

RESEARCH ARTICLE

SMR DEVRİMİ ve ENERJİ DİPLOMASİSİ

Serra Kökduman¹
Ebru Karaağaç²

ÖZET

Küresel enerji dönüşümünün hız kazandığı günümüzde, küçük modüler reaktörler (SMR), enerji güvenliği perspektifinden stratejik bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Geleneksel büyük ölçekli nükleer santrallere kıyasla daha esnek, ölçeklenebilir ve maliyet etkin çözümler sunan SMR'ler, birçok ülke tarafından enerji arz güvenliğini artırmak, karbon emisyonlarını azaltmak ve sürdürülebilir enerji politikaları oluşturmak amacıyla değerlendirilmektedir. Bu makalede, küresel enerji diplomasisinin SMR devrimindeki rolü ve enerji güvenliği üzerindeki etkileri incelenmektedir. Enerji diplomasisi, ülkelerin enerji kaynaklarını güvence altına almak, stratejik iş birlikleri oluşturmak ve küresel enerji piyasalarında avantaj sağlamak için kullandıkları önemli bir araçtır. SMR teknolojisi, enerji güvenliğini artırma potansiyeline sahip olup, enerji bağımlılığını azaltmakta, yerel enerji üretimini teşvik etmekte ve enerji arz esnekliğini artırmaktadır. Ayrıca, SMR'lerin modüler yapısı, farklı coğrafyalarda hızlı ve güvenli şekilde devreye alınmalarına olanak tanımaktadır. Bu çalışma, farklı ülkelerde SMR'nin benimsenmesine dair örnekler sunarak, enerji diplomasisi stratejilerini, uluslararası iş birliklerini ve SMR'nin gelecekteki rolünü değerlendirmektedir. Enerji güvenliği ile SMR arasındaki ilişki, küresel nükleer enerji politikalarının şekillenmesi açısından da kritik öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Küçük Modüler Reaktör, Enerji Diplomasi, Enerji Politikaları, Enerji Güvenliği.

Jel Kodu: N7, 013, H7.

SMR REVOLUTION and ENERGY DIPLOMACY**ABSTRACT**

As the global energy transition accelerates, Small Modular Reactors (SMR) are emerging as a strategic alternative from an energy security perspective. Compared to traditional large-scale nuclear power plants, SMRs offer more flexible, scalable, and cost-effective solutions and are being considered by many countries to enhance energy supply security, reduce carbon emissions, and develop sustainable energy policies. This article examines the role of global energy diplomacy in the SMR revolution and its impact on energy security. Energy diplomacy is a crucial tool that countries use to secure energy resources, establish strategic partnerships, and gain advantages in global energy markets. SMR technology has the potential to enhance energy security by reducing energy dependence, promoting local energy production, and increasing energy supply flexibility. Additionally, the modular nature of SMR allows for their rapid and safe deployment in various geographical regions. This study presents examples of SMR adoption in different countries, evaluates energy diplomacy strategies, explores international collaborations, and assesses the future role of SMRs. The relationship between energy security and SMR is also critical in shaping global nuclear energy policies.

Key Words: Small Modular Reactor, Energy Diplomacy, Energy Policies, Energy Security.

Jel Codes: N7, 013, H7.

¹ Bağımsız Araştırmacı, Orcid Id: 0009-0001-9200-1291, serrakokdumanyum@gmail.com.

² Bağımsız Araştırmacı, Orcid Id: 0009-0004-3290-0158, ekaraagac68@gmail.com.

1.GİRİŞ

Enerji, modern toplumların sürdürülebilirliğinde ve ulusal ekonomilerin gelişiminde kritik bir role sahiptir. 21. yüzyılın başlarından itibaren enerji kaynaklarına yönelik talebin artması, enerji güvenliğinin sağlanması ve enerjiye erişimde sürdürülebilir politikaların geliştirilmesini gerektirmiştir. Bu bağlamda, ülkelerin enerji politikalarını belirlerken enerji kaynaklarına erişimi güvence altına alma çabaları "enerji diplomasisi" olarak adlandırılmaktadır (Çiftçi, 2018).

Enerji diplomasisi, ülkelerin enerji kaynaklarına erişimlerini güvence altına alarak, enerji güvenliği sağlamak amacıyla diğer ülkelerle olan ilişkilerini belirlemelerine yönelik politikalar bütünüdür. Günümüzde enerji diplomasisinin öneminin artmasında, uluslararası enerji piyasalarındaki değişimler ve enerji kaynaklarının jeopolitik önemi büyük rol oynamaktadır. Fosil yakıtların arz güvenliğine yönelik endişeler ve iklim değişikliği baskısı, ülkeleri alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Bu kaynaklardan biri de küçük modüler reaktörler (SMR)³ olarak adlandırılan, daha küçük ve güvenli nükleer enerji teknolojileridir. SMR'lerin enerji diplomasi stratejileri üzerindeki potansiyel etkisi, enerji güvenliğine katkılarıyla birlikte giderek daha fazla dikkat çekmektedir.

