet-Devret modeline göre yapılması görüşünü ortaya atarak firmalardan tekliflerini buna göre yenilemelerini istedi. Alman KWU firması bu teklife uymayacağını bildirince görüşmeler kesildi. Kanadalı AECL firması ise Yap-İşlet-Devret modelini prensip olarak kabul etti. Bu modele ilişkin mali düzenlemeler 1 sene kadar sürdü, Türkiye ile Kanada arasındaki Barışçı Amaçlı Nükleer İkili İşbirliği Anlaşması imzalandı ve onaylandı. Ancak Kanada firması ek olarak hükümet garantisi de isteyince, hükümetin bunu uygun görmemesi üzerine görüşmeler sonuçsuz kaldı.

ları, mühendislik ve personel ücretleri, tüketim malzemeleri, bakım ve onarım ve yarı ömürde yenileme masrafları, personel eğitimi, iş seyahatleri, tesis sigorta primleri, vergiler, günlük ücretleri, tesis güvenlik ve fiziksel korunma harcamaları dahilidir.

OECD öncülüğünde, 1983 yılından beri her üç yılda bir yapılan birim elektrik enerji üretim maliyeti tahmin çalışmalarında, Japonya ve Finlandiya dışındaki ülkelerde NGS'daki bakım ve işletme giderlerinin artmakta olduğu gözlenmektedir. En büyük artış ABD (orta batı) de %5 iskonto oranı kullanılan çalışmalarda gözlenmektedir. Birim enerji üretim maliyeti içinde bakım ve işletme giderleri yüzdesi 1983 yılında %13 iken 1986 yılında %11, 1989 yılında %29 ve 1992 yılında %38'e ulaşmıştır. %10 iskonto oranı kullanılarak yapılan çalışmalarda ise bu oran %28'lere kadar yükselmiştir. Bakım işletme giderlerinin artışı içinde en büyük katkı personel giderlerinden kaynaklanmaktadır. Hesaplamalarda kullanılan iskonto oranının üretim maliyetini önemli ölçüde etkilediği ve karşılaştırmalı çalışmalarda, yüksek iskonto oranı kullanımının kömürlü santrallerin lehine, nükleer santrallerin aleyhine bir durum yarattığı görülmektedir.

#### 4. Dış Maliyet

Enerji üretim tesislerinde dış maliyet (veya sosyal maliyet), genelde santralin çevreye verdiği etkinin maliyeti olarak tanımlanmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde göz önüne alınan riskler, birincil kaynağın elde edilmesinden son kullanımına kadar bütün süreçlerdeki tüm riskleri kapsamalıdır. Bir kaza sonrasında olabilecek mali yükün hesaplanma şekli çok önemlidir. Kaza maliyetinin anlamlı olabilmesi için meydana gelebilecek kaza olasılığı ile birlikte değerlendirilmesi gereklidir.

İstatistiksel olarak, düşük olasılık kazalarının mali yükü, elektrik enerjisi üretim maliyetinin yüzde birinin altında olup çoğunlukla binde biri düzeyindedir.

Çernobil kazasının çevresel maliyeti resmi makamlarca 8 milyar dolar, TMI kazasının çevresel maliyeti ise 26 milyon dolar olarak verilmektedir. Nükleer güç santralleri, finansmanı sağlandığı ve tesisin zamanında işletmeye açıldığı şartlarda özellikle kömürlü santrallerden daha ucuz elektrik enerjisi üretebilecek santrallerdir.

Enerji planlaması yapılırken, çevresel etki değerlendirilmesi mutlaka dikkate alınmalıdır. Enerji üretiminde kullanılacak birincil kaynakların insan sağlığına ve çevreye verebilecekleri zararların da fiyat bazına çevrilmesi (dış maliyet) ve karşılaştırmalarda dikkate alınması şarttır. Türkiye'nin doğal gaz rezervlerine yakın olması, petrol ve doğal gaz çıkarılması ve taşınması konusunda son yıllarda yaşanan gelişmeler Türkiye'ye avantaj ka-

Akkuyu'da yapılan çalışmalara paralel olarak Sinop-İnceburun'da da 1980 yılında ön-araştırmalara başlandı. Buradaki yer etüdüleri Akkuyu'dakinin aksine ta-



zandırmıştır. Diğer kaynaklar arasında, nükleer enerjinin en büyük avantajı, enerjiyi atmosferik ve siyasi olaylardan kaynaklanan belirsizliklere bağlı olmaksızın üretme garantisidir.

Nükleer enerji, fosil yakıtlı santrallara göre çok az yakıt kullanımı gerektiren ve çok az miktarlarda artık oluşturan bir enerji üretim kaynağıdır. Günümüz nükleer güç santrallerinde, doğal uranyum, kg başına 60 000 kWh enerji üretirken, bir kg kömür 3 kWh enerji üretebilmektedir. Hafif sulu reaktörlerde yılda yaklaşık 30 ton düşük zenginlikte uranyum yakıtına ihtiyaç vardır (birkaç kamyon). Eşdeğer büyüklükteki bir kömür yakıtlı santral yılda yaklaşık 2 600 000 ton kömür (her biri 1 400 ton kömür taşıyan günde 5 tren), fuel-oil yakan bir santral ise yılda 2 000 000 ton fuel-oil kullanmaktadır (10 süper tanker).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi günümüz şartlarında nükleer enerjiden ucuz değildir. Rüzgârdan elektrik enerjisi üretimi maliyeti ise nükleer elektrik enerjisi üretimi ile aynı mertebededir. Rüzgâr türbinlerinin büyüklükleri ünite başına en fazla 1 MWe'a kadar çıkabilmektedir.

Nükleer güç santrallerinin maliyeti, lisanslamadaki ek gereksinimler, bakım ve işletme maliyetlerindeki artışlar nedeniyle, bazı ülkelerde geçmiş yıllara göre artmıştır. Türkiye'de geçmiş yıllarda başarı ile tesis edilmiş ve işletilmekte olan nükleer güç santralleri olsaydı, bu santraller Türkiye'nin gelişimini etkileyebilecekti.

Yeni tasarlanan nükleer güç santrallerinin, kullanılan malzeme, sistem ve donanım bakımından daha güvenilir olacağı ve maliyetlerinin de daha düşük olacağı anlaşılmaktadır. Türkiye'de şu anda CO<sub>2</sub> emisyonu için bir vergi alınmamaktadır. Tüm termik santrallerden alınan SO<sub>2</sub> gazının yarattığı ve yaratacağı zarar hesaplanmamıştır. Türkiye, CO<sub>2</sub> gaz emisyonunu sınırlayan, İklim Değişikliği Çerçeve anlaşmasını (Rio sözleşmesini) imzalamamıştır. Türkiye-Avrupa Birliği ortak ilişkilerinde, gündeme gelebilecek yükümlülüklerin dikkate alınmasında fayda vardır.

