

Küçük modüler reaktörler (SMRs):

Neden gündemde? Ne kadar gerçekçi?





Sürdürülebilir Ekonomi ve Finans Araştırmaları Derneği | SEFIA

SEFIA, Türkiye'nin düşük karbonlu ekonomiye geçişi ve iklim değişikliği ile mücadelesi başta olmak üzere, sürdürülebilir ekonomi ve sürdürülebilirliğin finansmanı alanlarında bağımsız çalışmalar yapmak üzere kurulmuş, araştırma odaklı bir sivil toplum kuruluşudur. Ulusal ve uluslararası işbirlikleri yoluyla veri, bilgi ve araştırmacı kapasitesini geliştirmeyi hedefleyen SEFIA, düşük karbonlu ekonomi politikalarına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Yayımlanma Tarihi: Kasım 2023

Tasarım: T.Algöz Duransoy & Civic Space Media



@sefiaorg

www.sefia.org

Yazarlar

Taylan Kurt, SEFiA
m: taylan@sefia.org

Nükleer enerji, net-sıfır hedeflerinin hızlandırdığı “temiz” enerji tartışmaları çerçevesinde, yeni teknolojik uygulamalar ile yeniden gündeme taşınıyor. İklim kriziyle mücadele alanında, mevcut konjonktürdeki gelişmelere (Rusya’nın Ukrayna’yı işgali, artan enerji fiyatları, enerji arz güvenliği ve enerji bağımsızlığı tartışmaları vb.) dayanarak kendi alanını genişletmeye çalışıyor. Fosil yakıt kullanımından çıkış sürecinde ana kaynak olarak rüzgâr ve güneş tanımlanırken, nükleer enerji de –küresel elektrik üretimindeki %10’luk payına dayanılarak– bu sürecin bir tamamlayıcısı olarak işaret ediliyor.

İklim krizi karşısında çözüm olarak nükleer enerji için bir geri dönüş hikâyesi yazmaya yönelik çaba, **nükleer enerji kapasitesindeki yavaşlama ve gelişmiş ekonomilerin de bu alandaki liderliğini seneler içinde kaybetmesinden** kaynaklanıyor. Bugünkü küresel nükleer enerji kapasitesinin %40’ını, 1973 petrol krizi sonrasında inşa edilen reaktörler (170 GW) oluşturuyor. Son on yılda inşa edilen nükleer kapasite, yalnızca 56 GW seviyesinde ve 2017’den bu yana inşaatına başlanan 31 reaktörden 27’si Rusya veya Çin menşeli. Buna karşılık, gelişmiş ekonomilerin, özellikle de yaşanan enerji krizi sonrasında, ilgisini tekrar bu alana yönelttiği belirtiliyor. Yakın dönemde Birleşik Krallık, Fransa, Çin ve Polonya’nın enerji stratejilerinde nükleer güce kayda değer oranda yer vermesi ve Amerika Birleşik Devletleri’nin (ABD) ise gelişmiş reaktör tasarımına yaptığı yatırımlar ön plana çıkarılıyor.

Fakat nükleer enerjinin kendine açmaya çalıştığı bu alan, kısıtlı olmakla birlikte **yüksek bütçeli bir politika tasarımı ve uygulama sürecini** gerektiriyor. Uluslararası Enerji Ajansı’nın (International Energy Agency - IEA) 2050 net-sıfır senaryosunda 2020-2050 döneminde küresel nükleer enerji gücünün iki kat artması gerektiği ifade ediliyor. Fakat bunun gerçekleşmesi durumunda dahi nükleerin toplam enerji arzındaki payı ancak %8 ile sınırlı kalıyor. Bunda, 2030’a kadar mevcut nükleer filonun –uzun tesis ömrünün artık sürdürülebilir olmamasına bağlı olarak– üçte bir oranında küçülme riski etkili oluyor.

2016-2022 yılları arasında nükleer enerji yatırımları yılda ortalama **40 milyar dolar** civarında gerçekleşirken, net-sıfır senaryosu ile uyumlu bir senaryo altında bu yatırımların 2026-2030 döneminde yılda yaklaşık **125 milyar dolara** yükselmesi ve nükleer enerjiden üretilen elektriğin rekabetçi olabilmesinin garanti edilmesi gerekiyor. Bunun için devlet ve özel sermaye yatırımlarının –gerekli yasal düzenlemelerin hayata geçmesinin ardından– **yeni teknolojiye sahip, güvenilir ve düşük maliyetli çözümlere** yönlendirilmesi gerekiyor.

Bu noktada, elektrik ve ısı üretimi ya da nükleer atıkların ortadan kaldırılması sorunu başta olmak üzere farklı alanlarda kullanılmak üzere esnek ve alternatif bir iklim çözümü olarak **küçük modüler reaktörlerin (Small Modular Reactors - SMRs)** ülkelerin enerji politikalarında yer almaya başlaması tartışmaya açılıyor. SMR'ler, tıpkı karbon yakalama teknolojilerinde olduğu gibi, artan enerji talebini karşılamak üzere enerji arzının kesintisizliğini ve güvenliğini de gözeterek yüksek teknoloji bir çözüm olarak lanse edilirken; henüz ticari olarak bir uygulaması olmasa da kısa sürede ticari olarak da çalışabilir hâle getirilmesi gereken iklim dostu bir alternatif olarak sunuluyor.

Oysa SMR'ler **radyoaktif atık sorununu derinleştiren**, -rüzgâr ve güneş gibi hem düşük maliyetli hem de kendini ticari olarak kanıtlamış yenilenebilir enerji kaynaklarının karşısında- **verimsiz, ekonomik açıdan rekabet gücü düşük** ve gerçekçi iklim hedeflerini geciktiren yanlış bir çözüm. Küresel seviyede kabul görmüş olan 1,5 derece hedefinin yakalanabilmesi için 2030 yılına kadar emisyonların çok hızlı bir biçimde azaltılması gerekiyor. Fakat SMR'ler bu kısıt çerçevesinde değerlendirildiğinde, 2023 yılı itibarıyla ticari olarak başarılı örnekler sunmaktan çok uzakta duruyor. Buna bağlı olarak da güvenli, esnek ve ekonomik olma iddiasını kanıtlamanın dahi çok uzağında kalıyor.

