

SÜRDÜRÜLEBİLİR GELİŞME GÜNDEMİNDE NÜKLEER ENERJİNİN SORUNLARI



Prof. Dr. Hasan SAYGIN

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji
Enstitüsü Müdürü; Türkiye Atom
Enerjisi Kurumu (TAEK), Atom Enerjisi
Komisyonu Üyesi

Sürdürülebilir Gelişme Politikalarında Enerjinin Rolü

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin günümüzdeki en önemli hedefi, sürdürülebilir gelişmenin sağlanmasıdır. Enerji, sürdürülebilir gelişmenin ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarının tümü ile yakından ilgili ve aynı zamanda iç ve dış politikanın da son derece önemli bir parametresidir. Dünyadaki son gelişmelerin açıkça ortaya koyduğu gibi, enerji arz güvenliğinin sağlanması Dünya politikalarını günümüzde geçmişte olduğundan çok daha fazla etkilemektedir. Günümüzün enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin sunduğu olanaklarla tek boyutlu yaklaşımlarla belirlenen enerji politikalarının sürdürülebilir bir enerji geleceği açısından olanaksızlığı açıktır. Ekonomik, sosyal ve çevresel bir çok farklı boyutu olan enerji ile ilgili problemleri gereğinden fazla basite indirgeyerek, indirgemeci veya tek boyutlu yaklaşımlarla ele alarak çözmek



mümkün değildir. Makul bir çözüm için ancak konuyu farklı boyutlardan kaynaklanan karmaşıklığı ile değerlendiren bir yaklaşım yardımcı olabilir. Bu nedenle, enerji ile ilgili problemlerin bütünsel bir çerçeve içinde ele alınarak farklı boyutlara ilişkin sorunların tümüne hitap eden optimum bir çözüm bulunması zorunludur.

Bu bağlamda, Dünyada enerji arz güvenliğinin sağlanması için kısa, orta ve uzun vadede çözümler aranmaktadır. Sürdürülebilir gelişme, çevresel, ekonomik ve sosyal gelişmeyi eş zamanlı olarak sağlayacak devlet politikalarını gerektirmektedir. Aynı zamanda hem enerji hem de çevre güvenliğini mümkün olan en düşük maliyet ile sağlayacak enerji strateji ve politikalarının oluşturulması elzemdir. Enerji güvenliğini teminat altına almanın en önemli yolu çeşitliliğin sağlanmasıdır. Çeşitliliğin sağlanması, enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin yanısıra arz mekanizmalarının (yerli ve ithal arzın, şebeke üretiminin ve yerel üretimin dengelenmesi), arzı sağlayan ülkelerin ve enerji hatlarının çeşitlendirilmesi olmak üzere bir kaç farklı yolla gerçekleştirilmektedir. Sürdürülebilir gelişmenin sağlanması için, ülkelerin ve/veya bölgelerin özgül koşullarına en uygun enerji karışımı, jeopolitik unsurlar da göz ardı edilmeksizin bu bağlamda belirlenmektedir.

Nükleer Enerjinin Sürdürülebilir Enerji Politikalarındaki Rolü

Giderek serbestleşmekte olan küresel enerji piyasalarında çeşitli enerji kaynaklarının birlikte kullanıldığı enerji karışımını oluşturan bileşenler ve karışım içerisindeki oranları ekonomik, çevresel, teknolojik ve politik ölçütlere göre belirlenmektedir. Kaynaklardan optimum düzeyde faydalanılması, toplam maliyetin azaltılması, çevre üzerindeki olumsuz etkilerin minimuma indirilmesi, teknolojinin ispatlanmış ve güvenilir olmasının yanısıra ulusal ve küresel politikaların gereklerini sağlama en önemli ölçütlerdir. Tüm enerji seçenekleri için geçerli olan bu ölçütler küresel enerji karışımının geleceğini ve izlenecek stratejileri belirlemektedir. Küresel enerji politikalarının belirlenmesinde ekolojik dengeyi tehdit eden çevre kirliliği ve küresel iklim değişikliklerinin hafifletilmesi, özellikle Avrupa Birliği Ülkelerinde enerji politikalarının sürdürülebilirliğinin sağlanmasında giderek artan bir önem kazanmıştır. Enerji sektörünün küresel sera gazı yayımına katkısı toplam yayımın yaklaşık %50'sini, elektrik üretiminin neden olduğu yayım ise toplam yayımın yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır. Bu nedenle, çevresel etkenler içerisinde özellikle düşük karbon ekonomisinin sağlanması tartışmaların önemli kilit noktalarından birini oluşturmaktadır.

Dünya enerji politikalarında düşük karbon ekonomisinin sağlanması doğrultusunda radikal bir değişime doğru giderken küresel ısınma ve iklim değişikliği kapsamında değerlendirildiğinde, nükleer enerji oldukça cazip bir seçenek olarak gözükmektedir. Nükleer santrallerde, enerji yakıt malzemesini oluşturan elementin çekirdeklerinin nötronlarla etkileşmesi sonucu meydana gelen fisyon reaksiyonları sonucu elde



edildiğinden, yakıtın "yanması" için fosil yakıtlarda olduğu gibi oksijen değil nötronlar kullanılmaktadır. Bu nedenle, gerek biyosferin en önemli elementlerinden biri olan oksijenin tüketilmemesi, gerekse biyosfer üzerindeki zararlı etkileri olan karbondioksit yayımının oldukça düşük olması nedeniyle nükleer teknoloji bu bağlamda temiz bir teknolojidir. Nükleer santraller hidroelektrik santrallerden sonra en az karbondioksit yayımlayan seçenektir ve onu sırasıyla rüzgar ve fotovoltaik güç santralleri takip etmektedir.