Unutmamalıdır ki en pahalı enerji, olmayan enerjidir.

mamen yerli kaynaklarla yürütüldü. Ancak deprem açısından ortaya çıkan bazı sorunlarla ilgili araştırmalar sonuçlanmadığı için yer lisansı alınamadı. Böylece Sinop'taki araştırmalar durduruldu.

1989 yılında Arjantin, 25 MWe gücünde, pasif sistemli, modüler bir prototip (CAREM) nükleer santral tasarımı yapmak istediğini açıkladı. Bu projeyi ülkenin güneyindeki Bariloche'de uygulamayı planlıyordu. Arjantin, bu proje ile Türkiye'ye temel tasarımın bir bilgi transferi, ayrıntılı tasarımın ortaklaşa tamamlanması ve her iki ülkede birer ünitenin ortaklaşa üretim ve tesisini önerdi. Ancak TEK ve TAEK yasalarının bu tür bir ortaklığa izin vermemesi, masrafların fazla çıkması ve böyle bir tasarımın Türkiye'ye katkısı olacağından emin olunamaması gibi birçok sebepten dolayı bu girişimden 1991 yılında vazgeçildi.

Nükleer enerjiye geçiş konusunun bu kadar düşünülüp neden bir türlü gerçekleştirilemediği konusunda Nükleer Mühendis Tolga Yarman, Nisan 1994'te Mersin Üniversitesi'ndeki Çevre ve Enerji Sempozyumu'nda şu görüşleri dile getirmişti:

“Nükleer enerjiyi tutku düzeyinde savunanlar, devletin kimi kademelerinde, şu veya bu nedenle az veya çok ilgi uyandırmış olsalar da, son toplamda sanırım, pek ciddiye alınmamışlardır. Atom enerjisi alanında sorumluluk yüklenmiş olanlar, diğer taraftan, eğer konuyu sahiden ciddiye almış olsalardı, her şey bir yana, bir defa (bireysel çabalara dönük takdir hissimizi saklı tutarak belirtelim), Atom Araştırma Merkezlerimiz, doğru düzgün verimliliği, olgunluğu yaşamadan kavruklaşmaz, kırışmaz; vasat altındalığın kol gezdiği, nikbinlik duyguları ve amaçsızlıklar içinde pörsümeye koyulmazdı...”

Ekim 1992'de TEK dünyadaki büyük nükleer santral imalatçısı firmalara mektup yazarak, 1000 MWe gücünde bir veya iki üniteli nükleer santralin 2002 yi-

İnşa devreye girmek üzere Türkiye'de kurulması için teknik ve mali konularda bilgi istedi. Bu davet için 7 firma başvurdu ve 5 tanesi ayrıntılı teklif verdi. Bu doğrultuda nükleer santrallerle ilgili olarak dünyadaki güncel durumu değerlendirmek, Türkiye için öneride bulunmak ve teknik şartname hazırlamak üzere bir danışman firma seçimi için teklif istendi.

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi'nin 1993 yılı enerji raporuna göre ülkemizde 2005 ve 2008 yıllarında devreye girmek üzere toplam 2000 MWe kapasiteli nükleer santrallerin kurulmasına gereksinim olduğu açıklanmıştır. 1990-1994 yılları dönemini kapsayan VI.

Beş Yıllık Kalkınma Planı'na göre nükleer enerjiye geçiş için çalışmalar başlatılacaktır.

Nükleer santrallerin yapımı tüm engeller aşılabilsin bile İzmir, İstanbul ve Silifke'de oluşan anti nükleer platformlar gözardı edilmemelidir. Kentlerde ve daha küçük yerleşim birimlerinde anti-nükleer gruplar çeşitli eylem planları hazırlıyor hatta uluslararası örgütlerle de iletişim kuruyorlar.

Türkiye'nin henüz ulusal bir nükleer enerji politikası bulunmuyor. Ancak nükleer enerjiye geçiş programının çok kapsamlı, çok yönlü bir konu olması sebebiyle ulusal organizasyonun kısa sürede

oluşturulması büyük önem taşıyor. Böyle bir organizasyon nükleer enerji programının her kademesinde, hükümetten, kamusal ve özel kurumlara, üniversitelere, araştırma ve geliştirme merkezlerine kadar her yere uzanabilecek yapıda olmalıdır. Herşeyden önce de nükleer enerji santralleri kurulmasının ülkede gerçekleştirilmiş her türlü dev projeden daha kapsamlı, çok yüksek teknolojik düzey ve sorumluluk gerektiren projeler olduğu unutulmamalıdır. Bu teknolojiye girmek için: Öncelikle nükleer politikasının ve hedeflerin belirlenmesi, ihtiyaç duyulan konularda programlar hazırlanması, sanayiden gelebilecek katkıları belirlemek

## Nükleer Santrallerin Çevreye Etkileri

Zübeyde Garipoğlu  
Çevre Yük. Müh.

"Çevre kirliliği insan hayatını tehdit eden bir olaydır. Masraflı olmakla beraber alınacak önlemlerle engellenmesi veya kısıtlanması mümkündür. Ancak, nükleer bir kazanın önlenmesi mümkün değildir. Açığa çıkan radyoaktif maddeler hakim rüzgarlara göre yol alıp çeşitli şekillerde yere inerek çok geniş bir bölgeyi kontamine edebilirler. Örneğin, Çernobil nükleer santral kazası çevrenin geniş çapta radyoaktif maddelerle kirlenmesine neden olmuştur."

"Bir nükleer santralin insan hatası ile kazaya uğrayabileceği görülmüştür, en güvenli sistemlerde dahi insan hatasının gözardı edilemeyeceği kabul görmektedir."

Nükleer reaktörlerin çalışmaları esnasında, yakıt proses tesislerinde, yakıt elemanlarının nakledilmeleri sırasında nükleer kazalar meydana gelebilir. Dünyada son 35 yıldaki nükleer kazalar istatistiğine bakıldığında 7 büyük kazanın meydana geldiği görülür, bu yaklaşık olarak her 5 yılda bir kazaya tekabül etmektedir.

Bir nükleer kazada iki önemli tehlike söz konusu olmaktadır.

\* Radyoaktif maddelerin, kazanın meydana geldiği nükleer merkez bölgesinde konsantrasyonun (On-Site kaza durumu).

\* Gaz ve parçacık şeklinde radyoaktif maddelerin nükleer merkez bölgesi dışına taşarak çok geniş bir alana dağılması (Off-Site kaza durumu).

