



TENMAK

TÜRKİYE ENERJİ, NÜKLEER VE
MADEN ARAŞTIRMA KURUMU

SMR'LARIN EKONOMİK VE STRATEJİK YÖNLERİ

Prof. Dr. Uğur Çevik

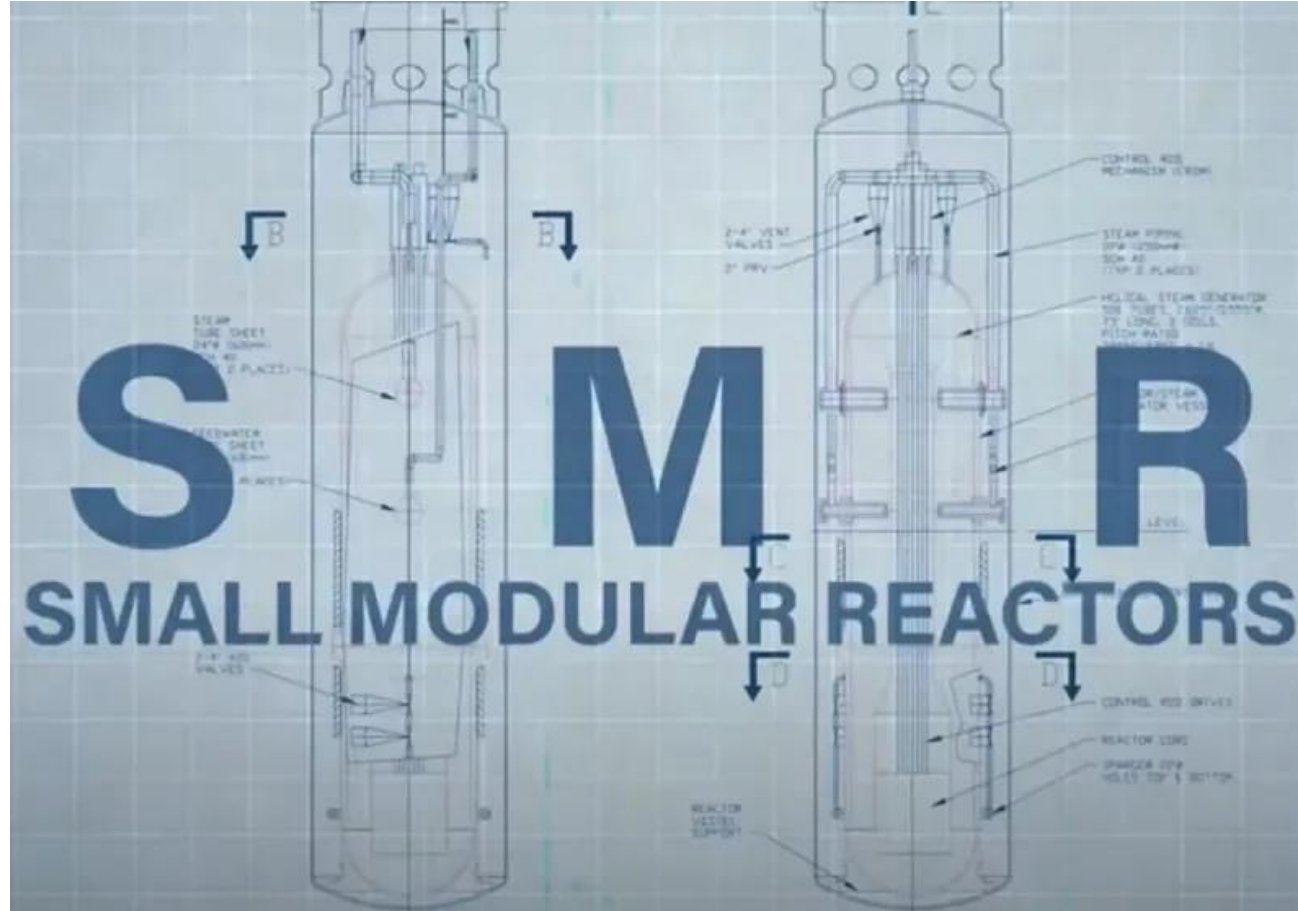
Başkan Yardımcısı

2024

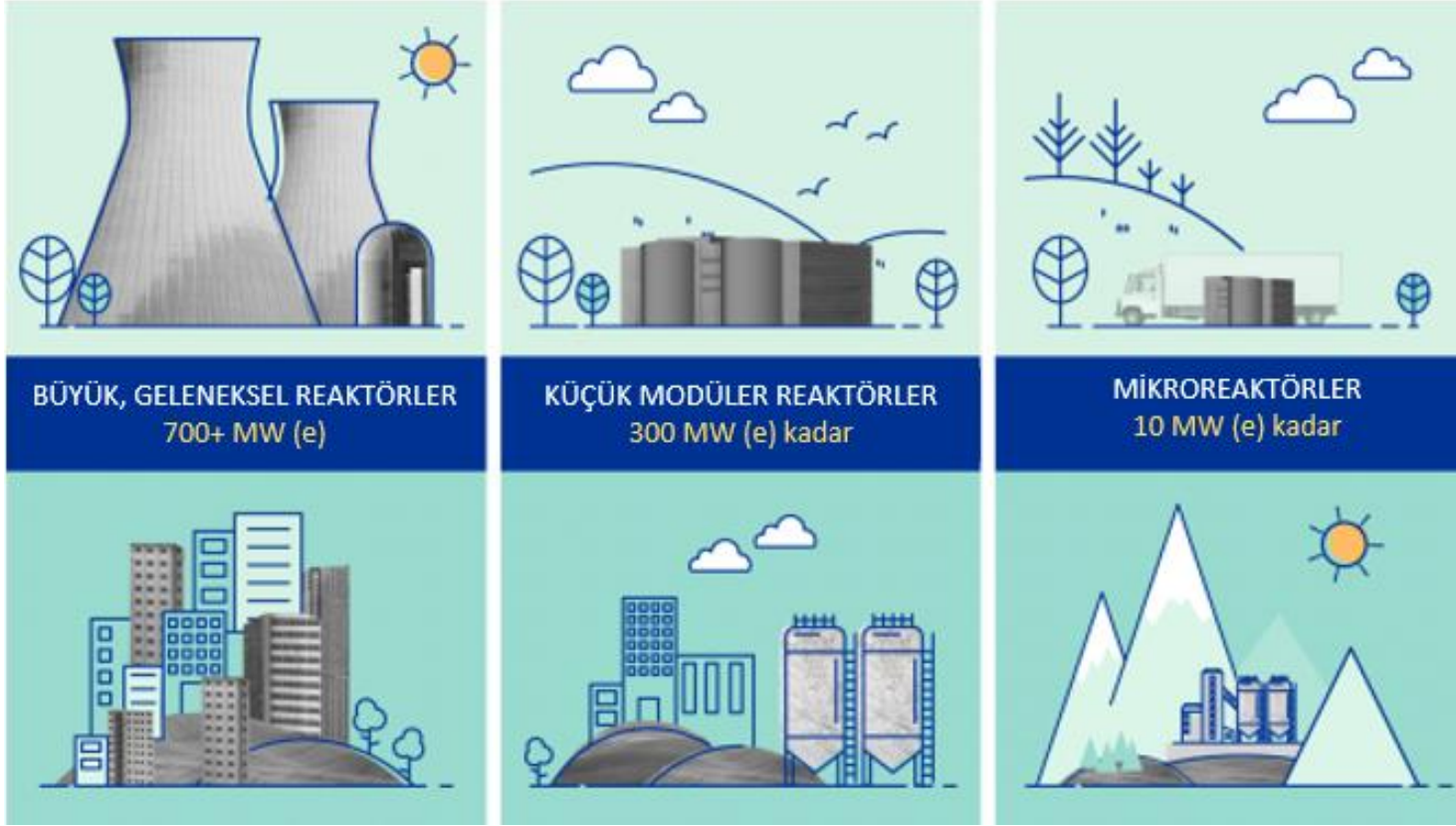
Sunum Planı

- *Küçük Modüler Reaktörler (SMRs) Nedir?*
- *SMR'ların Avantajları*
- *SMR'ların Ekonomik ve Stratejik Yönleri*
 - *Ekonomik*
 - *Sosyo-politik*