Nükleer enerjinin yanısıra enerji bağımsızlığı ve küresel ısınmaya ilişkin problemlerin çoğuna hitap eden bir diğer seçenek olan yeni yenilenebilir enerji (rüzgar, güneş, ticari biyokütle gibi) teknolojilerinin hala “demonstrasyon” aşamasında olmasına ve görece olarak küçük ölçekte enerji üretimine olanak sağlamasına karşın, nükleer enerjinin fosil yakıtlı enerji teknolojileri ile rekabet gücüne sahip büyük ölçekte enerji üretebilen gelişmiş bir teknoloji olması önemli bir avantajdır. Ancak, çevre boyutuna ilişkin olarak küresel ısınma ve iklim değişikliği boyutunda sağladığı önemli avantajlara rağmen, mevcut nükleer güç teknolojisine (fisyon teknolojisi) yönelik kuşku ve endişelerin ve nükleer enerjinin geleceğine ilişkin önemli belirsizliklerin doğmasına neden olan ciddi problemleri bulunmaktadır. Bu nedenle, Dünyada geleceğin enerji politikalarındaki yerinin

belirlenmesi için nükleer teknoloji sürdürülebilir gelişme gündeminde yer alan ölçütlere göre yeniden çok yönlü değerlendirmelere maruz bırakılmaktadır.

Nükleer Enerjinin Problemleri

Enerji, bilim ve teknolojinin toplumun farklı ve çoğu zaman zıt çıkarlarına hitap eden sorunların tümüne yanıt veren çözümler getirmesi gereken alanlardan biridir. Tüm enerji seçeneklerinde olduğu gibi, sağlıklı bir karara varılabilmesi için, nükleer enerji seçeneği de çevresel, ekonomik, teknolojik, ulusal, küresel, politik ve stratejik çok boyutlu değerlendirmelere tabi tutularak bütünsel bir yaklaşımla değerlendirilmelidir. Bu bağlamda, günümüz teknolojisi kapsamında nükleer enerji seçeneğine eşlik eden sorunlar aşağıda farklı boyutlarıyla genel olarak değerlendirilmiştir.

Çevresel Değerlendirmeler

Son yıllarda çevresel faktörler enerji politikalarında giderek daha ağırlıklı bir yer işgal etmeye başlamıştır. Günümüzde nükleer güç teknolojisinin çevre üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde iki farklı yaklaşım söz konusudur. Bunlardan birisi, yalnızca nükleer reaktörlerden kaynaklanan radyolojik risklerle ilgilidir. Diğer ise, sera gazı yayılımının önlenmesinde nükleer enerjinin diğer enerji seçenekleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmesidir.

Mevcut nükleer güç teknolojisine eşlik eden çevreye ve insan sağlığına yönelik ciddi potansiyel riskler nedeniyle, nükleer enerjinin günümüzdeki

en önemli problemi kullanılmış yakıtlardan kaynaklanan radyoaktif atık sorunudur. Nükleer güç santrallerinin çevre üzerinde birbirine zıt etkileri söz konusudur. Yalnızca küresel ısınmaya katkısı açısından değerlendirildiğinde, nükleer enerji çevre ile uyumlu, temiz bir enerji teknolojisi olarak görünmektedir. Ancak, bu kuşkusuz küresel ısınma boyutunu öne çıkaran, tek boyutlu dolayısıyla eksik bir yaklaşımdır. Değerlendirmelerde bilimsel yöntemin gerektirdiği nesnelliğin sağlanması için, konunun farklı boyutlarıyla eksiksiz olarak değerlendirilmesi ve bilgi akışının tam olması zorunludur. Bütün olarak değerlendirildiğinde, nükleer santrallerde üretilen kullanılmış yakıtlardan kaynaklanan radyoaktif atık sorunu ve tam bir işletme güvenliğinin sağlanamamasından kaynaklanan kaza riskinden doğabilecek potansiyel tehlikelerin yaratabileceği ciddi negatif etkilerin, küresel ısınma ile ilgili pozitif katkıyı dengelemesi (en azından) nedeniyle, nükleer teknolojinin çevre ile uyumlu bir teknoloji olarak nitelendirilmesi günümüzde ne yazık ki mümkün değildir.

Nükleer Enerjinin gelişiminin, 70’li yıllarda umulduğu şekilde gerçekleşmediği açıktır. Bunun en önemli sebebi, yukarıda ifade edilen güvenliğe ilişkin risklerin yanısıra, bu riskleri görece olarak azaltarak güvenliği iyileştirilen sistemlerin eklen-



mesinin nükleer enerjinin maliyetini daha da arttırarak ekonomik rekabet gücünü azaltmasıdır. Başlangıçta öngörülenin aksine, nükleer reaktörlerden çıkan atıkların nihai depolanması için hala kalıcı bir çözüm bulunamamıştır. Bu nedenle, özellikle TMI ve Çernobil kazaları ile yaşanan deneyimlerin ve çevre faktörünün giderek önem kazanmasıyla gelişen yeni kavrayış, Nükleer teknolojiye eşlik eden atık sorunu ve işletme güvenliğine ilişkin kuşku ve kaygıların giderek daha da büyümesine neden olmuştur.

