

TÜRKİYE'DE ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİ BAĞLAMINDA KÜÇÜK MODÜLER REAKTÖRLER: EKONOMİ-POLİTİK BİR DEĞERLENDİRME

SMALL MODULAR REACTORS IN THE CONTEXT OF ENERGY SUPPLY SECURITY IN TÜRKİYE:
AN ECONOMIC-POLITICAL ASSESSMENT

Mehmet KUTLUAY¹ 

Makale Başvuru Tarihi: 22.01.2026

Haziran 2026

Makale Kabul Tarihi: 09.03.2026

Cilt: 4, Sayı: 1

DOI: <https://doi.org/10.66569/ulic.1869478>

Atıf için (APA): Kutluay, M. (2026). Türkiye'de Enerji Arz Güvenliği Bağlamında Küçük Modüler Reaktörler: Ekonomi-Politik Bir Değerlendirme. *Uluslararası İktisadi ve İdari Çalışmalar Dergisi*, 4(1), 1-18.

Özet

Bu makale, küresel ölçekte geleceğin enerji projeksiyonlarında önemli bir rol üstlenmesi beklenen Küçük Modüler Reaktörlerin (KMR), Türkiye ekonomisi ve enerji arz güvenliği üzerindeki potansiyel etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada öncelikle, Türkiye'nin nükleer enerji politikalarına yönelik özet bir çerçeve çizilerek, Türkiye'nin artan enerji ihtiyacı için ne kadar gerekli bir aktör olduğu ortaya çıkarılmak istenmiştir. Bununla birlikte, nükleer enerji alanında yeni bir aktör olarak öne çıkan KMR'lerin, küresel ölçekteki gelişmeleri incelenmiş ve yenilenebilir enerji kaynakları şebekelerine entegrasyonuna katkı sağlayabilecekleri değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, KMR'lerin temiz enerjiye geçiş sürecinde dengeleyici bir unsur olarak küresel enerji politikalarında önemli bir yer edinebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, maden ve petrol çıkarma teknolojileri, askeri araçlar ve üslerde enerji temini, uzay teknolojileri ile iklimlendirme teknolojileri gibi çeşitli sektörlerde kullanım potansiyeline sahip olmaları, KMR'lerin esnek ve çok yönlü bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmanın odak noktasını, KMR sistemlerinin Türkiye'nin enerji arz güvenliğine, ekonomik kalkınma sürecine ve stratejik fırsatlar yaratma potansiyeline olası etkilerinin incelenmesi oluşturmaktadır. Türkiye'nin KMR politikalarında başarılı olabilmesi için bir yol haritası sunan bu çalışmada, KMR sistemlerinin enerji arz güvenliğini güçlendireceği, çevresel sorunların azaltılmasına katkı sağlayacağı, cari açık problemini hafifleteceği ve teknolojik birikim ile istihdam olanaklarını artıracığı öngörülmektedir. Türkiye'nin yerli KMR projelerini hayata geçirmesi, ülkenin enerji merkezi olma hedefi ve enerji bağımsızlığına ulaşma süreci açısından önemli bir adım teşkil edecektir. Dolayısıyla, KMR sistemlerinin Türkiye'ye hem ekonomik hem de stratejik düzeyde anlamlı katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Arz Güvenliği, Küçük Modüler Reaktör, Türkiye.

Abstract

This article aims to examine the potential effects of Small Modular Reactors (SMRs), which are expected to play an important role in future global energy projections, on Türkiye's economy and energy supply security. In the study, first, a brief framework regarding Türkiye's nuclear energy policies is presented, and it is intended to reveal how necessary nuclear energy is as an actor for Türkiye's increasing energy demand. In addition, global developments of SMRs, which stand out as a new actor in the field of nuclear energy, are examined, and their potential contribution to the integration of renewable energy sources into power grids is evaluated. In this context, it is concluded that SMRs can gain an important place in global energy policies as a balancing element in the transition to clean energy. Moreover, their potential to be used in various sectors such as mining and petroleum extraction technologies, energy supply in military vehicles and bases, space technologies, and air conditioning technologies reveals that SMRs have a flexible and versatile structure. The focus of the study is the examination of the possible effects of SMR systems on Türkiye's energy supply security, economic development

¹ Komiser, Samsun Emniyet Müdürlüğü, kutluay426@gmail.com

process, and potential to create strategic opportunities. In this study, which presents a roadmap for Türkiye to succeed in its SMR policies, it is anticipated that SMR systems will strengthen energy supply security, contribute to the reduction of environmental problems, alleviate the current account deficit, and increase technological accumulation and employment opportunities. The implementation of Türkiye’s domestic SMR projects will constitute an important step in terms of the country’s goal of becoming an energy hub and its process of achieving energy independence. Therefore, it is assessed that SMR systems will provide significant contributions to Türkiye at both economic and strategic levels.

Keywords: Energy Supply Security, Small Modular Reactor, Türkiye.

Giriş

Enerji kaynakları günümüzde, temel yaşamın ve küresel üretimin en önemli parçalarından birini oluşturmaktadır. Dolayısıyla yaşamın vazgeçilmez unsurunu oluşturan enerji kaynaklarına temiz, ucuz, kesintisiz, güvenilir ve zamanında ulaştırılması gerekmektedir. Fizyolojik ihtiyaçların sorunsuz karşılanması ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için enerji arz güvenliği kritik bir noktadadır. Devletlerin yerli enerji kaynakları potansiyelini değerlendirmesi sonucu mevcut kaynakların yetersiz olarak saptanması durumunda, enerji arz güvenliğinin sağlanması elzem bir durum olarak görülmelidir (Pamir, 2005: 57).

Enerji güvenliği kavramına bakıldığında gelişimi uzun bir süreç içermektedir. Modern anlamda enerji güvenliği ise ilk kez 1973 petrol kriziyle birlikte ele alınmıştır (Yılmaz ve Kalkan, 2017: 171). Günümüzde enerji güvenliği; devletlerin ekonomik büyümelerini, sürdürülebilir kalkınma hedeflerini ve ulusal güvenliklerini etkileyen stratejik bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerjiye olan talebin artması, çevresel endişeler ve enerji kaynaklarının stratejik önemi bu hususu sadece ekonomik bir mesele olmadan öteye taşımaktadır (Milli İstihbarat Akademisi [MİA], 2025a: 9). Bu bağlamda enerji kaynaklarının ekonomi, politika, strateji ve güvenlik konularında oldukça etkili bir dinamik olduğunu söylemek mümkündür.

Enerji kaynakları dünya genelinde asimetrik bir dağılım göstermektedir. Dolayısıyla ülkelerin ihtiyaç duydukları enerji kaynaklarını tamamen yerel imkânlarla karşılamaları her zaman mümkün olmamaktadır. Bu bağlamda Pamir'e göre, ithalat yoluyla temin edilen enerji kaynaklarının "temiz, ucuz, güvenilir ve kesintisiz" biçimde sağlanması önemli güçlükler içermektedir. Enerji arz güvenliğinin sağlanmasında belirleyici unsurlardan biri de enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesidir. Nitekim, ilk petrol krizi sonrasında enerji arz güvenliği algısında yaşanan dönüşümle birlikte devletlerin enerji kaynaklarını çeşitlendirme stratejilerine yöneldikleri bilinmektedir (Pamir, 2003:1-2). Birincil enerji kaynakları ve tedarikçilerin çeşitlendirilmesi enerji arz güvenliğinin sağlanmasında büyük öneme haiz hususlardır (Chevalier, 2006:2). Bu bağlamda yenilenebilir enerji ve nükleer enerji gibi alternatif enerji kaynakları önem kazanmıştır. Bu enerji kaynaklarına büyük önem verilse de her ülke gelişmelere uyum sağlayamamış ve fosil yakıtlara olan bağımlılık günümüze kadar devam etmiştir.

Petrol ve kömür gibi fosil yakıtların karbon salınımı çok yüksektir. Bu sebepten iklim değişikliği üzerindeki en büyük etken olarak bilinmektedir. Dolayısıyla karbonsuz yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları sürdürülebilirlik açısından çok makul bir seçenek olsa da doğa şartlarına bağlı olarak üretiminde değişkenlik yaşanabilme olasılığı, bu kaynağın alternatif enerji kaynaklarıyla desteklenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu noktada nükleer enerji, diğer fosil kaynaklara göre daha temiz ve verimli bir enerji kaynağı olarak önem kazanmıştır.

1970'li yılları takiben nükleer enerji alanında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Devletler fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak için nükleer enerji alanına yapılan yatırımları artırmış ve 2000'li yıllara kadar yatırımlar artan oranda devam etmiştir (World Nuclear Association [WNA], 2024: 5). Bununla birlikte Çernobil ve Fukuşima felaketleri sonrası küresel ölçekte nükleer enerjiye yönelik endişeler ortaya çıkmıştır. Nükleer enerji yakıtı olan uranyumun, yüksek radyoaktif bir madde olmasından dolayı çevre ve toplum için yıkıcı sonuçlar ortaya çıkarma ihtimali bulunmaktadır. Bu durum nükleer enerji alanına yapılan yatırımlar üzerinde negatif etki oluşturmuş olsa da, yüksek verimliliği ve karbon salınımı konusunda temiz bir enerji kaynağı olarak görülmesinden dolayı küresel enerji denklemindeki yerini korumuştur. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre günümüzde küresel elektrik üretiminin yaklaşık %10'u nükleer enerji ile karşılanmaktadır. Nükleer teknolojiye sahip gelişmiş ülkelerde bu oran %20 dolaylarındadır (International Energy Agency [IEA], 2026). Dolayısıyla nükleer enerjinin uzun dönemli enerji arz güvenliği politikalarına katkı sağlayan önemli bir aktör olarak değerlendirilmeye başlandığını söylemek mümkündür (MİA, 2025a: 9).

