

II. TEMİZ ENERJİ TEKNOLOJİLERİ ULUSAL ÇALIŞTAYI SMR Teknolojileri



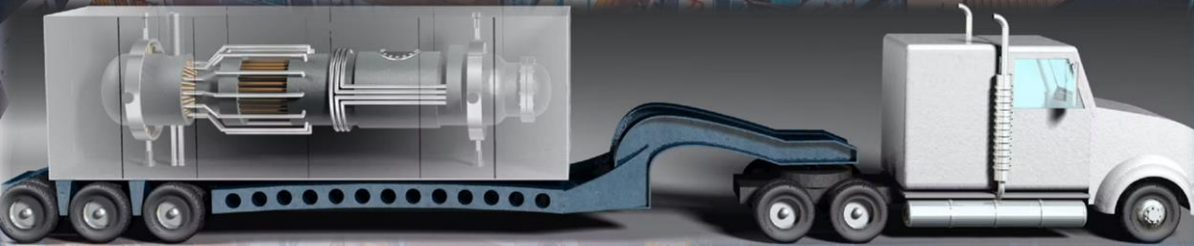
8 Ocak 2026
Perşembe / 9.00-18.00

OSTİM OSB YÖNETİM BİNASI KONFERANS SALONU
YENİMAHALLE ANKARA

TÜRKİYE'NİN ENERJİ GÜVENLİĞİ VE ŞEBEKE ESNEKLİĞİ STRATEJİSİNDE SMR VE MİKRO REAKTÖRLERİN ROLÜ

Doç.Dr. Mehmet BULUT

EMO Ankara Şubesi
Enerji Komisyonu Üyesi



SUNUM PLANI

1. Küçük Modüler Reaktörler (SMR)
2. Nükleer Dönüşümün Stratejik Zorunluluğu
3. Türkiye'nin Enerji Arz Güvenliği Çerçevesi
4. Ulusal Enerji Planı Talep Projeksiyonları ve Kapasite İhtiyacı
5. Güç Sisteminde Esneklik ve kararlılık
6. Talep Projeksiyonu ve Ani Puant Değerleri
7. Kapasite Sınıflandırmaları, Boyut ve Konumlandırma Stratejisi
8. SMR'ların Dağıtık Yapısının Jeopolitik ve Fiziksel Direnç Katkısı
9. Sanayileşme ve Yerli Katkı Potansiyeli
10. Yenilenebilir Enerji Entegrasyonunda Esnek Nükleerin Rolü
11. Mikro Reaktörlerin Kritik Şebeke Dışı Uygulamaları
12. Türkiye'nin Enerji Güvenliği Perspektifi
13. Sonuç ve Değerlendirme



KÜÇÜK MODÜLER REAKTÖRLER (SMR)

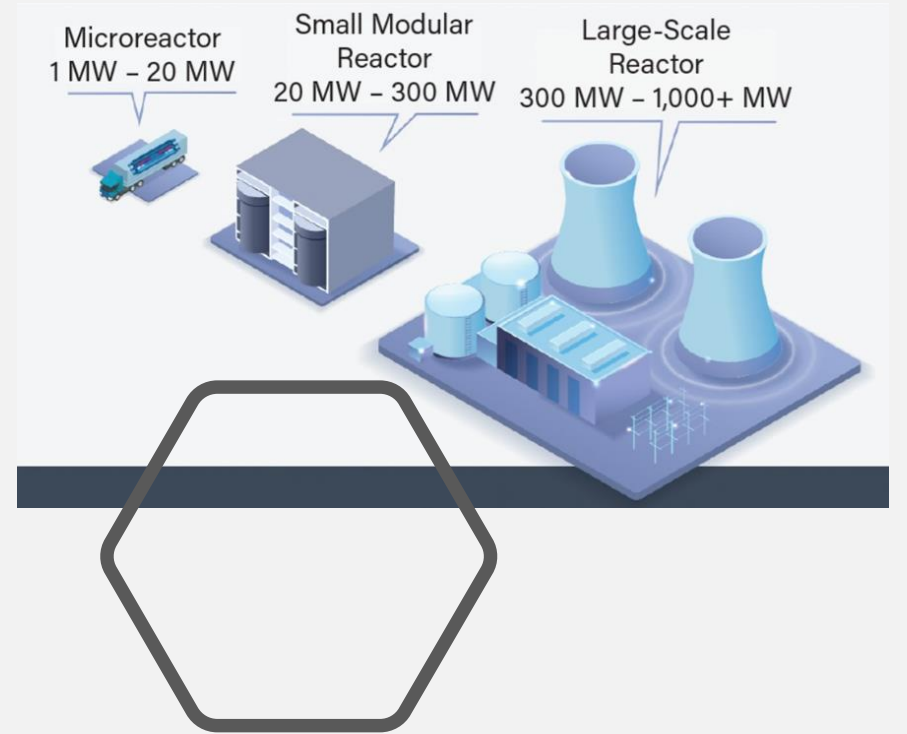
Nükleer Enerji Ajansının (NEA) raporuna göre, **12 ülkede 127 SMR** projesi yürütülmekte.