Santrallerde veya ara depolarda bekletilen ve miktarı giderek artan kullanılmış yakıtların bertarafına ilişkin sorunların giderek daha iyi kavranmasıyla, küresel bir nitelik taşıyan nükleer atık probleminin ayırıcına tam olarak ancak günümüzde varılabiliştir. Daha önce ifade edildiği gibi, nükleer güç santralleri kırk yılı aşan bir süredir ticari kullanımda olmasına karşın, radyoaktif atıkların depolanmasına yönelik kalıcı bir çözüm henüz üretilebilmiş değildir. Kullanılmış yakıtlar santrallerin içinde ya da dış ara depolama tesislerinde bekletilmektedir. Tablo 1 ve Tablo 2'de kullanılmış yakıtların içerdiği başlıca radyoizotoplar ve yarıömür-

lerine ilişkin veriler görülmektedir. Bu verilerden de anlaşılabileceği üzere, nihai depoların yapısal ve konumsal özellikleri radyoaktif atıkların binlerce yıl güvenle saklanmasını garantileyecek koşulları sağlamalıdır. Bugüne değin, atık sorununa nihai çözümü jeolojik oluşumlarda depolamanın sağlayacağı varsayılmış ve birikmiş atık sorunu ile karşı karşıya olan ülkeler uzun süreli depolama için uygun özellikteki jeolojik formasyonların bulunduğu yerleri tespit etmişlerdir. Ancak, özel olarak tasarlanmış muhafazalar içinde saklanan radyoaktif atıkların binlerce yıl depolanması için, sismik olarak stabil ve geçirgenliği düşük jeolojik yapıları oyarak yüzlerce metre derinlikte mağaralar açmak da kuşkusuz ucuz bir yöntem değildir. Ek olarak, bu yöntem atıkları fiziksel olarak ortadan kaldırmadığı için plutonyum gibi önemli atıkların ele geçirilmesini ve kullanılmasını önlemek için bu atık depolarının binlerce yıl sürekli olarak korunması zorunludur. Uzun süreli depolama için belirlenen jeolojik formasyonlara gömülmesine yönelik projeler sürdürülmesine rağmen, bu uzun süreli depolamanın güvenlik analizi ve lisanslama

çalışmaları henüz tamamlanmış değildir. Uzun süreli depolama bir yana, kısa dönemde yakıt idaresine ilişkin yöntemler dahi hala tartışılmaktadır.

Tablo 3'de, OECD ülkelerindeki nükleer enerji kullanımı ve kullanılan yakıt miktarına ilişkin veriler 1995 yılı itibarıyla verilmiştir. Günümüzde 350 GWe kurulu sivil kapasiteye sahip Dünya nükleer enerji parkı, yılda 10,000 ton civarında kullanılmış yakıt üretmektedir. Günümüzde birikmiş kullanılmış yakıt miktarı 200,000 tonu aşmış bulunmaktadır. Özellikle, ABD gibi Dünyanın en geniş nükleer parkına sahip ülkelerde kullanılmış yakıtların depolanması aciliyeti giderek artan bir soruna dönüşmektedir. Bu sorun çözüme bağlanmadığı takdirde bazı reaktörler sırf bu nedenle dahi kapatılmak zorunda kalabilecektir. Çünkü, bu reaktörlerin hiç biri çalışma ömürleri boyunca üretecekleri yakıt miktarının tümünü muhafaza edebilecek kapasitede değildir. Ancak, hala kalıcı depolamaya ilişkin çalışmaların sonuçlanması beklenirken soğutma havuzlarından çıkarılan kullanılmış yakıtların getirdiği yükü hafifletmek için hangi ara depolama yöntemlerinin kullanılacağı tartışılmaktadır.

Tablo 1. 1 GWe gücündeki bir basınçlı su (PWR) reaktörünün yakıt yükleme ve boşaltma envanteri

Nüklid	Kullanılmamış Yakıt Bileşenleri (kg)	Reaktörden Çıkarılan Kullanılmış Yakıt Envanteri (kg)
U-235	954.0	280.0
U-236		11.0
U-238	26 328.0	25 655.0
U-toplam	27 282.0	26 047.0
Pu-239		56.0
Pu -toplam		266.0
Minör Aktinidler (Np, Am, Cm)		20.0
Sr-90		13.0
Cs-137		30.0
Uzun Ömürlü Fisyon Ürünleri		63.0

Tablo 2. OECD Ülkelerinde Nükleer Enerji Kullanımı ve Kullanılmış Yakıt Miktarına İlişkin Veriler (1995 yılı itibarıyla)

Ülkeler	Nükleer Güç Kapasitesi (Gwe)	Toplam Elektrik Üretiminde Nükleer Enerjinin Payı (%)	Birikmiş Kullanılmış Yakıt Miktarı (ton)
Fransa	58.5	76.4	11770
Belçika	5.5	55.8	1400
İsveç	10.0	51.1	3240
İsviçre	3.0	36.8	1300
İspanya	7.1	35.0	1775
Finlandiya	2.3	29.5	975
Almanya	22.7	29.3	6375
Japonya	38.9	27.2	8600
İngiltere	11.7	25.8	7000
ABD	98.8	22.0	28 600
Kanada	15.8	19.1	20 000
Hollanda	0.5	4.9	150
Toplam	274.8		91125

