

---

# Nükleer Santrallerde Enerji Üretimi ve Personel Eğitimi

Mehmet TOMBAKOĞLU\*

## Giriş

Sürdürülebilir kalkınmanın temel bileşenlerinden en önemlisinin enerji olduğunu söylemek abartılı olmaz kanısındayım. Küreselleşen dünya üzerinde stratejik önemi artan enerjinin, ülkelerin gelişmişlik düzeylerinde ve gelişmelerini sürdürmelerinde ne kadar etkili olduğunu ve bu etkinin giderek artmakta olduğunu gözlemlemekteyiz. Son yıllarda birincil enerji kaynaklarını ellerinde bulunduran ülkelerin bu kaynaklar üzerinden elde ettikleri politik kazanımlar ya da bu kaynaklara sahip olmalarından dolayı ortaya çıkan olumsuz oluşumlar yadsınamaz. Birincil enerji kaynaklarının temelde fosil yakıt kaynaklarının azalması, uzun dönemde diğer enerji kaynaklarının da önemini artırmaktadır. Özellikle elektrik enerjisi üretmek amacıyla birincil enerji kaynaklarının kullanımında dış kaynaklara bağımlılığın azaltılması, çeşitliliğin kaynak ve sağlayıcı bazında oluşturulması kaçınılmaz gözükmektedir. Bu bağlamda son yıllarda yurt dışında ve ülkemizde nükleer enerji santrallerinin tekrar gündeme geldiğini görmekteyiz. Özellikle hızla gelişmekte olan Uzak Doğu ülkelerinde nükleer santral yatırımlarının artarak devam ettiğini görmekteyiz.

Temelde bu teknolojinin kamuoyu ve halk tarafından da kabul görmesi, halkın paylaştığı bazı şüphelerin ortadan kaldırılabilmesi için nükleer enerji üretim teknolojilerinin çok iyi anlatılarak halkın bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Bir diğer kuşku ise, bu tür bir santralin lisanslanma aşamalarından işletmeye alınma safhasına ve daha sonrasında işletme aşamasında gerekli iş gücü ve personel ile bu personelin eğitimi konusundaki kuşkulardan kaynaklanmaktadır. Bu tür bir santralin çalışma ve işletmeleri aşamalarında etkin ve gerekli eğitimi almış, bu teknolojinin gereklerini pratikte de uygulayarak gerekli deneyime sahip olmuş bir kadronun iş başında olması gerekmektedir. Bu eğitimle ilgili gereksinimleri anlatmadan önce, ilk olarak ticari olan nükleer santraller ve bunların çalışma prensiplerini kısaca anlatarak sonra da personel gereksinimi ve eğitimi konusuna değineceğim.

\* Hacettepe Üniversitesi, Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü

### Nükleer Santrallerde Enerji Üretimi

Nükleer santrallerde enerji üretimini anlatmadan önce enerjinin formlarını anlatmak bize nükleer enerjinin önemi konusunda bilgi verecektir.

### Enerjinin Formları

Temelde enerji günlük yaşamımızda değişik şekillerde karşımıza çıkmaktadır. En yaygın olanı kinetik enerji, hareket sonucu açığa çıkan bir enerji türüdür. Rüzgârın oluşumuyla, kinetik enerji rüzgârgülü ile elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Potansiyel enerji ise dünyanın yerçekimi alanından kaynaklanan enerji olup, hidroelektrik santrallerde ve barajlarda biriken suyun potansiyel enerjisi kullanılarak kinetik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Kimyasal enerji ise maddeyi oluşturan moleküllerin diğer moleküllerle reaksiyona girmesi sonucu moleküllerin formunu değiştirmesi ile açığa çıkan enerjidir. Buna örnek olarak fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan enerjiyi gösterebiliriz. Elektrik enerjisi ise bir bölgedeki fazla ya da eksik elektronlardan ve elektrik yüklerinden kaynaklanan enerjidir. Nükleer enerji ise bir atom çekirdeğinin bölünmesi ya da radyoaktif bozunumu sonucu reaksiyon ya da bozunum öncesi kütlelerin toplamı ile bozunum sonrası kütlelerin toplamı farkından dolayı açığa çıkan enerji olup, kütle ve enerji arasındaki ilişki Einstein'ın  $E=mc^2$  formülü ile verilmektedir. Termal enerji ise atom ya da maddeyi oluşturan moleküllerin titreşimi ya da hareketlerin sonucunda oluşan enerji olup, bir maddenin diğerine enerjisini iletim yoluyla transfer etmesinin ölçütü olarak da sıcaklık kullanılmaktadır.

