

Dünya İklim Krizi, Rusya Ukrayna Savaşı ve Artan Küresel Doğalgaz Fiyatları
Sonucu Yükselen Global Küçük Modüler Güç Reaktörleri SMR İlgisi

Ahmet Cangüzel Taner

Fizik Yüksek Mühendisi

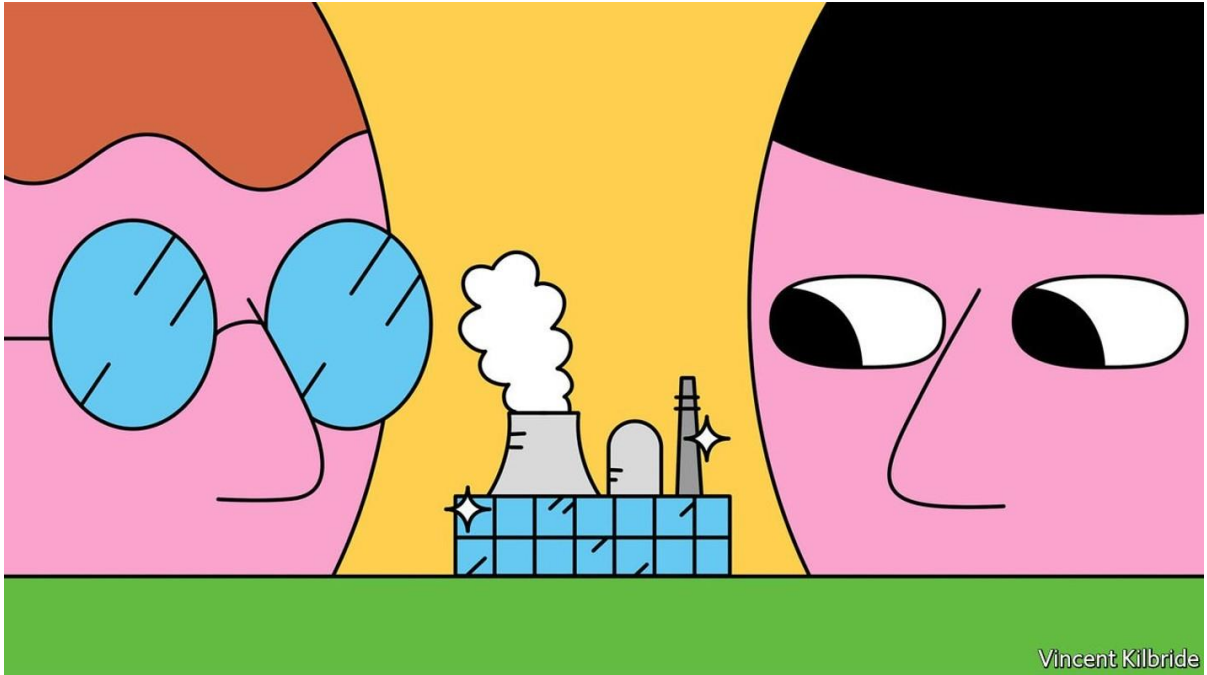
Fizik Mühendisleri Odası FMO (canguzel.taner@gmail.com)