Sorunun daha kolay kavranmasına yardımcı olacak bir örnek vermek gerekirse, ABD reaktörlerinin ürettiği kullanılmış yakıt miktarı günümüzde 40,000 MT (metrik ton) tonu aşmış bulunmakta ve bu yakıtlar halen reaktörlerde muhafaza edilmektedir. ABD’de şu anda işletimde bulunan lisanslı 103 reaktör çalışma ömürlerini tamamladığında ise bu oran 80,000 MT’a ulaşacaktır. Bu noktada, bu miktarın planlanan nükleer atık depolarının kapasitesi ile karşılaştırılması bu mertebelerdeki kullanılmış yakıtın ne anlama geldiğini anlamamız için yardımcı olacaktır. ABD’deki kullanılmış yakıtları nihai olarak depolanması için belirlenen Yucca Dağı’ndaki depolama tesisinin maksimum kapasitesi 70,000 ton, maliyeti ise 15 milyon dolardır. Bu tablo, kullanılmış yakıtlardan kaynaklanan yüksek seviyeli radyoaktif atıkların yeraltındaki derin depolara gömülmesine ilişkin seçeneğin de yalnızca önümüzdeki 25 yıl içerisinde nükleer güçten

çekilmenin sağlanması halinde gerçekçi olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bunun için Yucca Dağı’ndaki gibi yalnızca bir kaç tesis gereklidir. Ancak, karbon yayınının azaltılması için nükleer enerjinin enerji karışımındaki payının daha da artırılması durumunda sorunun son derece büyüyeceği ortadadır.

Sonuç olarak ifade etmek gerekirse; nükleer fisyon teknolojisine dayanan nükleer enerji seçeneğinin kamuoyunda yaygın kabul görmesini zorlaştıran ve gelişimini engelleyen en önemli problemleri özellikle çevre boyutu ile yakından ilgilidir ve;

- *Kullanılmış yakıtların depolanmasına kalıcı bir çözüm bulunamamış olmasından kaynaklanan radyoaktif atık sorunu,*
- *İşletme güvenliğini mutlak şekilde garantileyecek teknolojik gelişmenin sağlanamamış olmasından kaynaklanan kaza riski,*

şeklinde özetlenebilir.

Ekonomik Değerlendirmeler

Karmaşık teknolojileri gerektiren nükleer enerji fazlasıyla sermaye yönelimli ve sermaye maliyeti yüksek bir endüstridir. Nükleer elektriğin ekonomik rekabet gücü sermaye maliyetinin (faiz oranları) yanısıra ikame edildiği enerji kaynaklarından (doğal gaz, petrol, kömür) elde edilen elektriğin kWh fiyatına ve söz konusu piyasadaki önemine bağlıdır. Ayrıca ölçek ekonomisinden faydalanabilmek için büyük ölçekte optimizasyon gerektirdiğinden, elektrik şebekesindeki oranı belirli bir seviyenin altında olduğunda nükleer enerji ekonomik bir seçenek değildir. Diğer enerji kaynaklarına göre daha uzun vadeli yatırımları gerektirmesi ve geri dönüş süresinin uzun olması da nükleer enerji için özellikle elektrik piyasasının serbest rekabete açıldığı günümüz koşullarında önemli bir dezavantaj teşkil etmektedir.

Tablo 3. 1 Gwe Gücündeki bir Reaktörde üretilen başlıca uzun ömürlü fisyon ürünlerinin yarı ömrü ve üretim oranı

Nüklid	Yarı Ömür (yıl)	Üretim (kg/yıl)
Se-79	70 000	0.11
Zr-90	1.5×10^6	15.5
Tc-99	2.1×10^5	17.7
Pd-107	6.5×10^6	4.4
Sn-126	10^5	0.44
I-129	1.57×10^7	3.9
Cs-135	2×10^6	7.7

İşletme güvenliğini iyileştiren sistemlerin eklenmesiyle çağın ölçütlerine görece olarak daha uygun hale getirilen fisyon reaktörlerinin, diğer enerji teknolojileri ile rekabet edebilecek hale gelmeleri için ekonomik olarak çok daha iyileştirilmeleri gerekmektedir. Güvenliği iyileştirilmiş nükleer santraller 1,700-3,100 \$/kW_e olan maliyetleri ile, özellikle gaz arzi için gereken altyapının olduğu yerlerde günümüzün birleşik çevrimli gaz santralleri rekabet edebilecek güçte değildir. Bugünkü koşullarda, birleşik çevrimli gaz santralleri genellikle en ucuz seçeneği teşkil etmektedir. Sermaye yoğun değildir (maliyeti ağırlıklı olarak yakıtla ilgilidir ve sermaye maliyeti üretim maliyetinin yalnızca %25-30'unu oluşturmaktadır). Planlama dahil iki yıl olan kurulma süresi ve geri dönüş süresi görece olarak çok daha kısadır. Bu nedenle, Birleşik Çevrimli Gaz Santralleri, 1990'lerden beri özel sektörün ticari bazda ciddi olarak ilgilendiği neredeyse tek teknolojidir .