 - *İklim Değişikliği ve SMR'lar*
- *Sonuçlar*

KÜÇÜK MODÜLER REAKTÖRLER (SMR) NEDİR?



KÜÇÜK MODÜLER REAKTÖRLER (SMRs) NEDİR?

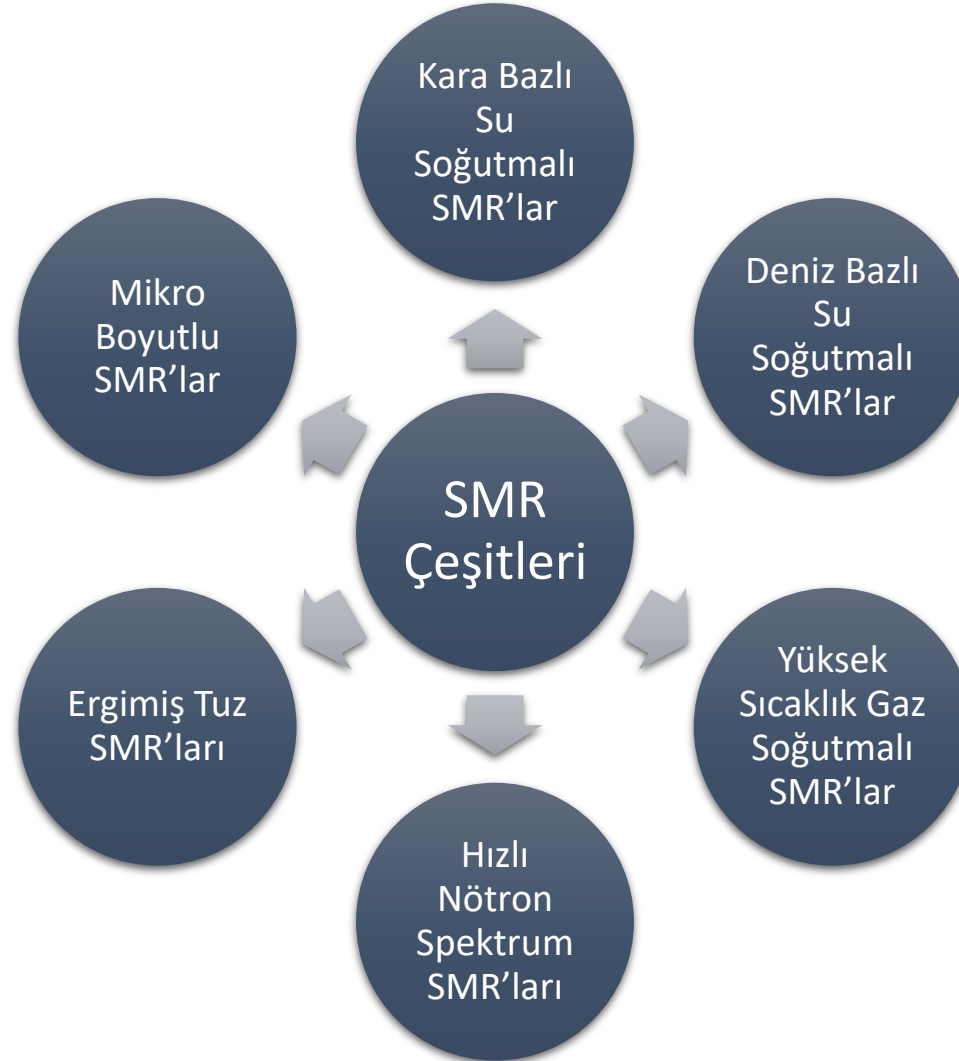


(A. Vargas/IAEA)

- Küçük modüler reaktörler, ünite başına 300 MWe'ye kadar güç kapasitesine sahip olan gelişmiş nükleer reaktörlerdir.
- Geleneksel nükleer güç reaktörlerinin üretim kapasitesinin yaklaşık üçte birine denk gelir.