Rusya Federasyonu jeopolitik, jeoekonomik ve jeostratejik hedefleri doğrultusunda Avrupa Birliği AB ülkeleri Rus doğalgaz hatları ağı yatırımları ile kuşatılmış bir konumda bulunmaktadır. Uzun zamandır devam eden Rusya Ukrayna gaz kesintileri neticesi oluşan Avrupa doğalgaz arz güvenliği sorunları önlenmesi bağlamında Ukrayna toprakları yerine Baltık Denizi altından doğrudan Almanya'ya ulaşan Rus Alman Kuzey Akım 1 ve Kuzey Akım 2 gaz boru hatları yatırım projeleri gerçekleştirilmiştir. Ancak, Rus ve Ukrayna savaşı ile birlikte Amerika Birleşik Devletleri ABD ve AB ülkeleri tarafından Rusya Federasyonu'na uygulanan ekonomik yaptırımlar, siyasi ambargolar ve finansman zorlukları aynı zamanda söz konusu gaz boru hatlarına yapılan sabotajlar sonucu Kuzey Akım 1 ve Kuzey Akım 2 doğalgaz boru hatları gaz akışı da kesintilere uğramaktadır. Böylece, maalesef Avrupa ülkeleri enerji arz güvenliği zafiyeti, açmazı ve çıkmazı problemleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Günümüzde ise yine Ukrayna topraklarını bypass eden sadece Karadeniz Türk Akımı (Turkstream) gaz boru hatları kanalıyla Avrupa ülkelerine politik açılardan sürdürülebilir, dengeli, kararlı ve düzenli Rus doğalgaz arzı ve temini sağlanmaktadır. Nitekim, Ekim 2022 tarihinde Rusya Federasyonu ve Avrupa ülkeleri arasında en güvenilir gaz boru hattı güzergâhı olarak Türkiye karasuları ve topraklarından geçen Türk Akımı doğalgaz boru hatları olduğu da üst düzey Rus yetkililer tarafından resmen ilân edilmiştir. Süregelen Rusya Federasyonu - Ukrayna savaşı ile beraber fahiş oranlarda artan dünya doğalgaz fiyatları, eş zamanlı hüküm süren yeryüzünün ısınması sorunları ve küresel iklim değişikliği krizi karşısında kurulması seçeneği giderek yükselen global ufak karbonsuz iklim dostu yenilikçi modüler nükleer elektrik reaktörleri (Small Modular Reactors - SMR) yatırımları bu yazıda incelenmektedir.

Küresel temel enerji kaynağı iklim dostu karbonsuz yeni nesil nükleer güç santralleri NGS reaktörleri ilk yatırım maliyetleri rakamlarının yüksek düzeylere tırmanması, nükleer enerji yatırımcıları için önemli bir engel oluşturmaktadır. Ayrıca, geçmişte vuku bulan Amerika Three Mile Island, Ukrayna Çernobil ve Japonya Fukuşima nükleer yakıt erimesi kazaları da nükleer reaktör ünitelerinin karbonsuz özellikleri ve iklim dostu nitelikleri olmasına rağmen, ne yazık ki, dünya kamuoyu üzerinde nükleer korku, nükleer nefret ve nükleer dehşet havası gibi çok ciddi olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Diğer taraftan, küresel fosil yakıtlar içerisinde en çok kullanılan karaelmas kömürün çıkarılması sırasında vuku bulan ölümcül elim kazalar ve baz yüklü kömür yakan termik santraller komplekslerinin neden olduğu çevre kirliliği can kayıpları karşısında iyi bir konumda görünen iklim dostu karbonsuz nükleer enerji projeksiyonları ise nükleer güç konusunda halkın ikna edilmesi ve kamuoyunun bilgilendirilmesi açısından yetersiz ve başarısız bir duruma düşmüştür. Böylece, global elektrik enerjisi üretimi görünümü kapsamında küresel karbonsuz nükleer güç üretimi portföyü payı 1996 yılında %17.5 düzeyinde iken 2020'de %10.1 seviyesine kadar azalmıştır. Ancak, yönetimlerin uygulamaya başladıkları ciddi küresel karbonsuzlaştırma teknikleri programları çerçevesinde global karbondioksit emisyonlarının sıfırlanması aynı zamanda yeşil, doğa dostu ve çevreci projeksiyonlar

bağlamında karbonsuz iklim dostu nükleer güç teknolojileri planlamaları da artık yer almaya başlamıştır. Örneğin **Avrupa Birliği AB**, karbonsuz nükleer enerji yatırımları perspektiflerini; çevreci, yeşil ve doğa dostu projeler finasmanı listesine Ocak 2022 tarihinden itibaren dahil etmiştir. Öte yandan, 2022 yılı başlarında patlak veren Rusya Federasyonu - Ukrayna savaşı ile birlikte artan küresel fosil yakıtlar fiyat artışları neticesinde Rus doğalgaz kaynakları, rezervleri ve yataklarına aşırı derecede bağımlı olan Avrupa ülkeleri enerji arz güvenliği sorunları ve ikilemi de yeniden gün yüzüne çıkmıştır. **Avrupa Birliği AB** ülkeleri gaz arz güvenliği sıkıntıları çözümü yönünde en olumlu yanıtı ise iklim dostu nükleer enerji sanayi ve karbonsuz nükleer güç endüstrisi vermektedir. Örneğin, daha ucuz, kurulması kolay ve finansman riski düşük olan baz yüklü karbonsuz yeni nesil küçük modüler reaktörler (**Small Modular Reactors - SMR**) üniteleri projeleri yatırım maliyetleri giderek azalmaktadır.