Bu politika notu kapsamında nükleer endüstrisinin, küresel ortalama sıcaklıkların 1,5 derece ile sınırlandırılmasına yönelik adımların aciliyeti karşısında, kendi sürekliliğini sağlamak ve yeni pazarlar yaratmak üzere, SMR'ler yoluyla iklim aciliyetini görmezden geldiği ve SMR'lerin güvenilir ve düşük maliyetli bir çözüm olmadığı değerlendiriliyor.

SMR'ler nedir ve nasıl çalışır?

SMR'ler, birim başına 300 MW'ye varan –geleneksel nükleer reaktörlerinin yaklaşık üçte biri oranında ve yılda aşağı yukarı 300 bin evin elektriğini karşılayacak– güç kapasitesine sahip gelişmiş nükleer reaktörler olarak tanımlanıyor. Dünya genelinde geliştirilmekte olan 70'den fazla ticari SMR tasarımı olduğu belirtiliyor. Bu tasarımlar, başta endüstriyel kullanım olmak üzere elektrik üretimi, hibrit enerji sistemleri kurulumu, ısıtma, su-tuzdan arındırma, buhar ve hidrojen üretimi gibi farklı uygulamalara yönelik olarak geliştiriliyor. Fakat dünya genelinde aktif olan yalnızca iki SMR bulunuyor.

- **Küçük (Small):** Geleneksel nükleer reaktörlerden hem fiziksel hem de üretim kapasitesi olarak küçük olması.
- **Modüler (Modular):** Sistemlerin ve bileşenlerin fabrikada montajının gerçekleştirilmesi ve planlanan bölgeye taşınarak kurulumunun orada gerçekleştirilebilmesi.
- **Reaktörler (Reactors):** Enerji üretiminde kullanılacak ısıyı sağlamak için nükleer fisyon kullanılması.



Nasıl çalışır?

Geleneksel reaktörlerde olduğu gibi SMR'lerde de enerji üretimi temel olarak **nükleer fisyon** dayanıyor. Nükleer fisyon, bir atom çekirdeğinin enerji açığa çıkarırken iki veya daha fazla küçük çekirdeğe ayrıldığı reaksiyonu ifade ediyor. Bu reaksiyon sonucunda ısı ve radyasyon şeklinde bir enerji açığa çıkıyor. Fosil yakıtlardan elde edilen ısının elektrik üretmek için kullanımına benzer şekilde, bu ısı da nükleer enerji santralinde elektriğe dönüştürülüyor.

SMR tipleri: Geleneksel reaktörlerde soğutucu olarak su kullanılırken, SMR'lerde soğutucu olarak su, sıvı metal, gaz ve ergimiş tuz kullanılıyor. Bu noktada SMR'ler bu soğutma biçimlerine, boyutlarına ve tasarımlarına göre farklılaşıyor. Genel olarak belirli SMR tipleri (i) *su soğutmalı* (düşük teknolojik riske sahip reaktörler), (ii) *yüksek sıcaklıklı gaz soğutmalı* (elektrik üretimine ek olarak hidrojen üretimi ve kojenerasyon gibi ilave kullanım amaçları gerektiriyor), (iii) *hızlı nötron spektrum* (sodyum, kurşun-bizmut gibi yüksek iletkenlik ve kaynama noktasına sahip sıvı metal ile soğutma), (iv) *ergimiş tuz* (düşük basınçta birincil soğutucu olarak erimiş florür tuzları kullanılmaktadır ve hidrojen üretiminde de kullanılmaktadır) ve (v) *mikro reaktörler* (10 MW kurulu gücün altında) olarak tanımlanıyor.

SMR'lerin yeni bir konsept olduğunu ve çalışma prensipleri bakımından geleneksel reaktörlerden ayrıştığını söylemek mümkün değil. Bugünkü anlamında modüler ve ileri teknoloji kabul edilen tasarımları karşılamamakla birlikte, 1940'larda askeri amaçlarla kullanılan düşük kapasiteli tasarımlara rastlanıyor. Tıpkı geleneksel reaktörlerde olduğu gibi SMR'lerde de enerji üretimi nükleer fisyonu dayanıyor, termal enerjiden faydalanılıyor, benzer soğutma yöntemlerine başvuruluyor ve aynı yakıt tipleri –Uranyum (U) ve Plütonyum (Pu)– kullanılıyor.

SMR'ler hangi yönleriyle ön plana çıkarılıyor? Modüler, güvenli, esnek ve ekonomik (mi?)

İklim krizine karşı tamamlayıcı/alternatif bir araç olarak tanımlanırken, SMR'lerin kendine has özellikleriyle sağladığı belirli avantajlar sıralanıyor ve hem geleneksel reaktörlerin yerini nasıl alacağı hem de fosil yakıt kullanımını sonlandırmada ne kadar kapsamlı ve güvenilir bir rolü olduğu ön plana çıkarılıyor.

SMR'ler öncelikle, emisyonuz elektrik üretimi için gündeme getiriliyor. Rüzgâr ve güneş gibi düşük maliyetli ve hâlihazırda ticari olarak da kendini kanıtlamış kaynaklara ek olarak, **enerji kullanımında kaynakların çeşitlendirilmesini ve dayanıklı bir enerji altyapısının kurulumunu** destekleyici bir niteliğe sahip olduğu ve bu gücünü esas olarak **modüler olmasından** aldığı iddia ediliyor. SMR anlatımının en temel dayanağı olarak, SMR'lerin **adapte edilebilir ve ölçeklendirilebilir** olmasından ötürü kurulacağı yere ve kullanım amacına göre dizayn edilebilmesi öne çıkarılıyor. Geleneksel reaktörlere kıyasla –görece daha düşük üretim kapasitesine sahip olmasına da bağlı olarak– çok daha **düşük arazi kullanımı** gerektiği; ortalama bir SMR kurulumu için 7 hektarlık bir alan gerekirken, geleneksel bir reaktör kurulumu için 259 hektarlık bir alana ihtiyaç olduğu belirtiliyor. Böylece SMR'ler, yapım ve operasyon aşamasında **kalite ve verimliliğin daha kolay yönetilebilir olduğu ve enerji tedariki bakımından dezavantajlı** –şebekenin/yeterli iletim hatlarının bulunmadığı– bölgelere düşük karbonlu enerji sağlaması bakımından önceliklendiriliyor.