Enerji diplomasisi, ülkelerin enerji kaynaklarına erişimini güvence altına almak amacıyla uyguladıkları dış politika stratejilerini kapsar. Enerji arz güvenliğinin sağlanması, enerji diplomasisinin temel hedeflerinden biridir ve ülkelerin enerji alanında bağımsız hareket edebilmesini sağlamaya çalışır (Bilgin, 2010). Bu stratejik hedef, enerji kaynaklarının sınırlı oluşu ve jeopolitik çekişmelerin yoğunluğu nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmıştır. Bu doğrultuda son yıllarda enerji piyasasında yaşanan değişimler, enerji diplomasisinin rolünü ve doğasını önemli ölçüde değiştirmiştir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişmesi ve fosil yakıtların çevresel etkilerine yönelik artan endişeler, enerji pazarında yeni dinamikler yaratmıştır. Bu durum, birçok ülkenin enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve yenilenebilir enerjiye yönelme çabalarını hızlandırmıştır. Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, enerji güvenliği açısından kritik bir strateji olarak kabul edilmekte ve ülkelerin ithal enerjiye bağımlılığını azaltma hedefleri doğrultusunda yürütülen enerji diplomasisinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Aynı zamanda, enerji pazarındaki değişimlerin bir diğer etkisi de nükleer enerjiye duyulan ilgiyi artırmıştır. Özellikle SMR teknolojisi, geleneksel büyük nükleer reaktörlere göre daha esnek, güvenli ve düşük maliyetli bir seçenek olarak ön plana çıkmaktadır (IAEA, 2018). Bu doğrultuda SMR, enerji diplomasisi alanında yeni bir sayfa açmakta; ülkelerin enerji güvenliğini artıracak stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir. Enerji arz güvenliği kaygıları, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme ve SMR gibi yeni

³ Small Modular Reactors.

teknolojilerin gelişimi, enerji diplomasisinin geleceğini şekillendirmekte ve ülkeler arasındaki diplomatik ilişkileri dönüştürmektedir.

Günümüzde enerji kaynaklarının yönetimi ve dağıtımı, uluslararası ilişkilerin en kritik unsurlarından biri haline gelmiştir. Enerji diplomasisi, ülkeler arasındaki enerji ilişkilerini şekillendiren, stratejik işbirlikleri ve rekabeti içeren bir alan olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, SMR devrimi, enerji üretiminde yenilikçi bir yaklaşım sunarak, enerji güvenliğini artırma ve sürdürülebilir enerji çözümleri sağlama potansiyeli taşımaktadır. SMR teknolojisinin gelişimi, sadece enerji üretimi açısından değil, aynı zamanda uluslararası enerji politikaları ve diplomatik ilişkiler üzerinde de belirleyici bir etkiye sahip olma yolundadır. Bu çalışma, SMR devriminin enerji diplomasisi üzerindeki etkilerini, bu teknolojinin sağladığı fırsatları ve karşılaşılabilecek zorlukları incelemeyi amaçlamaktadır.

2. KÜÇÜK MODÜLER REAKTÖRLER

SMR, geleneksel büyük ölçekli nükleer reaktörlere kıyasla daha küçük, modüler yapıda tasarlanan ve genellikle 300 MWe (Megavat elektrik) veya daha düşük kapasiteye sahip nükleer enerji üreten reaktörlerdir (World Nuclear Association, 2021). SMR'lerin tasarımında, maliyetleri azaltmak ve güvenliği artırmak amacıyla daha basit ve modüler bir yapı benimsenmiştir. Bu modülerlik, reaktörlerin ayrı ayrı üretilebilmesi ve birleştirilerek daha büyük bir güç kapasitesi oluşturabilmesi avantajını sağlar.

SMR'ler, çekirdek soğutma ve kontrol sistemlerinde inovatif teknolojiler kullanılarak daha az operatör müdahalesi gerektiren, güvenli yapılar olarak tasarlanmıştır (Demir, 2022). Ayrıca, SMR teknolojisi, bu reaktörlerin hem soğutma suyu hem de yakıt gereksinimlerinde daha düşük seviyelerde ihtiyaç duyması nedeniyle, coğrafi olarak esnek alanlarda kurulabilmelerini mümkün kılar (Küçük, 2022). Bu özellikleriyle SMR'ler, özellikle coğrafi açıdan büyük ve altyapı eksikliği bulunan ülkeler için cazip bir seçenek sunar.

SMR teknolojisinin en büyük avantajlarından biri, geleneksel nükleer reaktörlere kıyasla daha küçük boyutlarda olmasıdır. Bu durum, SMR'lerin kurulumu sırasında ihtiyaç duyulan inşaat maliyetlerini azaltır ve bu reaktörleri finansal açıdan daha erişilebilir hale getirir. Aynı zamanda, modüler yapılarının sağladığı ölçeklenebilirlik sayesinde, ülkeler enerji taleplerini karşılamak için belirli sayıda SMR ünitesi ekleyebilir veya çıkartabilirler.

Güvenlik açısından, SMR'ler doğal sirkülasyon ve pasif güvenlik sistemleri gibi yenilikçi tasarım özellikleri ile donatılmıştır (Küçük, 2022). Bu özellikler, herhangi bir güç kaybı durumunda reaktörün kendi kendine güvenli bir şekilde kapanabilmesini sağlar ve güvenliği önemli ölçüde artırır. Geleneksel büyük ölçekli reaktörlere kıyasla daha düşük yakıt yükleme sıklığı ve modüler yapıları sayesinde, SMR'lerin işletme ve bakım süreçleri de daha güvenli ve

verimli hale gelmektedir. Ayrıca, kompakt tasarımları ve yer altına inşa edilebilme özellikleri, dış tehditlere ve doğal afetlere karşı daha yüksek dayanıklılık sunmaktadır.