Temel yük kaynağı iklim dostu karbonsuz klasik nükleer güç santrali **NGS** reaktörü aşağıdaki karikatürde canlandırılmaktadır. Güneş sistemi içinde yaşanabilir yegâne mavi gezegen dünyanın geleceği yönünde evrimsel nükleer reaktör komplekslerinin önemli bir rol oynaması öngörülmektedir. Karikatürün sol tarafında baz yüklü klasik nükleer güç santrali **NGS** reaktörü kompleksine dair iyimser görüşlü olan kişi **turkuaz renkli** gözlükle, sağ tarafında ise nükleer güç karşıtı ve nükleer enerji hakkında kötümser görüşlü olan kişi **siyah renkli** kuşku ve kaygılı göz ile bakmaktadır. Ayrıca, nükleer santral reaktörü soğutma kulesi ünitesinden atmosfere karbon emisyonları ve karbondioksit salınımları kesinlikle yapılmamakta olup havaya salınan su buharı da **beyaz renkli** olarak ortadaki şekilde gösterilmektedir.



Kaynak: The Economist Dergisi

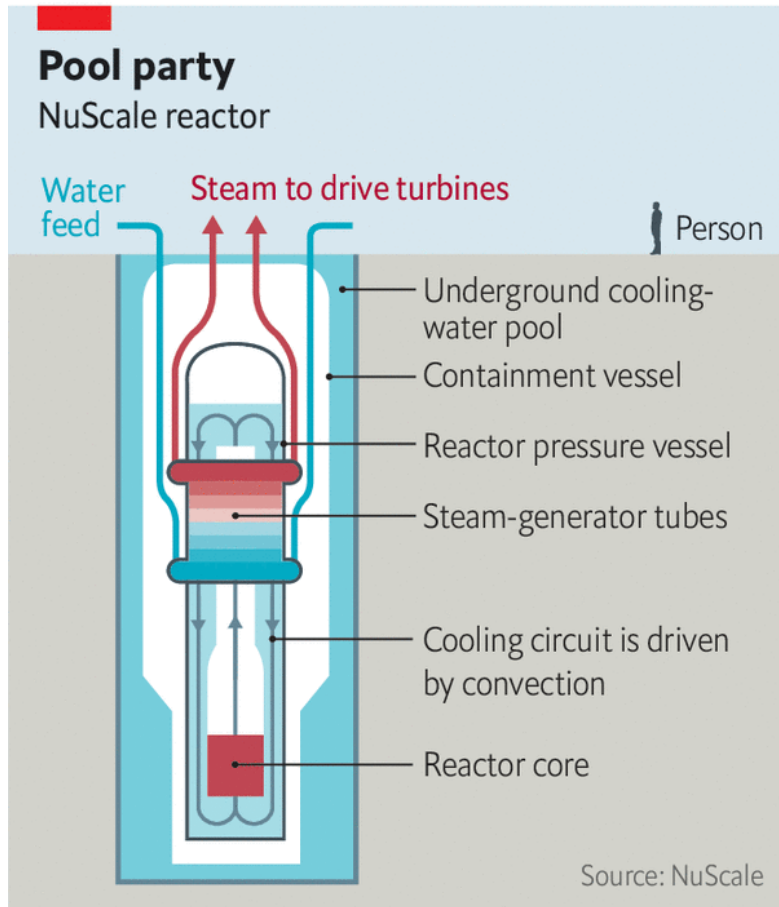
Öte yandan, gemide taşınan deneme amaçlı küçük modüler reaktör **SMR** tipi kabul edilen Rus yapımı **Akademik Lomonosov** iklim dostu yüzer nükleer güç santrali **NGS** kompleksi, 2019 yılından itibaren karbonsuz nükleer elektrik üretimi için şebekeye bağlanmıştır. Daha yüksek kapasiteli Çin **Hainan** ticari küçük modüler reaktörü **SMR** ünitesinin 2026 yılında faaliyete geçmesi beklenmektedir. İngiltere Hükümeti 2021 yılında 16 adet **Rolls-Royce** tasarımı yeni kuşak nükleer santral kurulacağını açıklaması da bir yönden ülkede iklim dostu küçük modüler reaktör **SMR**