Bilindiği gibi, Dünyada elektrik piyasasının giderek artan oranda serbestleştirilmesine yönelik politikalar ve buna uygun yasal düzenlemeler gerçekleştirilmektedir. Bu, enerji yatırımlarına ilişkin nihai kararı özel sektördeki yatırımcıların vereceği anlamına gelmektedir. Bu çerçevede, özel sektör tarafından

nükleer teknolojiye yatırım yapılmasının sağlanması için, nükleer gücün pazar fiyatı bazında alternatiflerine göre daha cazip hale getirilmesi ve bunun için de hükümetlerin özelde nükleer enerjiye ya da genel olarak karbon yayılımı düşük seçeneklere yönelik olarak uygulayacağı teşvikler kapsamında, nükleer enerjiyi yatırımcı için çekici hale getirmesi gereklidir. Bu durumun serbestleştirme çabaları ile ne ölçüde bağdaşacağı ise kuşkuludur (Burada serbestleştirme ile ilgili olarak sadece konjoktürel bir tespit yapılmakta olup, yapılan bugünün ekonomi-politiğinin tespiti öte bir şey değildir). Sonuç olarak özetlemek gerekirse, ekonomik olarak değerlendirildiğinde günümüzün nükleer teknolojisinin ekonomik olarak da hala önemli zaafiyetleri mevcuttur.

Teknolojik Değerlendirmeler

Mevcut nükleer güç teknolojisine eşlik eden problemleri ortadan kaldıracak potansiyel teknolojik gelişme, nükleer enerjinin geleceğini belirleyen anahtar unsurdur. Nükleer güç reaktörlerinin teknolojik evrimi, ilk reaktör prototiplerini kapsayan I. Kuşak, günümüzde işletimde olan reaktör tiplerinin çok büyük bir kısmını temsil eden II. Kuşak, TMI ve Çernobil kazasından

sonra 1980'leri ve 1990'ların başını kapsayan dönemde kamu-özel sektör işbirliği ile geliştirilen ileri hafif sulu reaktör teknolojisini temsil eden III. Kuşak ve günümüzde hedeflenen devrimsel tasarımları temsil eden IV. Kuşak Reaktörler olmak üzere 4 farklı tasarım kuşağı ile temsil edilmektedir.

Nükleer enerji için beklenen potansiyel teknolojik gelişme doğrudan reaktörlerin kendisi ile ilgilidir. İleri nükleer teknolojilerin temel misyonu;

- *Radyoaktif atık sorununu ortadan kaldıran,*
- *Güvenilirliği çok yüksek (Pasif güvenlik sistemine sahip)*
- *Silahlanmaya karşı dirençli*
- *Ekonomik rekabet gücü yüksek*
- *Kamuoyunun onayını yüzde yüz sağlayacak bir teknolojinin geliştirilmesidir.*

Günümüzde, güvenlik, atık ve nükleer silahların yaygınlaşmasına ilişkin sorunların çözülmesine olanak sağlayacak yenilikçi reaktör tasarımlarına ve yakıt çevrimlerine yönelik çeşitli kavramlar üzerinde çalışılmaktadır. Bunlardan başlıcaları genel olarak;

- *Kritikaltı olarak tasarlanan reaktör kalbindeki nötron sayısının bir hızlandırıcıdan elde edilen yüksek enerjili*

parçacıklarla bombardıman edilen hedef malzemenin bir hızlandırıcıdan elde edilen yüksek enerjili parçacıklarla bombardıman edilerek yeğlinliği yüksek bir nötron kaynağına dönüştürülmesiyle çoğaltılmasını ve bazı uzun ömürlü radyoaktif ve/veya toksik elementlerin de kararlı ya da daha kısa ömürlü ve daha az tehlikeli radyoizotoplara dönüştürülerek yakılmasını sağlayan hızlandırıcı ile sürülen sistemler (Accelerator Driven Systems-ADS);

• *Uranyum tabanlı yakıt çevrimlerine nazaran çok daha düşük miktarda uzun yarı ömürlü radyoizotop ihtiva etmesinin yanısıra, kullanılmış yakıt akış miktarını da azaltarak reaktörün çalışma ömrü süresince yeniden yakıt yükleme işleminden kurtulmayı sağlayabilecek uzun ömürlü (10-20 yıl) reaktör kalbi tasarımı için önemli bir potansiyel teşkil eden Toryum-Uranyum 233 bazlı yakıt çevrimi;*

• *Kullanılmış yakıtlar için radyoaktif atık miktarının önemli ölçüde azalmasına olanak sağlayan susuz yeniden işleme yöntemleri;*

• *Yapısal özellikleri nedeniyle bilgisayar veya insan kontrolüne gereksinim göstermeyen, işletim esnasında gerçekleşen doğal fenomenlere ve bunların temelinde yatan fizik yasalarına bağlı olarak kendiliğinden güvenliliği sağlayan pasif güvenlik özelliklerine dayanan reaktör tasarımları;*

• Nükleer silah yapımında kullanılabilecek maddeleri yakacak veya ele geçirilmesini zorlaştıracak şekilde tasarlanan nükleer silahlanmaya karşı dirençli reaktör ve yakıt çevrimi kavramları;

Şeklinde ifade edilebilir.