SMR'lerin sağladığı bu güvenlik avantajları, özellikle enerji arz güvenliği açısından kritik olan ve altyapı yatırımları gerektiren bölgelerde cazip bir seçenek haline gelmelerine neden olmaktadır. Özellikle nüfus yoğunluğu düşük, ancak enerjiye ihtiyaç duyan uzak bölgelerde, askeri tesislerde, endüstriyel komplekslerde ve ada devletlerinde güvenilir ve sürekli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Geleneksel enerji kaynaklarına erişimin sınırlı olduğu veya fosil yakıt kullanımının azaltılmasının hedeflendiği bölgelerde de önemli bir alternatif sunmaktadırlar. Bununla birlikte, SMR'lerin karbon emisyonlarını azaltma potansiyeli, küresel iklim değişikliği ile mücadelede de kilit bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile entegre edilebilmeleri, enerji şebekelerinin dengelenmesine katkı sağlayarak kesintisiz enerji arzı sunmalarını mümkün kılmaktadır. Ayrıca, SMR'lerin seri üretime uygun olmaları, maliyetleri düşürerek nükleer enerjinin daha geniş bir coğrafyada benimsenmesine olanak tanımaktadır.

Sonuç olarak, SMR teknolojisi, küçük boyutları, esnek kurulum olanakları ve güvenlik avantajları sayesinde nükleer enerji üretiminde yenilikçi bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. SMR'lerin modüler yapısı, farklı enerji ihtiyaçlarına göre ölçeklendirilebilmesini sağlarken, kurulum ve işletme süreçlerinde sağladığı esneklik, çeşitli coğrafi koşullara uyum sağlamasına yardımcı olmaktadır. Bu özellikler, SMR'leri hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler için uygun bir enerji kaynağı haline getirirken, özellikle enerji güvenliği ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasında stratejik bir rol üstlenmektedir. Ayrıca, SMR'lerin daha düşük başlangıç yatırım maliyetleri ve hızlı devreye alma süreleri, enerji projelerinin daha çabuk hayata geçirilmesine olanak tanımaktadır. Bu durum, enerji arz güvenliğini artırarak, ülkelerin dışa bağımlılıklarını azaltmalarına yardımcı olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyon kabiliyeti, enerji sistemlerini daha da esnek hale getirirken, karbon salınımını azaltma çabalarına da önemli katkılarda bulunmaktadır. Sonuç olarak, SMR teknolojisi, dünya genelinde enerji geçişinin desteklenmesi ve enerji krizlerine karşı dayanıklılığın artırılması açısından önemli bir alternatif olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle, gelecekte enerji politikalarının şekillendirilmesinde SMR'lerin potansiyeli büyük bir öneme sahiptir.

3. ENERJİ GÜVENLİĞİ

Enerji güvenliği, bir ülkenin enerji ihtiyaçlarını güvenli, sürdürülebilir ve kesintisiz bir şekilde karşılayabilme kapasitesini ifade eder (Cherp & Jewell, 2011). Bu kavram, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği ve arz sürekliliği etrafında şekillenmektedir. Enerji güvenliği, sadece ekonomik istikrarın sağlanması için değil, aynı zamanda ulusal güvenlik açısından da kritik bir öneme sahiptir. Ülkeler, enerji arzının sürekliliğini sağlamak için çeşitli stratejiler

geliştirmekte ve bu süreçte yerli enerji kaynaklarının etkin kullanımı, yenilenebilir enerji yatırımları ve alternatif enerji yollarının araştırılması gibi yöntemlere başvurmaktadır.

Enerjiye kesintisiz erişim sağlama gerekliliği, özellikle ithalata bağımlı olan ülkeler için stratejik bir öncelik haline gelmiştir. Bu durum, ülkelerin dış politika hedeflerini belirlemede ve uluslararası ilişkilerde enerji güvenliğini sağlamada önemli bir rol oynamaktadır. Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, potansiyel krizler karşısında direnç geliştirmek için hayati bir stratejidir. Örneğin, enerji arzında çeşitlilik sağlamak, ülkelerin dış kaynaklara olan bağımlılıklarını azaltarak, olası siyasi ve ekonomik krizlere karşı daha dayanıklı hale gelmelerine yardımcı olabilir. Ayrıca, iklim değişikliği ile mücadele ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri de enerji güvenliğinin önemli bir parçasıdır. Fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının benimsenmesi hem çevresel etkileri azaltmakta hem de enerji güvenliğini artırmaktadır. Bu bağlamda, enerji politikalarının oluşturulmasında hem ulusal çıkarlar hem de küresel hedefler göz önünde bulundurulmalıdır. Sonuç olarak, enerji güvenliği, ekonomik büyüme, sosyal istikrar ve çevresel sürdürülebilirlik ile doğrudan bağlantılıdır ve bu nedenle ulusal ve uluslararası düzeyde stratejik bir öncelik olarak ele alınmalıdır.

Küresel enerji pazarındaki belirsizlikler, ülkelerin enerji güvenliğini tehdit eden en önemli unsurlardan biridir. Bu belirsizlikler arasında petrol ve doğalgaz fiyatlarındaki dalgalanmalar, jeopolitik krizler ve iklim değişikliği gibi faktörler yer almaktadır. Enerji güvenliği açısından yenilenebilir kaynaklar önemli bir çözüm olarak görülse de bu kaynakların kesintili doğası ve bazı ülkelerde sınırlı uygulanabilirliği, istikrarlı bir enerji kaynağı ihtiyacını sürdürmektedir. Bu noktada, nükleer enerji ve özellikle SMR, enerji güvenliği sağlamak için etkili bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

SMR'ler, enerji güvenliğine katkı sağlayan önemli bir teknolojidir. Geleneksel nükleer santrallere göre daha küçük boyutlarda olmaları, onların çeşitli bölgelere daha kolay ve hızlı bir şekilde kurulmasını sağlar ve bu da enerjinin yerel olarak üretilebilmesine olanak tanır. SMR'lerin enerji güvenliği sağlama potansiyeli, özellikle doğal gaz veya kömür gibi fosil yakıt kaynaklarına bağımlılığı azaltma konusundaki etkileri ile dikkat çekmektedir. Bu, ithalata bağımlılığı azaltarak, enerji güvenliğini artıran bir unsur olarak öne çıkar.