Konvansiyonel nükleer güç santrallerinin yüksek maliyeti ve inşa süresinin uzunluğu bu santrallerin dezavantajlı olduğu durumlardır. Bu dezavantajlı durumlara alternatif olarak gelişmiş nükleer teknoloji olan Küçük Modüler Reaktörler (KMR) tasarlanmıştır. KMR üretiminin daha kısa zamanda ve daha az maliyetle gerçekleşmesi beklenmektedir. Bununla birlikte iklim değişikliğinin hızının azaltılması ve sürdürülebilir enerji arzı bağlamında kritik bir role sahip olduğu düşünülmektedir (Ahmad ve Usman, 2025: 15-16). KMR’lerin insan müdahalesinin az olduğu ve dolayısıyla insan hatasını azaltan gelişmiş yüksek güvenli teknoloji olduğu söylemek mümkündür (Locatelli vd., 2014: 11). Konvansiyonel reaktörlere göre daha kompakt ve esnek yapıda olmaları, enerji ihtiyacına göre tasarlanabilmesi ve hibrit enerji sistemlerine uygun olması (Köküman ve Karaağaç, 2024: 4), bu yeni teknolojinin küresel ölçekte cazip bir enerji kaynağı olarak algılanmasını sağlamıştır.

Toplumların refahının artırılması ve bu refahın sürekliliğinin sağlanması için ihtiyaç duyulan enerji kaynaklarının sorunsuz temini büyük önem arz etmektedir (Yeter, 2025: 15). Bu bağlamda enerji kaynaklarında dışa bağımlı olan Türkiye’nin enerji ihtiyacının, gelişen ekonomisi ve elektrifikasyon süreci dolayısıyla önümüzdeki yıllarda daha fazla artacağı tahmin edildiğinden mevcut enerji portföyünün yetersiz kalacağı düşünülmektedir. Türkiye, enerji arz güvenliğinin sağlanması bağlamında mevcut kaynaklarını maksimum düzeyde kullanmak için çalışmalarını sürdürmektedir (Yılankıran ve Doğan 2020: 80-85). Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük yatırımlar yapıldığını belirtmek gerekir (Demir, 2025: 89). Bununla birlikte, enerji çeşitliliği ve kaynak ülke çeşitliliği artırılarak, enerji arzında yaşanabilecek risklerin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Öte yandan enerji arz çeşitliliğinin oluşmasında önemli bir oyuncu olarak sahneye çıkan KMR’ler, Türkiye için yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi ve teknolojik kazanımların elde edilebilmesi açısından önemli bir fırsat olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda Dünya da KMR teknolojisinde yaşanan bu gelişmeler Türkiye tarafından da önemle takip edilmektedir.

Bu çalışmada, öncelikle Türkiye’de nükleer enerjinin gerekliliği enerji arz güvenliği çerçevesinde ele alınmaktadır. Müteakiben küresel nükleer enerji sektöründe son yıllarda öne çıkan KMR’lerin gelişim süreci ve hedef pazarları incelenerek Türkiye’nin mevcut enerji politikalarıyla olan uyumu değerlendirilmektedir. Nitel araştırma yaklaşımıyla yürütülen bu çalışmada, uluslararası raporlar ve akademik literatür ışığında KMR teknolojilerinin Türkiye’nin enerji arz güvenliğine olası katkıları, teknolojik altyapı ve bilgi birikimi üzerindeki etkileri ile ekonomik ve stratejik açıdan yaratabileceği fırsatlar bütüncül bir perspektifle analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda Türkiye için uygulanabilir bir yol haritası ortaya konulması amaçlanmaktadır.

Çalışmada genel olarak şu sorulara yanıt aranmaktadır: KMR teknolojileri Türkiye’nin enerji arz güvenliğini hangi boyutlarda güçlendirme potansiyeline sahiptir? Bu teknolojiler Türkiye’ye ekonomik ve stratejik kazanımlar sağlayabilir mi?

1. Türkiye’nin Nükleer Enerji Gereksinimi

Dünyadaki kanıtlanmış doğal gaz ve petrol kaynaklarının yaklaşık %60’ına ev sahipliği yapan ülkelerle komşu olan Türkiye, bu enerji kaynakları açısından nüfus yoğunluğu ve yoğun sanayisiyle bölgedeki en büyük pazar konumundadır. Toplam enerji arzı içinde ithal enerjiye bağımlılık oranı yaklaşık %67,7 civarındadır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2022). Türkiye’nin toplam ithalatı içinde önemli bir paya sahip olan enerji kaynakları, dış ödemeler dengesini olumsuz etkileyerek cari açık üzerinde ciddi bir baskı oluşturmaktadır (Kutluay ve Birol, 2025a: 10). İthal edilen enerji kaynaklarından doğal gaz ve kömürün elektrik üretiminde önemli bir yeri bulunmaktadır. Bu fosil kaynaklarda yetersiz olan Türkiye son yıllarda, enerji arz güvenliği üzerindeki riskleri minimize etmek, ekonomi üzerinde büyük baskı oluşturan cari açık sorununu azaltmak ve hatta ortadan kaldırmak için enerji alanında önemli adımlar atmıştır.

T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) verilerine göre 2024 yılında Türkiye'nin toplam elektrik üretimi yaklaşık 347.213,24 GWh'dır. Elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynaklarına bakıldığında karbon emisyon oranı en yüksek olan kömürün yaklaşık %35 payı bulunmaktadır. Büyük oranda dış bağımlılığı olan doğal gazın ise elektrik üretimindeki payı yaklaşık %18 civarındadır. Bununla birlikte toplam üretimin önemli bir kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Elektrik üretiminde 2024 yılında, 2023 yılına göre yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artması (EPDK, 2024: III), Türkiye'nin cari açık sorununa olumlu etki yaratan dinamiklerden birisi olmuştur. 2023 yılında 69,113 milyar dolar olan enerji ithalatı 2024 yılında %5,1 düşerek 65,589 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir (Erkalan, 2025).

Tablo 1. Elektrik Piyasası 2024 Yılı Piyasa Gelişim Raporu

KAYNAK TÜRÜ	TOPLAM KURULU GÜÇ* Megavat (MW)	ORAN (%)	TOPLAM ÜRETİM* Gigavat-saat (GWh)	ORAN (%)
HİDROLİK	32.202,96	27,78	74.881,58	21,57
RÜZGÂR	12.862,79	11,09	36.628,89	10,55
GÜNEŞ	19.909,68	17,17	25.894,53	7,46
BİYOKÜTLE	2.122,94	1,83	10.162,56	2,93
JEOTERMAL	1.733,51	1,50	11.241,52	3,24
YENİLENEBİLİR	68.831,87	59,37	158.809,10	45,74
İTHAL KÖMÜR	10.455,80	9,02	75.408,27	21,72
DOĞAL GAZ	24.917,12	21,49	64.927,63	18,70
LİNYİT	10.229,19	8,82	42.055,09	12,11
TAŞ KÖMÜRÜ	840,77	0,73	4.131,66	1,19
ASFALTİT	405,00	0,35	1.153,81	0,33
FUEL OİL	251,93	0,22	727,68	0,21
NAFTA	4,74	0,00	0,00	0,00
LNG	1,95	0,00	0,00	0,00
MOTORİN	1,04	0,00	0,00	0,00
TERMİK	47.107,53	40,63	188.404,15	54,26
TOPLAM	115.939,40	100,00	347.213,24	100,00

Kaynak: EPDK (2024: III).

Türkiye'nin artan nüfusu ve gelişen ekonomisiyle doğru orantılı olarak enerji talebinde sürekli olarak bir artış gözlenmektedir. Genellikle kömür ve doğal gaz kullanılan termik santrallerinde karbon emisyon oranı çok yüksek olmakta ve bu durum çevresel endişeleri de beraberinde getirmektedir. Bu doğrultuda Demir'e göre Türkiye, enerji arz güvenliğini sağlayabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımları artırmıştır (Demir, 2025: 89). Bununla birlikte ulusal enerji kaynaklarının çıkarılması ve kullanılması konusunda da büyük mesai harcanmaktadır (Yılankıran ve Doğan, 2020: 85-86). Bütün bu uğraşlara rağmen hidrokarbon kaynakları rezervlerinde yetersiz olunması küresel ölçekte gelişme gösteren alternatiflerinde değerlendirilmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır.