Modüler olmasının yanında dayanıklı bir enerji altyapısının bileşeni olarak SMR'leri öne çıkarmaya çalışan bir diğer argüman ise SMR'lerin güvenli bir çözüm olduğuna dayanıyor. Bu noktada, geleneksel nükleer reaktörlere dair negatif algı, bu reaktörlerin daha düşük kapasiteli ve güvenli olma seçeneği ile yıkılmaya çalışılıyor. Geleneksel reaktörlerde 1-2 yıl olan yakıt ikmal süresinin, SMR'ler için 3-7 yıla kadar uzadığı ve bu süreyi 30 yıla kadar uzatan SMR tasarımlarının bulunduğu da vurgulanıyor. Öte yandan, nükleer yakıtın geri dönüşümü ile nükleer atıkların hacmi ve radyo toksitesini azaltmaya yönelik teknolojiler geliştirilirken; güvenlik problemlerine karşılık insan müdahalesine ve ek bir güce gerek duyulmaksızın sistemin kendini durdurabileceği ve soğutma reaktörlerinin devreye girebileceği söyleniyor.

Bir diğerk taraftan **baz yük tartışmaları** kapsamında da SMR'ler için bir potansiyel alan açılmaya çalışılıyor. Rüzgâr ve güneşin kesintili olduğu göz önüne alınarak, SMR'lerin hem batarya teknolojilerini ikâme edebileceği hem de endüstriyel süreçler ve konut kullanımı için sürekli bir ısı kaynağı olarak işlev görebileceği belirtiliyor. Böylece ekonomilerin karbonsuzlaşma gündeminde temiz, güvenilir ve maliyeti gün geçtikçe düşen rüzgâr ve güneşin yanında SMR'ler de konumlandırılıyor. Yenilenebilir enerji tartışmalarında kendine yer açan SMR'ler, elektrik ve ısı üretiminin yanında hidrojen üretimi ve suyu tuzdan arıtma gibi çeşitli kullanım alanlarına da dâhil olabilen **esnek** bir çözüm olarak lanse ediliyor.

SMR'lerin inşaat süreci, birçok yönüyle standartlaştırılıyor. Böylece SMR'lerin, geleneksel reaktörlere kıyasla daha küçük birimler hâlinde, daha kısa sürede ve daha **düşük maliyetle** faaliyete geçebileceği iddia ediliyor. Buna ek olarak, SMR'lerin nükleer ve fosil yakıtlı enerji santrallerinin (kömür ve gaz) altyapısı üstüne inşa edilebileceği söyleniyor. Böylece SMR'ler enerji üretiminde fosil yakıtların yerini hızlıca doldururken bunun çok daha az maliyetli bir biçimde gerçekleştirebileceği ve hatta finansman bulmanın da böylece kolaylaşacağı iddia ediliyor. Yapım maliyeti ve faaliyete geçme süresi bakımından sağlanan bu tasarrufa dayanarak, SMR'lerin **ekonomik büyümeyi** desteklemesi üzerine bir ayrı yol daha çiziliyor. Özellikle endüstrideki kullanımlarıyla –kojenerasyona izin verme, tuzdan arındırma ve üretim için ısı sağlama vb. uygulamalar– gelişmekte olan ekonomilerde düşük sermaye kullanımı ile **büyümeyi teşvik edeceği** belirtiliyor.

SMR gündemine farklı bir açıdan bakmak SMR'ler güvenilir ve düşük maliyetli bir çözüm değil!

Nükleer enerjinin kendine açmaya çalıştığı alanın tam karşısında, nükleer enerjinin risklerini öne çıkaran söylemlere dayanan ve SMR'lerin öne çıkarılan özelliklerinin aksini iddia eden argümanlar yer alıyor. Bu taraftan bakınca, SMR'lerin güvenilir ve düşük maliyetli bir çözüm olmadığını ortaya koyan, üç temel argüman ön plana çıkıyor:

- SMR'ler iddia edilenin aksine, mevcut radyoaktif atık sorununu daha da karmaşıklştırıyor. Bu nedenle, yenilenebilir enerjiye geçişte güvenli bir çözüm sunmuyor.
- Ne şimdi ne de gelecekte, ekonomik olarak rüzgâr ve güneş ile rekabet edecek güce erişemiyor.
- Verimli olmamasına ek olarak, yine öne çıkarılan özelliklerinin aksine, inşaat süresinin uzun, maliyetinin ise yüksek olmasından ötürü başarılı örneklerle piyasada yer alamıyor, ticarileşemiyor.