SMR'lerin bir diğer avantajı ise, doğal afetler veya jeopolitik krizler gibi dış etkenlere karşı daha dirençli olmalarıdır. SMR'ler genellikle pasif güvenlik sistemleriyle donatılmıştır, bu da herhangi bir acil durumda operatör müdahalesi olmaksızın reaktörün güvenli bir şekilde kendini kapatabilmesini sağlar (IAEA, 2018). Bu özellikleri, enerji güvenliği açısından SMR'ler, geleneksel enerji santrallerine göre birçok açıdan daha güvenli bir seçenek haline gelmektedir. Geleneksel büyük ölçekli nükleer santraller, genellikle daha karmaşık sistemler

ve yüksek riskler barındırırken, SMR'lerin modüler yapısı ve doğal sirkülasyon sistemleri, güvenlik standartlarını önemli ölçüde artırmaktadır. Bu reaktörler, yenilikçi pasif güvenlik sistemleri ile donatılmıştır; bu sayede, herhangi bir güç kaybı durumunda kendiliğinden güvenli bir şekilde kapanma yeteneğine sahiptirler. Böylece, acil durumlarda riskler minimum seviyeye indirilir ve çevresel etkiler azaltılır.

Enerji güvenliği kavramının önemi artarken, SMR'ler, sağladıkları yerel enerji üretimi, bağımsızlık ve güvenlik avantajlarıyla bu ihtiyaca güçlü bir çözüm sunmaktadır. Yerel enerji üretimi, ülkelerin dışa bağımlılığını azaltmakta ve enerji arzını daha istikrarlı hale getirmektedir. Özellikle enerji talebi yüksek olan veya enerji kaynaklarına bağımlılığı yüksek olan ülkeler için SMR'lerin sunduğu bu avantajlar stratejik bir değer taşımaktadır. Örneğin, gelişmekte olan ülkeler, enerji altyapılarını geliştirmek ve enerji güvenliğini artırmak için SMR teknolojisini benimseyerek hem ekonomik kalkınmalarına katkı sağlamaktadırlar hem de enerji krizlerine karşı daha dayanıklı hale gelmektedirler. Ayrıca, SMR'ler, daha az alan kaplamaları ve hızlı kurulum imkanı sunmaları sayesinde, şehir merkezlerine veya uzak bölgelere kolayca entegre edilebilirler. Bu özellikleri, enerji talebinin yüksek olduğu yerlerde, özellikle kırsal alanlarda ve adalarda, güvenilir bir enerji kaynağı sağlamada büyük avantaj sağlamaktadır. Sonuç olarak, SMR teknolojisi, güvenlik, sürdürülebilirlik ve ekonomik açıdan sunduğu olanaklarla, modern enerji sistemlerinin önemli bir parçası haline gelmektedir ve gelecekte enerji güvenliğini sağlama konusunda kritik bir rol oynamaya devam edecektir.

4.KÜRESEL ENERJİ DİPLOMASİSİ VE SMR

Küresel enerji diplomasisi, ülkelerin enerji güvenliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için dış politika alanında yürüttükleri stratejileri ifade eder. Son yıllarda enerji diplomasisinin merkezinde yer alan SMR, ülkeler arası iş birliği yoluyla yaygınlaşmaya başlamış ve bu teknoloji, enerji güvenliğini artırmak amacıyla stratejik bir seçenek olarak değerlendirilmektedir. SMR teknolojisinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması sürecinde, çeşitli ülkeler arasında yapılan iş birlikleri ve ortak projeler giderek artmaktadır.

SMR teknolojisinin uluslararası düzeyde yaygınlaştırılması ve kabul edilmesi için pek çok ülke ortak araştırma ve geliştirme projelerine katılmaktadır. Örneğin, ABD, Kanada ve Japonya, SMR tasarımlarının güvenlik standartlarının belirlenmesi ve sertifikalandırılması konusunda iş birliği yapmaktadır (US Department of Energy, 2020). Bu tür iş birlikleri, SMR teknolojisinin küresel olarak benimsenmesini hızlandırmakta ve enerji güvenliği için yeni çözümler üretmektedir (Locatelli ve diğerleri, 2014). Özellikle ABD ve Kanada, Kuzey Amerika enerji güvenliği kapsamında SMR'lerin teşvik ederek, enerji ithalatına bağımlılığı azaltmayı amaçlamaktadır (OECD/NEA, 2016).

Enerji diplomasisi stratejileri çerçevesinde, SMR teknolojisi ülkeler arasında stratejik bir işbirliği aracı olarak öne çıkmaktadır. Rusya ve Çin, SMR geliştirme projelerine büyük yatırımlar yaparak, bu teknolojiyi enerji diplomasisinin bir parçası olarak kullanmaktadır (Liu ve diğerleri, 2016). Çin, "Kuşak ve Yol" projesi kapsamında gelişmekte olan ülkelere SMR teknolojisini tanıtarak bu bölgelerde enerji bağımsızlığını teşvik etmeyi amaçlamaktadır (World Nuclear News, 2020). Rusya ise, yüzer SMR projeleriyle hem ticari hem de diplomatik ilişkilerini güçlendirmeye çalışmakta ve bu sayede kendi enerji diplomasisini geliştirmektedir.