Türkiye'de özellikle son yıllarda alternatif bir enerji kaynağı olan, gelişmiş ülkelerin tamamının enerji portföyünde yer alan ve temiz bir enerji kaynağı olarak bilinen nükleer enerji opsiyonuna olan ilgi oldukça artmıştır. Nükleer enerji; enerji yoğunluğu ve fosil yakıtlara nazaran temiz görünümü sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarına tamamıyla geçişte bir köprü olarak düşünülmektedir.

Nükleer enerjinin enerji yoğunluğu diğer enerji kaynaklarına oranla oldukça yüksektir. 3.000.000 kg kömür veya 2.700.000 litre petrol kullanılarak üretilen elektrik enerjisinin 1 kg uranyum kullanılarak elde edilebileceği belirtilmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2016: 6). Yüksek verimliliğe sahip olması ve karbon salınımının olmaması, enerji arz güvenliğinin sağlanmasında ve yenilenebilir enerji kaynaklarına tamamıyla geçişte önemli bir aktör olduğunu desteklemektedir. Diğer fosil yakıtlardan bu iki önemli yönüyle ayrılmaktadır.

Türkiye’nin nükleer enerji politikaları 1950’li yıllarda başlamıştır. Bu tarihe kadar sadece TR-1 adıyla bilinen araştırma reaktörü kurulabilmiştir. 1970’li yıllarda yaşanan enerji krizleri sonucu nükleer enerji santrali kurulmasına yönelik çalışmalar olsa da yaşanan ekonomik zorluklar nedeniyle bu faaliyetler durma noktasına gelmiştir. Nükleer güç santralının kurulmasına yönelik yapılan çalışmalarda en uygun yerler olarak Sinop İnceburun, Kırklareli İğneada ve Mersin Akkuyu belirlenmiştir. 1950’lerde başlayan mücadele ancak 2010 yılında Akkuyu’da nükleer güç santrali kurulmasına yönelik anlaşmayla taçlandırılabilmiştir (Polatoğlu, 2024: 411). Rusya ile yapılan anlaşma sonucu santralin inşasına başlanması yaşanan politik krizlerden dolayı 2018 yılına kadar askıda kalmıştır. Bu tarihten itibaren hız kazanan projenin 2026 yılında üretime başlaması beklenmektedir. Bununla birlikte Türkiye, Sinop ve Tekirdağ’da planlanan projeler için de bu alanda uzman ülkelerle görüşmelere devam etmektedir.

Türkiye’nin nükleer santral projelerinin hayata geçmesi ile 2053 yılında nükleer enerjinin birincil enerji tüketimi içerisindeki payının %29,3 olacağı öngörülmektedir. Nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarının birincil enerji tüketimindeki payının 2050’li yıllara kadar önemli ölçüde artacağı ve böylelikle fosil yakıt kullanımının büyük oranda azalacağı belirtilmektedir (ETKB, 2022: 29). Türkiye’nin uzun dönemli enerji politikaları, günümüzde millî güvenlik meseleleri içerisinde yer alan enerji arz güvenliğinin sağlanması ve karbon salınımı yüksek olan enerji kaynaklarından vazgeçilmesine yönelik şekillenmektedir.

Türkiye için ekonomi-politik bir gereklilik olan (Korkusuz vd., 2015: 379) nükleer enerji, sadece enerji alanında değil denizaltıları gibi askeri araçlar üzerinde de oldukça etkili ve verimli bir kaynaktır (Ferguson, 2015: 69). Bu minvalde Türkiye’nin de nükleer denizaltı ve uçak gemileri üretme hedefleri bulunmaktadır. Bu askeri araçların tahrik sistemleri nükleer reaktörlerle çalışmaktadır (Tavukcu, 2025). Nükleer güç, bu askeri araçlar için sadece diğer kaynaklara göre verimli bir enerji kaynağı değil aynı zamanda uzun menzili ve görev sürelerinin uzunluğu açısından stratejik avantajlar sağlamaktadır (MİA, 2025b: 37). Türkiye’nin enerji alanı dışında askeri araçlar üzerinde de nükleer enerjiden yararlanmak istemesi ve doğrultuda projeler üretmesi, küresel güç olma hedeflerinin açık bir beyanı olarak yorumlanmaktadır (Tavukcu, 2025). Bu doğrultuda Türkiye’nin Nükleer Denizaltı Projesi’ni tamamlaması stratejik anlamda büyük önem arz eden husus olarak değerlendirilmektedir (MİA, 2025b: 9).

7 Ekim 2021 yılında Paris Anlaşması’na taraf olan Türkiye’nin, 2050’ye kadar karbonsuz enerjiye geçiş hedeflerini gerçekleştirmek için bu doğrultuda politikalar oluşturduğu bilinmektedir (Kaya ve Çağatay, 2021). Nükleer enerji bu hedeflerin gerçekleşmesi için önemli bir noktadadır. Türkiye artan enerji taleplerini karşılayabilmek ve askeri araçlarda kullanılan nükleer teknolojiye erişebilmek için bu alanda büyük çaba göstermektedir. Ayrıca nükleer enerji serüveninin başladığı yıllardan itibaren küresel gelişmelere kayıtsız kalmasa da yaşanan ekonomik ve politik krizlerden dolayı nükleer enerji alanında uzun yıllar başarı gösterememiştir. Bununla birlikte barışçıl nükleer enerji projelerine öncülük eden uluslararası kurumları desteklemiş ve içinde yer almıştır. Yerel anlamda nükleer alanla ilgili düzenlemeleri uluslararası kuruluşlarla paralel şekilde düzenlemiştir.

Türkiye, nükleer güç santrali (NGS) projelerine ek olarak nükleer alanda KMR sistemleri üzerinde de yoğunlaşmaktadır (Yüksel, 2025). Bu modüler reaktörlerin yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenen elektrik şebekelerine entegre edilebilmesi söz konusudur (MİA, 2025b: 18). Rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir

enerji kaynakları doğa şartlarından olumsuz yönde etkilenmektedir (Liou, 2023). KMR'lerin ve yenilenebilir enerji şebekelerinin entegrasyonunun bu dezavantajlı durumu ortadan kaldırmaya çalışılmaktadır (MIA, 2025b: 18).

KMR'ler üzerinde çalışma yapan akademisyenler genellikle, bu sistemlerin esnek olması, yenilenebilir enerjinin dezavantajlı durumunu telafi edecek gücü sağlayabilmesi, ulaşım ve sanayi sektöründen kaynaklanan karbon sorununa katkı sağlaması ve yüksek güvenilir olması noktasında birleşmişlerdir (Cho ve Lee, 2025: 6). Özellikle fosil yakıtlardan arındırılmak istenen bir dünya için, temiz enerji alternatifleri arasında önemli bir seçenek olarak düşünülmektedir (Alonso, 2025: 13). Dolayısıyla temiz enerjiye geçişte önemli bir aktör olarak görülen KMR'leri, doğa şartlarından etkilenmesi muhtemel olan yenilenebilir enerji kaynaklarının tamamlayıcı bir unsur olarak nitelendirmek mümkündür.

Türkiye'de 2022 yılında, teknik ve teknik olmayan elektrik dağıtım kayıp oranı yaklaşık %11 civarında gerçekleşmiştir (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş [TEDAŞ], 2023). Bu noktada dağıtık üretimden yani enerji üretim merkezlerinin tüketim noktalarına daha yakın konumlarda kurulmasından bahsedilmektedir (Ackermann vd., 2001: 200-201). Tüketim noktalarına yakın yerlerde kurulan elektrik üretim tesislerinin, dağıtım kayıplarını minimum seviyeye düşüreceği değerlendirilmektedir. KMR'lerin kompakt ve taşınabilir yapıları sayesinde tüketim merkezlerine yakın yerlere kurulabileceği göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye'deki ciddi dağıtım kayıplarını önemli ölçüde azaltabilecek bir teknoloji olduğunu söylemek mümkündür. Bu özelliği ile birlikte enerji arz güvenliği üzerinde pozitif yönlü etki yaratması muhtemeldir.

2. Dünyada Küçük Modüler Reaktör Sistemlerinde Yaşanan Gelişmeler

İklim değişikliği, küresel ölçekte üzerinde önemle durulan büyük bir sorundur. Bu bağlamda 12 Aralık 2015'de Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı düzenlenmiştir. Paris'te düzenlenen bu anlaşmaya 197 ülke taraf olmuş ve 4 Kasım 2016'da yürürlüğe sokulmuştur. Paris Anlaşması olarak tarihe geçen bu anlaşmanın temel amacı küresel ısınma ortalamasını sanayi çağının öncesine çekmektir (Kaya ve Çağatay, 2021). Küresel ısınmayı artıran en önemli aktör karbon emisyonudur. Karbon emisyonuna sebep olan en başat faktör ise fosil yakıtlardır. Enerji üretmek amacıyla yakılan fosiller önemli oranda karbon emisyonu ortaya çıkarır. Dünyada şu an için mümkün olmayan fosilsiz yaşama ulaşmak için ülkeler, karbonsuz alternatif enerji kaynaklarına yönelmiş durumdadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların karbonsuz bir döneme geçiş için tek başına yeterli olmadığı ortadadır. Bu noktada geleneksel fosil yakıtlara oranla oldukça temiz bir enerji kaynağı olan nükleer enerjiye gösterilen ilgi günümüzde farklı bir boyuta ulaşmıştır. Dolayısıyla nükleer enerjinin küresel enerji denklemini içerisinde ve gelecek projeksiyonlarında önemli bir yer edindiğini söylemek mümkündür.