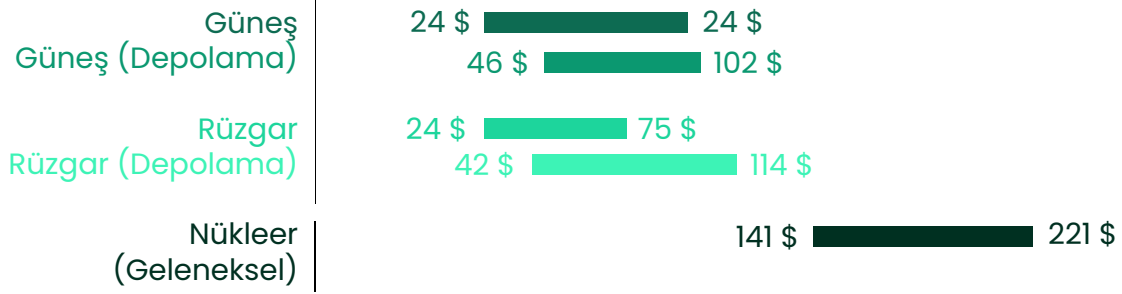
SMR'ler, geleneksel reaktörlere kıyasla daha çok radyoaktif atık oluşturma riski taşıyor: SMR'lerin, modüler olmasından ve daha düşük güç kapasitesi ile çalışmasından dolayı teorik olarak geleneksel reaktörlerden daha güvenli olduğu ileri sürülüyor. Ayrıca, düşük yakıt ikmal süresi, pasif güvenlik önlemleri ve geri dönüşüm stratejileri ile bu güvenlik algısı daha da güçlendirilmeye çalışılıyor. Oysaki, söz konusu bu önlemlerin hepsi, hâlihazırdaki geleneksel reaktörlerin operasyonlarına devam edebilmeleri için öne sürülen önlemleri daha ileriye taşıyor. SMR'ler, geleneksel reaktörlere kıyasla, 30 kat uzun ömürlü ve 35 kat da daha fazla düşük-orta düzey **radyoaktif atık** üretmeye devam ediyor. Doğal ve geri dönüştürülebilir değil, radyoaktif olarak çürüeyebilen, bölünebilir malzemeleri kullanıyor. Bu noktada, SMR teknolojilerinin hâlâ geliştirilme aşamasında olduğunu ve güvenlik tedbirlerinin tam anlamıyla test edilmediğini göz önünde bulundurmak da gerekiyor. Söz konusu varsayımlar altında, mevcut radyoaktif atık sorununa bir de küçük ve orta ölçekli atıklar eklenmiş oluyor. Böylece SMR'ler ve geleneksel reaktörler, güvenlik konusunda paralel bir seyir izlemiş oluyor.

Yapılan bilimsel çalışmalarda SMR'lerin uzun vadede, radyoaktif atık üretiminin yönetim gereksinimleri ve bertaraf seçenekleri açısından geleneksel reaktörlerden daha geride kaldığı vurgulanıyor. Daha küçük olması nedeniyle, SMR'lerde geleneksel reaktörlere kıyasla çok daha fazla **nötron sızıntısı** –nükleer reaksiyon sırasında ek nötronların çekirdekten kaçması ve yapısal malzemelere çarparak radyoaktif hâle gelmesi– yaşanabileceği ve SMR'lerde kullanılan nükleer yakıtın, çıkarılan birim enerji başına daha büyük hacimlerde boşaltılacağı gösteriliyor.

SMR'lerin, rüzgâr ve güneş ile ekonomik açıdan rekabet edebilmesi de mümkün değil: SMR'lerin yaygınlaştırılmasının önündeki en büyük engellerin başında, bu teknolojilerin ekonomik açıdan rüzgâr ve güneş gibi güvenilir ve ucuz yenilenebilir kaynaklar ile ekonomik olarak rekabet edebilir olmaması geliyor.

Nisan 2023 tarihli seviyelendirilmiş maliyet analizinde (ömür boyu maliyet/enerji üretimi), **geleneksel nükleer enerji tesislerinde** birim enerji başına maliyet 141-221 dolar/MWh; rüzgâr ve güneş için maliyet ise sırasıyla, 24-75 dolar/MWh ve 24-96 dolar/MWh olarak hesaplanıyor. Depolama maliyeti hesaba katıldığında rüzgâr ve güneş için enerji maliyetleri, sırasıyla 42-114 dolar/MWh ve 46-102 dolar/MWh'ye yükselmesine rağmen nükleer maliyetinin oldukça altında kalıyor.

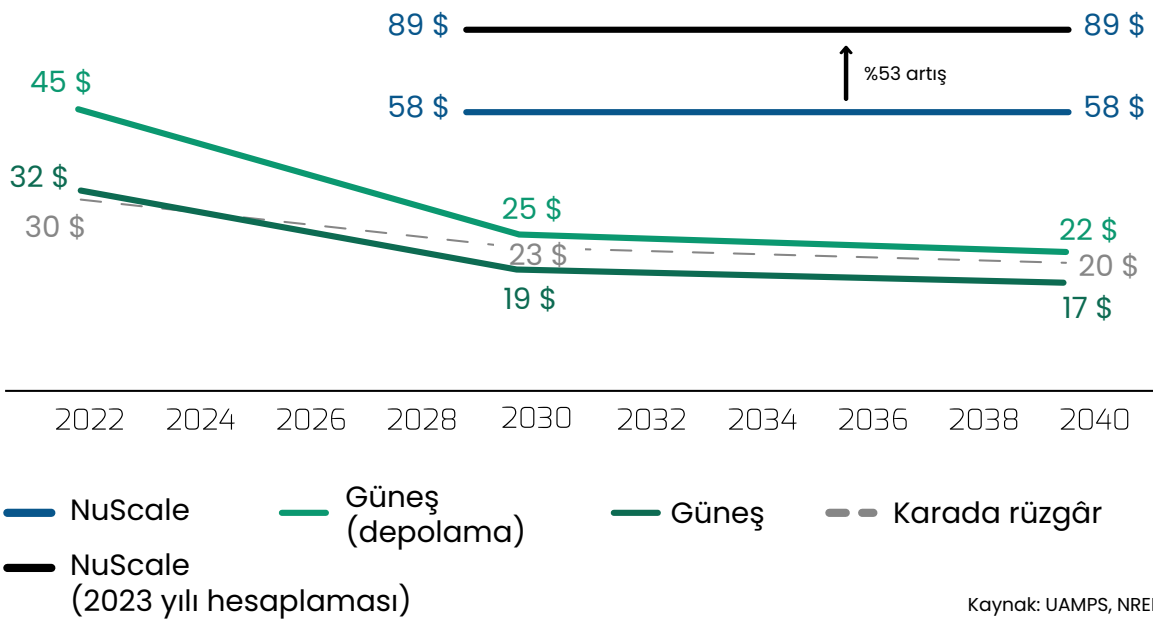
Seviyelendirilmiş enerji maliyeti analizi, dolar/MWh