Enerji diplomasisi stratejileriyle SMR'leri destekleyen ülkeler, bu teknolojiyi enerji güvenliğini artırma ve enerji kaynaklarını çeşitlendirme aracı olarak görmekte ve uluslararası alanda SMR'lerin kabul edilmesini teşvik etmektedir. Özellikle Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), SMR teknolojisinin güvenlik standartlarını oluşturmak ve düzenleyici çerçeveler sağlamak amacıyla ülkeler arasında koordinasyonu desteklemektedir. IAEA tarafından düzenlenen ortak çalışmalar, SMR'lerin küresel pazarda yaygınlaşmasını sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, SMR teknolojisi, ülkeler arası enerji diplomasisi stratejilerinin merkezinde yer almakta ve enerji güvenliği sağlamak adına stratejik bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Ülkeler arası iş birlikleri ve enerji diplomasisi stratejileri, SMR'lerin küresel enerji pazarında güvenli ve sürdürülebilir bir seçenek olarak kabul görmesini sağlamaktadır.

5.SM R VE ENERJİ GÜVENLİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Enerji bağımlılığı, ülkelerin enerji kaynaklarını ithal etmek zorunda kalmaları durumunda ortaya çıkan stratejik bir risk olarak tanımlanabilir (Cherp & Jewell, 2011). Bu bağımlılık, ekonomik istikrarı tehdit edebilir ve ulusal güvenlik açısından endişeler yaratabilir. Özellikle fosil yakıt ithalatına bağımlı ülkeler, dış kaynaklardan gelen dalgalanmalara karşı savunmasız hale gelmektedirler. Bu bağlamda, enerji güvenliklerini artırmak için alternatif enerji kaynakları arayışında olan bu ülkeler, çeşitli çözümler geliştirmektedir. Küçük Modüler Reaktörler, bu arayışta önemli bir çözüm sunmaktadır.

SMR'ler, yerel olarak üretilebilecek temiz enerji kaynağı sağlamalarıyla ülkelerin enerji bağımlılıklarını azaltmalarına olanak tanır ve bu da enerji güvenliğini artırır. SMR'lerin modüler tasarımı, inşaat ve devreye alma süreçlerinin hızlandırılmasını sağlayarak, yerel enerji arzının artırılmasına katkıda bulunur. Böylece, enerji arzında çeşitlilik sağlanarak, ithalata olan bağımlılık en aza indirilir. Özellikle, gelişmekte olan ülkelerde enerji altyapılarının güçlendirilmesi açısından SMR'lerin avantajları belirginleşmektedir. Ayrıca, SMR'ler, düşük karbon emisyonu ve sürdürülebilir enerji üretimi sağlama potansiyeli ile de

dikkat çekmektedir. Bu özellikleri, enerji güvenliği ile iklim değişikliği ile mücadele hedeflerini bir araya getirerek, ulusal enerji stratejilerinin daha çevre dostu hale gelmesine katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak, SMR teknolojisi, enerji bağımlılığını azaltma ve enerji güvenliğini artırma yönündeki çabalarda önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, ülkelerin enerji politikalarında SMR'lerin entegrasyonunu teşvik eden adımlar atmalarını gerektirmektedir.

SMR'ler, ülkelerin enerji bağımsızlığını destekleyerek, enerji arz güvenliği açısından önemli avantajlar sunar. Geleneksel büyük ölçekli nükleer reaktörlerin aksine, SMR'ler daha düşük maliyetli ve esnek kurulum yapıları ile küçük ölçekli ihtiyaçlara dahi uyarlanabilir, bu sayede özellikle enerji ithalatına bağımlı ülkeler için cazip bir çözüm oluşturur (World Nuclear Association, 2021). Örneğin, SMR'ler ülke içerisinde üretilebilecek bir enerji kaynağı olarak, dışa bağımlılığı azaltarak enerji güvenliğini destekler. Özellikle yerel enerji üretimini artırmak isteyen ülkeler için SMR'lerin modüler yapısı, bu reaktörlerin küçük ölçekli alanlarda bile kurulabilmesini sağlar ve bu sayede daha fazla bağımsız enerji üretimi mümkün olur.

SMR'lerin yerel enerji üretimine katkısı, coğrafi açıdan erişilmesi zor bölgelerde enerji ihtiyacını karşılayabilme potansiyelleriyle de öne çıkmaktadır. Geleneksel nükleer santrallerden farklı olarak SMR'ler, daha esnek bir kurulum yapısına sahip oldukları için kentsel veya kırsal alanlara hızlı bir şekilde kurulabilir ve bu da ülke genelinde enerji erişimini artırır (IAEA, 2022). SMR'lerin yerel enerji kaynaklarının geliştirilmesinde oynadığı bu rol, özellikle enerji altyapısının gelişmediği bölgelerde enerji güvenliğine katkı sağlamaktadır.

Enerji güvenliği açısından SMR'lerin sağladığı bir diğer avantaj ise, ülkelerin fosil yakıt kullanımını azaltarak hem bağımsız bir enerji kaynağına sahip olmaları hem de çevresel etkilerini azaltmalarıdır. SMR'ler, karbon emisyonlarını azaltma potansiyeliyle hem çevreye duyarlı enerji üretimi sağlamak hem de enerji güvenliği konusunda uzun vadeli bir çözüm sunmaktadır. Bu bağlamda, SMR'lerin yerel enerji üretimine katkıları, ülkelerin stratejik hedeflerine ulaşmasına yardımcı olarak enerji bağımsızlığı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, SMR'ler enerji bağımlılığını azaltmada ve yerel enerji üretimini desteklemede stratejik bir araç olarak dikkat çekmektedir. SMR'lerin sağladığı esneklik, maliyet avantajları ve güvenlik özellikleri, enerji güvenliği açısından kritik öneme sahip bir çözüm olarak öne çıkmalarını sağlamaktadır.