Enerjinin bir formdan diğerine dönüştürülmesi işlemine enerji dönüştürme adı verilir ve pratikte bu dönüşüm sonucu açığa çıkan yeni enerji formunun miktarının öncekine oranı ise verim olarak tanımlanır. Hidroelektrik santrallerde verim yüzde yüze yaklaşmakla beraber termal santrallerde teorik olarak ulaşılabilecek verimin altında bir değer olup nükleer santrallerde yüzde 33 civarındadır.

### Nükleer Santraller

Nükleer güç santralleri ile termik santraller birbirleri ile benzer özellikler taşırlar. Her iki santral tipinde de su buharının ısı enerjisi türbinde kinetik enerjiye ve kinetik enerjide jeneratörlerde elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu santraller arasındaki temel fark ise buharın elde edildiği birincil enerji kaynağının ve enerji formunun farklı olmasıdır. Nükleer santrallerde fisyon(bölünme) sonucu açığa çıkan nükleer enerji soğutucuya, termik santrallerde ise yanma sonucu açığa çıkan kimyasal enerji soğutucuya aktarılmaktadır.

Nükleer santrallerde kullanılan yakıt seramik formda olan uranyum dioksit UO<sub>2</sub> olup, doğal ya da zenginleştirilmiş formdadır. Uranyum elementini

oluşturan U235 izotopu bölünebilen bir izotoptur ve uranyum elementinin ağırlık olarak yüzde 0,71'ini oluşturmakta, yüzde 99,3'lük kısım ise U238 izotopundan oluşmaktadır. Zenginleştirme ile bu oran nükleer santrallerde kullanmak amacı ile yüzde 3,3-4,5 aralığında artırılmaktadır. Nükleer santraller ise bölünme sonucu açığa çıkan nükleer enerjiden kontrollü ve sürekli olarak elektrik enerjisinin üretildiği sistemlerdir. Kullanılacak yakıt olarak doğal uranyum seçilirse, reaktörde yavaşlatıcı olarak ağır su kullanılması gerekmektedir. Bu tür reaktörler Kanada da yaygın olarak kullanılmakta ve Basınçlı Ağır Su Reaktörü PHWR olarak ya da ticari adı ile CANDU reaktörleri olarak adlandırılmaktadır.

Dünyada yaygın olarak kurulmuş ve işletilmekte olan reaktörler ise Basınçlı Su Reaktörleri PWR ve Kaynar Su Reaktörleri BWR olup, bu reaktör tiplerinde hafif su soğutucu ve yavaşlatıcı olarak kullanılmaktadır. Yakıt olarak ise zenginleştirilmiş uranyum seramik formda kullanılmaktadır. PWR ile BWR reaktörlerinin temel farkı ise BWR reaktörlerinde suyun kaynamasına izin verilmesidir. Dünyada ticari olarak varolan reaktör tiplerine bakacak olursak, üçüncü nesil olarak adlandırılan basınçlı ve kaynar su reaktörleri ile ağır su reaktörlerinin kurulmakta ve planlanmakta olduğunu görmekteyiz. Temelde bu reaktörler halen işletme halinde olan benzer tiplerdeki santrallerin gelişmiş modelleri olup, güvenlik ve ilk yatırım maliyetine yönelik ilgili tasarım değişikliklerine gidildiği görülmektedir.

Nükleer santrallerin enerji sektöründeki eşdeğeri, diğer santral tipleri ile karşılaştırıldığında en önde gelen problemi ilk yatırım maliyetinin yüksekliği gösterilebilir. Fakat ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen, elektrik birim üretim maliyetleri karşılaştırıldığında yakıt maliyetinin yaklaşık yüzde 20 ile 30'u oranında olduğunu görmekteyiz. Farklı ülkelerdeki analizlere göre ise 3,5 ile 5,5 cent arasında bir birim maliyetin kWsaat başına verilmekte olduğunu görmekteyiz. Yakıt maliyetine yönelik günümüz fiyatlarına göre bir değer verecek olursak 1000 MW-elektrik kapasiteli bir nükleer santralde kullanılan yakıtın yıllık maliyetinin yaklaşık 60 milyon dolar civarında olduğunu söyleyebiliriz. Bunun da yüzde 20'sinin doğal uranyum fiyatından kaynaklandığını söylersek, doğal uranyum fiyatlarındaki yüzde yüzlük bir artışın bile birim maliyette yüzde 2-3 oranında bir artışa neden olacağını söylemek doğru olur. Nükleer santrallerin, özellikle doğal gaz santrallerine göre neden arz güvenliği açısından öne çıktığını da bu örnek açıklamaktadır.