Kaynak: Lazard Levelized Cost of Analysis, Nisan 2023

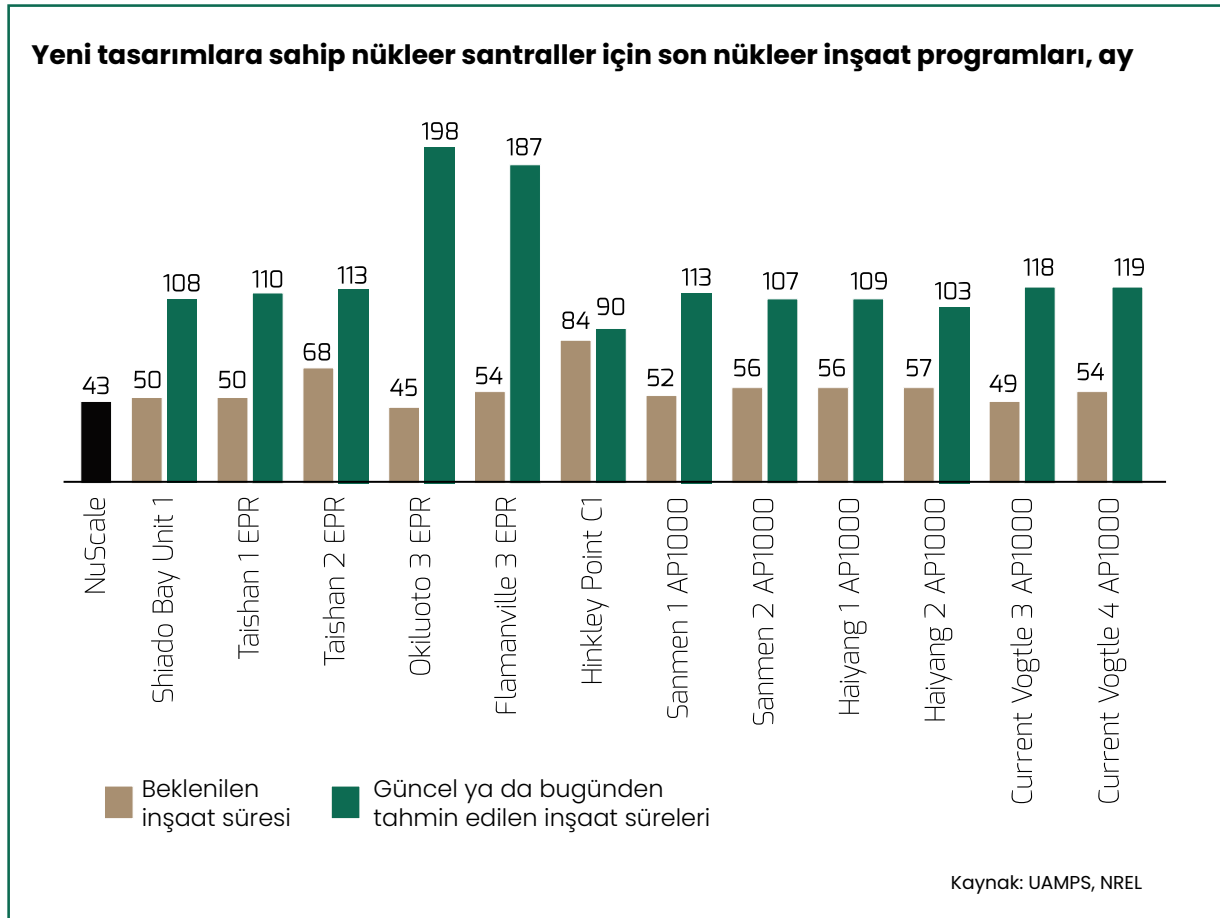
ABD'nin NuScale projesi özelinde yapılan bir diğer analiz ise SMR'lerin faaliyete geçene kadarki dönem ve sonrasında diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim maliyetlerinin nasıl değişeceğini hesaplıyor. 2022 yılında yapılan hesaplamada NuScale reaktörlerinin –esasinda daha yüksek olması beklenen– birim enerji maliyeti 58 dolar olarak kabul ediliyor. Buna karşılık diğer yenilenebilir enerji çözümlerinde maliyet hem zaman içinde geriliyor hem de NuScale reaktörlerine kıyasla çok düşük seviyede kalıyor. 2023 yılı hesaplamalarında NuScale birim enerji maliyeti, %53 artışla 89 dolara yükseliyor.

NuScale'in enerji fiyatı hedefi ve diğer yenilenebilir kaynaklar, dolar/MWh



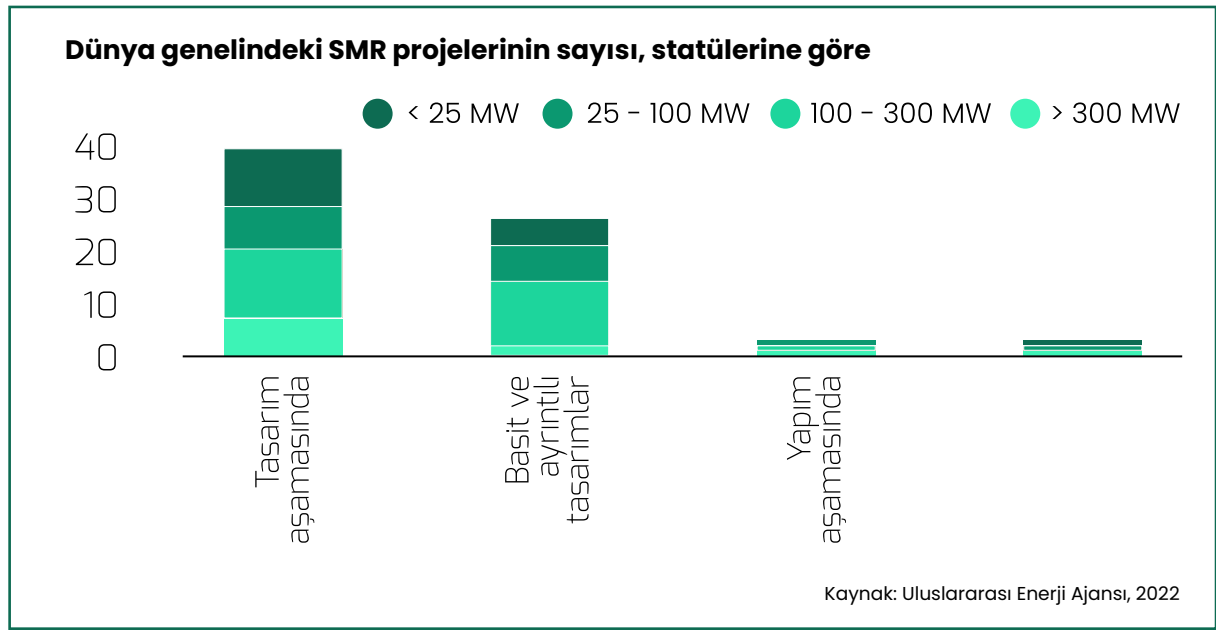
SMR'ler verimli çalışmıyor ve ticari olarak kendini kanıtlayabilmiş değil: Öte yandan, nükleer santrallerin, geleneksel reaktörlere kıyasla daha düşük termal verimli olmasından dolayı, işletme maliyetleri yüksek ve birçok reaktör beklenen kârı sağlayamadığı için kapatılıyor. Daha düşük miktarda elektrik üretiminin daha az gelir getireceği ve inşaat maliyetlerinin bunun çok daha üstünde kalacağı da tartışılıyor. Bu ekonomik dezavantaj nedeniyle SMR'lerin faaliyete geçmeden kapandığı ve ticarileşemediği ifade ediliyor.