Uygulama:

Elektrik üretimi, endüstriyel ısı, denizcilik ve mobil enerji çözümleri gibi farklı alanlar

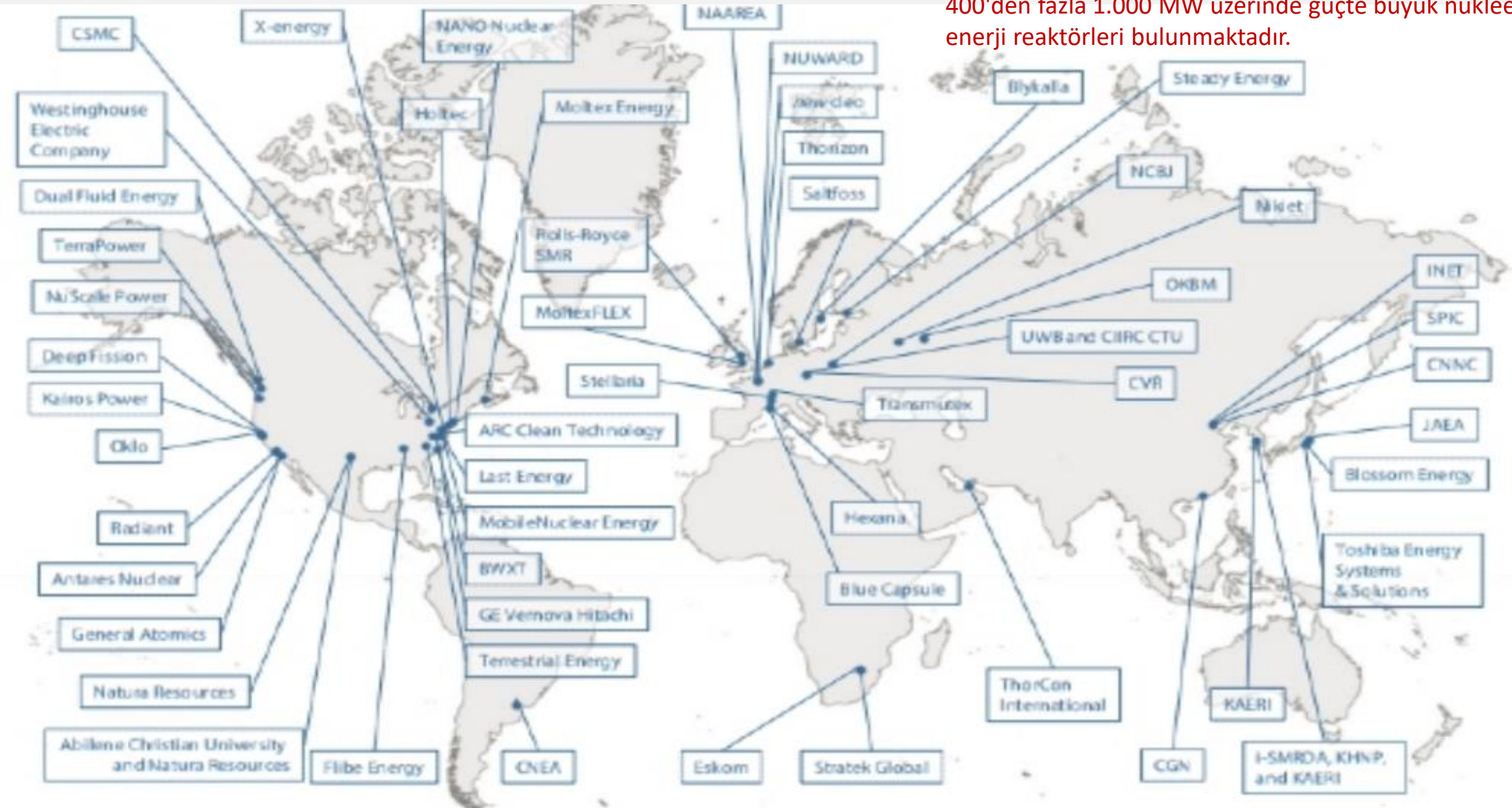
SMR: Küçük modüler reaktörler, alışlagelmiş nükleer reaktörlerin üretim kapasitesinden daha düşük olarak, 50 MW'tan 300 MW'a kadar güç üretme olarak geliştirilmiş mini reaktörler.