Birincisi diğer kaynaklara oranla daha tehlikeli bir durum yaratmakla birlikte, ikincisinin yıllarca sürmesi diğer önemli bir tehlike durumudur. Çünkü, kazada açığa çıkan yüksek konsantrasyonlu radyoaktif maddeler çeşitli yollarla geniş bir alana dağılarak, yerleşim yerlerini, caddeleri, yolları, radyoaktif maddelerle kirlenir. Yüksek konsantrasyonlu radyoaktif maddeler çeşitli yollarla geniş bir alana dağılarak meskun ve meskun olmayan yerleri, caddeleri, yolları radyoaktif maddelerle kirlenir. Eklili arazi üzerinde meydana gelen atmosferik depolanma toprak yüzeyini, bitkilerin köklerini ve toprak üstü kısımlarını kontamine eder, yeraltı ve yüzeysel sular (göller ve deniz dahil olmak üzere) radyoaktif maddelerle kirlenir ve doğanın radyoekolojik dengesi bozulur. Bu durum çevrenin radyoaktif maddelerle kirlenmesinin esasını teşkil eder. Ancak, bu kirlenme süreklilik göstermeyip etkileri uzun sürebilen bir tehlike durumu yaratır.

Yer kirlenmesini meydana getiren radyoaktif maddeler, dış ışınlama ve gıda zinciri gibi dolaylı yollardan insana geçerek toplum sağlığını tehlikeye sokarlar. Ancak, yüzeylerin ve bitki örtüsünün kontaminasyon derecesi kaza merkezinden uzaklaştıkça azalmaktadır. Böylece gıda maddelerinin rahatlıkla alınabileceği ve hayvanların et ve süt ürünlerinden faydalanılabilecek alanlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bir nükleer kazadan sonra geçen uzun süreler içerisinde derinlemesine tehlike durumu gözlenerek toprak, su, bitki örtüsü, gıda maddeleri ve sütteki kontaminasyon derecesi tayin edilir ve kaza merkezinden olan uzaklıklara göre kirliliği tesbit edilir.

Nükleer kaza merkezi civarında bazı hallerde kontaminasyon 10 yıldan fazla sürebilir. Bu durum kirlenen alanın büyüklüğüne, arazide ekin bulunup bulunmadığına, radyoaktif maddelerin fiziksel ve kimyasal şekline bağlıdır. İlk depolanmadan sonra çayırda depolanan radyonüklidler kısa bir süre içerisinde çayır, inek, süt yoluyla geçebilir. Sütteki en yüksek aktivite düzeyi kazadan sonraki 2 ile 3 gün arasında meydana gelir. Ancak, önemli miktarda 24 saat içerisinde erişmektedir. İlk yıl içerisinde ise diğer beslenme yollarıyla insana geçen radyonüklidler söz konusu olmaktadır. İlk yılı takip eden diğer yıllarda ise toprağa ve bitkilere geçen Sr-90 gibi uzun ömürlü radyonüklidler önem kazanmaktadır.

Bir nükleer kazada çevrede yaşayan toplum üyeleri, bulutlardan ışınlama ile, atmosferi kirlenen radyoaktif maddeleri soluyarak, zemine depo edilen radyoaktif maddelerden iç ve dış ışınlama ile, radyoaktif maddelerin gıda zinciriyle insana ulaşmasıyla zarara uğrarlar.

Depolanmadan hemen sonra radyoaktif maddelerin yaklaşık olarak %50'si bitkilerde depolanır ve otlarla beslenen hayvanların sütleri, etleriyle insanlara taşınır. Diğer bir taşınma yolu da içme sularıdır. Deniz ve göllere bulaşan çeşitli radyoaktif maddeler denizdeki kabuklu hayvanlarda, bitkilerde, yosunlarda depolanır, balıkları kontamine edebilir.

Reaktörler inşa edilmeden önce muhtemel bir kaza sonucu çevreyi kirlenen radyoaktif maddeler ve yayınladıkları iyonlaştırıcı ışınları artırdığı öldürücü kanser riski önceden hesaplanmaktadır.

Nükleer bir kazada radyoaktif maddelerle kirlenen çevrenin meydana getireceği zararları azaltmak veya önlemek üzere; kismen veya tamamen yasaklamalar, kontamine olan alanların dekontaminasyonu, buğday ve ekinlerin tarladan kaldırılması, toprak yüzeyinin kaldırılması, toprak derinliklerine gömme gibi bazı önlemler almak gerekmektedir.

Nükleer santraller her türlü güvenlik önlemleri göz önüne alınarak inşa edilmeye çalışılmaktadır. Ancak kazanın meydana gelme olasılığı sıfıra indirilememiştir. Zaten son 35 yılda meydana gelen nükleer kazalar, bir kazanın meydana gelmesinin tamamen önlenemeyeceğini göstermektedir.

Çevre ve toplumun göreceği zarar kaza biçimine paralel olarak değişmektedir. Nükleer kazalar sonunda geniş bir toplum kesitinin aynı yüksek dozlarla ışınlanması gerçek dışıdır denilse de önemli olan kaç kişinin ışınlandığıdır (yüksek ya da düşük doz farketmemektedir). Bununla beraber meydana gelen radyoaktif kirlenmeler, çevrede ve toplumda 10 yıl veya daha fazla sürecek iç ve dış ışınlamalara yol açacaktır. Bu nedenle toplumun ışınlamalara maruz kalması gibi bir tehlike potansiyeli daima vardır.

Amerika'da meydana gelen TMI2 kazası, 1957 yılında İngiltere'de meydana gelen Windscale kazasından daha az zararlı atılmış, reaktör personelinin ve toplumun maruz kaldığı ışınlamalar daha küçük olmuştur. Kaza ilk defa modern ticari bir nükleer güç santralında meydana gelmesi bakımından önemlidir. Reaktörün ve civarının kirlenmesi, büyük bir sorun yaratmış olmakla birlikte TMI2 kazası doğrudan veya dolaylı olarak büyük masraflara yol açmış, reaktörü güvenilir ve temiz duruma sokabilmek için yaklaşık olarak 1034 milyon dolar sarf edilmiştir. Bu rakam, o tarihteki maliyetlere göre yeni bir reaktörün inşa edilmesi için 1000-3000 milyon dolar arasında bir meblağ gerektirdiğinden, yeni bir reaktörün yapımı için gerekli inşa masraflarına eşitlenmiştir. 1992 yılı sonu itibarıyla Çernobil kazasının maliyeti ise 250 milyar dolar bulmuştur.

Nükleer santrallerin yaratacağı sorunlar sadece kazalarla da sınırlı değil kuşkusuz. ODTÜ Çevre ve İnşaat Mühendisliği Bölümleri'nce 1985 yılında Akkuyu Nükleer Santrali'nin yapılacağı yerdeki çevresel özellikleri ortaya koymak üzere yapılan çalışmada "planlama aşamasında 1000 MWe gücünde olacağı kabul edilen NS ile ilgili olarak 50 metre küp/saniye debideki deniz suyunun Akkuyu Koyu'ndan alınıp 10.4 derece fazla sıcaklıkta Aksaz Koyu'na verileceği düşünülmüştür. Isısı artmış olarak verilecek yüksek debideki suyu bu koy ve açıklardaki doğal dengesi bozacağı ve özellikle balıklar açısından uygun olmayan çevre koşullarını yaratacağını beklemek doğaldır" denilerek santralin neden olacağı ısı kirlenme üzerinde durulmaktadır.