- **Küçük** : Fiziksel olarak geleneksel nükleer reaktörlere göre çok daha küçüktürler.
- **Modüler** : Sistemlerin ve bileşenlerinin fabrikada üretilmesi ve kurulum yerine tek parça olarak taşınması mümkündür.
- **Reaktörler** : Enerji üretmek amacıyla ısı üretirken nükleer fizyonu kullanırlar.

IAEA'nın SMR SINIFLANDIRMA ŞEMASI



SMR'LARIN TEKNOLOJİK JENERASYONLARA GÖRE SINIFLANDIRMA ŞEMASI

Jenerasyon III/III+

Hafif Su Reaktörleri (LWR)

Ağır Su Reaktörleri (HWR)

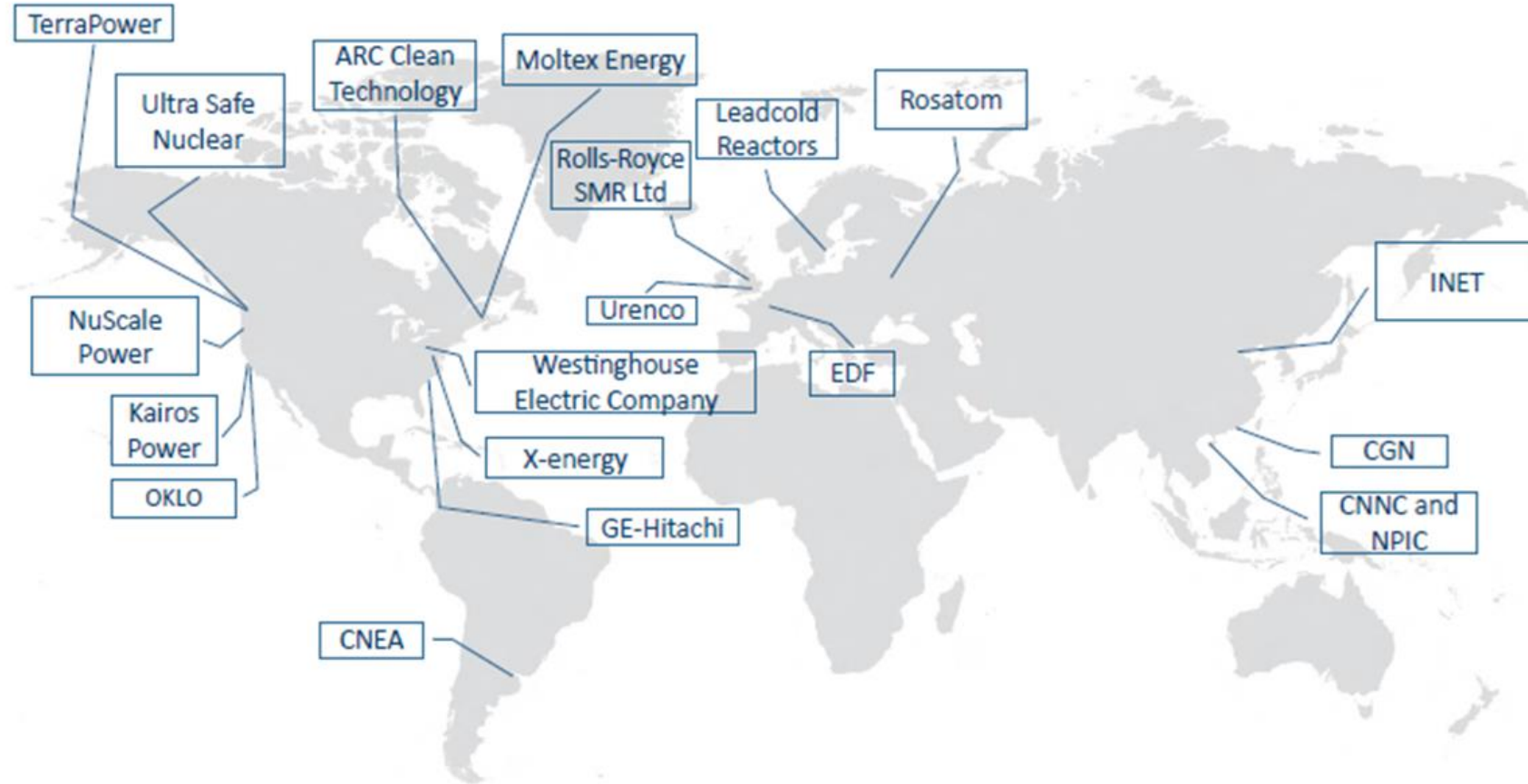
Jenerasyon IV

Süper Kritik Su
Reaktörleri (SCWR)

Sıvı Metal Soğutmalı
Reaktör (LMCR)

Gaz Soğutmalı Reaktör
(GCR)

SMR Tasarımcıları



- SMR'lar geliştirilmekte olan yeni nükleer enerji santrali türüdür.
- Daha küçük kapasitede olmaları sebebiyle, teknoloji ve güvenlik gereklilikleri açısından santralin kalitesi etkilenmez.

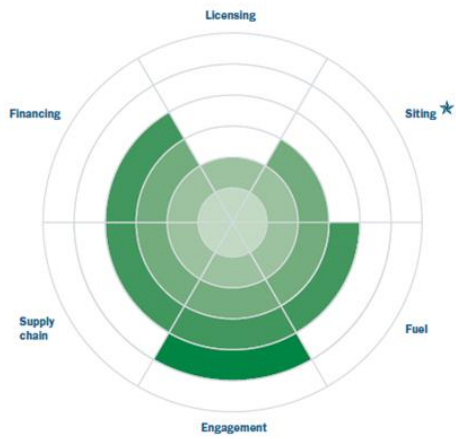


Dünyanın ilk ticari SMR'ı olan ve ACP100 olarak da bilinen Linglong One'in çekirdek modülünün montajı 10 Ağustos 2023 tarihinde Güney Çin'in ada eyaleti Hainan'da tamamlandı.