Küçük modüler reaktör pazarındaki lider oyuncular :
NuScale Power (ABD), Westinghouse Electric (ABD), GE Hitachi Nuclear Energy (ABD), Terrestrial Energy Inc. (Kanada) ve Moltex Energy (Kanada)

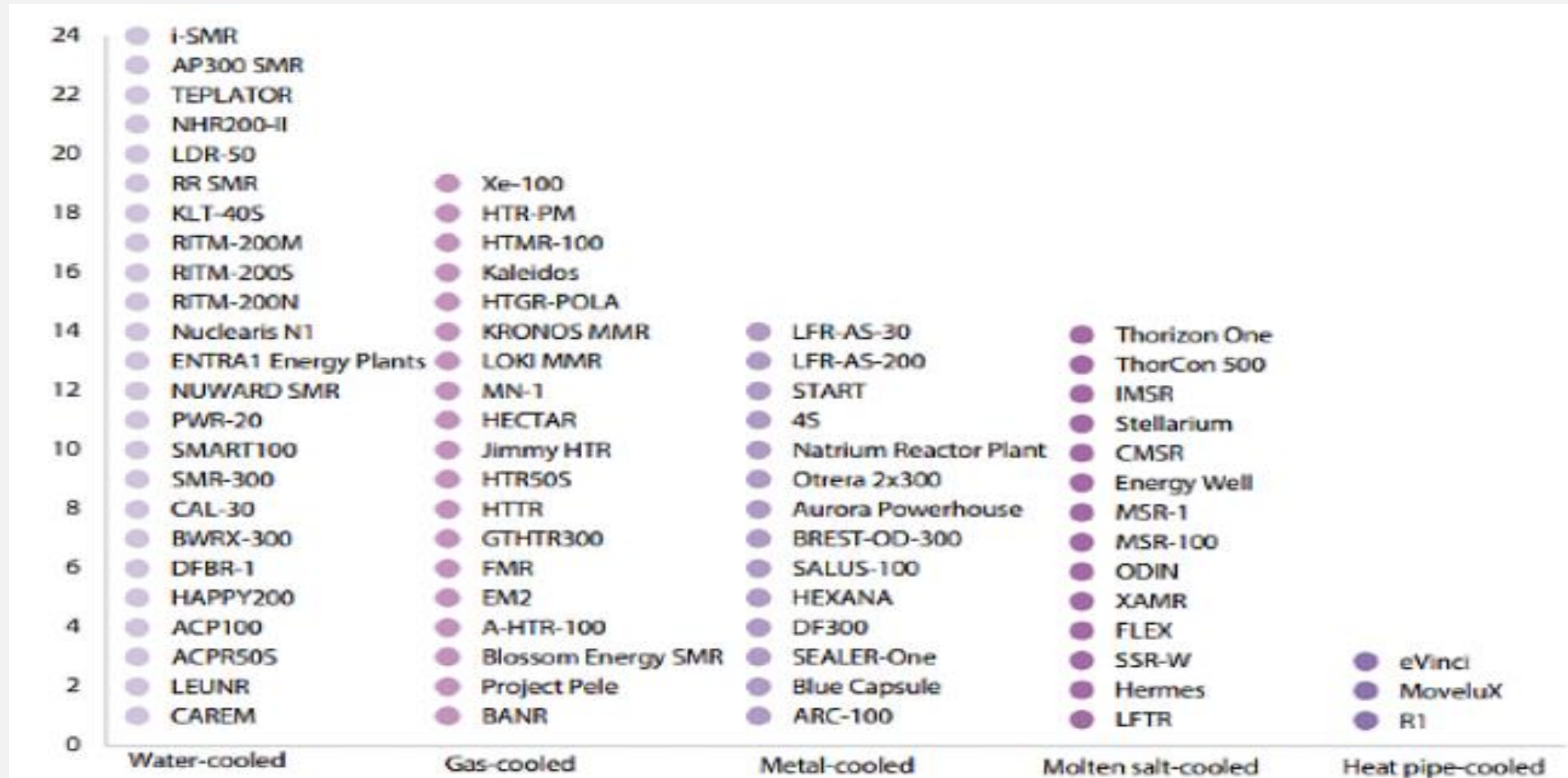


SMR geliştiren ülkeler ve pojeeri (OECD NEA SMR Dashboard)

Günümüzde halen dünyada iřletmede olan 32 ülkede 400'den fazla 1.000 MW üzerinde gte büyük nükleer enerji reaktörleri bulunmaktadır.