6. SMR GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELER İÇİN ENERJİ GÜVENLİĞİ VE STRATEJİK PERSPEKTİFLER

Küçük Modüler Reaktörler (SMR'ler), geleneksel nükleer santrallere kıyasla daha düşük kurulum maliyetleri, modüler yapıları ve esnek kullanım olanakları ile gelişmekte olan ülkeler

için enerji güvenliği sağlamada stratejik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Enerji altyapısının sınırlı olduğu ülkelerde SMR'ler, enerji bağımlılığını azaltacak ve yerel enerji üretimini teşvik edecek çözümler sunmaktadır. Ekonomik erişilebilirlikleri sayesinde sınırlı finansal kaynağa sahip ülkelerde dahi yaygınlaştırılabilirler. Ayrıca, modüler yapıları sayesinde hızlı bir şekilde kurulabilir ve enerji talebinin hızla arttığı bölgelerde etkin bir çözüm sağlayabilir.

SMR'ler aynı zamanda karbon salınımını azaltmada önemli bir role sahiptir. Bu reaktörler, yenilenebilir enerji kaynaklarının güvenilir bir tamamlayıcısı olarak kullanılabilir. Özellikle yenilenebilir enerji altyapısının yeterli olmadığı bölgelerde SMR'ler, enerji boşluklarını doldurmak için güvenilir bir seçenek sunmaktadır. Polonya'nın bu teknolojiyi yenilenebilir enerji açığını kapatma stratejisine entegre etmesi, diğer gelişmekte olan ülkeler için örnek teşkil etmektedir (World Nuclear News, 2020).

Dünyada SMR teknolojisini benimseyen ülkeler, bu teknolojiyi enerji güvenliğini artırmak, karbon emisyonlarını azaltmak ve enerji arz güvenliğini sağlamak için kullanmaktadır. ABD, SMR teknolojisinin en hızlı geliştiği ülkelerden biri olup, enerji bağımsızlığına ve çevre dostu enerji çözümlerine odaklanmıştır (US Department of Energy, 2020). ABD, özellikle NuScale Power gibi firmalar aracılığıyla SMR projelerine büyük yatırımlar yaparak karbon emisyonlarını azaltmayı ve yerel enerji üretimini artırmayı hedeflemektedir (World Nuclear Association, 2021).

Fransa, enerji politikalarında nükleer enerjiyi destekleyen bir ülke olarak SMR teknolojisine büyük bir ilgi göstermektedir. Fransız hükümeti, enerji arz güvenliğini sağlamak için mevcut büyük ölçekli nükleer tesislere ek olarak SMR'leri kullanmayı planlamakta ve bu konuda araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) çalışmalarını hızlandırmaktadır (OECD/NEA, 2018). Fransa'nın SMR'lere yönelik bu stratejisi, enerji bağımsızlığını artırmak ve iklim hedeflerine ulaşmak için kritik bir adım olarak görülmektedir. Fransız enerji şirketleri, SMR'lerin potansiyelini keşfetmek ve bu teknoloji ile enerji güvenliğini sağlamak amacıyla uluslararası iş birliklerine yönelmektedir.

Öte yandan, Japonya SMR teknolojisine geçişte farklı bir strateji izlemekte ve bu teknolojiyi özellikle afet bölgelerine yönelik bir çözüm aracı olarak benimsemektedir. 2011'de yaşanan Fukushima nükleer felaketinin ardından Japonya, enerji güvenliğini artırmak amacıyla daha güvenli ve esnek kurulumlara sahip olan SMR'lere yönelmiştir (IAEA, 2018). Japonya'nın bu yaklaşımı, yalnızca enerji güvenliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda afet sonrası yenilenebilir bir altyapı kurma stratejisinin bir parçası olarak değerlendirilmektedir (Locatelli ve diğerleri, 2014). Bu kapsamda, SMR'ler, doğal afetlerden etkilenen bölgelerde hızlı ve etkili bir enerji çözümü sunarak, bu bölgelerin yeniden inşasında önemli bir rol oynamaktadır.

Japonya'nın SMR teknolojisine yönelik bu yaklaşımı, enerji güvenliğinin sağlanması ve iklim değişikliği ile mücadeledeki hedeflerine ulaşma çabalarıyla da bağlantılıdır. Ayrıca, SMR'lerin dağıtık enerji sistemleri olarak kullanılması, yerel toplulukların enerji bağımsızlığını artırmasına yardımcı olabilir. Bu durum, Japonya'nın enerji politikasını güçlendirmek ve ulusal düzeyde enerji arzını güvence altına almak için kritik bir adım olarak değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, hem Fransa hem de Japonya, SMR teknolojisini enerji güvenliği ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için etkili bir araç olarak görmekte ve bu alandaki yatırımlarını artırmaktadır. Bu iki ülkenin stratejileri, küresel enerji dönüşümünde SMR'lerin önemli bir yer edinmesini sağlamaktadır.

