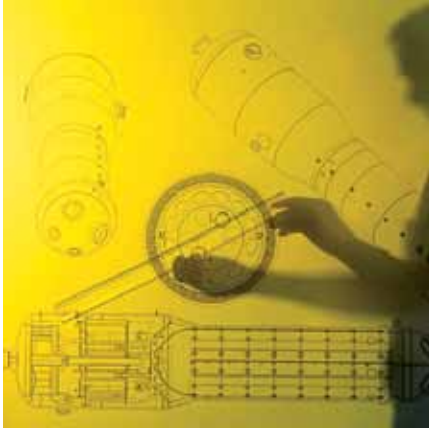


Nükleer Enerjide Yeni Adım: Küçük Modüler Reaktörler

Nükleer enerji, güvenli olup olmadığı konusundaki tartışmalar, ekonomik maliyeti ve yakıt geri dönüşümü sorunları ile günümüzde hayli göz önünde olan bir konu. Farklı ülkeler ve şirketler bu sorunların çözümü için değişik yollar düşünse de, çözüm var olan nükleer reaktörlerin boyutlarını küçültmekte olabilir. Henüz yeni bir fikir olan küçük modüler reaktörler nükleer enerjiyi yatırımcısından çevresinde yaşayacak insanlara kadar herkes için çekici bir seçenek haline getirmeye aday.



Küçük nükleer reaktör fikri aslında hiç de yeni değil. Aksine, nükleer enerjinin başarıyla uygulandığı ilk nükleer reaktörler küçük boyutludur. Kullanılmaya başlandıkları 1950'lerin başından bu yana, nükleer reaktörlerin kapasitesi yaklaşık 60 MW'tan zamanla 1500 MW'a ulaştı. Ancak nükleer reaktörlerin kapasitelerindeki bu artış yönelimi çeşitli sebeplerle bazı ülkelerde duraklıyor ve nükleer enerjiye yatırımın cazibesinin önüne geçiyor. Bahsedilen bu sorunların tamamının altında (güvenlik kaygıları da dâhil olmak üzere) ekonomik sorunlar var. İnşaat sürelerinin uzun, yatırım maliyetlerinin yüksek olması, lisans alma ve coğrafi bölge seçimi gibi konular zaten ekonomik sorunlar, ancak nükleer yakıt-

ların gerektiği gibi saklanması, nükleer kazaların önlenmesi, reaktör yönetimi ve ömürlerini dolduran reaktörlerin hizmetten çıkarılması da ekonomik sorunlar halini aldı. Oysa yeterli kaynak sağlanırsa bu sorunlar rahatça çözülebilir.

Küçük modüler reaktörler (kısaca KMR'ler) bu sorunları çözmek amacıyla tasarlanıyor. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) KMR'leri sıradan bir nükleer reaktörün onda birinden düşük kapasiteli (300MW'tan düşük) olan reaktörler olarak tanımlanmaktadır. En basit tanımıyla KMR'ler günümüzde kullanılmakta olan nükleer reaktörlerin küçük ölçeklileri. Ancak KMR'lerin küçültülmesi olağan nükleer reaktörlerin sahip olmadığı birçok faydayı da beraberinde getiriyor.

Nasıl nükleer reaktörlerin birçok çeşidi varsa (hafif su reaktörleri, basınçlı su reaktörleri, sıvı metal soğutmalı reaktörler gibi) KMR'ler de birçok farklı şekilde tasarlanıyor. Ancak bu yazı çerçevesinde verilmek istenen ana fikirlerin aktarımını engellememesi için burada tasarım farklarını dikkate almayacağız.

Nükleer reaktörlerin çeşitliliği, hayli kaba bir benzetme olsa da kömür reaktörlerinin çeşitliliğine benzetilebilir. Kömürün ne kadar küçültüldüğü, ne sıcaklıkta yakıldığı, yanan kömürün verdiği ısının nasıl elektrik enerjisine dönüştürüldüğü gibi hususların reaktörlerin genel özelliklerine etkisi dikkate alınmayacak ölçüde olabilir. KMR'lerin de, özellikle de henüz çoğunlukla tasarım aşamasında oldukları için, yalnızca bir türleri varmış gibi ele alınması yeterlidir.