Nükleer enerji, güvenli nükleer reaktörler olduğu sürece geleneksel enerji kaynaklarından daha temiz ve verimli bir profil ortaya koymaktadır. Nükleer reaktör teknolojilerinin uzun yıllar boyunca güvenlik ve verimlilik hususunda önemli yol kat ettikleri bilinmektedir. Geleneksel büyük ölçekteki reaktörlerin inşasının çok uzun yıllar gerektirmesinin yanı sıra, reaktör üretimi ve santralin inşası çok yüksek finansman gerektirmektedir. Tiryaki ve Çamdalı'ya göre bir NGS'nin ortalama kurulum maliyeti 22 milyar dolar civarındadır (Tiryaki ve Çamdalı, 2024: 109). Bu büyük ölçekli reaktörlerin dezavantajlarını gidereceği iddia edilen yeni nesil KMR sistemleri geliştirilmiş ve kısa süre içerisinde bütün dünyada dikkatleri üzerine çekmiştir.

KMR'ler konvansiyonel reaktörlerin ölçeklendirilmiş hali olarak değil, nükleer enerji sektöründe yeni bir ürün olarak ortaya çıkmıştır (Locatelli vd., 2014: 27). Yatırımcıları bu yeni sistemleri savunurken genellikle geleneksel reaktörler ve KMR'ler üzerinde karşılaştırma yapmaktadırlar. Bununla birlikte KMR'lerin düşük sermayeli, kısa inşa süresi, kompakt olmaları ve küçük talep artışlarının hızlıca üstesinden gelmesi gibi avantajlarından söz etmektedirler (Cooper, 2014: 171). Düşük finansman gerektirdiği düşüncesi konvansiyonel reaktörlerden farklı

olarak ölçek ekonomisi yerine çoklu üretim ekonomisi modelinin benimsenmesinden kaynaklıdır (Locatelli vd., 2014: 27).

Nükleer reaktörler sınıflandırmalarına bakıldığında kurulu güç kapasitesine göre sınıflandırıldığı görülmektedir. 1-10 MW güç kapasitesi olan reaktörler mikro, 10-300 MW güç kapasitesine sahip olan reaktörler küçük modüler ve 300-1000 MW güç kapasitesine sahip olan reaktörler ise büyük ölçekli konvansiyonel reaktörler sınıfına girmektedir (MIA, 2025b: 12). Nükleer santrallerde kullanılan geleneksel büyük ölçekli reaktörlerin üretimi ve kurulumu 6-8 yıl arası değişkenlik göstermektedir (Ritchie, 2023). Bazı kaynaklarda zaman aralığı daha yüksek belirtilmektedir. Bu dezavantajlı duruma bağlı olarak fabrikasyon üretime uygun ve daha az maliyetli olduğu iddia edilen mikroreaktörler ve küçük modüler reaktörler üzerine son yıllarda önemli bir araştırma ve geliştirme trendi başlamıştır.

Mikroreaktörler şebekelerden bağımsız olarak uzak toplulukların bulunduğu bölgelerde enerji üretmek için güvenilir bir kaynak olarak gösterilmektedir (Bakır, 2022: 164). Karbon salınımı yapmayan, ısı ve elektrik enerjisi üretebilen özellikleri bulunmaktadır. İhtiyaca göre uygun boyutlarda üretilebilir ve ölçeklendirilebilir. Şebekeye bağlı veya şebekeden ayrı olarak diğer enerji kaynakları ile kolayca entegre edilebilir olan bu sistemin, yıllarca yakıt ikmali olamadan uzak bölgelerde bulunan askeri üstlerde, kırsal alanlarda ve doğal afet zamanlarında yaşanabilecek enerji krizlerinde önemli bir rol oynaması beklenmektedir (Idaho National Laboratory, 2026). Hızlı kurulum ve kolay söküm imkanlarına sahip olan mikroreaktörler genellikle 15 yıla kadar yakıt değişimi yapmadan aktif olarak çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır (NANO Nuclear Energy Inc., 2026). Askeri, endüstri ve uzay alanlarında büyük kolaylık sağlayacağına düşünülmesi mikroreaktör sistemlerinin geliştirilmesi için itici bir güç olmuştur. Dünyada birçok tasarımı bulunan mikroreaktörlerin henüz ticari bir boyuta ulaşmadığı bilirse de gelecekte nükleer sektördeki yerini alacağı değerlendirilmektedir.

Çalışmanın odak noktasını oluşturan KMR’ler geleneksel reaktörlerin güç kapasitesinin yaklaşık üçte biri olan 300 MW’ye kadar güç üretebilir (Wang vd., 2024: 39628). Bu reaktörlerin parçaları fabrikada seri olarak üretilebilir ve istenilen bölgeye taşınarak montajı kolayca yapılabilir. Bu kolaylık sayesinde (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2024) KMR’ler, büyük ölçekli NGS’lere kıyasla zaman ve maliyet açısından daha sürdürülebilir bir görünüm ortaya koymaktadır (Liou, 2023). Günümüzde 80’den fazla tasarımı bulunan KMR sistemleri, farklı yakıt ve soğutucu türleri, inşaa aşamaları, kullanım alanları, güvenlik ve atık yönetimi gibi birçok faktörü dikkate alarak güvenli bir teknoloji üzerine yoğunlaşmaktadır. Halihazırda ticari olarak sadece Rusya ve Çin’de faaliyet gösteren KMR bulunmaktadır (IAEA, 2024). Rusya’da 2020 yılında ticari faaliyetine başlayan Akademik Lomonosov yüzer santralinde bulunan iki adet KMR, 35 MW güç kapasitesine sahiptir (Yüksel, 2022). Çin’de ise iki adet yüksek sıcaklıklı gaz soğutmalı (high temperature gas-cooled reactor [HTR-PM]) KMR bulunmaktadır. Güç kapasitesinin yaklaşık 210 MW olduğu bilinmektedir (Bernardi ve Huang, 2024). Ayrıca Çin’de 125 MW güç kapasitesine sahip ACP100 ve Arjantin’de 32 MW güç kapasitesine sahip CAREM25 KMR’leri inşaa aşamasındadır. Bu alanda faaliyet gösteren bazı ülkelerin çeşitli reaktör tasarım sayılarına bakıldığında Amerika Birleşik Devletleri (ABD) 43, Rusya 18, Çin 12, Japonya 10, Fransa 9, İngiltere 8 ve Kanada 6 adet KMR projesiyle ön plana çıkmaktadır (WNA, 2025a). Hem özel sektörün hem de devletlerin, KMR’lerin avantajlarından dolayı bu sistemler üzerinde araştırma yapmaya ve pazar oluşturmaya oldukça ilgili oldukları görülmektedir (Wang vd., 2024: 39629). Bununla birlikte 2030 yılına kadar mikroreaktörler de dahil olmak üzere KMR tasarımlarının yaygınlaşması ve ticarileşmesi beklenmektedir (IAEA, 2024).

KMR’lerin, geleneksel büyük reaktörlerin kurulması zor ve imkansız olan yerlere nükleer güç santrallerinin ulaştırılmasını mümkün kılacağı belirtilmektedir. Kurulması istenen bölgeye göre tasarlanabilir olması (Bakır, 2022: 165) büyük ölçekli reaktörlere göre küçük yapıda ve daha az kapasitede olmasından kaynaklıdır (Wang vd., 2024: 39628). Bu sistemler mevcut elektrik şebekelerine bağlı olarak ve şebekeden bağımsız olarak kurulabilen (Bakır, 2022: 165), geleneksel reaktörlere göre daha kısa zamanda maliyetini amorti edebilen

özelliklere sahiptir (Taner, t.y: 3). Yakıt yüklemesinin konvansiyonel reaktörlere göre daha az sıklıkla yapılması ve yer altına inşa edilebilir tasarımlarının olması olası saldırılara ve doğal afetlere karşı daha güvenli bir görünüm ortaya koymaktadır (Kökdoğan ve Karaağaç, 2024: 3-4).

Yenilenebilir enerji kaynaklarına entegre edilerek hibrit bir enerjinin oluşturulmasını mümkün kılacak olan KMR'ler, sürdürülebilir kalkınma için de büyük önem arz etmektedir (Liou, 2023). Bununla birlikte enerji üretiminin yanı sıra, hidrojen üretimi, su arıtımı, petrol ve maden çıkarımı gibi alanlarda da kullanılabilirliği öngörülmektedir (Bakır, 2022: 165). KMR üreticisi ülkeler mikroreaktörleri ve KMR'leri hedef sektörler için tasarlamaktadır. Şebekelere entegre ve şebekelerden bağımsız olarak tasarlanan KMR'ler genellikle elektrik arzını desteklemek amaçlıdır. Mikroreaktör tasarımları ise daha çok, petrol ve maden sektörünü, uzay alanını ve savunma sektörünü hedef pazar olarak görmektedirler.