SMR teknolojisi, enerji sektöründe küresel ölçekte yenilikçi çözümler sunan bir alan olarak dikkat çekiyor. Dünyanın önde gelen enerji şirketleri ve devlet destekli girişimler bu alanda yatırımlarını artırmış durumda. NuScale (ABD), Electricite de France (Fransa), China National Nuclear (Çin), Toshiba (Japonya) ve Rosatom (Rusya) gibi önemli oyuncular, SMR tasarımı ve geliştirilmesinde öncü roller üstleniyor (World Nuclear News, 2021). Özellikle Rosatom, Yakutistan'daki ilk kara tabanlı SMR projesiyle dikkat çekiyor. RITM-200N serisi reaktörler, Kuzey Kutbu'nun zorlu koşullarında başarıyla test edilmiş gemi teknolojilerine dayanarak tasarlandı (Rosatom, 2022). Kara için uyarlanan bu reaktörler, Rosatom'un yenilikçi nükleer çözümler geliştirme kararlılığını ve enerji sektöründeki liderlik hedefini vurguluyor. Bu proje, SMR'lerin enerji sektöründeki sürdürülebilir kalkınmaya olan katkısına işaret eden önemli bir adım olarak öne çıkıyor.

ABD ve Kanada hükümetleri, SMR teknolojisinin benimsenmesini hızlandırmak için yüz milyonlarca dolar teşvik sunarken, Rolls-Royce Holdings İngiltere hükümetinden sağlanan fonlarla 608 milyon euro üzerinde bir bütçe toplayarak bu teknolojiyi geliştirme çalışmalarını sürdürüyor (UK Government, 2021). Gates ve Buffett gibi girişimciler ise terk edilmiş kömür santrallerini SMR'ler için test alanlarına dönüştürerek, temiz enerjiye geçişin öncülüğünü yapıyor.

Rosatom'un Kuzey Kutbu projeleri gibi yenilikler, bu teknolojinin zorlu iklim ve coğrafi koşullarda bile uygulanabilir olduğunu kanıtıyor. Aynı zamanda ABD, Avrupa ve Asya'daki yatırımlar, SMR'lerin küresel enerji piyasasında rekabetçi bir çözüm olarak giderek daha fazla kabul gördüğünü ortaya koyuyor. Bu doğrultuda, SMR'lerin sürdürülebilir enerji sistemlerinin inşasında anahtar bir rol oynaması beklenir.

Küçük Modüler Reaktörlerin geleceği, enerji güvenliği, sürdürülebilirlik ve küresel enerji diplomasisi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. SMR'ler, daha düşük karbon ayak izine sahip olmaları ve esnek enerji üretimi sağlamaları nedeniyle dünya genelinde enerji güvenliğine uzun vadeli katkı sunabilir. Bu teknolojiye yapılan yatırımların artmasıyla birlikte,

birçok ülke SMR'leri sadece iç enerji güvenliği için değil, aynı zamanda uluslararası iş birlikleri ve enerji diplomasisi stratejilerinde bir araç olarak değerlendirmektedir.

Politika önerileri açısından, SMR teknolojisinin yaygınlaştırılması için ülkelerin düzenleyici çerçevelerini uyumlu hale getirmeleri kritik önem taşımaktadır. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), güvenlik ve kalite standartlarının oluşturulmasını sağlamak amacıyla SMR'lerin kullanımını destekleyen ülkeler arasında düzenleyici iş birliğini teşvik etmektedir (IAEA, 2022). Bu bağlamda, ülkeler arasında iş birliğinin artırılması, SMR teknolojisinin hızlı bir şekilde yaygınlaşmasına olanak tanıyacaktır. Ayrıca, enerji güvenliğini artırmak ve SMR teknolojisinin geliştirilmesini sağlamak amacıyla hükümetlerin bu teknolojilere yönelik mali destek sağlaması önerilmektedir. Bu teşvikler, yeni SMR projelerinin geliştirilmesini kolaylaştırarak teknolojinin daha fazla ülkeye yayılmasını sağlayabilir. Öte yandan, karbon emisyonlarının azaltılması ve enerji güvenliğinin sağlanması için SMR'ler üzerinde yapılacak yatırımların artırılması da sürdürülebilir enerji hedeflerine katkı sunacaktır.

Sonuç olarak, SMR teknolojisinin gelecekte enerji güvenliği ve enerji diplomasisi alanlarında kritik bir rol oynaması beklenmektedir. Bu doğrultuda politika yapıcılarının, SMR teknolojisinin sürdürülebilir bir seçenek olarak benimsenmesi için hem iç politikalarında hem de uluslararası iş birliklerinde stratejik adımlar atmaları gerekmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Küçük Modüler Reaktörler, enerji güvenliğini artırma, karbon emisyonlarını azaltma ve enerji bağımsızlığı sağlama gibi alanlarda stratejik bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Farklı ülke örnekleri, SMR teknolojisinin yalnızca yerel enerji üretimine katkı sağlamakla kalmayıp aynı zamanda küresel enerji diplomasisine de önemli bir araç olarak dahil edildiğini göstermektedir. ABD, Fransa ve Japonya gibi ülkeler, SMR'lerin esnek ve güvenli yapısını kendi enerji politikalarına entegre ederek enerji güvenliklerini artırma yolunda adımlar atmaktadır.