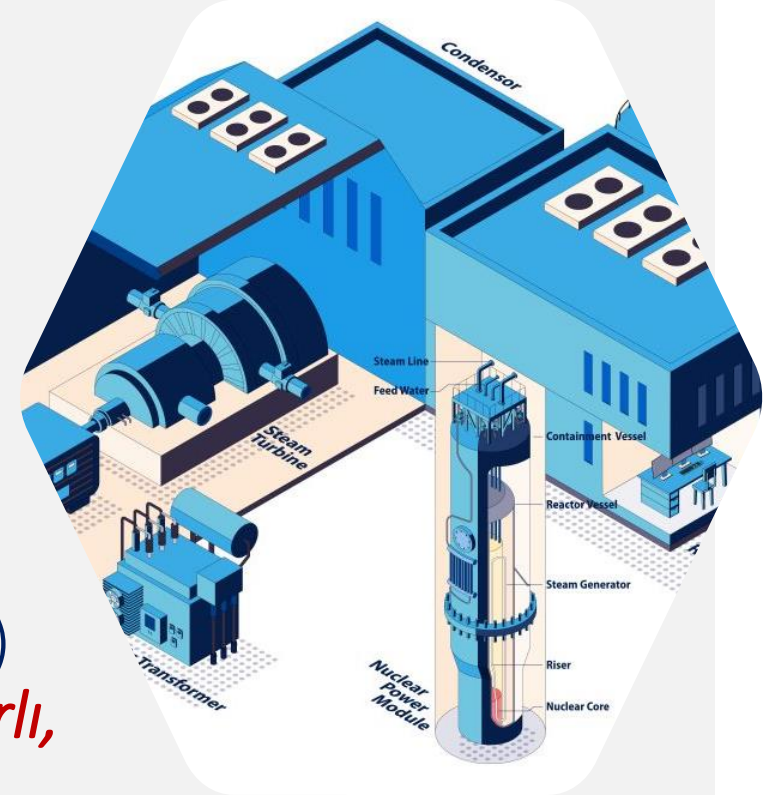
Dünyada geliştiren SMR Teknolojileri – Konseptler (OECD NEA SMR Dashboard)



NÜKLEER DÖNÜŞÜMÜN STRATEJİK ZORUNLULUĞU

Küresel Enerji Eğilimleri ve İklim Taahhütleri

- Küresel enerji sistemleri, *iklim kriziyle mücadele ve enerji güvenliğini eş zamanlı sağlama* baskısı altında
- Ulusal enerji stratejimiz, *fosil yakıtlardan kademeli olarak uzaklaşarak* Net Sıfır hedeflerine ulaşmayı öngörmekte
- Bu kapsamda nükleer enerji, özellikle *Küçük Modüler Reaktörler (SMR) ve Mikro Reaktörler (MR)* öne çıkıyor
- Kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgar ve güneş) *şebekeye büyük ölçekte entegrasyonu için gerekli olan kararlı, karbon nötr ve öngörülebilir baz yük kapasitesini* sunmakta
- SMR ve MR teknolojileri, *enerji portföyünün çeşitlendirilmesi ve esnekliğin artırılması* açısından kritik öneme sahip olacaktır.



Türkiye'nin Enerji Arz Güvenliği Çerçevesi

- SMR teknolojileri, *ithal fosil yakıtların yerine ikame edilebilecek, yerli kaynaklı ve sabit yakıt maliyetlerine sahip bir enerji kaynağı* sunabilir.
- Türkiye'nin *enerji ithalatı üzerinde hafifletme potansiyeline* sahiptir.
- Konvansiyonel termik ve nükleer santraller uzun yatırım ve inşaat döngülerine sahipken, *SMR'ların modüler ve fabrikasyon temelli olması, daha hızlı devreye alınabilir.*
- Enerji ithalat bağımlılığının yarattığı maliyet şoklarına daha çabuk ve esnek yanıt verebilme yeteneği sağlar.
- Bu da *SMR'ları kısa ve orta vadeli ekonomik planlama için stratejik bir araç* haline getirmektedir.