ABD’de üzerinde çalışılmakta olan Entegre Hızlı Reaktörler ile Rusya’da geliştirilmekte olan

Kuru Yeniden İşleme Yöntemleri kuple kullanılan Hızlı Reaktörlere ilişkin yeni tasarımların yukarıda belirtilen kavramların tümüne etkin olarak hitap edeceği ileri sürülmektedir. Bu kavramsal tasarımların ve yöntemlerin geliştirilmesi ile nükleer teknolojinin radyoaktif atık ve işletme güvenliğine ilişkin sorunları kısmen çözümlenmiş veya azaltılmış olacaktır. Ancak, tam bir çözüm için daha kökten, devrimsel nitelikte bir teknolojik değişimin gerektiği açıktır. Sonuç olarak, gelecekteki ticari kullanım olasılıkları bakımından değerlendirildiğinde, çeşitli yenilikçi reaktör tasarımlarının ve yakıt çevrimlerinin nükleer fisyon teknolojisinde 2020 yılından itibaren önemli değişimlerin gerçekleşmesi beklenmektedir. Nükleer füzyon reaktörlerinin ticarileşmesine ilişkin olarak, ise 2050 yılından öncesine kadar önemli bir ilerleme kaydedilemeyeceği öngörülmektedir.

Nükleer Enerjinin Dünyadaki Durumu’nun Değerlendirilmesi ve Ülkemiz İçin Çıkarılacak Sonuç

Nükleer enerji küresel düzeyde enerji üretiminde halen %16’lık bir paya sahiptir. Dünyada işletimde bulunan toplam 443 reaktörün 146’sı Avrupa Birliği’nde, 125’i Kuzey Amerika’da, 92’si Asya’da ve 67’si Doğu Avrupa Ülkelerinde bulunmaktadır. Ancak, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından sunulan verilere göre 2030 yılına kadar nükleer enerjinin dünyanın enerji dengesindeki rolü belirgin bir şekilde azalacaktır. Nükleer güç üretiminin içinde bulunduğumuz on yılın sonuna doğru en yüksek değerine ulaşacağı, ardından kademeli olarak azalacağı öngörülmektedir. Nükleer enerjinin Dünyanın birincil enerji arzında halen %7 olan payı 2010’a kadar

aşağı yukarı korunmakla birlikte 2030’da bu oranın %5’e inmesi beklenmektedir. Nükleer enerjinin 2000 yılı itibarıyla %17 olan toplam elektrik üretimindeki payı daha da hızlı azalarak 2030’da %9’a düşecektir. Günümüzde işletimde bulunan reaktörlerden %40’ının 2030’a kadar emekliye ayrılacağı dikkate alındığında, nükleer güç üretimindeki en büyük azalmanın Kuzey Amerika ve Avrupa’da gerçekleşeceği açıktır. Geçiş ülkelerinde kurulması planlanan az sayıda nükleer santral emekliye ayrılan santrallerinin neden olduğu azalmayı karşılayacak düzeyde olmadığından bu ülkelerdeki nükleer kapasite de azalacaktır. Litvanya, Slovakya ve Bulgaristan Avrupa Birliği’nin Standartlarına uymayan eski teknoloji ürünü reaktörlerini on yıl içerisinde kapatmak üzere Avrupa Birliği ile anlaşmaya varmış olup, bu ülkelerin 2030 yılına kadar mevcut santrallerinin dörtte üçünü emekliye ayırması gerekmektedir. Rusya bölgesindeki en iddialı nükleer programa sahiptir, ancak kurulması planlanan yeni santralleri finanse etmesi oldukça zor gözükmektedir. Bu durumda, nükleer güç kullanımının yalnızca Japonya, Kore, Çin ve Hindistan gibi büyük çoğunluğu Asya’da yer alan az sayıda ülkede artması beklenmekle birlikte, adı geçen son iki ülkede de nükleer enerjinin 2030 yılına kadar marjinal bir kaynak olarak kalacağı öngörülmektedir. Nükleer enerjinin geleceğine ilişkin olarak çizilen bu tablonun sebebi, yukarıda ifade edilen sorunlarının henüz çözümlenememiş olması nedeniyle, Dünya genelinde nükleer enerjinin geleceğinin belirsizliği hususunda bir konsensus oluşmuş bulunması ve Kuzey Amerika ve Avrupa Birliği Ülkelerinde yeni nükleer santrallerin kurulmasına yönelik bir gündemin söz konusu olmamasıdır.

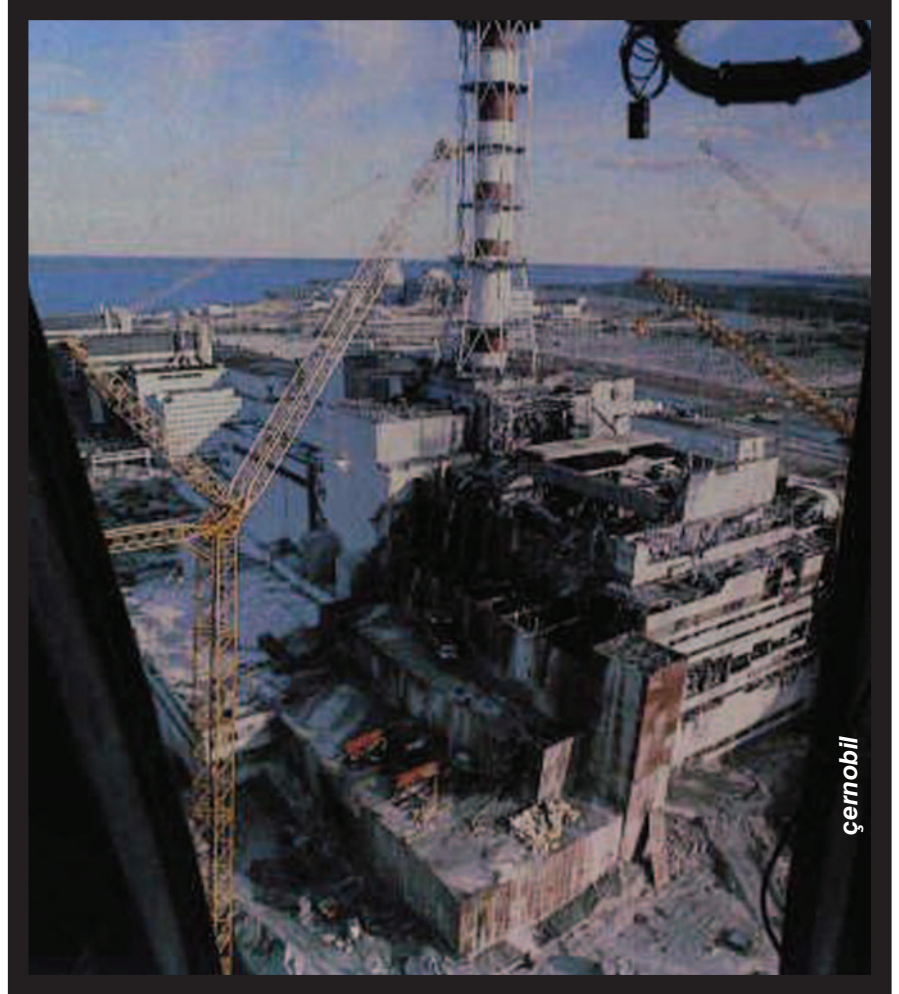
Avrupa Birliği bağlamında değerlendirildiğinde, 70’li yıllarda enerji