Ülkemizin alternatifi, sıfır hata teknolojisi henüz keşfedilmemiş olan nükleer enerji değil ama yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarıdır.

Güneşimizi baskıyla sıvamaya kalkıp, nükleer santral yapmak isteyenlere yanıtımız hayır olacaktır.

için fizibilite çalışmaları yaparak ulusal sanayinin bu kapsamda değerlendirilmesi ve yönlendirilmesi gereklidir.

Nükleer projelerin en belirgin özelliği çok sıkı kuralları bulunan güvenlik standartları ile özel kalite temini ve kalite kontrolü gerekleri ile çalışma zorunluluğudur.

## Radyasyon Etkisi

Nükleer santrallerin insan sağlığı için hiç zararı yoktur demek mümkün olmasa da bunu örneğin bir termik santralla karşılaştırdığımızda oldukça düşük risk seviyesinde kaldığını görürüz.

## Radyoaktif Atıklar

İlk öğretim yıllarında önemle üzerinde durulan bir nokta, maddenin ne yaratılabildiği ne de yok edilebildiğidir. Aynı şekilde yakıt da enerji üretmek üzere yandı-ğında yok olmaz; "atık" denen diğer formlara dönüşür. Uranyum, kömür ya da herhangi bir diğer madde yakıldığına da durum aynıdır. Nükleer alanda "yüksek seviyeli atık" denen bu kalıntılar, üzerinde fazlaca durulan ve tartışma konusu olan bir alan teşkil eder.

Yüksek seviyeli atığın tehlikeleri ve bu konuda alınmış koruyucu önlemlere girmeden önce, nükleer atığı, termik santrallerden çıkan atıkla karşılaştırmak yararlı olabilir. Kömürün yanması sonucu çıkan atığın en yüksek oranda içerdiği madde, saniyede 250 kilogram dakikada 15 ton oranında çıkan karbondioksit gazdır. Karbondioksit özellikle tehlikeli olan bir gaz değildir; ancak kömür, petrol ve gazın yanmasıyla ortaya çıkan büyük miktarların dünya iklimi üzerinde olumsuz etkileri olduğu açıktır. Kömürün yanması sonucu çıkan diğer bir kirletici gaz da, otomobillerin yaydığı en önemli kirletici olarak bilinen nitrojenoksittir. Bir tek santral, 200 000 otomobilin yayacağı kadar çok nitrojenoksit yayar.

Termik santrallerden çıkan dumandan büyük ölçüde temizlendiği yolunda yaygın bir izlenim vardır. Oysa bu, yalnızca gözle görülür kirlilik yaratan büyük parçacıklar için geçerlidir. Daha zararlı olan küçük parçacıklar düşünüldüğünde, durum çok daha olumsuzdur; çünkü bu parçacıklar, vücudun savunma sistemini aşip, akciğerin içlerine kadar ulaşabilirler. Kömür kaynaklı bir kirletici de, sonraki kuşaklarda kansere ve genetik bozukluklara yol açabilen "çokdöngümlü hidrokarbonlar"dır; en bilineni, sigaranın içerdiği kanser yapıcı başlıca etken olduğu düşünülen benzeniprenendir. Kül ise dakikada 2,200 kg oranında çıkan bir katı madde yığıdır ve ortadan kaldırılması sırasında çözülmesi çok güç bazı çevresel sorunlara, sağlığa yönelik ciddi ve uzun vadeli etkilere yol açar.

Bir nükleer santralın atıkları, termik santral atıklarından çok büyük iki farkla ayrılır. Birincisi, söz konusu miktarlar bakımından farklıdır. Nükleer atık ağırlık olarak 5 milyon kez, hacim olarak da milyarlarca kez daha küçüktür. Bir yıllık işleyiş sonucu çıkan nükleer atık, 1,5 ton ağırlığındadır ve 380 litrelik bir alan işgal eder. İkinci büyük fark, nükleer atıkların, yaydığı radyasyona bağlı olarak sağlığa yönelik bir tehdit unsuru oluşturmalarına neden olan radyoaktivitedir. Öte yandan kömür atıklarının sağlığa yönelik başlıca tehdidi, kimyasal aktivitelelerinden kaynaklanır.

Büyük bir güç santralindeki atıklar, yakıt çubuğunda; yani içinde uranyum yakıt silindirelerinin yer aldığı 3,7 metre uzunluğunda, 1,5 cm çapında tüplerin içinde

| Çeşitli Dozlar ve Etkileri |  |
|----------------------------|--|
| Kısa süreli yüksek dozlar  |  |
| Sv                         | Olası Etkiler                                      |
| 10                         | Birkaç ayda %100 ölüm                              |
| 3                          | %50 ölüm   |
| 2                          | Ömür kısalması olasılığı                           |
| 0.5                        | Klinik olarak gözlenen hiçbir etki yok             |
| 0.25                       | Halk için maksimum kaza dozu                       |
| 0.12                       | Chernobyl kazasında yakın çevre dozu               |
| Uzun süreli alçak dozlar   |  |
| m Sv                       | Doz örnekleri                                      |
| 50                         | Radyasyon işçisi yıllık doz sınırı                 |
| 15                         | İşyerinde soruşturma dozu                          |
| 5                          | Halk için yıllık doz sınırı                        |
| 2.1                        | Çevre fon radyasyonu                               |
| 1                          | Uzun süreli halk doz sınırı, tek mide radyografisi |
| 0.01                       | Yıllık televizyon dozu, 3 saat uçak yolculuğu      |

ABD'de NCR tarafından yapılan etüdlere göre bir reaktörün büyük kaza olasılığı 1/20.000 ila 1/200.000 kadardır, ancak bunun %1'inde çevreye