Ulusal Enerji Planı Talep Projeksiyonları ve Kapasite İhtiyacı



- Türkiye Ulusal Enerji Planı, hızla büyüyen enerji talebini karşılamak üzere iddialı kapasite artışı hedeflerine sahip
- Plan, **2035 yılına kadar** birincil enerji tüketiminin 205,3 Mtep **Elektrik talebinin 510,5 TWh** ulaşacağını öngörmekte
- Bu dönemde toplam **elektrik kurulu gücünün 189,7 GW'a** çıkması bekleniyor.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücünde çarpıcı bir artış :

Rüzgar enerjisi 29,6 GW (5 GW deniz üstü dahil)

Güneş enerjisi 52,9 GW

Toplam : 82,5 GW

Güç Sisteminde Esneklik ve kararlılık (2035'e Doğru)

- Diğer yenilenebilir enerji kaynakları : kurulu güç **hidroelektrik santraller 35,1 GW**, jeotermal ve biyokütle enerji santralleri toplam **5,1 GW**
- **Rüzgar ve Güneş : Kesintili kaynaklardan elde edilen toplam kurulu güç 82,5 GW**
- Ulusal Enerji Planı, 2035 yılına kadar sistemdeki toplam nükleer enerji santrali kurulu gücü **7,2 GW**
- 2050'ye kadar ise küçük modüler reaktörlerin (SMR) de sisteme eklenmesiyle toplam nükleer kapasite 20 GW

Bu *7,2 GW'lık konvansiyonel nükleer kapasitenin ötesinde, 82,5 GW'lık büyük kesintili yenilenebilir kapasiteyi dengelemek ve 510,5 TWh'lik talebi karşılamak için ek kararlı ve esnek kapasite zorunluluğu mevcut.*

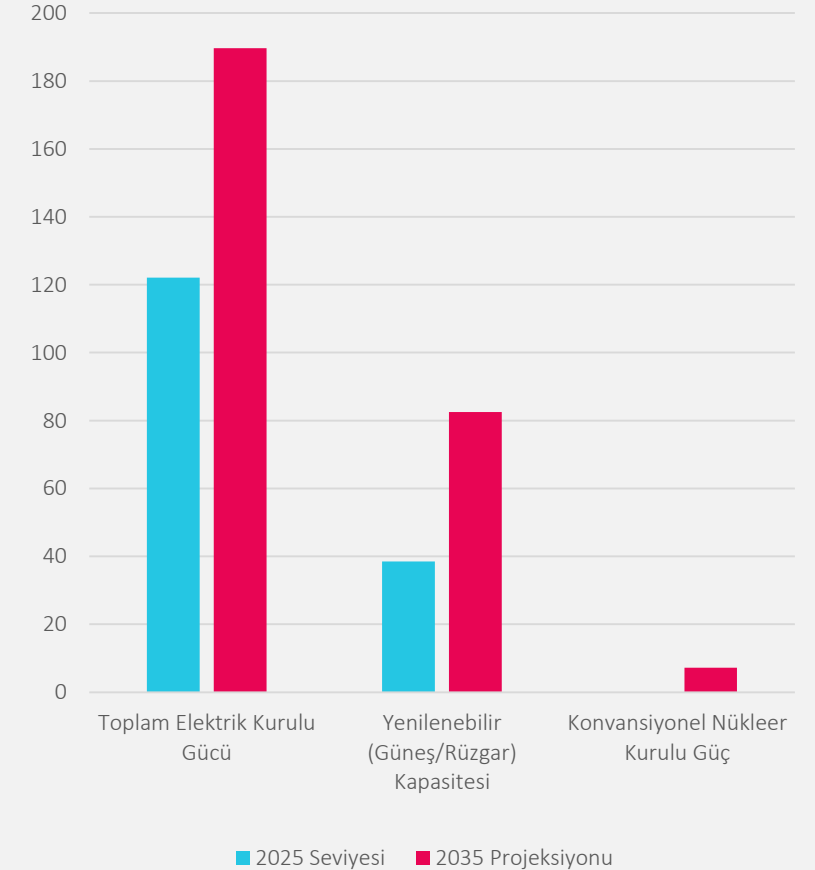
SMR ve MR teknolojileri, bu **esneklik ve kararlılık** açığını kapatmada kilit role sahiptir.



Talep Projeksiyonu

Türkiye Ulusal Enerji Planı çalışmasının sonuçlarına göre elektrik tüketiminin 2025 yılında **380,2 TWh**, 2030 yılında **455,3 TWh**, 2035 yılında ise **510,5 TWh** seviyesine ulaşması beklenmektedir.