kurulması ve yaygınlaştırılması bağlamında önemli iklim dostu karbonsuz nükleer güç programı projeksiyonu kabul edilmektedir. **ABD Idaho Ulusal Laboratuvarı** (Idaho National Laboratory - INL) yerleşkesi içinde Amerikan **Nuscale Power** Firması dizaynı ilk **SMR** tipi yeni nesil nükleer elektrik üretimi kompleksi ünitesinin 2029 yılında şebekeye bağlanması öngörülmektedir. **Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı** (International Atomic Energy Agency - IAEA), küresel boyutta yaklaşık 50 adet iklim dostu **SMR** tasarımı yenilikçi nükleer güç ünitesi tesisinin kurulacağını öngörmektedir. Adında da anlaşılacağı üzere **SMR** tipi inovatif nükleer elektrik tesisleri, konvansiyonel nükleer güç santrali **NGS** reaktörleri ünitelerine kıyasla çok daha düşük kapasiteli kurulmaktadır. Örneğin, tipik olarak **SMR** modeli inovasyona dayalı reaktör ünitesinin 300 MW'lık nükleer elektrik kapasitesi, standart geleneksel nükleer güç santrali **NGS** reaktörü elektrik kapasitesinin kabaca beşte birine karşılık gelmektedir. **SMR** dizaynı yeni kuşak nükleer güç ünitesi maliyetlerinin azaltılması açısından küçük modüler reaktör üreticileri; global klasik otomobil, kızartma makinesi ve konserve kutusu üreticileri gibi küresel fabrikasyon **SMR** nükleer elektrik kompleksi seri üretimleri planlamaktadır. **ABD Nuscale** Şirketi baş stratejisti **Chris Colbert**, küçük modüler reaktör **SMR** dizaynı evrimsel nükleer güç tesisleri fabrika seri üretimleri sayesinde çok büyük kapasiteli geleneksel nükleer elektrik santralleri kurulması kapsamında uğranan iş gücü ve zaman kayıplarının önleneceğini ifade etmektedir. Örneğin, 77 MW kapasiteli **Nuscale** tasarımı **SMR** reaktörü fabrikasyon seri üretimleri ile birlikte on binlerce kişinin çalıştığı aynı zamanda inşaatları uzun süren ilk yatırım maliyetleri çok yüksek dev kapasiteli konvansiyonel nükleer güç santrali **NGS** reaktörleri sermaye ve gelir kayıpları da engellenecektir.

Nuscale dizaynı **SMR** yenilikçi nükleer elektrik ünitesi, 23 metre yükseklikte olan baklava şekilli reaktör kabı, yer altında çelik gömlekli soğutma suyu havuzuna yerleştirilmiş bir konumda bulunmaktadır. Bu arada **Nuscale** tipi mikro **SMR** nükleer santral tesisi komple betonarme zırh ile de kaplanmaktadır. Ayrıca, **SMR** modeli nükleer güç santrali **NGS** tesisinde bir nükleer elektrik ünitesinin nükleer yakıt yüklenmesi, ikmali ve takviyesi süresi boyunca kapatılması halinde sistemin modüler özelliği nedeni ile diğer reaktörlerin elektrik üretimleri devam ederek böylece sürdürülebilir nükleer güç üretimi işletim imkânı da sağlanmaktadır. Küçük kapasiteli nükleer güç reaktörleri ünitelerinin sadeleştirilmiş yapıları, maliyetlerin düşürülmesi yönünden önemli fırsatlar doğurmaktadır. **Nuscale** tasarımı **SMR** tipi nükleer reaktör kalbi (reaktör çekirdeği) etrafında dolanan soğutma suyu sayesinde **basit ısı nakli ve sadeleştirilmiş ısı aktarımı (simple convection)** gerçekleştirilmesi yoluyla nükleer elektrik enerjisi tesisi içinde yer alan çok sayıdaki su pompaları ve diğer hareketli donanımların kullanılması bertaraf edilmektedir. Küçük kapasiteli mini **SMR** nükleer güç tesisi; son derece ayrıntılı nükleer emniyet, nükleer güvenlik ve radyasyon güvenliği standartları uygulanması yönünden de önemli olanaklar sunmaktadır. Meselâ, reaktör dahili soğutma suyu devre dışı kalması durumunda bile reaktör havuzu içindeki harici su kanalı ile ufak **SMR** tipi nükleer güç kompleksi ünitesinde oluşan ısı üretiminin absorblanması ve soğutulması sağlanmaktadır. Öte yandan, **Idaho Nuscale** dizaynı **SMR** yeni kuşak nükleer güç tesisi henüz faaliyete geçmemesine rağmen Kazakistan, Polonya ve Romanya söz konusu modüler reaktör tipine ilgi duyduklarını bildirmektedir. İngiliz 470 MW kapasiteli İngiliz **Rolls-Royce** tasarımı nükleer elektrik kompleksi de bir bakıma **SMR** nükleer güç santrali **NGS** reaktörleri türleri arasında sayılmaktadır. Ancak, **Rolls-Royce** dizaynı nükleer santral üniteleri için klasik nükleer güç reaktörleri komplekslerinde bulunan aktif nükleer güvenlik sistemleri gerekmektedir. Örneğin, söz konusu nükleer güç santrali