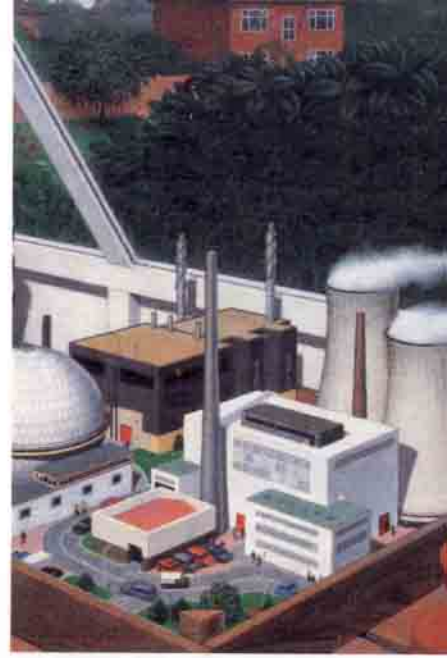
bulunur. Bunların üçte biri, yani yaklaşık 30 tonu her yıl reaktörden çıkarılır ve gemiyle bir kimyasal tekrar işleme tesisine gönderilir. Burada yakıt asiri içinde çözülür; uranyum ve plutonyumun %95'i ileride tekrar kullanılmak üzere ayrılır. Geriye kalan 15 tonluk yüksek seviyeli atık, her biri 36 cm çapında, 3 metre uzunluğunda ve 450 kg ağırlığında otuz silindirik formunda cama dönüştürülür. Atık formu olarak camdan daha üstün malzemeler üzerinde birçok çalışma vardır; ancak camın yetersiz olduğu yolunda hiçbir kanıt yoktur. Doğal birçok kaya camdır ve diğer kayalar kadar dayanıklıdır. Yaklaşık bir kamyon yükü olan bu 15 tonluk atık cam, gemiyle bir depoya gönderilir ve burada sürekli kalmak üzere toprağın derinlerine gömülür.

Tehlikeyi en aza indirmek için atık camına birtakım koruyucu sistemler yerleştirilir. Zehirliğin oldukça yüksek olduğu ilk birkaç yüz yıl için, atığın yeraltı suyu aracılığıyla kaçmasını engelleyecek birçok önlem alınır. Bunların ilki ve en önemlisi, atığın çok az yeraltı suyu akışı olan ya da hiç olmayan ve jeoloğların bu konuda kesinlikle emin oldukları bir kaya formasyonu içine gömülmesidir. Eğer jeoloğlar yanlışsa ve atığın gömülü olduğu kaya formasyonu içinde önemli miktarda bir yeraltı suyu akışı olursa, önce kayanın büyük bir kısmını çözmesi gerekecektir. Atık tuza gömülmüşse, bu unsurun çok az koruma sağlayacağı düşünülebilir. Çünkü tuz su da hemen çözünür. Bununla birlikte ABD'de deneysel bir depo alanı olan New Mexico bölgesinde yeraltından akan tüm suyun tuzun içinden geçmesi sağlansa bile, bir depoyu çevreleyen tuzun erimesi bir milyon yıl alacaktır.

Bir sonraki koruma tabakası olan ve atık tabakasını saran dış dolgu maddesi, ıslanıldığında suyu dışarıda tutmak için şişecek olan bir sıvadır. Eğer su dışarıya geçecek olursa, atığa ulaşmak için camın içinde bulunduğu metal muhafazayı aşması gerekecektir. Bu muhafazanın malzemesi, aşınmaya karşı çok etkin dayanıklılık sağlamak üzere geliştirilmiştir. Daha normal yeraltı suyu koşulları söz konusu olduğunda bu muhafazalar bütünlüklerini yitirinceyle ilgili koruyacak ve hepsi başarısız olsa bile kendi başlarına oldukça yeterli bir koruma sağlayacaklardır. Diğer koruma tabakası, cam formunda olan ve çözünmeyen atıktır. Babil'den kama, küçük camdan heykeller nehir yataklarında sürekli akan suyla 3 000 yıl boyunca yıkanmış ve çözünmemiş olarak bulunmuştur.

Yapılan araştırmalar, atık camının yüz milyonlarca yıl dayanacağını gösteriyor. Ancak tüm koruma yöntemleri başarısız olsa ve radyoaktivite suya sızsa da, bu durum rutin kontrollerle kolayca tetkik edilir ve suyun içme ya da besin maddelerinin sulanması amacıyla kullanılması derhal önlenir.

Kaynak: Cohen B.L., Çok Geç Olmadan, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 1995



önemli oranda radyasyon sızır. Nükleer santraller fosil yakıt santrallerine oranla 30/130 kere daha az tehlikelidir. Bu önermeye göre 100 reaktörü bulunan ABD'de önümüzdeki 20 yılda böyle bir kaza olma olasılığı 1/20,000 x 1/100 x 100 x 20 = 1/1000 şeklinde hesaplanır. Ayrıca böyle bir kaza olsa bile, yakın çevredeki halka intikal edebilecek doz miktarının 0.1 ila 1 Sv kadar olacağı ileri sürülmektedir. ABD'deki TMI kazasında hiçbir çalışan müsaade edilen yıllık doz sınırından fazla doz almamıştır. Bu kazada, 50 millik bir alanda yaşayan 2 milyon kişiden herbirinin 0.012 mSv doz aldığı tahmin edilmektedir. Chernobil kazasında ölen itfaiye işçilerinin aldığı dozun da 4-16 Sv civarında olduğu tahmin edilmektedir.

## Çevre Etkisi

Fosil yakıtlı santraller çevreye karbondioksit, kükürt asitler, azot oksitler ve katı parçacıklar bırakırlar. Bu atıklardan CO<sub>2</sub> tam olarak kontrol altına alınamamaktadır. Nükleer santrallerin ise en büyük etkisi radyoaktif atıklardır. Bunun dışında CO<sub>2</sub> veya yukarıda saydığımız diğer zararlı atıkları yaymazlar.

Eğer 1000 MWe gücündeki bir termik santral yerine aynı güçte bir nükleer santral kurulacak olursa, yılda 6,5 milyon ton CO<sub>2</sub> ve 45.000 ton SO<sub>2</sub>, 20.000 tondan fazla NO<sub>x</sub>, arsenik, kurşun kadmiyum veya cıva gibi 400 ton madde içeren toplam 320.000 ton kül yayılması önlenmiş olur. Nükleer santrallerin yer seçimi iyi yapıldığı takdirde



zararlı atıkların hiçbirini içermediği ve bu açıdan en çevreci santraller olduğu söylenbilir. Radyoaktif çöplerin imha teknolojilerinin de geliştirilmesiyle atık sorunu ortadan kalkar. Türkiye için önemli olan, ekonomik engeller aşıldığında, böyle bir santralin kurulması halinde atıkların yok edilmesi sisteminin çok büyük bir titizlikle planlanması ve gerçekleştirilmesi olacaktır. Çevreye ve insan sağlığına

zararlı atıkların hiçbirini içermediği ve bu açıdan en çevreci santraller olduğu söylenbilir. Radyoaktif çöplerin imha teknolojilerinin de geliştirilmesiyle atık sorunu ortadan kalkar. Türkiye için önemli olan, ekonomik engeller aşıldığında, böyle bir santralin kurulması halinde atıkların yok edilmesi sisteminin çok büyük bir titizlikle planlanması ve gerçekleştirilmesi olacaktır. Çevreye ve insan sağlığına