Hâlihazırdaki operasyonel uygulamalar, ertelemeler neticesinde çok uzun bir sürede hayata geçiriliyor. Uzun geçmişine, ayrılan büyük fonlara ve gerekli regülasyonların düzenlenmesi için harcanan çabaya karşılık, aktif biçimde çalışan sadece iki adet SMR bulunuyor. Bu iki SMR de beklenen (3-5 yıl) ve iddia edilen kısa inşa sürelerinin aksine çok daha uzun sürelerde ve bu nedenle de planlananın çok üstünde bir maliyetle inşa ediliyor. İnşaat süreleri dâhilinde yapım maliyetlerinin Rusya'da beş, Çin'de ise iki kat arttığı biliniyor. Bu ekonomik dezavantajı bertaraf edebilmek için bir alanda birden fazla SMR da inşa ediliyor. Oysa bu durum, mevcut riskleri daha da artırıyor.



SMR piyasasında mevcut görünüm

Hâlihazırda faaliyette olan, yapım aşamasında bulunan ya da yapımı planlanan SMR'lerin dünya genelindeki dağılımı, nükleer güç kapasitesi yüksek ülkelerde –ABD, Kanada, Birleşik Krallık, Rusya, Çin ve Japonya– yoğunlaşıyor. Dünya genelinde geliştirilmekte olan **70'ten fazla ticari SMR tasarımının** belirli konseptler dâhilinde geliştirildiği görülüyor fakat bunların neredeyse hepsi henüz tasarım aşamasında bulunuyor.



Dünya genelinde aktif olan yalnızca iki SMR bulunuyor. Bunlardan ilki Kasım 2019'da şebekeye bağlanan ve Mayıs 2020'den bu yana faaliyette olan Rusya menşeli, yüzen nükleer santral, **The Akademik Lomonosov**. 35 MW'lık iki küçük modüler reaktörden oluşan ve yapımı yaklaşık on iki yıl süren The Akademik Lomonosov'un yapım maliyeti 612 milyon dolara ulaşılıyor. Onu, Kasım 2021'de faaliyete geçen Çin menşeli, yüksek sıcaklıklı gaz soğutmalı ve 105 MW kapasiteli iki küçük modüler reaktörden oluşan **HTR-PM** takip ediyor. Yapımı yaklaşık 9 yıl süren reaktörün maliyeti ise yaklaşık 525 milyon dolara kadar yükseliyor.

ABD: Yakın dönemde SMR'ler konusunda atılım gerçekleştiren ülkelerin başında ABD geliyor. İki büyük SMR girişiminin –**The Kairos Power FHR ve NuScale SMR**– yanı sıra birçok insiyatif aracılığıyla ve yasal süreçlerde sağlanan ilerlemelerle SMR'lerin nükleer güç filosuna dâhil edilmesi planlanıyor. Örneğin 2019 yılında "SMR'ler için

Lisanslama Teknik Destek Programı” ve “SMR Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) Desteği” hayata geçiriliyor. SMR alanında teknoloji geliştiren firmalar, teknik ve lisanslama süreçleri özelinde, destekleniyor. Enerji Bakanlığı, bu konuda 600 milyon dolarlık bir fona sahip. 2020’de SMR’lerde risk azaltımı özelinde geliştirilen beş tasarıma 30 milyon dolar fon sağlıyor. 2023 mali bütçesinde nükleer ve hidrojen programlarına 21 milyar dolar ayrılacağı belirtilirken; **Enflasyonu Düşürme Yasası** (*Inflation Reduction Act*) kapsamında sağlanan teşviklerle –369 milyar dolarlık iklim taahhüdü– nükleer enerjinin kısa ve orta vadeli yatırım hedefleri destekleniyor. Yüksek kapasite faktörü ve düşük sermaye harcamasına sahip olmasından ötürü üretim vergisinde sağlanacak muafiyetlerle SMR teknolojilerinin yaygınlaştırılması hedefleniyor. Ayrıca ülke dışında da yatırımlar söz konusu. 275 milyon dolarlık bir finansman ile Romanya’da da SMR projelerinin geliştirileceği duyuruluyor.

Kanada: 2022 yılında Kanada’da ülkenin ilk ticari SMR projesi için 1 milyar dolar ayrılıyor. Hükümet, yerel yönetimler, akademi ve sivil toplum katılımıyla oluşturulan SMR Aksiyon Planı ile farklı SMR uygulamalarına yapılacak yatırımlara dair yol haritası çiziliyor.

Birleşik Krallık: 2020 yılında Birleşik Krallık’ta ise farklı SMR projeleri için 215 milyon pound fon ayrılacağı belirtiliyor. Birleşik Krallık, ayrıca, 2050 yılına kadar elektrik üretiminin %25’ini nükleer enerjiden karşılamak için 157 milyon sterlinlik fon sağlayacağını duyururken bu dönüşümde ağırlığı SMR’lere vereceğini de ilan ediyor.