SMR'lerin gelecekte sürdürülebilir ve düşük karbonlu bir enerji sistemi kurma yolundaki katkıları hem enerji arz güvenliği hem de çevre koruma açısından umut vericidir. Bu nedenle, ülkelerin enerji güvenliği için SMR teknolojisine yatırım yapmaları önem arz etmektedir. SMR teknolojisinin yaygınlaştırılması için politika yapıcılarının, güvenlik standartlarını ve mali destekleri teşvik edici düzenlemeleri hızla benimsemeleri gerekmektedir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) gibi kuruluşların güvenlik standartları oluşturulması konusunda çaba göstermesi, SMR'lerin dünya çapında daha güvenli ve etkili bir şekilde yayılmasını kolaylaştırabilir. Öneriler doğrultusunda, SMR'lerin geliştirilmesi için ülkeler arası işbirliğini artırmak ve bu alanda ortak fonlar oluşturmak stratejik bir adım olacaktır. Özellikle karbon emisyonlarını azaltma ve enerji arzını çeşitlendirme hedefleri doğrultusunda, hükümetlerin

SMR projelerine yönelik teşvikler sunması ve düzenleyici çerçeveleri uyumlu hale getirmesi önerilmektedir. SMR'lerin yerel enerji üretimine katkılarının yanı sıra, afet durumlarında kullanılabilme potansiyeli de göz önünde bulundurulmalıdır, bu bağlamda Japonya'nın yaklaşımı dikkate değer bir örnek oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, SMR'ler, enerji bağımsızlığını artırmada, yerel enerji üretimini desteklemede ve çevresel etkileri azaltmada önemli bir potansiyele sahiptir. Bu doğrultuda, hükümetlerin ve uluslararası kurumların SMR teknolojisinin güvenli, sürdürülebilir ve yaygın bir şekilde benimsenmesi için gerekli politika düzenlemelerini ve yatırımları artırmaları gerekmektedir. SMR'lerin uzun vadede küresel enerji güvenliği ve sürdürülebilir enerji sistemlerine katkı sağlama potansiyelini gerçekleştirebilmesi için bu adımların zaman kaybetmeden atılması büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Bilgin, M. (2010). Türkiye'nin enerji güvenliği ve dış politika stratejileri. *Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 7(25), 45-78.
- Cherp, A., & Jewell, J. (2011). The three perspectives on energy security: Intellectual history, disciplinary roots and the potential for integration. *Energy Policy*, 39(6), 4150-4158.
- Çiftçi, A. (2018). *Uluslararası enerji politikaları ve güvenliği*. Ankara: Nobel Yayınları.
- Demir, A. (2022). Küçük modüler reaktörlerin Türkiye için potansiyel faydaları. *Nükleer Bilimler Dergisi*, 39(2), 45-58.
- Goldthau, A., & Sovacool, B. K. (2016). *Global energy governance: The new rules of the game*. Cham: Springer.
- Goldthau, A., & Witte, J. M. (2010). *Global energy governance: The new rules of the game*. Washington: Brookings Institution Press.
- Güner, M. (2018). *Türkiye'de enerji politikaları ve nükleer enerjiye geçiş süreci*. Ankara: TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları.
- International Atomic Energy Agency [IAEA]. (2018). *Advances in small modular reactor technology developments*. https://aris.iaea.org/publications/smr-book_2018.pdf
- International Atomic Energy Agency [IAEA]. (2022). *Global SMR regulatory framework and challenges*. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_57979/small-modular-reactors-challenges-and-opportunities?details=true
- Kruyt, B., van Vuuren, D. P., de Vries, H. J. M., & Groenenberg, H. (2009). Indicators for energy security. *Energy Policy*, 37(6), 2166-2181.
- Küçük, C. (2022). Pasif güvenlik sistemlerinin küçük modüler reaktörlerde kullanımı ve avantajları. *Nükleer Enerji ve Güvenlik Dergisi*, 5(1), 12-25.
- Liu, L., et al. (2016). Energy security and the transition to renewable energy sources. *Energy Strategy Reviews*, 13, 200-215.
- Locatelli, G., et al. (2014). Energy security and nuclear power: A review of the political issues. *Energy Policy*, 64, 180-196.

Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency [OECD/NEA]. (2016). *Nuclear safety regulation: Challenges and progress*. <https://www.oecd-nea.org>

Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency [OECD/NEA]. (2018). *The role of small modular reactors in the energy transition*. <https://www.oecd-nea.org>

Rosatom. (2022). *Russia's first land-based SMR in Yakutia*. <https://www.rosatom.ru>

Taşdemir, E. (2016). *Türkiye'nin enerji güvenliği ve alternatif enerji kaynakları*. Seçkin Yayıncılık.

U.S. Department of Energy. (2020). *Annual energy outlook 2020*. <https://www.energy.gov>

UK Government. (2021). *Rolls-Royce's SMR funding and development progress*. <https://www.gov.uk>

Üstün, Ç. (2015). *Enerji güvenliği ve Türkiye'nin enerji diplomasisi*. Nobel Yayıncılık.

World Nuclear Association. (2021). *Small modular reactors (SMRs)*. <https://www.world-nuclear.org>

World Nuclear Association. (2021). *The status of small modular reactors in the global energy market*. <https://www.world-nuclear.org>

World Nuclear News. (2020). *The latest developments in nuclear energy*. <https://www.world-nuclear-news.org>

Yergin, D. (2006). Ensuring energy security. *Foreign Affairs*, 85(2), 69-82.

Yıldız, M. (2022). *Enerji diplomasisi ve Türkiye'nin geleceği*. Ankara: SETA Yayınları.

Ethics Committee Permission

Ethics committee permission is not required for this study. No research has been conducted on any living creature (human and animal). The article belongs to the field of literature.

Deconfliction Statement

The author of the article declares that there is no conflict of financial interest between him and any institution, organization, person related to this study.

Support and Thanks

Support was not received from any institution or organization in the study.