Parametre	Birim	2025 Seviyesi	2035 Hedefi	Stratejik Önemi
Birincil Enerji Tüketimi	Mtep	177	205.3	Enerji talebindeki sürekli ve yüksek artış.
Elektrik Talebi	TWh	362,3	510.5	SMR/MR'lar için kritik pazar büyüklüğü.
Toplam Kurulu Güç	GW	122,1	189.7	Şebeke yönetimi ve esneklik gereksinimi.
Yenilenebilir (Güneş/Rüzgar) Kapasitesi	GW	38,5	82.5	Baz yük istikrarı için SMR ihtiyacının kanıtı.
Konvansiyonel Nükleer Kurulu Güç	GW	0	7.2	SMR'ların bu açığı kapatma potansiyeli.



Türkiye elektrik üretimi 2024 yılı sonu önceki yıla göre %7,1 artarak **354,6 TWh**

Kapasite Sınıflandırmaları, Boyut ve Konumlandırma Stratejisi

Nükleer reaktörler, kurulu güçlerine göre temel olarak üç ana kategoride incelenmektedir.

Geleneksel nükleer güç tesisleri genellikle 700 MWe'nin üzerinde kapasiteye sahipken,

Küçük Modüler Reaktörler (SMR), 300 MWe'ye kadar kapasiteye sahiptir.

En küçük ölçekli olan **Mikro Reaktörler (MR)** ise 10 MWe'ye kadar kapasitelerde tasarlanmıştır

Bu kapasite ayrımı, reaktörlerin stratejik konumlandırmasını belirler.

SMR'lar, *orta ölçekte enerji dağıtımını sağlayan altyapıların alternatifi* olarak veya *mevcut güçlü enerji ağlarını desteklemek* için birden fazla ünite şeklinde birleştirilerek kullanılabilir.



Reaktör Tipi	Max Kapasitesi (MWe)	Tipik Konumlandırma	Modülerlik/İnşaat	Güvenlik Sistemi Türü
Büyük Konvansiyonel Reaktör	700+ MWe	Merkezi Şebeke	Düşük (Yerinde İnşa)	Aktif
Küçük Modüler Reaktör (SMR)	≤ 300 MWe	Bölgesel Şebeke Desteği	Yüksek (Fabrikasyon/Seri Üretim)	Pasif
Mikro Reaktör (MR)	≤ 10 MWe	Şebeke Dışı/Kritik Yükler	Çok Yüksek (Taşınabilir)	Pasif

Mikro reaktörler, *enerji şebekesi dışında kalan veya ulaşım zorluğu olan bölgeler için ya da kritik yük merkezleri* için tasarım ön planda

Küçük adalarda veya madenlerde dizel jeneratörlerin yerine kullanılması örnek olarak verilebilir.



SMR'ların Dağıtık Yapısının Jeopolitik ve Fiziksel Direnç Katkısı

- Geleneksel enerji şebekeleri, merkezi güç santrallerine bağımlıdır.
- Büyük bir konvansiyonel reaktörün devre dışı kalması, ulusal şebeke üzerinde ciddi bir şok yaratabilir.
- SMR'ların modüler ve dağıtık yapısı, şebeke esnekliğini ve fiziksel direncini önemli ölçüde artırabilir.
- Birden fazla küçük reaktörün farklı bölgelerde konumlandırılması, siber saldırılara, doğal afetlere veya fiziksel saldırılara karşı ulusal şebekenin dayanıklılığını yükseltir.
- SMR'lar, Enerji arzının sürekliliğini sağlama yeteneği, farklı bölgelerdeki organize sanayi bölgelerine (OSB'ler) veya büyük şehirlerdeki spesifik talep noktalarına hızlı ve güvenilir enerji sunabilir.



Sanayileşme ve Yerli Katkı Potansiyeli

- SMR teknolojisinin en büyük ekonomik vaadi, **standartlaştırılmış ve seri fabrikasyon temelli üretimi zorunlu** kılmasıdır.
- Bu **modüler üretim yaklaşımı**, Türkiye'nin güçlü **metal işleme, kaynakçılık ve ağır sanayi sektörleri** için büyük bir teknoloji transferi ve katma değer fırsatı yaratır.
- Büyük reaktörlerin aksine, **SMR bileşenleri yerinde inşa edilmek yerine fabrikalarda üretilebilir ve sahaya taşınabilir**.
- Bu durum, **yerlileştirme hedeflerine ulaşmak** için somut bir yol haritası sunar.
- **Türk şirketlerinin tedarik zincirine Türk şirketlerinin entegrasyonu**, ülkenin nükleer sanayi kapasitesini hızla artırma yanında ve
- SMR/MR teknolojileri sadece enerji üretmek için değil, aynı zamanda teknoloji ihracatçısı olma potansiyeli sağlayabilir.