bağımsızlığına yönelik kaygılarla nükleer enerjiye büyük yatırımlar yapmış bulunan Avrupa Birliği'nde yer alan 15 Ülkeden 7'sinin enerji karışımında nükleer enerjiye farklı oranlarda olmakla birlikte önemli ölçüde yer vermiş oldukları görülmektedir. 2000 yılı verileriyle değerlendirildiğinde nükleer enerjinin elektrik üretimindeki payı Fransa'da %78, Belçika'da %60.1, Almanya'da %35, İspanya ve Finlandiya'da %30, İngiltere'de %28.6, Hollanda'da %3.1'dir. Ancak, Avrupa Birliği'nde, nükleer kapasiteye sahip olan 8 üye ülkeden 5'i moratoryum veya nükleer enerjiden tümüyle vazgeçme kararı almış bulunmaktadır. Fransa, İngiltere ve Finlandiya'nın ise nükleer enerjiyi durdurma kararı almamakla birlikte, Finlandiya dışındaki ülkelerde, önümüzdeki yıllarda yeni nükleer santral kurulma olasılığı bulunmamaktadır.

Nükleer enerjinin günümüzdeki durumu ve Avrupa Birliği'nin enerji arzındaki rolü, Avrupa Komisyonu tarafından Kasım 2000'de yayımlanan ve Avrupa Parlamentosu tarafından onaylanan, Avrupa Birliği'nde enerji arz güvenliğinin sağlanması için ortak bir stratejinin oluşturulmasına yönelik Yeşil Bildiri'de de (Green Paper) değerlendirilmiştir. Günümüzde Avrupa Ülkelerini nükleer enerjiden tümüyle vazgeçmekten alıkoyan en önemli nedenler, bu ülkelerde kişi başına enerji tüketiminin buna bağlı olarak da CO₂ yayılımının çok yüksek olması nedeniyle Kyoto protokolüne ilişkin taahhütlerdir. Geçmişte yapılan büyük yatırımlar sebebi ile nükleer enerjiden hızlı bir çekilmenin getireceği ağır ekonomik ve teknolojik yük ise diğer bir önemli sebeptir. Enerji bağımsızlığına ilişkin kaygılar bir ölçüde devam etmekle birlikte, üye ülkelerin bazılarında %80'e ulaşan ithalata bağımlılığının kaçınılmaz ve dışa bağımlılığın

doğru bir şekilde idaresinin bağımlılığın düzeyinden daha önemli olduğu konusunda fikir birliğine varılmıştır. Avrupa Birliği'nin günümüzdeki yaklaşımı, enerji arz güvenliğinin yalnızca dışa bağımlılığı azaltma ve yerli üretimin desteklenmesi şeklinde algılanmasının yüzeysel ve yanlış olacağı, konuyu enerji bağımsızlığından çok enerji güvenliği temelinde ele alınması gerektiğidir. Avrupa Komisyonu, arz güvenliğinin sağlanması için gerek arzı gerekse geçişi sağlayan ülkelerle iyi ilişkiler kurulmasına ve enerji alışverişinin getireceği karşılıklı bağımlılık temelinde, bağımlılığa ilişkin risklerin idare edilebilirliğine dayanan bir çözümün benimsendiğini belirtmektedir. Nükleer enerjinin orta ve uzun dönemde tamamen tasfiyesi Avrupa Birliği'nin elektrik üretiminin %35'inin daha yenilenebilir ve konvansiyonel enerji kaynaklarından karşılanmasının gerektiği anlamına gelmektedir. Nükleer seçenek bu nedenle benimseyen ülkeler için halen açık tutulmakla birlikte, söz konusu Yeşil Bildiri'nin yayımlanmasının ardından başlatılan yoğun tartışmalarda varılan temel sonuç, nükleer enerjinin Avrupa Birliği'ndeki geleceğinin belirsiz olduğudur. Özet olarak, Dünya genelindeki duruma paralel olarak Avrupa Birliği'nde nükleer enerjinin gelecekteki rolünün;

- Nükleer atık idaresine ilişkin sorunların çözümlenmesine,
- Yeni Kuşak Nükleer Reaktörlerin Ekonomik Olarak Sürdürülebilirliğine,



- Özellikle Avrupa Birliği'ne aday ülkelerde olmak üzere Doğu Avrupa'daki Reaktörlerin Güvenliğinin Sağlanmasına,
- Küresel ısınma ile mücadele politikalarının başarısına,
- Nükleer Silahların Yaygınlaşmasının Önlenmesine ilişkin yöntemlerin etkinliğine,

bağlı olduğu açık olarak ifade edilmektedir.