ünitesinde bir aksama olduğu takdirde reaktörün sürekli çalışmasının temini açısından soğutma suyu pompaları ve yedek jeneratör donanımlarının devreye girmesi icap etmektedir. Mevzu bahis durum ise İngiliz reaktör tipinde nükleer güç santrali maliyetleri rakamlarını artıracak ciddi bir engel oluşturmaktadır. Ayrıca, Birleşik Krallık (United Kingdom - UK) genelinde ilk karbonsuz nükleer elektrik enerjisi yatırımları, 1950'li yıllarda klasik birinci nesil **Magnox** tipi nükleer güç santrali **NGS** reaktörleri inşaatları ile başlatılmıştır. Gelecekte ise Büyük Britanya (Great Britain - GB) **Magnox** modeli geleneksel nükleer enerji tesisleri yerine iklim dostu **SMR** tipi minyatür yenilikçi modüler karbonsuz nükleer elektrik santrali reaktörleri kurulması beklenmektedir.

Nuscale Power tasarımı **SMR** tipi nükleer güç santrali **NGS** reaktörü kesiti aşağıdaki şemada gösterilmektedir. Şemanın ilk satırında besleme suyu (**Water feed**) **turkuaz renkli**, türbinleri harekete geçiren buhar (Steam to drive turbines) **bordo renkli** ve bir kişinin boyu (Person) **siyah renkli** işaret edilmektedir. Diğer reaktör donanımları ise yukarıdan aşağıya doğru yeraltı soğutma suyu havuzu (Underground cooling-water pool) **turkuaz renkli**, reaktör koruma kabı (Containment vessel) beyaz renkli, reaktör basınç kabı (Reactor pressure vessel) **siyah renkli**, buhar üreten jeneratör tüpleri (Steam-generator tubes) **eflatun renkli**, ısı nakli ve ısı aktarımı (conviction) sağlayan soğutma suyu devresi (Cooling circuit is driven by convection) **turkuaz renkli** ve nükleer reaktör çekirdeği ya da nükleer reaktör kalbi (Reactor core) **bordo renkli** olarak gösterilmektedir.