### **Nükleer Santrallerin Personel Gereksinimi ve Eğitimi**

Nükleer santrallerde kalite temini, güvenlik ve güvenilirlik vazgeçilemez unsurlar olup bunu sağlayacak ve sürdürecektir olan uzman kadroların, özellik-

le nükleer programların başlatılması aşamasında yetiştirilmiş ve sonrasında yetiştiriliyor olması gerekmektedir. Ülkemizde nükleer mühendislik eğitimi lisans, yüksek lisans ve doktora seviyelerinde çeşitli üniversitelerde verilmektedir. Özellikle, 1982 yılında lisans eğitimine başlanan Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümünde yaklaşık 180 mezun verilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsünde ise yüksek lisans ve doktora eğitimleri verilmiştir. Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsünde de yüksek lisans ve doktora eğitimi verilmektedir. Nükleer mühendislik konularında yüksek lisans ve doktora eğitimi yapmak üzere burslu olarak ABD'ye gönderilen öğrencilerin bir kısmı ise ülkemizde nükleer santral kurulmadan emekli olma konumuna gelmişler ve belli bir oran da yurt dışında çalışmalarını endüstri ve araştırma kurumlarında sürdürmektedir.

Nükleer teknoloji transferi ve nükleer santrallerin kurulumu düşünüldüğünde temelde iki başlık öne çıkmaktadır. Birincisi, yer seçimi ve lisanslama diğeri ise santralin işletimi ve bakım-onarımı olarak sıralanabilir. Yer seçimi konusunda bilgi birikimi ve uzman personel mevcut olup, TAEK bünyesinde çalışan personel yeterli görülebilir. Lisanslama ise farklı aşamalardan oluşmaktadır. Düzenleyici konumunda olan kurum personelinin bu konuda eğitilmesi ve konusunda uzman personelle takviye edilmesi gerekliliği açıktır. Bu kurumlarda çalışması gereken personelin ve danışmanların yeterliliklerine ilişkin ayrıntılara IAEA raporlarında yer verilmiştir.

Nükleer santralin işletmeye alınmadan önce de bir dizi test ve kalite kontrol sürecinden geçmesi ve bunun da uzman personel tarafından yapılması gerekmektedir. Bu amaca yönelik ise santral inşa aşamasında eğitim programlarının ve teknolojik birikimin sağlanmasına yönelik yurt dışı eğitim faaliyetlerinin paralel olarak yürütülmesi gerekmektedir.

Nükleer santralde çalışan personelin de belli yeterlilik belgesine sahip ve daha öncesinde nükleer santrallerde çalışarak deneyim kazanmış olmaları gerekmektedir. Bu sorunun aşılması için de nükleer santrallerde çalışacak personelin eğitime ve lisanslanmasına yönelik faaliyetlerin santralin inşası aşamasında başlatılması gerekmektedir. Bu eğitimin bir bölümü yurt içinde verilmesi ve pratik eğitimler yurt dışında yapılarak çalışanların deneyimi artırılmalıdır. Özellikle nükleer santralin işletilmesinden sorumlu her personelin yaptığı işin vasıflarını taşıdığıının belgelenmesi gerekmektedir. Bu konuda düzenleyici kurum uzmanlarının uluslararası kabul gören standartları ve mevzuatı kullanarak lisanslama süreçlerini gerçekleştirmeleri gerekmektedir.

Sonuç olarak, nükleer enerjinin kullanımına yönelik gerçekleştirilecek faaliyetlerin her bir aşamasında uyulması gereken kurallar ve çalışacak persone-

lin sahip olması gereken eğitim ve deneyimine yönelik ölçütlerden hiçbir taviz verilmeden uygulamanın yapılması gerekmekte olup, güvenlik ve güvenilirlik açısından bu koşulların vazgeçilemez ve vazgeçilmemesi gereken unsurlar olduğunu bir kez daha söylemek istiyorum.

### **Kaynakça**

1. World Nuclear Industry Handbook 1992, Nuclear Engineering International Special Publications.
2. Nükleer Enerji Raporu, TMMOB Fizik Mühendisleri Odası, 2006