KMR tasarımlarının lisanslama süreçleri, zaman ve finans bağlamında maliyetli bir aşamadır (Sam vd., 2023: 7). Tasarım sertifikasyonu, inşaat ve işletme lisansı maliyetleri büyük ölçekli reaktörlerin lisanslama işlemlerinden çok farklı değildir (WNA, 2025b). Mikroreaktörlerde de aynı durum geçerlidir. Bu hususta ülkelerin, özellikle enerji arz güvenliği ve iklim değişikliği konularına fayda sağlayacağını düşündüğü projelerin lisanslama maliyetlerini sübvansetmesi sektör için itici bir güç oluşturabilir. Lisanslama sürecindeki zaman sorunu ise, ilgili kurumların uluslararası kuruluşlardan teknik destek almasıyla asgari seviyeye indirilebilir.

Son dönemlerde KMR'lere bu kadar ilgi duyulmasının nedeni olarak zaman tasarrufu, düşük maliyet, kompakt, esnek, ölçeklenebilir ve yenilenebilir enerji şebekelerine entegre edilerek hibrit bir yapının oluşturulabilir olması gösterilebilir. Ülkelerin enerji arz güvenliği meselelerine önemli katkı sağlaması beklenen bu yeni nesil sistemlerin, karbonsuz bir gelecek içinde vazgeçilmez bir unsur haline geleceği düşünülmektedir.

3. Türkiye'nin KMR Politikası ve Olası Fırsatlar

Küresel ölçekte elektrifikasyon sürecinde yaşanan hızlı artış Türkiye'de de etkisini göstermektedir. Leblebicioğlu 2020'de elektrifikasyon, herhangi bir şeyin gerek duyduğu enerjinin geleneksel yöntemlerden uzaklaşarak elektrik enerjisiyle karşılanması olarak belirtilmektedir. Örnek olarak da petrol ve doğalgaz türevi yakıtları kullanan araçların yerine elektrik enerjisi ile çalışabilen araçların üretilmesi ve doğalgaz kullanılan endüstriyel alanlarda ısı pompalarının kullanılması gösterilebilir (Leblebicioğlu, 2020). Bu bağlamda Türkiye'de elektrik talebinde hızlı bir artış yaşanacağı beklenmektedir. Türkiye bu talep artışlarını karbon salınımı yapmayan enerji kaynakları ile karşılamak istemektedir. Aynı zamanda karbon salınımı yapmayan yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan önemli yatırımların nükleer enerji ile desteklenerek kontrollü bir elektrik arzı sunulması hedeflenmektedir.

Nükleer enerji, ekonomik ve teknolojik bağlamda her ülkenin kolayca ulaşabileceği bir kaynak değildir. Bununla birlikte nükleer enerji alanında başarılı olabilen ülkelerin teknolojik ve ekonomik avantajlar da elde edeceği açıktır. Stratejik olarak da bu teknolojiye sahip olan ülkenin küresel arenadaki konumunun güçleneceğini söylemek mümkündür (Kutluay ve Birol, 2025b: 51). Nükleer enerji yaygın olarak kullanılan fosil enerji kaynaklarına göre daha verimli ve temiz bir görünüm sergilemektedir. Konvansiyonel NGS'lerin büyük finansman kaynaklarına, gelişmiş teknolojik alt yapıya ve zamana ihtiyacı olduğu bilinmektedir. Bu noktada KMR'ler daha az maliyet ve zaman tasarrufu, güvenli olması, ölçeklenebilir olması, kolayca taşınabilmesi ve sökümünün kolay olması gibi özellikleriyle önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye'nin KMR sistemleri hedefleri teknolojik birikim elde edilmesi ile ekonomik ve stratejik kazanımlar sağlanması açısından oldukça önemlidir. Buna ek olarak Türkiye'nin enerji arz güvenliğinin sağlanmasında önemli bir aktör olacağı değerlendirilmektedir.

Literatürde, nükleer enerjinin Türkiye’ye etkileri üzerine yapılmış çok sayıda akademik çalışma bulunmaktadır. Bununla birlikte KMR sistemlerinin Türkiye’nin ekonomisine ve enerji politikalarına olası etkileri üzerine yapılan çalışmalar sınırlı bir düzeyde kalmıştır. Bunun temel nedenleri olarak KMR sistemlerinin küresel ölçekte yaygın hale gelmemesi ve Türkiye’deki girişimlerin henüz erken aşamada olduğu gösterilebilir. Yaygın olarak kullanımda olmamasından dolayı maliyet ve verimlilik gibi hususların ekonomik boyutlarının nicel olarak araştırılması zorlaşmaktadır. Bu nedenle KMR’lerin Türkiye’ye olası etkileri üzerine yapılan araştırmaların nitel yöntemlere dayandığı görülmektedir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, KMR’lerin Türkiye’ye olası etkileri bağlamında yapılan en kapsamlı çalışmanın MİA (2025b) olduğu söylenebilir. Ekonomi-politik bir perspektiften değerlendirildiğinde ise Kökduman ve Karaağaç (2024) çalışması öne çıkmaktadır. Ayrıca, Aslan (2025), Erbay (2025), Erkalın (2025) ve Yüksel (2025) gibi haber ajansları tarafından gerçekleştirilen analiz çalışmaları da bu alana katkı sunmaktadır. Öte yandan, Kutluay ve Birol’un (2025b) nükleer enerji politikalarına odaklanan çalışmasında KMR’lere dair bazı bilgilere yer verilmiş olsa da, bu sistemleri doğrudan ele alan bağımsız çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Bununla birlikte, farklı disiplinlerce yürütülen Bakır (2022), Atakan (2025) ve Taner (t.y.) gibi teknik araştırmalar, ekonomi-politik perspektifteki literatüre önemli katkılar sağlayabilecek niteliktedir. Ayrıca KMR sistemlerinin küresel ölçekte yaygınlaşmasıyla birlikte, bu alandaki akademik çalışmaların da paralel şekilde artması beklenmektedir.

Türkiye 2050’li yıllara kadar 20 GW nükleer enerji kapasitesine ulaşmayı hedeflemektedir. Akkuyu NGS’nin 4.8 GW kapasitesi bulunmaktadır. Sinop ve Tekirdağ’da planlanan projelerle birlikte 15 GW NGS kapasitesi oluşturulması amaçlanmaktadır. Hedeflenen 20 GW kapasitenin kalan kısmının ise KMR’ler ile tamamlanması planlanmaktadır. Böylelikle konvansiyonel NGS’ler ile büyük talep artışlarına cevap verilebileceği, KMR sistemlerinin ise yenilenebilir enerji kaynaklarına entegre edilerek dengeli bir elektrik arzı büyümesi sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Bununla birlikte bahse konu hedeflerin Türkiye’nin enerji arz güvenliğine, ekonomisine ve bölgesel diplomasi politikalarına katkı sağlayacak çok yönlü stratejik projeler olduğunu söylemek mümkündür (Erbay, 2025).

Türkiye nükleer enerji alanındaki küresel gelişmeleri yakından takip ederek bu alanda önemli adımlar atmıştır. KMR’ler konusunda öncü konumda olan ülkelerle iş birliği kurma çalışmalarının yanı sıra yerli modüler sistemlerin geliştirilmesine yönelik Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından Rekabet Öncesi İşbirliği Projeleri kapsamında “Yerli Nükleer Reaktör Geliştirilmesi Çağrı Duyurusu” yayınlanmıştır. Çağrının genel amacı enerji arz güvenliğinin sağlanması, sürdürülebilir büyümenin desteklenmesi ve iklim değişikliği hususunda net sıfır emisyon hedeflerine ulaşılması için yerli reaktör sistemlerinin geliştirilerek bu alanda öncü bir ülke konumuna gelinmesidir. Müteakiben nükleer enerji alanında kendi teknolojisine sahip olarak, küresel ölçekte enerji ve teknoloji sağlayıcı bir ülke haline gelinmesi hedeflenmektedir. Teşvik kapsamında, “elektrik üretim santrali, yeşil hidrojen üretimi, enerji yoğun sektörlerde kullanılması amacıyla endüstriyel ısı üretimi ve dağıtımı, sentetik yakıt üretimi (E-metanol gibi diğer E-Yakıtlar), amonyak üretimi, deniz suyu arıtma tesisleri ve nükleer kaynaklı soğutma sistemleri üretimi” projelerinin desteklenmesi amaçlanmaktadır. Her bir proje için %50 oranında hibe desteği verilmesi öngörülmektedir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2025). Bu bağlamda Türkiye’nin 2050 nükleer enerji hedefleri için somut adımlar attığı açık bir şekilde görülmektedir.