The Economist

Kaynak: Amerikan **Nuscale Power** Şirketi

Diğer taraftan pek çok enerji analisti, biraz daha büyük kapasiteli nükleer gücün ekonomik ölçekte iklim dostu karbonsuz nükleer elektrik santrali maliyetleri rakamlarını düşürdüğünü ileri sürmektedir. İngiltere **Rolls-Royce** Şirketi sözcüsü **Alastair Evans**, 470 MW kapasiteli nükleer enerji santrali kurulumu sayesinde her bir reaktör komponentinin bir TIR kamyonu boyutuna sığdırılması suretiyle çoğu nükleer güç kayıpları ve zorluklarının önlenebileceğini ifade etmektedir. Bir tür jumbo **SMR** reaktörü olarak adlandırılan İngiliz **Rolls-Royce** dizaynı nükleer santral maliyeti rakamının 1.8 milyar pound (2.4 milyar dolar) olacağını tahmin etmektedir. Ayrıca, **Rolls-Royce** tasarımı nükleer güç santrali inşaatı çalışmalarının ise dört yıl süreceği belirtilmektedir. **Rolls-Royce** dizaynı karbonsuz nükleer elektrik santrali üniteleri yatırımlarına Amerika, Çek Cumhuriyeti ve Türkiye ilgi duymaktadır. Amerika Birleşik Devletleri **Nuscale** Şirketi, İngiltere **Rolls-Royce** Firması ve Çin Ulusal Nükleer Şirketi ([China National Nuclear Corporation](#) - **CNNC**) tarafından Hainan eyaletinde inşaatları süren küçük modüler reaktör **SMR** tipi nükleer elektrik yatırımları; çoğunlukla denenmiş, test edilmiş ve onaylanmış nükleer tasarımlar statüsünde yer almaktadır. Adı geçen tüm **SMR** nükleer santralleri; **hafif sulu reaktörler** ([light water reactors](#) - **LWR**) sınıfında olup, reaktör kalbinin soğutulması aynı zamanda nükleer zincir reaksiyonları ve nükleer tepkimelerin azaltılması amacıyla normal su (ordinary water) kullanılmaktadır. Küresel hafif sulu reaktörler ve diğer nükleer santral tipleri gibi **SMR** reaktörleri de nükleer düzenleme kuruluşları mevzuatları, lisanslama prosedürleri, tüzük ve yönetmelikleri ile denetimlerine sıkı sıkıya tabi tutulmaktadır. Örneğin, Amerikan **Nuscale** tasarımı onaylanması için sunulmasından ancak dört yıl sonra **ABD Nükleer Düzenleme Komisyonu** ([Nuclear Regulatory Commission](#) - **NRC**) tarafından 2020 yılında nükleer lisans belgesi verilmesi uygun görülmüştür. Diğer nükleer reaktör dizaynları ise egzotik ve ilginç nükleer tasarımlar türleri arasında sayılmaktadır. Örneğin, nükleer reaktör çekirdekleri helyum gazı, erimiş kurşun ve sodyum ile soğutulan reaktör tipleri; enteresan nükleer santral türleri arasında olup, nükleer reaktör kalpleri için soğutma suyu kullanmamaktadır.

Amerikan [X-energy](#) Firması ve İngiliz **Urenco** (**U-Battery**) Şirketi minyatür helyum soğutmalı reaktörler geliştirilmesi yönünde iddialı inovatif nükleer güç projeleri yürütmektedir. Mikro helyum soğutmalı nükleer santraller, hafif sulu reaktörler **LWR** ünitelerine göre çok daha yüksek sıcaklık seviyelerinde işletilmektedir. **Urenco** Firması Baş Mühendisi **Tim Abram**, **U-Battery** nükleer reaktör tipi ünitesinde soğutma gazı olan helyumun yaklaşık 750 °C santigrat dereceye kadar ulaştığını açıklamaktadır. Bu gibi yüksek sıcaklıklı nükleer enerji santralleri elektrik üretimleri yanında ayrıca, ticari ısı satışları da olası görülmektedir. Örneğin, çok sayıda endüstriyel prosesler için yüksek sıcaklıklar gerekmektedir. Günümüzde sanayi amaçlı yüksek sıcaklıklar çoğunlukla ciddi çevre kirliliği oluşturan baz yüklü geleneksel fosil yakıtlı termik santraller üniteleri kanalıyla karşılanmaktadır. Örneğin, **U-Battery** yeni kuşak nükleer reaktör komplekslerinin cam ve seramik endüstrisi dahil olmak üzere demir çelik, çimento, kağıt ve kağıt hamuru sanayileri kapsamında devreye girmesi de mümkün kabul edilmektedir. **Mr Abram**, söz konusu sanayi dallarına ilaveten **U-Battery** modeli yenilikçi nükleer santraller ile sağlanan yüksek sıcaklıkların termokimyasal ayrıştırma (thermochemical splitting) prosesleri yardımıyla enerji depolanması için olası hidrojen üretimi yöntemleri arasında kullanılması yolunu işaret etmektedir. Termokimyasal ayrıştırma yöntemi kapsamında suyu, hidrojen ve oksijen haline dönüştürmek için elektrik enerjisinden ziyade yüksek sıcaklıklar gerekmektedir. Şimdiye kadar evrimsel küçük modüler reaktörler **SMR** kompleksleri hakkında anlatılanlar olumlu ve iyi görünmektedir. Ancak, **SMR**