NEA tarafından SMR tipine göre ilerleme 6 kriter üzerinden değerlendirilmektedir.

- *Lisanslama*
- *Kurulum*
- *Finansman*
- *Tedarik zinciri*
- *Sektörel katılım*
- *Yakıt*

Rolls-Royce SMR

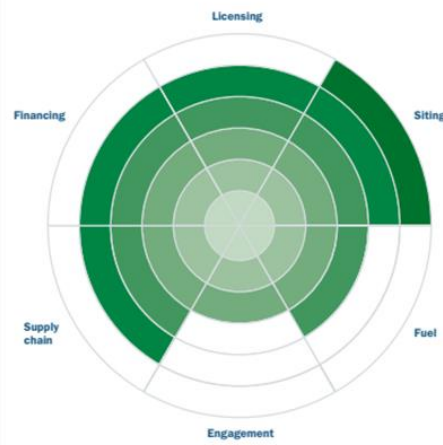


★ Active in multiple jurisdictions or countries.

Design organisation	Rolls-Royce SMR Ltd
Thermal Power (MWth)	1 358
Outlet Temperature (°C)	325
Spectrum (thermal/fast)	Thermal
Fuel type	UO ₂ pellets
Fuel (LEU/HALEU/HEU)	LEU



ACP100

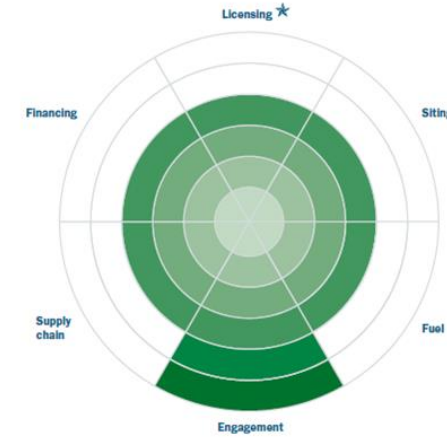


★ Active in multiple jurisdictions or countries.

Design organisations	China National Nuclear Corporation and Nuclear Power Institute of China
Thermal Power (MWth)	385
Outlet Temperature (°C)	319.5
Spectrum (thermal/fast)	Thermal
Fuel type	UO ₂ pellets
Fuel (LEU/HALEU/HEU)	LEU



VOYGR

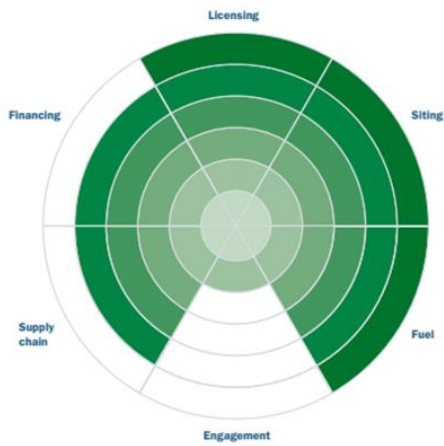


★ Active in multiple jurisdictions or countries.

Design organisation	NuScale Power
Thermal Power (MWth)	250
Outlet Temperature (°C)	321
Spectrum (thermal/fast)	Thermal
Fuel type	UO ₂ pellets
Fuel (LEU/HALEU/HEU)	LEU



KLT-40S



★ Active in multiple jurisdictions or countries.

Design organisation	Rosatom
Thermal Power (MWth)	150
Outlet Temperature (°C)	316
Spectrum (thermal/fast)	Thermal
Fuel type	UO ₂ pellets
Fuel (LEU/HALEU/HEU)	HALEU

BWRX-300



★ Active in multiple jurisdictions or countries.

Design organisation	GE-Hitachi/Hitachi-GE
Thermal Power (MWth)	870
Outlet Temperature (°C)	287
Spectrum (thermal/fast)	Thermal
Fuel type	UO ₂ pellets
Fuel (LEU/HALEU/HEU)	LEU

NUWARD



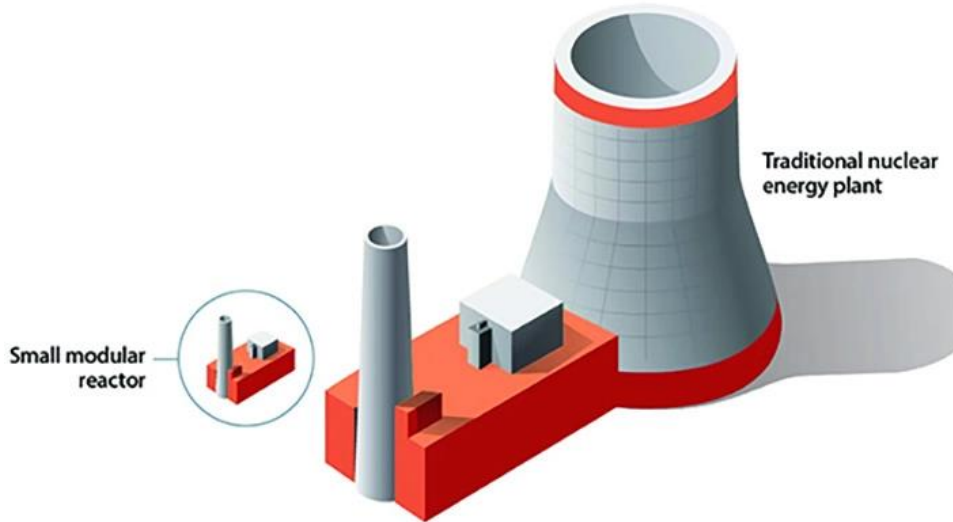
★ Active in multiple jurisdictions or countries.

Design organisation	Electricité de France
Thermal Power (MWth)	540
Outlet Temperature (°C)	307
Spectrum (thermal/fast)	Thermal
Fuel type	UO ₂ pellets
Fuel (LEU/HALEU/HEU)	LEU

KÜÇÜK MODÜLER REAKTÖR'ÜN AVANTAJLARI



- SMR'ların faydalarının birçoğu tasarımlarının doğasıyla bağlantılıdır: **küçük ve modüler**
- SMR'lar daha az yer kapladıkları için daha büyük nükleer santraller için uygun olmayan yerlere kurulabilirler.