Türkiye’de ilk yerli KMR girişimi olan Ergimiş Tuz Reaktörü [ETR] projesi Thor Atom Şirket’i tarafından tasarlanmıştır. Uranyum-toryum tuz yakıtlarının kullanılması planlanan bu reaktörler IV. Nesil reaktör sınıfında yer almaktadır. Proje kapsamında geliştirilecek olan reaktörün zengin toryum rezervleriyle enerji üretmesi hedeflenmektedir. Toryum bazlı ETR’lerin basınç değerinin çok düşük olması, genişleme kabının bulunması

sayesinde yüksek sıcaklık ve aşırı soğumanın önlenmesi ve insan müdahalesini gerektirmemesi dolayısıyla yüksek güvenli olduğu belirtilmektedir. Ar-Ge çalışmalarına 2016 yılında başlayan şirket, farklı kullanım alanları için konsept çalışmalarına devam etmektedir (ThorAtom, t.y.). 2030 yılına kadar ticarileşmesi beklenen proje Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK) ve üniversitelerle iş birliği içinde yürütülmektedir (Atakan, 2025: 5-6). Bir diğer yerli girişim olan Türkiye Modüler Reaktör Sistemleri (TMRS), "Take Off İstanbul 2025" girişimcilik zirvesinde tanıtılmıştır. İsmi Türkiye tarihini önemli simgelerinden olan Tomris Hatun'dan alan proje ile 40 MW güç kapasiteli KMR üretilmesi hedeflenmektedir (Aslan, 2025). Yaklaşık bir yıldır gelişme aşamasında olduğu belirtilen proje ile sanayi, veri merkezleri ve savunma gibi alanlara esnek alternatifler oluşturulması amaçlanmaktadır. Bununla birlikte projenin Türkiye'nin 2050 nükleer hedefleri ile uyumlu olduğu belirtilmektedir (Balbaşı, 2025). KMR'ler reaktör üreticilerine daha fazla teknolojik birikim, öğrenme ve maliyet kolaylığı sağlamaktadır (Cooper, 2014: 163). Türkiye'de bu alandaki girişimcilerin sayısının artması ve devlet teşvikleriyle desteklenmesi, nükleer alandaki teknolojik birikimin sağlanması konusunda oldukça önemlidir.

Thor Atom ve TMRS projeleri, Türkiye'nin KMR teknolojisinde önemli bir aktör olabilmesi için gelecek vadeden çok önemli gelişmelerdir. Özellikle toryum kullanılan bir KMR, zengin özkaynaklar ile birleşince ekonomik ve politik güç anlamında önemli bir sıçrama yaratabilir. Yerli KMR'lerin geliştirilmesi, Türkiye'nin enerji arz güvenliğine ve enerji merkezi olma hedeflerine katkıda bulunarak stratejik anlamda farklı bir boyuta ulaşmasını sağlayabilir.

KMR teknolojileri de konvansiyonel reaktörler gibi ileri düzey teknolojik birikim gerektirmektedir. Türkiye'de bu alanda özel sektör girişimleri olsa da tasarım ve lisanslama işlemleri kısa zaman içerisinde hayata geçirilebilecek kolaylıkta değildir. Bununla birlikte KMR alanında uzmanlaşmış ülkelerle iş birliği ve teknoloji transferleri Türkiye'de nükleer enerjinin gelişimi için hayati niteliktedir. Dünyada çok az sayıda faaliyette ve inşaa aşamasında olan KMR sistemleri bulunmaktadır. İlk aşamada ihtiyaç duyulması halinde, bahse konu ülkelerin KMR sistemleri yakından takip edilerek yerli KMR'lerin üretilmesi noktasına kadar bu teknolojinin, teknoloji transferini de kapsayacak şekilde dışarıdan temin edilmesi değerlendirilebilir.

Tablo 2. Türkiye İçin Uygun KMR Seçenekleri

Reaktör	Güç (MWe)	Türkiye için artıları	Türkiye için eksileri	Uygunluk notu
HTR-PM (Çin)	210	Yüksek sıcaklık, endüstriyel ısı kullanımı, TRISO yakıt tecrübesi kazanımı	Sınırlı teknoloji transferi, TRISO yakıt tecrübesinin olmaması	Sanayi ısı uygulamaları
KLT-40S (Rusya, yüzer santral)	64	Rusya ile iş birliği, kıyı kentlerinde enerji/ısı	Rusya’ya bağımlılık artar, düşük kapasite, kıyıya bağımlılık	Sınırlı kullanım alanı
BWRX-300 (Kanada/GEH)	300	Şebekeye uygun olması, batı kaynaklı finansman, Lisanslama durumu ileride,	BWR tecrübesinin olmaması, yakıtta bağımlılık	Güçlü aday
Natrium (ABD/TerraPower)	345	Esnek güç sağlayabilme, yenilenebilir enerjiye destek	HALEU yakıtın Türkiye’de olmaması, erken aşama olması	Uzun dönemde gelecek vadeden proje
Rolls-Royce SMR (İngiltere)	470	Şebekeye çok uygun, yüksek kapasite: Avrupa Birliği ve İngiltere finansmanlı	Hala geliştirme aşamasında ve maliyeti belirsiz	Güçlü aday
Project Pele (ABD-Mikroreaktör)	1,5	Uzak bölgeler ve askeri üsler için uygun	Şebeke için uygun değil, sınırlı kullanım	Savunma ve uzak bölgeler için
ThorAtom (Türkiye, Thorium Molten Salt Reactor)	100-250 arasında planlanmaktadır	Yerli teknolojiye sahip olma imkanı, toryum yakıtının Türkiye’de mevcut olması, uzun vadede enerji bağımsızlığı	Gelişme aşamasında, henüz deneyim yok, lisanslama süreçleri uzun	Gelecek vadeden yerli teknoloji

Kaynak: Atakan (2025: 5).

Yukarıdaki tabloda Türkiye için bazı KMR seçenekleri özellikleriyle birlikte belirtilmiştir. Önemli olan Türkiye’nin, gelecekte küresel enerji denkleminde önemli bir yeri olacak bu sistemleri yerli olarak üretebilme potansiyelinin olmasıdır. Bununla birlikte mevcut yerli projelerin gelişiminin uzun yıllar alacağı beklentileri dünyada mevcut işletmede olan ve belirli aşamaları geçmiş KMR projelerinin de alternatif olarak değerlendirilmesine yol açmaktadır.

İdeal bir KMR tasarımı sürdürülebilirlik, fabrikasyon üretime uygun, pasif güvenlik, kurulum ve işletme kolaylığı gibi talepleri karşılamalıdır. Bununla birlikte taşınabilirlik, uygun maliyet, daha küçük bir tesis ve saha seçim esnekliği gibi ayrıcalıklara sahip olmalıdır. Ayrıca KMR’lerin maliyeti hususunda bazı iddialar olsa da bu hususta kanıtlanmış ve genel kabul görmüş tasarımlar bulunmamaktadır (Shobeiri vd., 2023: 13-14). Dolayısıyla bir ülkenin KMR’leri dışarıdan temin etmesi durumunda bu hususları dikkate alarak hareket etmesi gerektiği düşünülmektedir.

Türkiye için uygun KMR'lerin seçimi farklı disiplinler tarafından ele alınması gereken bir konudur. Ekonomi-politik perspektiften ele alınacak olursa farklı ülkelerin farklı avantajları ve dezavantajları olabilir. Mevcut şebekelere entegre edilmek istenilen, ayrı bir şebeke olarak ihtiyaç duyulan ve askeri alanda kullanılmak istenilen KMR sistemleri farklı ülkelerden tedarik edilmek zorunda kalınabilir. Çünkü her ülkenin tasarımları farklı hedef pazar stratejileri içermektedir. Örneğin, Rusya ile zaten devam eden konvansiyonel bir NGS iş birliği mevcuttur. KMR sistemlerine yönelik olası iş birliğinde teknoloji transferi diğer ülkelere göre daha kapsamlı gerçekleşebilir. Dezavantajlı durum olarak ise nükleer enerjide Rusya'ya olan bağımlılık artabilir. Bununla birlikte esnek kullanıma uygun olduğu tartışmalıdır. Yüzer santral biçiminde tasarlandığı için sadece kıyı bölgelerinde kullanım avantajı sağlar. Çin bu alanda kendini kanıtlamış bir aktördür. Bu bağlamda Çin'in faaliyette olan HTR-PM ve inşası devam eden ACP100 yakından mercek altına alınmalıdır. İngiltere, ABD ve Fransa'da nükleer enerji alanında oldukça etkili ülkelerdir. Bütün bu aktörlerin projeleri bir süre izlenmeli ve uygun seçeneğin ekonomiklik ve güvenlik açısından kendisini kanıtlanması gerekir. Ayrıca iş birliği kurulacak ülkelerin ekonomiklik ve stratejik açıdan avantajları ve dezavantajları iyi analiz edilmelidir. Yakıt konusunda ise Türkiye'nin uranyum zenginleştirme teknolojisi ve yeterli özkaynağı bulunmamaktadır. Dolayısıyla herhalde nükleer enerji yakıtına bağımlılık söz konusu olacaktır.

KMR sistemlerinin Türkiye'nin enerji politikalarındaki yerine bakıldığında, 2050'li yıllara kadar 5 GW kapasiteye ulaşılması hedeflenmektedir. Bu hedef, toplam nükleer enerji planlamasının yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır. Türkiye'de konvansiyonel NGS'ler ile artan enerji talebinin büyük ölçüde karşılanması öngörülmektedir. KMR sistemleriyle ise özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi ve öngörülebilir bir elektrik arzının sağlanması amaçlanmaktadır. Dolayısıyla, enerji politikaları bağlamında nükleer enerjinin Türkiye'nin gelecek projeksiyonlarında uzun yıllar boyunca önemini koruyacağı söylenebilir.