Sonuç olarak, yukarıdaki bilgilerin ışığında değerlendirildiğinde varolan sorunların büyüklüğü nedeniyle nükleer enerjiye ilk adımı atmak için uygun bir zaman aralığında bulunmadığımız açıkça ortadadır. Böyle bir belirsizlik ortamında Ülkemizde nükleer santral kurulmasına yönelik bir karar verilmesi için bilimsel, teknolojik, ekonomik ve etik olarak geçerli herhangi bir sebep bulunmamaktadır. Bu bağlamdaki ekonomik ve teknolojik kapasitesi son derece sınırlı olan Ülkemizde, bu doğrultuda atılacak zamansız bir adımın getireceği yük kaldırmayacağımız kadar ağır olabilir. Bu hususta, nükleer mühendislik alanında çalışan bilim insanlarına düşen en önemli görevler, nükleer teknolojinin var olan problemlerini ortadan kaldıracak yeni teknolojilerin geliştirilmesi için yürütülen çalışmalara bilimsel çalışmalarıyla katkıda bulunmanın yanı sıra, bu alandaki her türlü gelişmeyi dikkatle analiz ederek kamuoyuna eksiksiz ve nesnel bilgi akışını sağlamaktır.

Referanslar

- [1] Saygın, H., "Sürdürülebilir Gelişme ve Nükleer Enerji", Enerji Dergisi, Eylül 2004.
- [2] Derek M. Taylor, "Nuclear's Role in Europe's Energy Future" SMI conference on "Nuclear Power" in London, UK, January 2002.
- [3] Fernando De Estaban, "The Future of Nuclear Energy in European Union", Speech made to a group of senior representatives from nuclear utilities in the context of "European Strategic Exchange", Brussels, 23rd May 2002.
- [4] Hewlett G. James, "De-regulated electric power markets and operating nuclear powerplants: the case of British energy", Energy Policy, 2004 (Article in press).
- [5] MacKerron, G., "Nuclear power and characteristics of 'ordinariness' - the case of UK energy policy", Energy Policy, Vol. 32, pp. 1957-1965, 2004.
- [6] Macfarlane, A., "The problem of used nuclear fuel: lessons for interim solutions from a comparative cost analysis", Energy Policy, Vol: 29, pp. 1379-1389, 2001.
- [7] Nifenecker H., David, S. at al., "Basics of accelerator driven subcritical reactors", Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A., Vol. 463, pp. 428-467, 2001.
- [8] Taczanowski, S., "Transmutation of nuclear waste in accelerator-driven subcritical systems", Applied Energy, Vol.75, pp. 97-117, (2003).
- [9] Chwaszczewski, S., Slowinski, B., "Transmutation of radioactive waste", Applied Energy, Vol. 75, pp. 87-96, (2003).
- [10] International energy Agency, "Toward a Sustainable Energy Future", OECD/IEA, 2001.
- [11] Marcus, G. H., "Considering The Next Generation of Nuclear Power Plants", Progress in Nuclear Energy, Vol. 37, No.1-4, 2000.
- [12] Mourougov, V. M., "Role of Nuclear energy for Sustainable Development", Progress in Nuclear Energy, Vol. 37, No.1-4, 2000.
- [13] Percebois, J., "The Peaceful Uses of Nuclear Energy: Technologies of the Front and Backends of the Fuel Cycle", Energy Policy, Vol. 31, 2003.
- [14] Romerio, F., "The Risks of the Nuclear Policies", Energy Policy, 26 83), 1998.
- [15] Sims R.E.H. at al, "Carbon emission and mitigation cost comparison between fossil fuel, nuclear and renewable energy resources for electricity generation", Energy Policy, Vol. 31, 2003.
- [16] International Energy Agency, World Energy Outlook, 2002.
- [17] European Commission, Green Paper, "Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply", European Communities, 2001.
- [18] Commission Staff Working Paper, Progress Report on the Response to the Green Paper, "a European Strategy for the Security of Energy Supply", December 2000-October 2001, Commission of the European Communities, Brussels, 3.12.2001, SEC(2001).
- [19] Final Report on the Green Paper, "Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply", Commission of the European Communities, Brussels, 26.6.2002, COM(2002),321 Final.
- [20] Taylor D. M., "Situation and Perspective for Nuclear Energy in Europe", Paper given at conference celebrating 100th anniversary of birth of Enrico Fermi, held in Pisa, Italy, October 2001.
- [21] Taylor, D. M., "Nuclear's Role in Europe's Energy Future", Paper prepared for SMI conference on Nuclear Power in London, UK, January 2002.
- [22] De Estaban, F., "The Future of Nuclear Energy in European Union", Background paper for a speech made to a group of senior representatives from nuclear utilities in the context of a "European strategic exchange", Brussels, May, 2002.