reaktörleri ünitelerine dair geçmişe ait kuşkular ve kaygılar da varlığını sürdürmektedir. Ticari klasik **SMR** üniteleri inşaatları 1960'lı yıllarda güçlü, güvenilir ve istikrarlı ekonomik kriterler aynı zamanda teknolojik perspektifler doğrultusunda kurulmuştur. Diğer taraftan, **British Columbia Üniversitesi** ([University of British Columbia](https://www.ubc.ca/) - **UBC**) Kamu Politikası ve Küresel İlişkiler Okulu (**School of Public Policy and Global Affairs - SPPGA**) öğretim üyelerinden **Fizikçi Prof Dr M.V. Ramana**, küçük **SMR** reaktörleri komplekslerinin büyük kapasiteli nükleer reaktörlere kıyasla nükleer elektrik enerjisi rekabeti yarışına büyük bir dezavantaj ile başladığını belirtmektedir. O yıllarda nükleer reaktör inşaat maliyetleri yavaş şekilde artmasına karşılık yüksek kapasiteli nükleer güç reaktörü ünitelerinde elektrik enerjisi üretimi maliyetleri de düşük düzeylerde seyretmiştir. Şimdilerde ise yeni kuşak küçük modüler reaktörler **SMR** seri üretimleri sayesinde maliyetlerin düşürülmesi olasılığı halen belirsizliğini korumaktadır. Örneğin, **Nuscale Idaho SMR** nükleer tesisi maliyetleri kısmen federal ekonomik sübvansiyonlar ve mali destekler yoluyla karşılanmaktadır. Bununla beraber **Dr Ramana** tarafından söz konusu **SMR** nükleer kompleksi maliyeti rakamlarının 2017 yılında 3.6 milyar dolar iken 2020'de 6.1 milyar dolara kadar yükseldiğini ifade etmektedir. **Nuscale** reaktörü ticari ortakları konumunda olan pek çok firma ise 2020 yılında **SMR** modüler nükleer enerji üniteleri projesinden ayrılmıştır. Ayrıca, aynı kategorilerde olmamasına rağmen **Nuscale** tasarımı **SMR** tipi inovatif nükleer santral teknolojisi projesi çalışmalarının; düşük karbon yatırımları yenilenebilir enerji kaynakları **YEK** odaklı güneş enerjisi santralleri **GES** üniteleri ve rüzgar enerjisi santralleri **RES** kompleksleri maliyetleri düşüşleri karşısında aynı zamanda günümüz ekonomik koşulları çerçevesinde rekabet gücünü yitirdiği de değerlendirilmektedir. Ancak, son zamanlarda nükleer gücün eskisine kıyasla daha ucuz olduğu gözlenmektedir. İngiltere **Somerset** kentinde inşaatı devam eden dev yeni nesil nükleer enerji santrali güç fiyatı bağlamında 2013 yılında elektrik enerjisi tarifi megawatt-saat başına 92.50 pound olarak enflasyona bağlı şekilde saptanması kararlaştırılmıştır. O zamanlar belirlenen nükleer elektrik enerjisi fiyatı tarifi çok pahalı olduğu gerekçesi ile şiddetle kınanmıştır. Bununla beraber şimdilerde yaşanan ulusal doğalgaz kıtlığı ve rüzgar enerjisi yokluğu ile beraber özellikle 2022 yılı boyunca İngiliz elektrik enerjisi maliyetleri söz konusu saptanan nükleer güç tarifelerine göre çok daha yüksek düzeylere ulaşmıştır. **Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı IAEA**, depolama ve sürdürülebilir elektrik üretimi kriterlerinden yoksun olması dikkate alınması halinde yenilenebilir enerji kaynakları **YEK** menşeli güç üretimi sistemlerinin çok daha pahalı yatırımlar olduğunu hesaplamaktadır. Devam eden Rusya Federasyonu ve Ukrayna savaşı, küresel enerji arz güvenliği şartlarının pamuk ipliğine bağlı olmasını göstermesi açısından dünya ülkelerine önemli bir ders niteliği taşımaktadır. İklim dostu karbonsuz **SMR** tipi inovasyona dayalı nükleer güç santrali **NGS** üniteleri seçeneğinin; global nükleer enerji politikaları üzerinde olumlu katkı sağlayıp sağlamadığını ise zaman gösterecektir. Sonuçta, Hintli nükleer bilim insanı **Fizikçi Dr Homi Jehangir Bhabha** tarafından ifade edilen "**olmayan enerji en pahalı enerjidir**" sözü her zaman geçerliliğini korumaktadır.