Sonuç

Türkiye'de ikincil enerji kaynaklarından olan elektrik üretiminin yarısından fazlası fosil yakıt kullanılan santrallerde gerçekleşmektedir. Bu santrallerde yakıt olarak genellikle taş kömürü, linyit ve doğal gaz kullanılmaktadır. Fosil yakıtlarda büyük oranda dışa bağımlı bir profil sergileyen Türkiye'de bu durum cari açık ve karbon emisyonu sorununu derinleştirmektedir. Bu bağlamda Mevcut rezervlerini optimum seviyede kullanmak için büyük çaba gösteren Türkiye'nin, gelecek projeksiyonlarında fosil yakıtlardan uzaklaşarak karbonsuz temiz enerji kaynaklarına öncelik verdiği görülmektedir.

Küresel ölçekte hız kazanan elektrifikasyon süreci Türkiye'de de benzer şekilde yaşanmaktadır. Büyüyen ekonomi ve artan üretimle doğru orantılı olarak özellikle sanayi sektöründe elektrik talebinde ciddi artışlar öngörülmektedir. Bununla birlikte yapay zeka ve dijitalleşme sonucu veri merkezlerinin sayısının artması, elektrik talebini önemli ölçüde artıran etkenlerden birisi olmuştur. Bu taleplerin karşılanabilmesi için Türkiye, iklim değişikliği sorununu da dikkate alarak temiz enerji kaynaklarına yapılan yatırımları artırmayı hedeflemelidir. Yenilenebilir enerji yatırımlarında küresel ölçekte ön sıralarda yer alan Türkiye, üretimin doğa koşullarına bağlı olarak dalgalanması nedeniyle bu kaynakların sınırlılıklarını da göz önünde bulundurmaya zorundadır. Bu noktada KMR'ler, yenilenebilir enerji şebekelerine entegre edilebilme ve şebekeden bağımsız kurulabilme özellikleriyle enerji politikalarının şekillenmesinde stratejik bir unsur olarak görülmelidir. Tüketim merkezlerine yakın konumlandırılabilme özelliği sayesinde, Türkiye'de yaklaşık %11 seviyesinde seyreden elektrik dağıtım kayıplarının azaltılmasına önemli ölçüde katkı sağlayabilir. Bu özellikleriyle KMR'lerin Türkiye'nin enerji arz güvenliğine pozitif yönlü etki yaratması muhtemeldir. Karbonsuz enerjiye geçişte köprü olabilecek bu teknoloji, nükleer enerji alanında yeni bir dönemin habercisi olarak değerlendirilmektedir.

Enerji arzında dışa bağımlılıkla mücadele eden Türkiye için KMR teknolojileri önemli fırsatlar sunmaktadır. Yenilenebilir kaynaklarının ve iklimlendirme teknolojisinin desteklenmesi, esnek tasarım imkânı, askeri ve sivil uygulamalara uygunluğu ve yerli nükleer teknoloji geliştirme potansiyeli, KMR’leri Türkiye’nin enerji güvenliği politikalarıyla uyumlu hale getirmektedir.

Akkuyu NGS ile kazanılan tecrübe ve diğer projelerle hedeflenen teknoloji transferi, Türkiye’nin nükleer enerji alanında uzman ülke olma yolunda attığı adımların göstergesidir. Yerli girişimler arasında öne çıkan Thor Atom’un toryum yakıtlı KMR projesi ve Baykar’ın TMRS girişimi, Türkiye’nin enerji bağımsızlığına katkı sağlayabilecek umut verici gelişmelerdir. Bu projelerin teşvik, teknik destek ve lisanslama süreçleriyle güçlendirilmesi kritik öneme sahiptir. Toryum yakıtlı KMR’ler sadece Türkiye’de değil küresel ölçekte gelişme aşamasında olan teknolojilerdir. Dolayısıyla toryum zengini bir ülke olarak bu kaynağın rezerv çalışmalarının artırılması önem arz etmektedir. Ayrıca toryum yakıtlı KMR teknolojisinin yerli olarak üretilmesi Türkiye’nin KMR üretim merkezi olmasını sağlayabilir.

KMR teknolojisinin uzun vadeli ve zorlu bir süreç gerektirdiği açıktır. Bu nedenle Türkiye, yerli projeleri geliştirirken küresel ölçekte ilerleme kaydetmiş tasarımları da yakından takip etmeli ve uygun seçenekleri teknoloji transferiyle enerji envanterine entegre etmeyi değerlendirmelidir. ABD, Rusya, Kanada, Çin, İngiltere, Japonya ve Fransa gibi öncü ülkelerin deneyimleri, Türkiye için yol gösterici olabilir. Ancak tek bir ülkeye bağımlılığın riskleri göz önünde bulundurularak kaynak ülke çeşitliliği sağlanmalıdır. Ayrıca uranyum zenginleştirme teknolojisinin transferi, yerli rezervlerin kullanımını artırarak yakıt bağımlılığını azaltabilir. Bu bağlamda Türkiye’deki uranyum rezervlerinin yeniden tespiti yerli kaynakların kullanımı açısından önem arz etmektedir.

Uzun vadede Türkiye’nin KMR üretim merkezi olma hedefinin; yerli teknolojinin geliştirilmesi, insan kaynağının yetiştirilmesi ve KMR’lerin doğal güvenlik özelliklerine sahip olduğunun kamuoyuna anlatılarak konsensüs oluşturulmasıyla mümkün olacağı değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda sanayi altyapısının güçlendirilmesi ve yerli girişimlerin artırılması, stratejik ilerlemenin temel dinamikleri arasında yer almaktadır. Başarılı milli KMR projeleri, Türkiye’ye enerji bağımsızlığı yolunda itici bir güç olmanın yanı sıra ihracat potansiyeli, istihdam artışı, cari açığın azaltılması ve hatta ortadan kaldırılması gibi ekonomik faydalar sağlayacaktır. Böylelikle Türkiye’nin küresel ölçekteki ekonomik ve stratejik gücünün önemli ölçüde artacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Ackermann, T., Andersson, G., & Söder, L. (2001). Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*. 57(3): 195-204. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00015-X](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00015-X)
- Ahmad, F., & Usman, S. (2025). Advanced and Small Modular Reactors' supply chain: Current status and potential for global cooperation. *Progress in Nuclear Energy*. 184: 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2025.105661>
- Alonso, G. (2025). Economic competitiveness of small modular reactors in a net zero policy. *Energies*. 18(4). 922. <https://doi.org/10.3390/en18040922>
- Aslan, M. (2025). Selçuk Bayraktar, Reaktör Projesinin İsmi İlk Kez Duyurdu: TOMRİS! Savunma Hattı. <https://savunmahatti.com/selcuk-bayraktar-reaktor-projesinin-ismini-ilk-kez-duyurdu-tomris/> (20.12.2025)
- Atakan, Y. (2025). Küçük Modüler Reaktörler (SMR): Dünyadaki ve Türkiye'deki Gelişmelerin Özeti. Fizik Mühendisleri Odası. <https://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2025/08/KUCUK-MODULER-REAKTORLER-SMR-DUNYA-daki-ve-TURKIYE-deki-2025-Gelismeler-Y.Atakan-KS-20.08.2025.pdf> (25.12.2025)
- Bakır, G. (2022). Yenilikçi Nükleer Teknoloji Olan Küçük Modüler Reaktörler ve Kullanım Alanları (S. Bardak Ed.). Mühendislikte Güncel Araştırmalar (ss. 157–168). Ankara: Gece Yayıncılık.
- Balbaşı, Onur. (2025). Baykar TMRS Nükleer Projesini Duyurdu! TMRS Nedir? Hardware Plus. <https://hwp.com.tr/baykar-tmrs-nukleer-projesini-duyurdu-tmrs-nedir-322526> (20.12.2025)
- Bernardi, J., & Huang, Y. (2024). China Is Building Half Of The World's New Nuclear Power Despite Inland Plants Pause. *Global Energy Monitor*. <https://globalenergymonitor.org/report/china-is-building-half-of-the-worlds-new-nuclear-power-despite-inland-plants-pause/> (29.12.2025)
- Chevalier, J. M. (2006). Security of energy supply for the European Union. *European Review of Energy Markets*. 1(3): 1-20.
- Cho, E., & Lee, J. (2025). Social acceptance of small modular reactor (SMR): Evidence from a contingent valuation study in South Korea. *Nuclear Engineering and Technology*. 57(1). 103128. <https://doi.org/10.1016/j.net.2024.07.059>
- Cooper, M. (2014). Small modular reactors and the future of nuclear power in the United States. *Energy Research & Social Science*. 3: 161–177. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.07.014>
- Demir, E. (2025). Türkiye'de yenilenebilir enerji: mevcut durum, sorunlar, politika yaklaşımları ve küresel rekabetçilik performansı. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. (71): 81-90. <https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.1661565>
- Erbay, C. (2025). Türkiye'nin Küçük Modüler Reaktör Hamlesinin Stratejik Önemi. Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/analiz/turkiyenin-kucuk-moduler-reaktor-hamlesinin-stratejik-onemi/3584282> (10.11.2025)