Türkiye’de nükleer enerji gündemi ve SMR’ler

Hâlihazırda nükleer enerji kapasitesine sahip gelişmiş ekonomilerin yanında, Danimarka, Estonya, Polonya, Ürdün, Singapur gibi nükleer gücü bulunmayan ülkelerde de çeşitli insiyatifler şimdiden gerekli altyapı ve finansman çalışmalarıyla SMR’ler kurulmasının önünü açmaya çalışıyor. **Türkiye’nin** yakın zamanda nükleer kapasite oluşturmak üzere attığı adımlarla, bu ülkeler arasında yer almak konusunda hızlı bir biçimde ilerlemek istediğini söylemek mümkün.

Türkiye’nin yakın dönemli enerji gündeminde en sık yer edinen konuların başında, 4,8 GW kurulu güç kapasiteli **Akkuyu Nükleer Santrali’nin** inşaatı geliyor. “Yap-işlet-sahip ol” modeliyle üstlenilen santralin inşasına dair ortak karar, Türkiye ve Rusya arasında 2010 yılında alınırken, inşaat çalışmaları 2018 yılında başlıyor. Santral, geçtiğimiz ay ilk nükleer yakıtın gelişiyle nükleer tesis statüsünü kazanıyor ve inşaatın 2025 yılında sona ermesi bekleniyor. Öte yandan, 2022’nin son günlerinde yayımlanan **Türkiye Ulusal Enerji Planı’nda** 2035 yılına kadar toplam nükleer enerji santrali kurulu gücünün 7,2 GW’a yükselmesi ve toplam elektrik üretiminde nükleer payının da %11’e ulaşacağı öngörülüyor.

Burada hedeflenen kurulu güç, Akkuyu Nükleer Santrali'nin kapasitesinin üstünde kalıyor. Bu durum, Türkiye'nin nükleer kapasitesini genişletmekte Akkuyu Nükleer Santrali'nin ötesine geçmeyi hedeflediğini gösteriyor. Verilen demeçlerde yapımı Sinop'ta öngörülen ve gerekli etütlerin tamamlandığı ikinci nükleer santral için Güney Kore, Kırklareli'de öngörülen üçüncü nükleer santral için ise Çin ile görüşüldüğü [belirtiliyor](#). Yine geçtiğimiz yılın son günlerinde Bloomberg tarafından, Türkiye'nin **35 adet küçük modüler reaktör satın alımı** için ABD ile görüşmelerde bulunduğu haberi [duyuruluyor](#) ve geçtiğimiz günlerde de **SMR'ler özelinde bakanlık düzeyinde çalışmalar** yürütüldüğü [açıklanıyor](#). Böylece, nükleer kapasite inşasında geriden gelip hızlı bir atılım yapmak niyetinde olan Türkiye'nin, nükleer endüstrisi tarafından önemli bir pazar olarak değerlendirildiğini söylemek mümkün gözüküyor. Bu noktada, maliyetleri ve güvenlik riskleri ortada olan bir teknolojinin, özellikle Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığını artıracak da göz önünde bulundurulduğunda; bu kadar iddialı bir şekilde enerji kapasitesine dâhil edilmesinin sakıncaları üstünde durmak gerekiyor. Fakat açıklanan **Orta Vadeli Program (2024-2026)** dâhilinde de Türkiye'nin ödemeler dengesi önlemleri arasında nükleer güç santralleri –ilave kapasite olarak SMR'lere yönelik girişimler– ve yerli kömür ile temiz kömür teknolojilerinin geliştirilmesi [yer alıyor](#).

Sonuç olarak

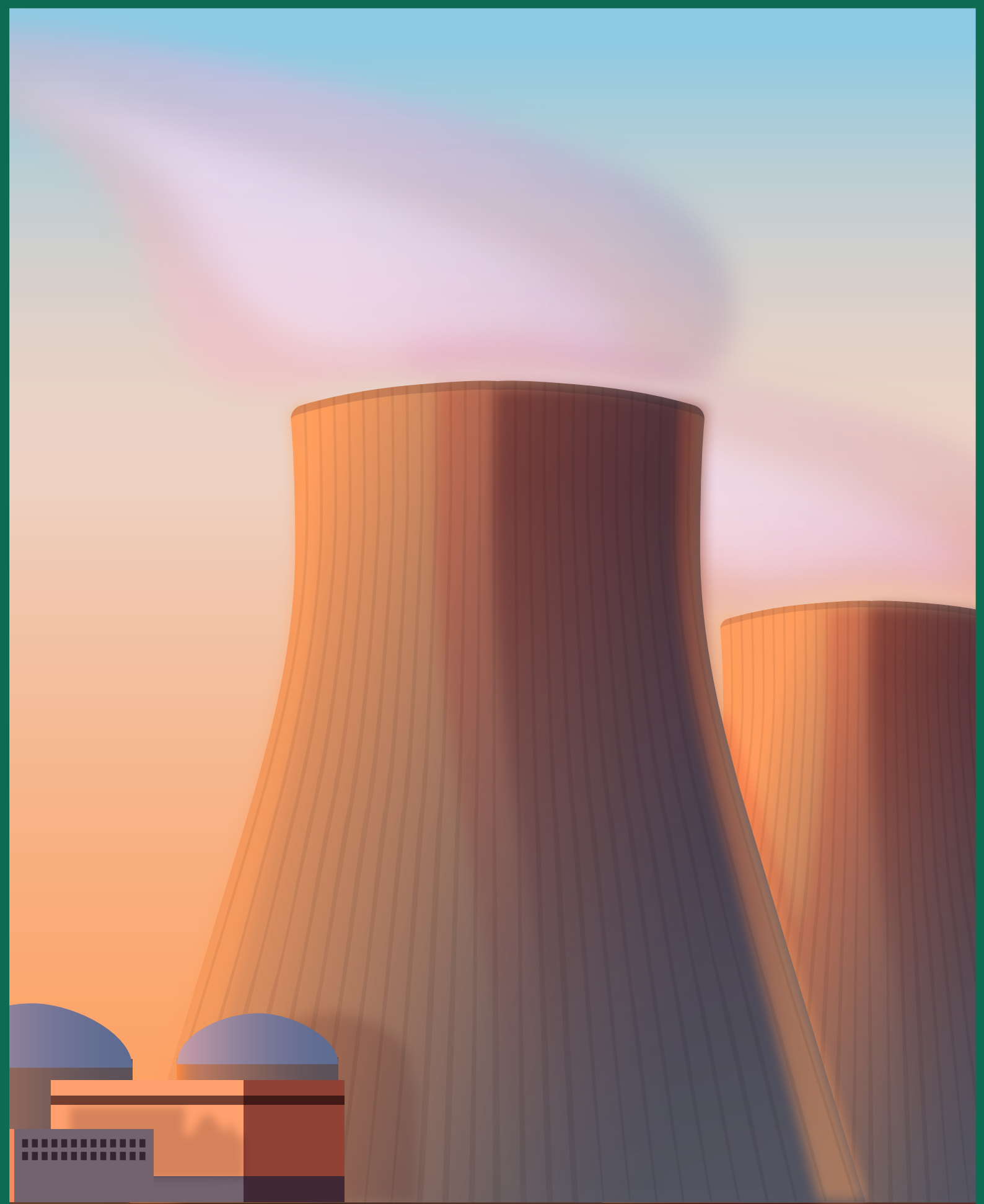
Yukarıda ayrıntılandırılan SMR anlatısı ve bunların karşısında yer alan argümanlar göz önünde bulundurulduğunda SMR'leri, nükleer endüstrisi tarafından geleneksel reaktörlerin kaybettiği pazar payını ikame etmesi için yeniden gündeme getirilen teknolojiler olarak değerlendirmek mümkün gözüküyor. SMR'ler ile gündeme getirilen “yeni tip” nükleer reaktörler modüler, güvenli, esnek ve ekonomik olduğu iddialarıyla; iklim hedefleriyle uyumlu bir enerji dönüşümünü sağlamada rüzgâr ve güneş gibi düşük maliyetli ve hâlihazırda ticari olarak da kendini kanıtlamış yenilenebilir kaynakların yanında yer bulmaya çalışıyor.