Kaynaklar:

- Yeni Nesil Nükleer Güç Reaktörleri, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006.
- Nükleer Güç Santralleri Gelişiminde Nükleer Emniyet ve Nükleer Güvenlik, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2008.
- Global Karbonsuz Toryum Yakıtlı Nükleer Güç Santralleri Elektrik Üretimi için Çin ve

- Hindistan'da Yürütülen **Araştırma Geliştirme ARGE** Faaliyetleri, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2014.
- Dünya Toryum Rezervleri ile Küresel Karbonsuz Toryum Kaynaklı Nükleer Elektrik Reaktörleri Geliştirilmesi için Yapılan Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2014.
 - Karbonsuz Hızlı Nükleer Santraller veya Hızlı Üretken Reaktörler ile Baz Yüklü Küçük Modüler Nükleer Güç Reaktörleri (**SMR**) Yatırımları Projeksiyonları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2019.
 - Temel Güç Kaynakları Karbonsuz Mini Nükleer Elektrik Reaktörleri ve Global Nükleer Yakıt Erimesi Kazaları Karşısındaki Teknolojik Üstünlükleri, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2020.
 - ABD** Yönetiminin Mali Destek Uygulanan Birincil Enerji Kaynakları Karbonsuz Mini Modüler Nükleer Güç Üniteleri Maliyetleri Artışları Sorunları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2020.
 - İngiltere Nükleer Güç Sanayi Canlandırılması Yönünde Karbonsuz Sizewell C ve Hinkley C Yeni Kuşak Nükleer Fisyon Santralleri Yatırımları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2020.
 - Karadeniz Türk Akımı (TurkStream) ve Baltık Denizi Kuzey Akım 2 (Nord Stream 2) Gaz Boru Hatları Yatırımları ile Rusya Federasyonu Jeostratejik Planları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2021.
 - Microsoft Şirketi Kurucusu ve Dünyanın Önde Gelen Girişimcisi **Bill Gates**'in Temel Enerji Kaynağı Karbonsuz Nükleer Güç Santrali **NGS** Yatırımları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2021.
 - Küresel İnovatif Nükleer Güç Sanayi Gelişmeleri Doğrultusunda Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı **UAEA** 2050 Nükleer Elektrik Üretimi Projeksiyonları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2021.
 - Çin Karbonsuz Toryum Yakıtlı Dördüncü Nesil Ergimiş Tuz Santralleri **ETS** Kompleksleri Kurulması ve Ticari Nükleer Güç Üretimi Başlatılması Planları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2021.
 - Karbonsuz Nükleer Elektrik Santralleri Kapatılması ve Rus Kuzey Akım 2 Gaz Projesi Sonlandırılması Baskıları Sonucu Almanya Enerji Arz Güvenliği, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2021.
 - Japon Fukushima Daiichi Nükleer Güç Santrali (**NGS**) Reaktörleri Kazaları Sonrası Baz Yüklü Yeni Kuşak Nükleer Elektrik Santralleri Gelişimi, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2021.
 - Baz Yüklü Küresel Petrol, Doğalgaz ve Kömür Yakan Termik Santraller Ünitelerinin Çalıştırılması ile Artan Global İklim Krizi Kaygıları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2021
 - Alternatif Baz Yüklü Karbonsuz Nükleer Elektrik Santralleri Geliştirilmesi Süreci Kapsamında Nükleer Yakıt Olarak Toryum Elementi Kullanımı ve Tüketimi, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2022.
 - Global Enerji Arz Güvenliği Darboğazı Aşılması Açısından İklim Dostu Karbonsuz Nükleer Güç Santralleri **NGS** Reaktörleri Popülaritesi, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2022.
 - Güney Kore Elektrik Üretim Görünümü İçerisinde Önemli Yer Alan Karbonsuz Nükleer Gücün Yeniden Canlandırılması Bağlamında Karşılaşılan Zorluklar, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2022.
 - The Economist Dergisi, (26 Mart 2022 - 01 Nisan 2022).

Fizik Mühendisleri Odası FMO Resmi İnternet Sitesi:

[www.fmo.org.tr/ yayinlar/faydali-bilgiler](http://www.fmo.org.tr/yayinlar/faydali-bilgiler)