- Erkalan, B. (2025). Türkiye Enerji Üretimini Artırarak İthalatı Düşürdü. Anadolu Ajansı. [https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiye-enerji-uretimini-artirarak-ithalati-dusurdu/3494820\(05.12.2025\)](https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiye-enerji-uretimini-artirarak-ithalati-dusurdu/3494820(05.12.2025))
- Ferguson, C. D. (2015). *Nükleer Enerji ve Herkesin Bilmesi Gerekenler* (Fatih Güdük, Çev.). Ankara: Buzdağı Yayınları.
- Idaho National Laboratory. (2026). Microreactors. <https://inl.gov/trending-topics/microreactors/> (03.01.2026)
- International Atomic Energy Agency. (2024). International Conference on Small Modular Reactors and their Applications. Viyana, Avusturya. <https://www.iaea.org/events/smr2024> (04.12.2025)
- International Energy Agency. (2026). Nuclear Power. <https://www.iea.org/energy-system/electricity/nuclear-power> (01.01.2026)
- Kaya, N. E., ve Çağatay, G. (2021). Paris Anlaşması Türkiye’de yürürlüğe giriyor. Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/cevre/paris-anlasmasi-turkiyede-yururluge-giriyor/2415695> (18.02.2026)
- Korkusuz, M. H., Kutluk, E. & Akın, C. (2015). Türkiye’nin nükleer enerji politikası açılımını global veriler ve Almanya’nın nükleer enerji deneyimleri bağlamında değerlendirmek. *Sosyal Bilimler Dergisi*. 2(4): 356–384. <https://doi.org/10.16990/SOBIDER.96>
- Kökdoğan, S. S., & Karaağaç, E. (2024). SMR devrimi ve enerji diplomasisi. *International Journal of Sustainability with Climate and Energy*. 3(1).
- Kutluay, M., & Birol, Y. E. (2025a). Küresel enerji paradigmasında kaya gazı: Türkiye’nin potansiyel ekonomik kazanımları. *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Turhal Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*. 3(2): 1–16.
- Kutluay, M., & Birol, Y. E. (2025b). Nükleer Enerjinin Küresel Gelişimi: Türkiye’nin Enerji Politikalarına Olası Yansımaları. (B. Demirgil ve Y. E. Birol, Ed.). *İktisadi ve Mali Yazılar II* (ss. 43–66). Bursa: Ekin Yayınevi.
- Leblebicioğlu, E. (2020). Elektrifikasyon Nedir ? Enerji Dönüşümü İçin Önemi. Mühendistan. <https://muhendistan.com/elektrifikasyon-nedir/> (18.02.2026)
- Liou, J. (2023). What Are Small Modular Reactors (SMRs)? International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>
- Locatelli, G., Bingham, C., & Mancini, M. (2014). Small modular reactors: A comprehensive overview of their economics and strategic aspects. *Progress in Nuclear Energy*. 73: 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.01.010>
- Milli İstihbarat Akademisi. (2025a). *Siber Güvenlik Perspektifinden Türkiye’nin Nükleer Enerji Stratejisi*. https://mia.edu.tr/uploads/f/siber-gvenlik-perspektifinden-trkiyenin-nkleer-enerji-stratejisi_1.pdf
- Milli İstihbarat Akademisi. (2025b). *Nükleer Enerjide Stratejik Fırsat: Küçük Modüler Reaktörler Ve Türkiye*. https://mia.edu.tr/uploads/f/nukleer-enerjide-stratejik-firsat-kucuk-moduler-reaktorler-ve-turkiye_1.pdf
- NANO Nuclear Energy Inc. (2026). Emerging Technology: Microreactors. <https://nanonuclearenergy.com/microreactors/> (05.01.2026)

- Pamir, A. N. (2003). Dünyada ve Türkiye’de enerji, Türkiye’nin enerji kaynakları ve enerji politikaları. *Metalurji Dergisi*. 134(23): 1–39.
- Pamir, N. (2005). Enerji politikaları ve küresel gelişmeler. *Stratejik Analiz*. 6(68): 57–73.
- Polatoğlu, M. G. (2024). Nükleer enerji politikaları ekseninde Türkiye'nin ilk nükleer güç santrali: Akkuyu ve inşaa faaliyetleri. *Çağdaş Türkiye Tarihi Araştırmaları Dergisi*. 24(48): 389–420.
- Ritchie, H. (2023). How Long Does It Take To Build A Nuclear Reactor? Sustainability by Numbers. <https://www.sustainabilitybynumbers.com/p/nuclear-construction-time> (18.12.2025)
- Sam, R., Sainati, T., Hanson, B., & Kay, R. (2023). Licensing small modular reactors: A state-of-the-art review of the challenges and barriers. *Progress in Nuclear Energy*. 164: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2023.104859>
- Shobeiri, E., Genco, F., Hoornweg, D., & Tokuhiro, A. (2023). Small modular reactor deployment and obstacles to be overcome. *Energies*. 16(8): 3468. <https://doi.org/10.3390/en16083468>
- T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2022). Türkiye’nin Uluslararası Enerji Stratejisi. https://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa (10.10.2025)
- T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2024). *Elektrik Piyasası 2024 Yılı Piyasa Gelişim Raporu*. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyllik-sektor-raporu> (15.10.2025)
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2016). Türkiye’nin Nükleer Santral Projeleri: Soru-Cevap. <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/NUPGM/tr/Belgeler/49020-nukleer1.pdf> (11.10.2025)
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Türkiye Ulusal Enerji Planı. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/Turkiye_Ulusal_Enerji_Planı.pdf (12.10.2025)
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2025). Yerli Nükleer Reaktör Geliştirilmesi Projesi Çağrı Duyurusu. <https://rip.sanayi.gov.tr/anasayfa/Home/CagriDuyurusuNukleer> (25.10.2025)
- Taner, A. C. (t.y.). İngiltere Yüksek Kapasiteli Yeni Nesil Nükleer Güç Santralleri Yerine İnovatif Küçük Modüler Elektrik Reaktörleri Kurulması Perspektifleri. Fizik Mühendisleri Odası. <https://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2011/07/> (20.11.2025)
- Tavukcu, S. (2025). Türkiye’nin Nükleer Denizaltı İnşaa Projesi Küresel Güç Olma Hedefinin İlanıdır. *Stratejik Düşünce Dergisi*. <https://www.sde.org.tr/sinan-tavukcu/genel/turkiye-nin-nukleer-denizalti-insa-projesi-kuresel-guc-olma-hedefinin-ilanidir-kose-yazisi-58064> (10.12.2025)
- ThorAtom. (t.y.). Milli ETR Projesi. <https://thoratom.com/nukleer-teknoloji/yeni-nesil-reaktor-calismalari/millietr-projesi/> (18.12.2025)
- Tiryaki, G., & Çamdalı, Ü. (2024). Bir Nükleer Güç Santralının Karşılaştırılmalı Maliyet Analizi: Akkuyu Özelinde. *Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi*. 3(2): 99–111.
- Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş Genel Müdürlüğü. (2023). *2023 Yılı Türkiye Elektrik Dağıtım Sektör Raporu*. <https://www.tedas.gov.tr/FileUpload/MediaFolder/25819eac-d024-4308-891a-d248db8c1e0a.pdf>

- Wang, Y., Chen, W., Zhang, L., Zhao, X., Gao, Y., & Dinavahi, V. (2024). Small modular reactors: An overview of modeling, control, simulation, and applications. *IEEE Access*, 12, 39628–39650. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3351220>
- World Nuclear Association. (2024). *World Nuclear Performance Report 2024*. (Report No. 2024/003). <https://world-nuclear.org/images/articles/World-Nuclear-Performance-Report-2024.pdf> (15.11.2024)
- World Nuclear Association. (2025a). Small Modular Reactor (SMR) Design Database. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-power-reactors/small-modular-reactors/small-modular-reactor-smr-design-database> (18.11.2025)
- World Nuclear Association. (2025b). Small Modular Reactors. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-power-reactors/small-modular-reactors/small-modular-reactors> (08.12.2025)
- Yeter, F. (2025). Türkiye’nin Enerji Ekonomisi Arz Güvenliği, Talep Dinamikleri Ve Küresel Dönüşümün Etkileri. B. Demirgil & Y. E. Birol, (Ed.). *İktisadi ve Mali Yazılar II* (ss. 15–26). Bursa: Ekin Yayınevi.
- Yılankırkan, N., & Doğan, H. (2020). Türkiye’nin enerji görünümü ve 2023 yılı birincil enerji arz projeksiyonu. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 10(2): 77-92.
- Yılmaz, S., & Kalkan, D. K. (2017). Enerji güvenliği kavramı: 1973 petrol krizi ışığında bir tartışma. *Uluslararası Kriz ve Siyaset Araştırmaları Dergisi*, 1(3): 169–199.
- Yüksel, F. (2025). Türkiye, Nükleer Enerjide Teknoloji Geliştiren Ve Tedarik Eden Ülke Olmayı Hedefliyor. Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/dunya/turkiye-nukleer-enerjide-teknoloji-gelistiren-ve-tedarik-eden-ulke-olmayi-hedefliyor/3703999> (19.10.2025)