zararlı atıkların hiçbirini içermediği ve bu açıdan en çevreci santraller olduğu söylenbilir. Radyoaktif çöplerin imha teknolojilerinin de geliştirilmesiyle atık sorunu ortadan kalkar. Türkiye için önemli olan, ekonomik engeller aşıldığında, böyle bir santralin kurulması halinde atıkların yok edilmesi sisteminin çok büyük bir titizlikle planlanması ve gerçekleştirilmesi olacaktır. Çevreye ve insan sağlığına

zararlı atıkların hiçbirini içermediği ve bu açıdan en çevreci santraller olduğu söylenbilir. Radyoaktif çöplerin imha teknolojilerinin de geliştirilmesiyle atık sorunu ortadan kalkar. Türkiye için önemli olan, ekonomik engeller aşıldığında, böyle bir santralin kurulması halinde atıkların yok edilmesi sisteminin çok büyük bir titizlikle planlanması ve gerçekleştirilmesi olacaktır. Çevreye ve insan sağlığına



zararlı atıkların hiçbirini içermediği ve bu açıdan en çevreci santraller olduğu söylenbilir. Radyoaktif çöplerin imha teknolojilerinin de geliştirilmesiyle atık sorunu ortadan kalkar. Türkiye için önemli olan, ekonomik engeller aşıldığında, böyle bir santralin kurulması halinde atıkların yok edilmesi sisteminin çok büyük bir titizlikle planlanması ve gerçekleştirilmesi olacaktır. Çevreye ve insan sağlığına

| Linyitli Santrallerin Çıkaracağı ve Nükleer Santrallerin Önelebileceği Katı ve Gaz Atıklar: |       |            |                             |       |       |      |       |
|---|-------|------------|-----------------------------|-------|-------|------|-------|
| Linyit  | Güçü  | Devreye    | 1983-1994 Ort. (Milyon Ton) |       |       |      |       |
| Santrali  | (MWe) | Girişi     | Toz                         | Kül   | CO2   | SO2  | NO2   |
| Elbistan A 1-4  | 1360  | 23.05.1984 | 30,6                        | 37,8  | 114,9 | 5,3  | 0,18  |
| Seyitömer 1-4   | 600   | 06.07.1973 | 14,8                        | 18,3  | 55,7  | 2,6  | 0,09  |
| Tunçbilek A   | 129   | 15.04.1956 | 3,2                         | 3,9   | 12,0  | 0,5  | 0,02  |
| Tunçbilek B   | 300   |            | 7,4                         | 9,2   | 27,8  | 1,3  | 0,04  |
| Yatağan 1-3   | 630   | 20.10.1982 | 15,6                        | 19,2  | 58,5  | 2,7  | 0,09  |
| Yeniköy 1-2   | 420   | 17.09.1986 | 7,5                         | 9,3   | 28,4  | 1,3  | 0,04  |
| Soma A  | 44    | 24.07.1957 | 1,1                         | 1,3   | 4,1   | 0,2  | 0,006 |
| Soma B 1-6  | 990   | 29.09.1981 | 24,5                        | 30,3  | 92,0  | 4,2  | 0,15  |
| Çayırhan 1-2  | 300   | 01.06.1987 | 4,7                         | 5,8   | 17,7  | 0,8  | 0,28  |
| Kangal 1-2  | 300   | 22.12.1989 | 3,0                         | 3,7   | 11,4  | 0,5  | 0,02  |
| Orhaneli 1  | 210   | 01.01.1992 | 1,2                         | 1,4   | 4,4   | 0,2  | 0,007 |
| Kemerköy 1-3  |       |            |                             |       |       |      |       |
| Toplam 31   | 5283  |            | 113,6                       | 140,2 | 426,9 | 19,2 | 0,91  |
| 1977'den sonra kurulan  | 4210  |            | 87,1                        | 112,8 | 327,3 | 15,0 | 0,76  |

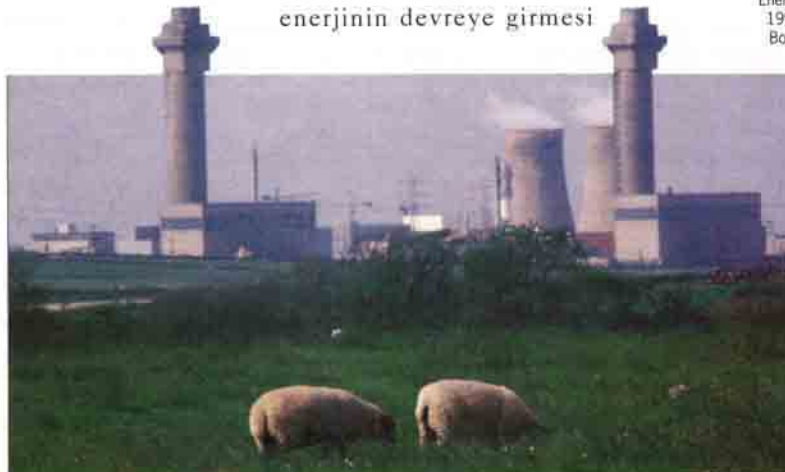
| Nükleer   |         |           |                                 |       |       |      |      |
|-----------|---------|-----------|---------------------------------|-------|-------|------|------|
| Santrali  | Güçü    | Kurulması | Önelebileceği Atık (Milyon Ton) |       |       |      |      |
| (MWe)     | Hafinde | Toz       | Kül                             | CO2   | SO2   | NO2  |      |
| Aspa Atom | 600     | 1983-1994 | 14,86                           | 18,36 | 55,77 | 2,58 | 0,09 |
| KWU       | 1000    | 1990-1994 | 8,73                            | 10,79 | 32,78 | 1,89 | 0,05 |
| Toplam    | 1600    |           | 29,15                           | 29,15 | 87,55 | 4,47 | 0,14 |

ğına ne ölçüde duyarlı bir toplum olduğumuz hesaba katılırsa radyoaktif atıkların aslında reaktörün işlemeye başlatılmasından önce ciddiyetle üzerinde durulması gereken bir konu olduğu yadsınamayacak bir gerçek olarak karşımıza çıkacaktır.

Nükleer santralleri diğer santrallerden ayıran en büyük özellik olan radyoaktif maddelerin varlığına karşın, dünyada çalışmakta olan reaktörlerin, izin verilen değerlerin altındaki değerlerde çalıştıkları işletme kayıtlarından görülebilir. Herhangi bir kaza halinde ise etkinin azal-

miz için önemli olan, bu enerjinin çevresel etki değerlendirilmesinin bir an önce yapılması ve Gökova termik santrali gibi bir olumsuzluğun tekrar yaşanmamasıdır.