Günümüzdeki nükleer enerji santrallerinde bir tane nükleer reaktör bulunur. Böyle bir nükleer reaktör hayli büyük, genelde bir metre kalınlığında beton-çelik duvarlarla çevrili bir alanın içindeki 100 ton kadar uranyumu yakar. Bu tür reaktörler dünyanın yalnızca birkaç yerinde üretilebilen büyük parçalar halinde (ana çekirdek parça parça değildir) santralin kurulacağı inşaat alanına yollar ve alanda birleştirilir. Şikago Üniversitesi'nin 2004'te yayımladığı bir rapora göre modern tasarımı bir nükleer reaktörün ilk inşaatı, ardından gelecek inşaatlara kıyasla % 20 kadar daha pahalıdır. Dolayısıyla nükleer reaktörlerin maliyetini arttıran başka bir husus da reaktör tasarımlarının üretimindeki tecrübesizliktir.

KMR'ler ise tamamen fabrikada üretilen şekilde ve "tak ve çalıştır" ilkesine bağlı kalınarak tasarlanıyor. Dolayısıyla fabrikada seri imalat ilkeleriyle üretilen KMR'lerin maliyetinin inşaat alanında birleştirilen sıradan nükleer reaktörlerden daha düşük olması hedefleniyor. KMR'lerin bir diğer faydası da, yüksek kapasiteli reaktörlerin bağlanamayacağı kırsal alanlardaki küçük elektrik şebekelerine bağlanabilmeleridir.

KMR'ler kullanılacakları yere yollandıklarında, neredeyse bir uçtan soğuk su alıp diğer uçtan buhar verecek şekilde kullanılmaya hazır olarak üretilmektedir. 10-12 KMR'nin bir binada toplanıp ortak bir kontrol odasından yönetilmesiyle işleyecek olan KMR istasyonu, günümüz nükleer santrallerinde yapılması mümkün olmayan birçok şeye olanak sağlayacaktır.

Öncelikle büyük reaktörlerin aksine, KMR enerji santrallerinde reaktör alımı uzun senelere yayılabilir, yani bütün reaktörlerin bir defada alınmasından kaynaklanan büyük borçlara ve yatırımlara gerek kalmaz. Örneğin iki KMR satın alarak faaliyete geçen bir santral, elektrik satışından elde ettiği gelirle bu yatırımın maliyetini karşıladıktan sonra, iki sene sonrası için iki KMR siparişi daha vererek yani santralin hedeflenen kapasiteye ulaşmasını belki de on seneye yayarak, borç faizlerinden ve büyük yatırımlardan kurtulmuş olur. KMR üreticileri ise birbirlerinin tamamen aynı olacak bu reaktörlerden çok sayıda üreteceği için, alıcılara çok daha güvenilir fiyat ve üretim süresi tahmini verebilir ve uzmanlaşmanın ve tecrübenin kendilerine sağladığı üstünlüklerden de yararlanabilir.

KMR istasyonu hedeflenen kapasiteye ulaştığında da avantajlar devam eder. Büyük, tek çekirdekli reaktörler yakıt yenilemek için bütün reaktörü kapamak zorundadır. Bir haftayı bulan bu işlem iki senede bir yapılsa bile, tahmin edilebileceği gibi hayli pahalıya mal olur. KMR santralleri reaktörün kapatılmasının getirdiği dezavantajın da önüne geçer. Bazı KMR'ler yirmi sene boyunca yakıt değiştirilmesine gerek duyulmayacak şekilde tasarlanır ve ömürleri de o kadardır (bu tür reaktörlere hızlı reaktörler denir). Bazı KMR'lerde ise yakıt değiştirmek gereklidir, ancak 12 KMR'li bir santralin reaktörlerini sırayla kapayarak hiç servis dışı kalmadan yakıt yenilemesi de mümkündür.