2030 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi (26 Mart 2025)

Yerli bir SMR tasarımı ve nükleer teknopark inşası

- Enerji arz güvenliğini artırmak ve sanayinin enerji maliyetlerini düşürmek,
- Yerli nükleer reaktörler geliştirilmesi,
- Nükleer teknoloji alanında Nükleer Teknopark kurulması
- Yenilenebilir kaynaklarla birlikte **nükleer enerjinin de stratejik bir öncelik** olarak benimsenmesi
- Yerli ağır sanayimiz, **reaktör basınç kapları ile ısı eşanjörleri** gibi büyük komponentlerin en az %40 veya 50'sini yerli üretimle karşılanması
- İhtiyaç duyulan diğer parçaların üretimi için **nükleer teknoparkta** kurulan firmaların desteklenmesi



Yenilenebilir Enerji Entegrasyonunda Esnek Nükleerin Rolü

- Güneş ve rüzgar enerjisi, doğası gereği değişken ve kesintili üretim sunmaktadır
- Özellikle akşam saatleri gibi güneşin olmadığı veya rüzgarın durduğu pik saatler dışındaki üretim düşüşleri, **şebeke istikrarı** için büyük bir zorluk teşkil eder.
- SMR'lar, bu dalgalanmalara hızla yanıt verebilen **yük takip (load-following)** yeteneği ile tasarlanmıştır.
- SMR'ları yenilenebilir enerji santrallerinin yanına konuşlandırarak veya **hibrit enerji sistemleri (Nükleer + Depolama + Yenilenebilir)** içinde temel bir bileşen olarak ekleyerek, **yenilenebilir enerjinin şebekeye güvenli ve büyük ölçekli entegrasyonunu** desteklenebilir.

300 MWe kapasiteli SMR üniteleri , bölgesel yük merkezlerine yakın konuşlandırılabilir.

Bu, enerji iletim altyapısı üzerindeki baskıyı azaltırken, **bölgesel yenilenebilir enerji dalgalanmalarını anında dengeleme** yeteneği sunar.



Mikro Reaktörlerin Kritik Şebeke Dışı Uygulamaları

Mikro Reaktörler, 10 MWe'ye kadar olan küçük kapasiteleri sayesinde, *merkezi şebekeden bağımsız veya kritik altyapı yükleri için ideal bir çözüm* sunar.

Kritik Uygulamalar :

- **Savunma ve Güvenlik Altyapısı:** Mikro Reaktörler, uzak askeri üsler, sınır güvenliği tesisleri veya kritik kamu hizmeti binaları için *otonom, uzun ömürlü ve yüksek güvenilirliğe sahip enerji kaynağı* sağlayabilir.
- **Endüstriyel Isı ve Proses Uygulamaları:** Yüksek sıcaklıklı reaktör tasarımları, sadece elektrik üretmekle kalmaz, *aynı zamanda sanayiye yönelik sıfır karbonlu yüksek sıcaklıkta proses ısısı* sağlayabilir.
- **Çelik üretimi, çimento, petrokimya ve hidrojen üretimi gibi enerji yoğun endüstrilerin karbonsuzlaştırılması için ısı kaynağı**



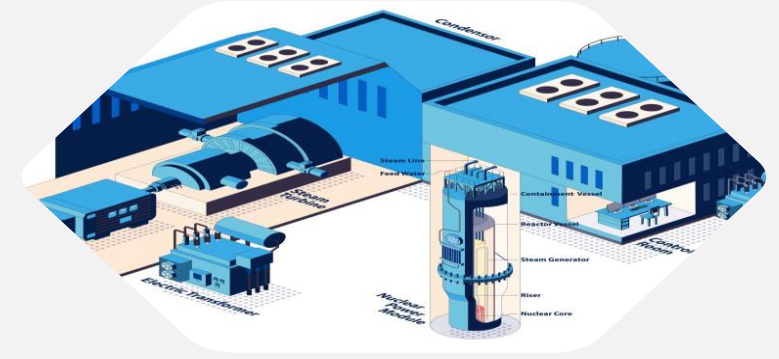
Mikro Reaktörlerin Kritik Şebeke Dışı Uygulamaları