Küçük modüler reaktörler, kompakt olmaları nedeniyle geleneksel bir nükleer enerji santralının yaklaşık 1/10 ila 1/4'ü büyüklüğündedir. (Idaho Ulusal Laboratuvarı)

Güvenilir - Güvenli - Uygun Maliyetli - Karbonsuz

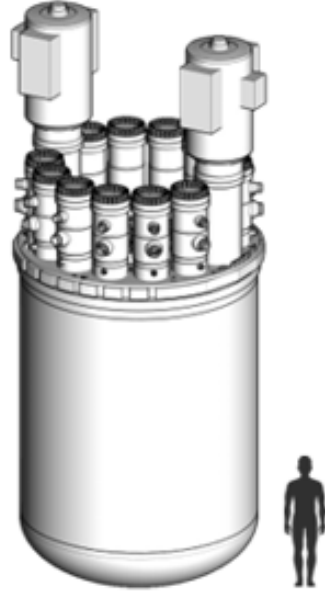


AP300 SMR, daha büyük AP1000 reaktörü (Westinghouse) ile aynı sistemleri kullanan tek döngülü, 300 MWe basınçlı su reaktörüdür.

- SMR'lar maliyet ve inşaat süresinden tasarruf sağlarlar.
- Artan enerji talebini karşılamak için kademeli olarak devreye alınabilirler.
- Gelişmiş modüler tasarımlar geleneksel büyük ölçekli reaktörlere göre daha ucuz olacak ve daha az radyoaktif yan ürün üretecektir.

SVBR-100: Teknolojide Öne Çıkan Başlıklar

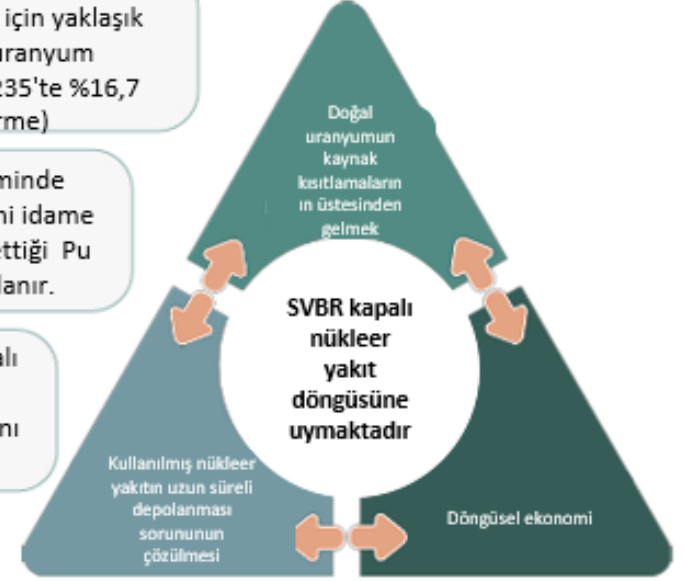
Nominal Kapasite	100 MWe, 280MWt
Isı kapasitesi	100 Gcal/h'a kadar
Buhar parametreleri	580 t/h (6.7 Mpa, 283 °C)
Birincil Soğutma Sıvısı	Kurşun bizmut ötektiği
Çekirdek ömrü/yakıt	7 yıl/UO ₂
Taşınabilir reaktör ünitesi ağırlığı	≈280 t
Reaktör boyutları	Ø 4.5/h 8.2 m
Yük takip yeteneği	50-100%N _{nom} için 0.5-2%/dk



Açık yakıt çevriminde SVBR-100'de bir yükleme için yaklaşık 330 ton doğal uranyum gerekmektedir (U 235'te %16,7 zenginleştirme)

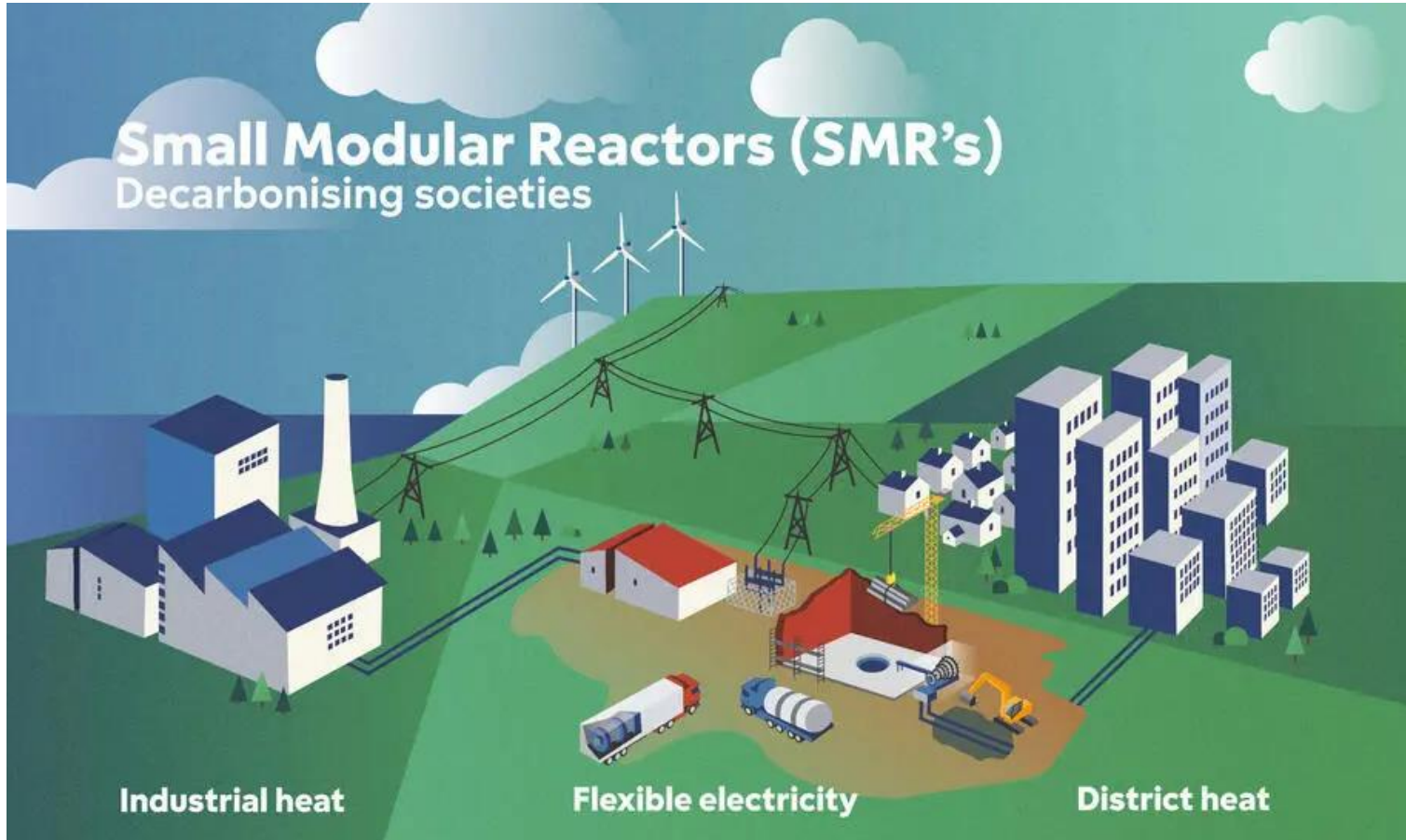
Kapalı yakıt çevriminde reaktör kendi kendini idame ettirebilir, kendi ürettiği Pu veya U 233'ü kullanır.