KMR'lerin en önemli özelliği ise güvenli olmalarıdır. KMR tasarımlarında göze çarpan ilk özellik uzun ve ince bir tüp şeklinde olmalarıdır. Küresel değil de uzun ve ince olmalarının getirdiği en büyük avantaj da güvenlidir. Bilindiği gibi Çernobil'den Fukishimaya, yani günümüze kadar hemen hemen her nükleer santral kazası reaktör çekirdeğinin aşırı ısınmasından kaynaklanmıştır. Büyük nükleer santrallerde çekirdeğin soğutulması (reaktör su ile soğutuluyorsa) su pompalarıyla sağlanır. Tüp şekli sayesinde KMR'lerde günümüz reaktörlerinin olmazsa olmazı olan ve çekirdeğin soğutulması için kullanılan karmaşık boru sistemlerinin, yüksek basınç pompalarının, büyük hacim su pompalarının, ısı emicilerin, yedek dizel jeneratörlerin, yedek su rezervlerinin ve acil çekirdek soğutma sistemlerinin kullanılmasına gerek kalmaz. Bir cümlede hızlıca üzerinden geçebildiğimiz bu liste, KMR'lerin şimdiye kadar hiçbir nükleer reaktörün olmadığı kadar güvenli çalışmasına olanak sağlar. Yapılan tahminlere göre bir KMR güçten kesilirse ve insan müdahalesi olmadan kendi haline bırakılırsa, reaktör bir ay boyunca kendini pasif güvenlik sistemiyle soğutabilir. Pasif güvenlik, reaktörün tasarımından kaynaklanır. Reaktörün içinde ısınan su yükselir ve soğuk suyun yukarıdan çekirdeğe kendiliğinden akmasına sebep olur. Bu şekilde reaktör bir kaza anında haftalarca, dışarıdan soğuk su beslemesine gerek kalmadan, tehlikesiz bir biçimde kendi kendini soğutmuş olur (günümüz büyük reaktör tasarımlarında da buna benzer, etkisi daha kısa olan pasif güvenlik vardır).

KMR'lerin küçük olması da potansiyel riski azaltmış olur. KMR santralleri bütün yakıtı bir çekirdekte toplamak yerine modüllerine ayırır. Böylece meydana gelen bir sorun bütün yakıtta ve dolayısıyla santralde değil, yalnızca sorunun çıktığı modülde kalır. Riskin bu şekilde dağıtılması nükleer santralin güvenliğini kayda değer derecede artırır.

KMR tasarımlarında güvenliğin yanı sıra nükleer atık sorunu da dikkate alınmıştır. Nükleer santral atıkları farklı radyoaktivite ve yarı ömür seviyelerinde

olabilir. Birçok ülkede nükleer atıkların tekrar işlenip radyoaktivite seviyelerinin düşürülmemesinin sebebi, yakıtın tekrar işlenmesinin aynı zamanda nükleer silahlarda kullanılan plütonyumu üretiyor olmasıdır. ABD başta olmak üzere bazı ülkeler bu sebeple, yani nükleer silah üretimi endişesiyle, nükleer atıkların yeniden işlenmesini yasaklamıştır. Ancak hızlı reaktör şeklinde tasarlanan KMR'ler yapıları gereği santralde açılmayacağı ve içlerindeki atığa ancak üretildikleri fabrikada erişilebileceği için bu sorun görünürde ortadan kalkmıştır. Hükümetlerin konu ile ilgili tutumu gelecekte nükleer atıkların nasıl kontrol edeceğini de belirleyecektir.

Nükleer atıkların yeniden işlenmesine izin verilsin ya da verilmesin, nükleer santralin atığının üretici kurum tarafından idare edilecek olması KMR'lere nükleer atık konusunda üstünlük kazandırıyor. Ömrünü tamamlayan bir nükleer santralin yıkımı çok pahalı bir işlemdir. Santraller bu yıkım işlemi için de hayli yüksek bir bütçe ayırmak zorundadır. Planlandıkları gibi yapırlarsa KMR santrallerinde bu bütçeye gerek kalmayacaktır çünkü yıkılması gereken bir reaktör olmayacaktır. Modül ömrünü tamamladığında üretici şirkete yollanacak, üretilirken olduğu gibi yine seri imalat ilkeleriyle imha edilecektir. Yani yatırımcı bu konuda da sorumluluk almak zorunda olmayacağı için KMR yatırımı daha cazip hale gelecektir.