- **Veri Merkezleri ve Dijitalleşme:** Küresel teknoloji devleri, enerji güvenliği yüksek olan SMR'lara yönelmektedir.
- Türkiye'deki hızla büyüyen veri merkezi ve bilişim altyapısı için bir model teşkil etmektedir. **MR'lar, veri merkezlerinin kesintisiz çalışması için gerekli olan maksimum güvenilirliği ve otonom enerji kaynağı sağlar**
- **Enerji-yoğun sanayi bölgeleri:** Mikro reaktörler, merkezi şebekeden bağımsız, enerji-yoğun sanayi bölgelerini olası arızalardan koruyabilir.
- Mikro Reaktör, **büyük bir Organize Sanayi Bölgesinin (OSB) enerji talebini kesintisiz karşılayabilir**, böylece şebeke aksaması durumunda bile ekonomik kayıpları önleyebilir.



Türkiye'nin Enerji Güvenliği Perspektifi

- Doğalgaz ithalat bağımlılığı
- Elektrik talebinde yıllık ortalama %4 üzerinde artış.
- Yenilenebilir kaynakların (GES/RES) dalgalı üretimi, şebeke dengeleme sorunları.



Kaynak	Avantajlar	Riskler
Doğalgaz	Hızlı devreye alma	İthalata bağımlılık
Kömür	Yerli kaynak	Çevresel etkiler
Yenilenebilir	Karbon nötr	Dalgalı üretim
Nükleer	Sürekli baz yük	Yüksek yatırım maliyeti

2026 yılında ilk ünitesi devreye alınması ve dört üniteyle toplam 4.800 MW kurulu güce sahip olacak Akkuyu NGS yıllık 35 milyar kWh elektrik üretilmesi ile karbondioksit emisyonunun 35 milyon ton, doğalgaz ithalatının ise 7 milyar m3 azaltılması öngörülmekte

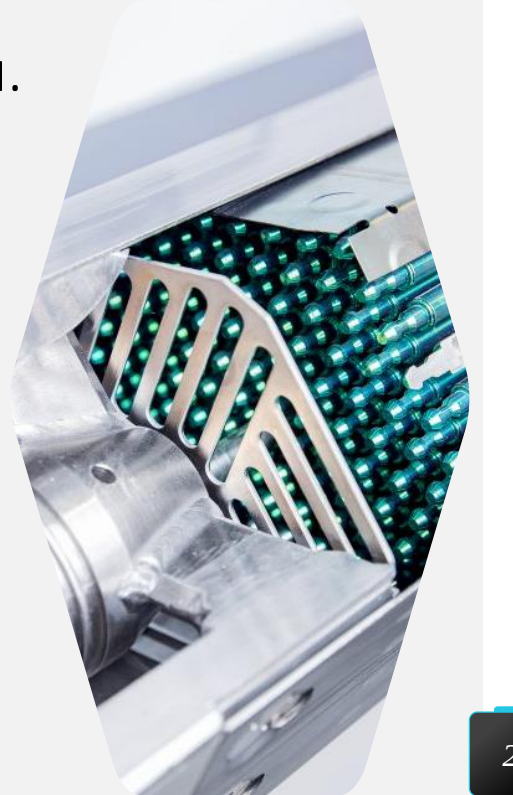
Sonuç ve Değerlendirme : *SMR/MR Entegrasyonunun Stratejik Faydaları*

- Türkiye'nin 21. yüzyıl enerji ihtiyaçlarına yanıt olarak; teknolojik, ekonomik ve stratejik avantajları birleştiren çözümler sunmakta
- Bu teknolojiler, Türkiye'nin **enerji güvenliği ve şebeke esnekliği** stratejisinde ikame edilemez bir role sahip olabilir.

Makroekonomik Fayda: SMR'lar, *doğalgaz ve kömür ithalatının azaltılmasına katkı* sağlayabilir. Modüler yapının sunduğu hızlı yatırım gücü.

Şebeke Faydası: 82,5 GW'lık *kesintili yenilenebilir kapasiteye esnek baz yük ve hızlı yük takip desteği sağlayarak* şebekenin güvenilirliğini artırır. MR'lar ise kritik altyapıların ve sanayi bölgelerinin *otonom enerji adalarına* dönüşmesini sağlar, ulusal şebeke riskini dağıtır.

Teknolojik ve Endüstriyel Fayda: Nükleer teknoloji sahibi küresel liderlerin Türkiye pazarına olan ilgisi ve potansiyel işbirlikleri , *yerli sanayinin ileri nükleer üretim zincirine dahil edilmesi* için büyük bir potansiyel sağlar.





İlginize Teşekkürler
Mehmet BULUT