U-Pu veya Th-U kapalı yakıt çevriminde çekirdek üretme oranı birliğe yakındır.

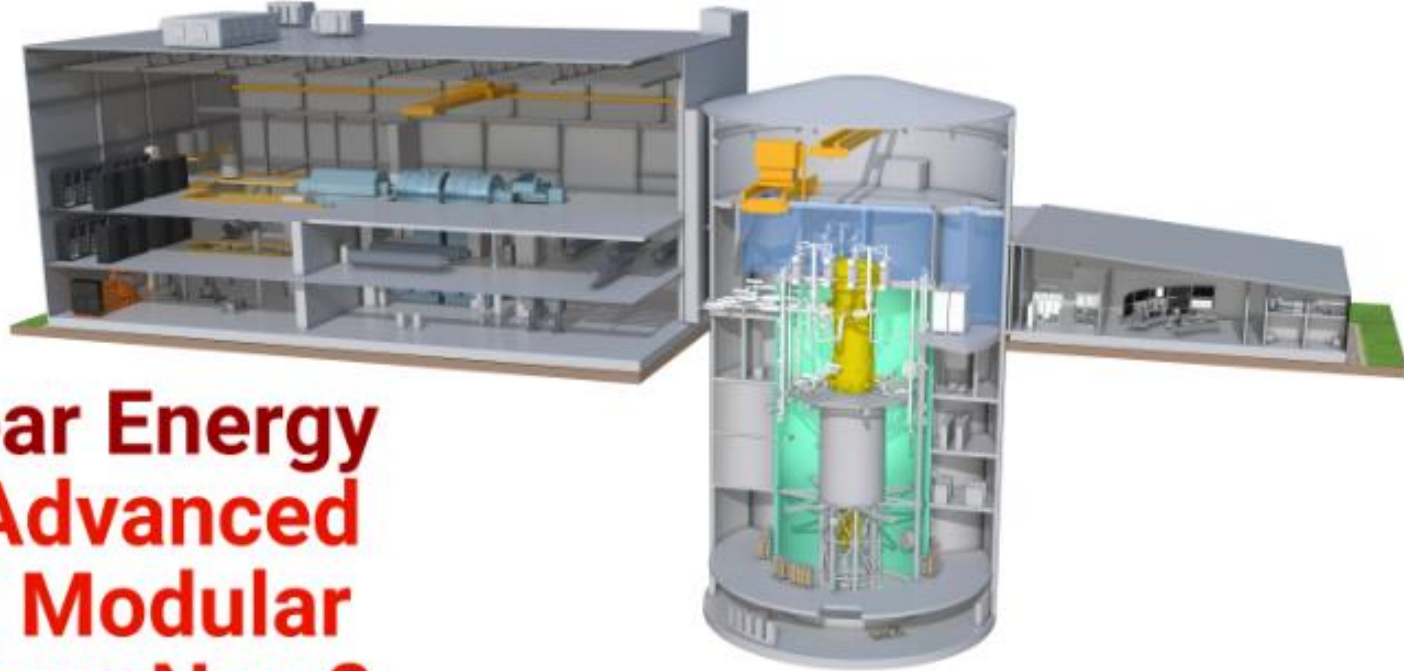


SVBR-100: Küçük ve Orta Ölçekli Güç Uygulamaları için Yeni Nesil Nükleer Güç Santralleri (AKME / RUSYA)

- **Küçük modüler reaktörler daha verimli, daha esnek ve daha düşük maliyetle karbonsuz enerji üretebilir.**