Oysaki SMR'ler, uzun geçmişlerine rağmen hâlâ ticari olarak ve verimli bir biçimde işler hâle gelebilmiş, yaygınlaşabilmiş değil. Bugüne kadar henüz iki SMR'nin çalışır hâle getirilmiş olması ve yıllar içinde birçok projenin teknik ve ekonomik sebeplerle iptal edilmesi, SMR'lerin sunduğunu iddia ettiği avantajların test edilebilmesini de hâlihazırda engelliyor. SMR'lerin hem güvenilir olmadığı hem de ekonomik olarak rüzgâr ve güneş ile rekabet edecek seviyeye ulaşamayacağı gerçeğine karşılık, kurulan insiyatifler ve yapılan milyar dolarlık yatırımlarla mevcut riskler genişletiliyor ve iklim hedefleri geciktiriliyor.

Nükleer endüstrisinin bu başarısız girişimine karşılık, SMR projeleri iklim krizi karşısında güvenilir ve düşük maliyetli bir çözüm olarak nükleer güce sahip olmayan ülkelerde de yoğun biçimde gündeme getiriliyor. Türkiye de bu kapsamdaki ülkeler arasında. Akkuyu Nükleer Santrali'nin ilk yakıt temininin yapılması ve ilk ünitenin 2025 yılında faaliyete geçecek olmasının yanı sıra, iki yeni nükleer santralin kurulumu üzerine görüşmeler sürüyor ve Ulusal Enerji Planında ifade edildiği şekliyle 2035 yılına kadar Türkiye'de kurulu toplam nükleer kapasitesinin 4,8 GW'tan 7,2GW'a yükseltilmesi hedefleniyor. Ulusal Enerji Planı'nın duyurulduğu günden bu yana gerek kamu gerek özel sektör tarafından, SMR kurulumunu destekleyen açıklamalar yapılıyor.

Yukarıda sayılan tüm argümanlar göz önünde bulundurulduğunda, SMR'lerin gerek dünyada gerekse Türkiye'de, yanıltıcı bir iklim çözümü olarak gündeme geldiği ve ülkeleri gerçekçi iklim hedeflerinden uzaklaştırdığı değerlendiriliyor. Küresel ortalama sıcaklıkların 1,5 derecenin altında kalması, ekosistemlerin ve türlerin korunması, güvenli hayatın ve toplumsal kaynaklara erişimin etkin ve eşitlikçi bir biçimde sürdürülebilmesi için 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarının çok hızlı bir şekilde azaltılması gerekiyor. Bunun için iklim krizinin baskılarını artırmayacak acil ve güçlü azaltım önlemlerinin ertelenmeden alınmasını sağlayacak bir politik iradeye ihtiyaç duyuluyor. Net-sıfır ekonomiye geçerken, bir yandan karbonsuzlaşma önlemlerini ötelemek yerine zamana yayarak maliyetleri düşürmeye çalışmak, diğer taraftan da maliyet yaratacak olan muhtemel ölü yatırımlardan kaçınmak ve geçiş için mevcuttaki finansal imkanlardan faydalanmak önemli gözüküyor.

SMR'ler, bir yandan geleneksel nükleer santrallerle ilgili tüm riskleri bünyesinde barındırırken, diğer taraftan da elektrik üretimi, ulaşım, sanayi ve binalarda hayata geçirilecek sürdürülebilir, temiz ve düşük maliyetli çözümlerin tam karşısında duruyor. Riskli ve maliyetli bir çözüm olmasına rağmen, yeni bir teknolojik atılımla iklim krizine cevap verilebileceği argümanını ortaya atarak gerçekçi ve gerekli iklim eylemlerinin geciktirilmesine neden oluyor.



Sürdürülebilir Ekonomi ve Finans Araştırmaları Derneği (SEFiA)

Kasım 2023 | www.sefia.org