Unutulmamalıdır ki nükleer enerjinin devreye girmesi



"teknik" bir sorundan ziyade "politik" bir sorundur. Nükleer enerjinin gerekliliği ve vazgeçilmezliği tezi gelecek için ulusal kaynaklarımızın talep karşısındaki yetersizliği temeline dayanmaktadır. Güneş, rüzgar, su gibi alternatif kaynakların varlığı da bir gerçektir. Bunların devreye girmesi de kuşkusuz politik kararlar sonucunda olacaktır. Nükleer enerjiyi devreye sokmak için ne çevre ve insan sağlığıyla ilgili olumsuzluklara sırt çevirip "nükleer enerji taraftarlığı" yapmak, ne de bilimsel verilerden yoksun olarak duygusal bir yaklaşımla olaya bakmak Türkiye için bir fayda sağlayacaktır. Burada en önemli yaklaşım "nesnel" bir yaklaşım olacaktır. Dünyadaki nükleer santralleri ve etkilerini çok iyi gözlemleyerek, diğer alternatif enerji kaynaklarının fayda ve zararlarını da gözönüne alarak enerji taleplerimiz, sağlığımız ve gelecek nesiller hakkında en doğru kararın nesnel olarak alınması gerekmektedir.

Yaprak Renda

Konu Danışmanı: Prof.Dr. Osman Kadiroğlu

- Kaynaklar**  
 Alat,A./ Yücel,A./ Aktürk,S. "Türkiye'nin Genel Enerji Programı İçinde Nükleer Enerji Politikası Ne Olmalıdır?", Türkiye 6. Enerji Kongresi, DEKTMK Yayını, 4. Cilt,1994, İzmir.  
 Aybers, N. "Nükleer Enerjinin Fayda ve Zararları", Türkiye 6. Enerji Kongresi, DEKTMK Yayını,1. Cilt, 1994, İzmir.  
 Bektaş,Y./ Bayraktar,N./ Göktepe,G. "Elektrik Enerjisi Üretiminin Çevre Etkileri", Türkiye 6. Enerji Kongresi, DEKTMK Yayını, 2. Cilt, 1994, İzmir.  
 Bozkurt, G. "Elektrik Sektöründe Nükleer Santrallerin Yeni Alternatifleri ile Ekonomik ve Çevre Açısından Karşılaştırılması", Türkiye 6. Enerji Kongresi, DEKTMK Yayını, 2. Cilt, 1994, İzmir, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi 1993 Enerji Raporu, 1994, Ankara.  
 Öner, D./ Bayraktar,N. Nükleer Enerji Raporu, TAEK Yayını, 1994. TUSİAD. Enerji Sektöründe Geleceğe Bakış- Arz, Talep ve Politikalar, 1994.  
 Özmen,R. "Türkiye'de Nükleer Enerji Programı Yönetimi İçin Ulusal Organizasyon", Türkiye 6. Enerji Kongresi, DEKTMK Yayını,4.Cilt, Ekim 1994, İzmir.  
 Yarmancı, T."Enerji Sorunumuz ve Nükleer Enerji", Çevre ve Enerji Sempozyumu, Mersin Üniversitesi, 1994.

# Radyasyonun Biyolojik Etkileri

**B**İRLEŞMİŞ Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi, BM Genel Asamblesi'ne 1994 raporunu sunduğunda, uluslararası topluluk iyonlaştırıcı radyasyonunun düşük dozlarının biyolojik etkileri hakkında geniş bilgi sahibi oldu. 272 sayfalık rapor, özellikle radyasyonun kanserojen etkileri konulu epidemiyolojik çalışmalara; hücrelerin ve organizmaların radyasyona karşı uyumsal tepkilerine dikkat çekiyordu.

Ayrıca BM'e 1993 yılında sunulan çok daha kapsamlı, 928 sayfalık UNSCEAR raporunu tamamlayıcı bir ek niteliğindedir. 1993 tarihli rapor radyasyonun dünya genelindeki seviyeleri ile radyasyonun etkileri konusunun belli başlı noktalarına temas ediyordu. Bu konuların içinde doz seviyelerinin etkileri ile radyasyonun kalıtsal etkileri ve çocuklarda sonradan ortaya çıkan etkileri bulunuyordu.

Bu iki rapor birlikte incelendiğinde, iyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik etkileri konusunda mevcut bilginin çarpıcı bir dökümü ortaya çıkmaktadır.

## Radyobiyojik Etkileri-Mevcut Anlayış

20. yüzyılın başlarında, iyonlaştırıcı radyasyonun yüksek dozlarının korunmasız bir birey üzerinde öldürücü olabilecek kadar ciddi etkileri olabileceği bilinmekteydi. Yirmi otuz yıl önce, düşük dozlarında ciddi sağlık sorunlarına yol açabileceği anlaşıldı. Bu sorunun ortaya çıkma olasılığı düşüktü ve sadece gelişmiş epidemiyolojik çalışmalarla büyük popülasyonlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda tesbit edilebiliyordu. UNSCEAR raporu sayesinde bu etkiler şimdi daha iyi anlaşılabilir ve miktarları daha iyi saptanabiliyor.

Radyasyonun biyolojik etkileri, hücrenin kimyasal yapısına verdiği zararlar nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Düşük radyasyon dozları için, hücrenin nükleusundaki (çekirdeğindeki) deoksiribonükleik aside (DNA) zarar gelmesi de sözkonusudur. Bu zarar, bir hücreden geçerek nesilden nesile aktarılan bilgiyi değiştirebilen ana hücrelerdeki kromozomlarda bulunan genlerde meydana gelen DNA mutasyonu şeklinde ifade edilir. DNA mutasyonuna etki eden onarım mekanizmaları olmakla birlikte, bu mekanizmalar hatasız değildir. Hasarın çoğu giderilir, ancak olduğu gibi kalan ya da iyi onarılmayan bir kısım hasarın hücrede ve gelecek kuşaklarda olumsuz etkileri olur.

## Kanserojen Etki

Radyasyonun en önemli tahmini etkilerinden biri kanserojen oluşudur. Bunun çok aşamalı bir süreç olduğu ve genellikle üç ayrı aşama olarak ele alınması gerektiği düşünülür: kanser başlangıcı, tümör oluşumu ve hastalığın ilerleyişi. Radyasyonun ilerletici veya hızlandırıcı niteliğinden ziyade başlatıcı olması önemlidir. Bu yüzden düşük radyasyon dozlarında başlangıçta mutasyonların doza oranlı olma eğilimi gibi, kanserojen etkinin de doza oranlı olması gerekir.

Organizmalardaki uyumsal tepki: Laboratuvarında radyasyona maruz bırakılan memelilerde organik uyumsal tepkiler görüldüğü bilimsel yazında belirtilir. Ancak sonuca yönelik kanıtların yetersizliği nedeniyle uyumun hücresel sistem düzeyinde de oluşup oluşmadığı ve bağışıklık sisteminin bu süreçte bir rol oynayıp oynamadığı konusunda UNSCEAR raporu şüphelidir.