SMR'LARIN EKONOMİK VE STRATEJİK TARAFLARI



**Nuclear Energy
Why Advanced
Small Modular
Reactors Now?**

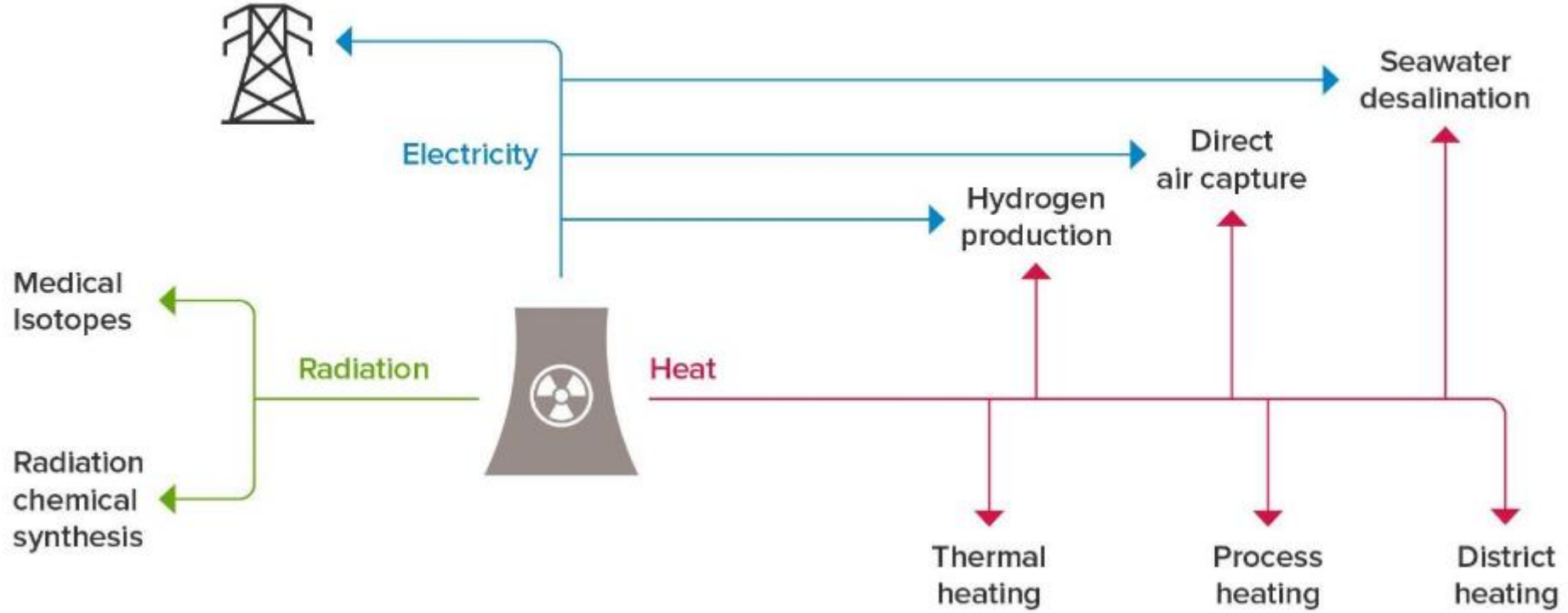
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK



Sürdürülebilirliğin üç boyutu çevre, sosyal ve ekonomidir. Sürdürülebilir kalkınma bu üç temel konu üzerine inşa edilmiştir. Sürdürülebilir kalkınmanın üç temel konusu olan çevre, sosyal ve ekonominin birbiriyle aynı düzeyde etkileşim halinde olduğu görülmektedir. Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma ise bu üç konunun kesişimidir.

- SMR'ların modülerlik, ortak yerleşim ve inşaat programları üzerindeki etkileri gibi önemli özellikleri, onları ekonomik açıdan cazip kılmaktadır.
- Ekonomik açıdan bakıldığında, mikroreaktörler enerji santralleriyle değil, dizel jeneratörler ve mikro şebekelerdeki yenilenebilir kaynaklar gibi benzer boyuttaki santrallere rekabet edebilir.

- SMR'lar kojenerasyon* için LR'lardan daha uygundur.
- SMR'lar tam nominal güçlerinde ve maksimum dönüşüm verimliliklerinde çalışabilir.
- Nükleer kojenerasyon, bir nükleer güç istasyonu tarafından üretilen ısının yalnızca elektrik üretmek için değil, aynı zamanda evsel ısıtma ve hidrojen üretimi gibi 'karbondan arındırılması zor' bazı enerji taleplerini karşılamak için kullanıldığı yerdir. Aynı zamanda elektrik üretimi ve kojenerasyon uygulamaları arasında geçiş yapılarak nükleer santralin daha esnek kullanılmasına da olanak sağlar.



Elektrik santralinden gelen ısıyı kullanarak nükleer kojenerasyon için çeşitli seçenekler mevcuttur.

SMR TİCARİLEŞTİRMELERİ İÇİN TEMEL FAKTÖRLER

Güvenlik : Fukuşima kazalarından sonra kamuoyu kabulü

- ✓ Son derece yüksek güvenlik seviyesi gereklidir.

Lisanslanabilirlik: Yenilikçi Teknoloji ve Lisanslama Gereklilikleri karşılama

Ekonomik : SMR genellikle ölçek ekonomisine ters yöndedir .

- ✓ Kullanıcı diğer enerji kaynaklarıyla uyumlu, yeterince düşük fiyat istemektedir.

Flexibility : SMR + Yenilenebilir Enerji

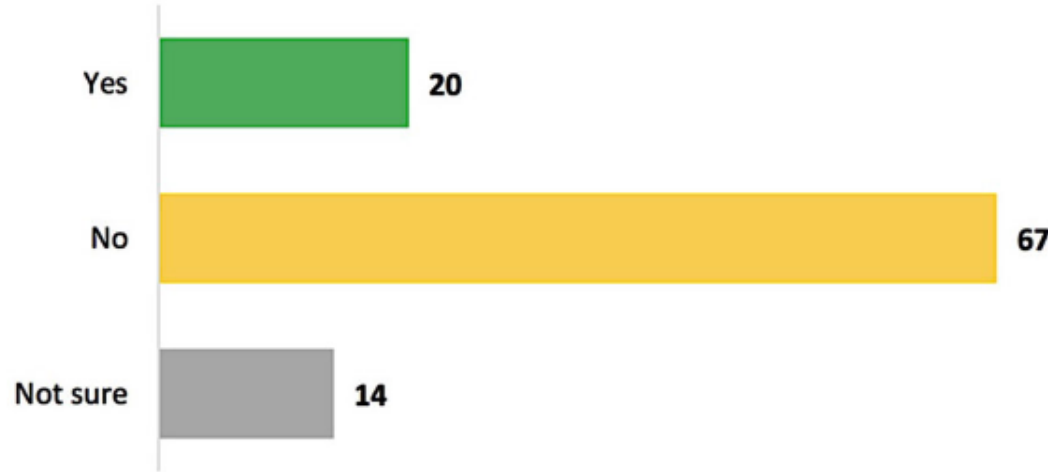
- ✓ Karbon nötrlüğü
- ✓ SMR'ın yenilenebilir kaynakların kesintili özelliklerini destekleme esnekliği

- SMR'ların istihdama katkısı toplum üzerinde olumlu bir etkidir.
- Ancak 'arka bahçemde değil' davranışının etkisi SMR'ların yaygınlaşmasının önünde potansiyel bir engeldir.
- Güvenlik konusu, SMR'ların kabul edilebilirliğini etkileyen konular arasında en üst sıralarda yer almaktadır.