Elbette KMR'lerle ilgili bazı sorunlar da var. Her ne kadar tasarımları yapılırken nükleer endüstrisinin bu güne kadar edindiği tecrübeler bir araya getirilmek istense de, KMR'lerin dezavantajları da vardır. Henüz hiçbir KMR'nin

üretilmemiş olması beraberinde büyük bilinmezler getirir. 2011'in Kasım ayında *China Nuclear Corporation* ve *China Guodian Corporation* Çin'in Zhangzhou kentinde tanıtım amaçlı bir KMR santrali yapılacağını açıkladı, ancak bu KMR'ler için daha bir ilk adım. Bu tür santrallerden edinilecek tecrübe ve yatırımların devamlılığı sağlanmadan seri KMR üretimi imkânsız.



KMR'lerin küçük olmasının bir dezavantajı da verimliliğin düşme olasılığıdır. Güvenlik gereklilikleri ve hacmin limitli olmasından dolayı KMR'lerin yakıt sıcaklığı, büyük reaktörlerinkinden daha düşük olacağı için verimlilik de bir miktar düşecektir. Ayrıca büyüklüğün azalması yüzey alanının hacme oranını da artırır. Bu oranın artmasının ısı kaybı ve güvenlik açısından çok büyük faydaları olsa da, verimliliğe etkisi henüz tam olarak bilinmiyor.

KMR'lerin karşılaştığı başka bir sorun da lisans alımı ve personel gereksinimidir. Örneğin ABD Nükleer Düzenleme Kurumu (*Nuclear Regulatory Commission*, NRC) her nükleer reaktör için ayrı bir kontrol odası olmasını şart koşar. Ortalama 1000 MW'lık bir nükleer reaktörde bir kontrol odası varken, bu kuralın KMR'lere de uygulanması durumunda 1000 MW'lık bir KMR santralinde 12 kontrol odası olması gerekir. KMR tasarımcılarına göre yalnızca bir kontrol odası yeterlidir, çünkü KMR'lerin işletimi çok kolaydır ve tehlikeleri çok düşüktür. Hatta bu tasarımcılar KMR santrallerinin toplamda daha az personelle de işletilebileceğini savunuyor, çünkü her ne kadar reaktör sayısı çok olsa da tesisat, ekipman ve jeneratörler KMR santrallerinde çok daha az, bu da görevli ihtiyacını azaltıyor. Ancak ABD'de lisans ücretleri büyük santrallere göre ayarlandığı için, büyük bir nükleer santralle aynı kapasiteye ulaşmak için reaktör sayısının çok olduğu KMR santrallerinde lisans ücretleri de yaklaşık 10 kat fazladır. ABD'de KMR'lerin üretimi Nükleer Düzenleme Kurumu reaktör ilkelerini KMR'lere uyarlayınca kadar askıdadır.

Günümüzde tasarımda son aşamalara ulaşmış 17 farklı KMR tasarımı vardır. ABD, Çin, Rusya, Güney Kore ve Güney Afrika'da yapılan bu tasarımlar birbirlerinden hayli farklı olsalar da, hepsini KMR başlığı altında toplamak mümkündür. Gelecekte ne kadar kullanılacaklarını bilmek mümkün olmasa da, KMR'ler enerji sektöründe cazip bir seçenek olarak değerlendiriliyor.

Kaynaklar
"Small Reactors Planned for Zhangzhou", 12 Kasım 2011, http://www.world-nuclear-news.org/NN-Small_reactors_planned_for_Zhangzhou-1711115.html
"Small Nuclear Power Reactors", *World Nuclear Association*, 21 Kasım 2011.
Nusca, A., "Nuclear, solved: small modular reactors on an assembly line?", *Smart Planet*, 15 Şubat 2011.