## Kanserojen Etki ile İlgili Epidemiyolojik Kanıtlar

Belirli bir hastalık durumunun radyasyona bağlanıp bağlanamayacağını klinik olarak saptamak mümkün olmasa da radyasyonun neden olduğu tümörler ve lösemi incelenmiştir ve yüksek radyasyon dozlarından etkilenim sonrasında ortaya çıkan durumlara ilgili epidemiyolojik çalışmalarla istatistiksel olarak incelenmiştir. Kanserlin başlangıcından klinik tanımına kadar olan zaman süreci kuluçka devresi olarak adlandırılır. Bu devrede löseminin oluşumu kısa bir süre alınırken sert tümörlerin oluşumu on, yirmi yıl sürebilir.

Genellikle yüksek dozda ve yüksek doz oranlı radyasyona maruz kalmış popülasyonlar - Hiroşima ve Nagasaki'de atom bombası saldırıları sonrasında hayatta kalmış olanlar ve terapiyi tıbbi prosedürlere tabi tutulmuş hastalar da dahil olmak üzere - üzerinde yapılmış epidemiyolojik çalışmalar, radyasyonun dozu ve kanserojen etki arasında kesin bir bağlantı olduğunu kanıtlamıştır.

Japonların yaptığı kapsamlı bir araştırmaya göre, alınan radyasyon dozlarıyla akciğer, mide, karaciğer, göğüs, rahim ve mesane tümörlerinin oluşumu ve bunlara bağlı olarak görülen ölçümler arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Bu çalışmada 86 300 kişi üzerinde inceleme yapıldı ve bunlardan 6900 tanesi 1950-1987 arasında tümörler yüzünden öldü; fakat bunlardan sadece 300 tanesi radyasyona bağlanabilir. Aynı dönem içinde ölen toplam 230 lösemi hastasından 75'inin ölümü radyasyona bağlanıyordu. Aynı çalışmada tiroid ve deri kanserinde de artış olduğu görüldü. Çalışmada rektum (kalın bağırsağın son kısmı), serviks (rahim ağzı), safra kesesi, gırtlak, prostat, pankreas, böbrek, testis veya kronik lenf kanserlerinde radyasyonun bir rolü olmadığı anlaşıldı. Kanserojen etki konulu çalışmalarda belirli işlerde çalışanlar ile ilgili ölçümler sonucu çelişkili sonuçlar alındı. Radyasyona maruz kalan işçilerde lösemi rakamlarında artış gözlenirken, diğer bazı çalışmalarda bu ikisi arasında olumlu bir bağlantı bulunamadı. Radon gazına maruz kalan madencilerde, akciğer kanseriyle ilgili çalışmalarda kanserle radyasyonun dozu arasında bağlantı olduğu saptandı.

Çevresel etkilenim ile ilgili birçok çalışmada nükleer tesislerin yakınında yaşayanlarda görülen lösemi vakaları incelendi. Önceden yapılan bazı çalışmalarda nükleer tesislere yakın bir yerde yaşamak ile lösemi

vakalarının çokluğu arasında doğru orantı olduğu bildirilmiştir. Daha sonraki çalışmalar, bu tür vakaların radyasyon etkilenimine bağlanamayacağını göstermektedir. Bu konuda bir istisna ise eski SSCB'de radyasyon atıklarıyla kirlenen Techa Nehri'ne yakın yerlerde yaşayanlarda artış gösteren lösemi vakasıdır. Kanser oranları ile düşük ve yüksek dozda doğal radyasyon arasında kesin istatistiksel bir bağlantı bulunmamıştır.

## Kalıtsal Etkileri

Oluşmakta olan hücrelerdeki onarılmamış DNA mutasyonları hücre için öldürücü değildir ve teorik olarak gelecek nesillere aktarılabileceği, böylece "kalıtsal düzensizliklere" yol açabileceği söylenebilir. Yapılan çalışmalar sonucunda insanlarda radyasyonun kalıtsal etkileri olduğunu gösteren kesin istatistiksel verilere ulaşılamamıştır. Ancak organizma ve hücre bazında yapılan çok sayıda çalışmayla genetik deneylere dayanarak, radyasyonun etkileniminin insanlarda kalıtsal etkilere yol açabileceği tahmin edilmektedir. Potansiyel kalıtsal etkiler şu etkenlerin sonucunda olabilir:

- Baskın (dominant) mutasyon: ebeveynlerin yalnızca birinden alınan, ilk kuşakta düzensizliklere yol açan ve sonraki kuşaklara da iletilen baskın bir genin allelindeki mutasyon.

- Çekinik (resesif) mutasyon: ebeveynlerin ikisinden birden alınan ve ilk birkaç kuşakta çok az etkiye yol açıp, kuşakların genlerinin bütününde toplanan çekinik genlerin allellesinin mutasyonu.

- Birçok genetik ve çevresel faktörün etkisinden kaynaklanan mutasyonlara bağlı olan, potansiyel, çok nedenli düzensizlikler.

Radyasyondan kaynaklanan kalıtsal düzensizliklerle ilgili süreç, kanserojen etkisinden daha az anlaşılmıştır, ancak mevcut tahminler benzerdir: radyasyona maruz kalan herhangi bir hücre, düzensizliğin nedeni olarak başlatıcı olma yetisine sahiptir. Bu nedenle, düşük radyasyon dozlarında tepkinin doz sınırlı olmaksızın doza doğrusal bir ilişki içinde olduğu tahmin edilir.

## Embriyo Üzerindeki Etkileri

Radyasyonun embriyo üzerindeki etkileri, embriyonik gelişimin her safhasında ortaya çıkabilir, sakatlıklara, zihinsel özürlere, kansere ve hatta ölüme yol açabilir.

Beyin gelişimi üzerindeki etkileri Hiroşima ve Nagasaki'de ana rahimdeyken radyasyona maruz kalmış çocuklarda meydana gelen ciddi zihinsel özürlere incelenerek elde edilmiştir. Rahimde, özellikle gebeliğin başlangıcından sonraki 8 ile 15 hafta arasında sözkonusu olan yüksek dozda ve yüksek doz oranlı etkilenim sonucu IQ (zihinsel kapasite)'de düşüş olduğu gözlenmiştir. Düşük radyasyon dozlarında ise, embriyo için sözkonusu potansiyel etki yeni doğmuş bebeklerde belli olmamıştır.

Bu yöndeki çalışmalar, çocuk üzerindeki kanserojen etki hakkında çarpışık bulgular vermiştir. Yüksek risk de düşük risk de gözlemlenmiş, hiçbir riskin gözlenmediği de olmuştur. Embriyonun kanserojen etkiye dirençli olması için hiçbir biyolojik neden bulunmamaktadır; fakat elde edilene göre böylece etkilerin miktarı kesin olarak ölçülememektedir.