- SMR'ların ve nükleer enerjinin sosyal kabulü, teknolojinin sürdürülebilirliğini sağlamak için ele alınması gereken güvenlik endişelerinden kaynaklanan önemli bir sosyal konudur.

U.S. Public Awareness of SMRs 2023

Have you heard anything about advanced-design nuclear power plants called Small Modular Reactors (SMRs)? (%)



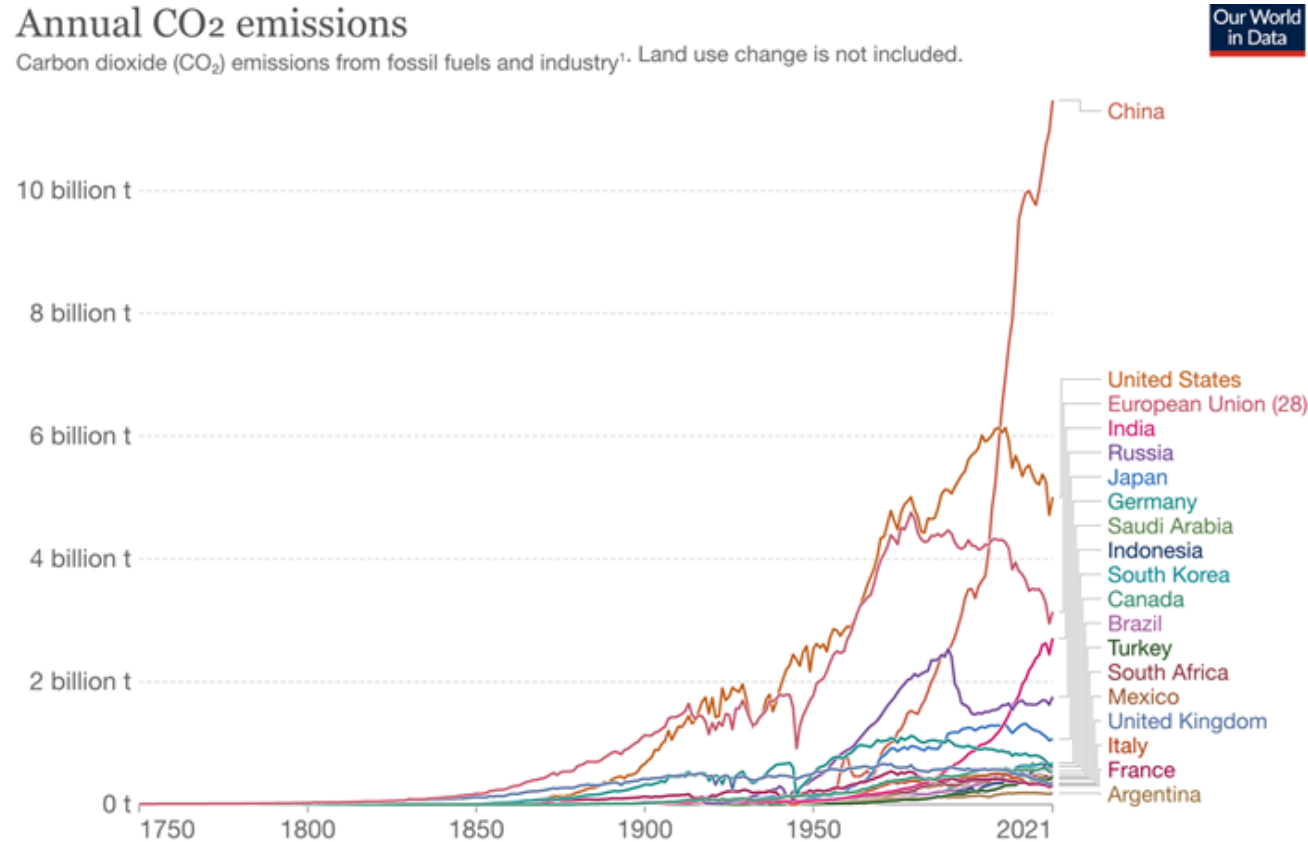
¹ Anket, ulusal düzeyde temsili 1000 ABD'li yetişkini kapsamakta olup, hata payı artı veya eksi yüzde üç puandır ve Quest Mindshare Online Panel ile Bisconti Research, Inc tarafından gerçekleştirilmiştir.

- SMR'ların kurulumunda en önemli sosyal meseleler arasında sosyal kabul meselesi, yani SMR'ın kurulacağı yerdeki nüfusun bölgesel/ulusal düzeyde kurulumdan yana olup olmadığı yer alır.
- Bir toplumun teknolojiyi benimsemeye hazır olup olmadığını değerlendirmek için eğitim seviyesi ve uygun beceri setleri gibi diğer sosyal göstergelerin de dikkate alınması gerekebilmektedir.

SMR'LER İLE TANIMLANAN TEMEL SOSYO-POLİTİK FAKTÖRLER (Viyona vd., 2023)

Sosyo-Politik Sorunlar	Önemli Noktalar
Halkın Kabul Edebilirliği	Nükleer enerjiye karşı 'arka bahçemde değil' tavrı Hükümete karşı güven kaybına neden olur
Nükleer Silahların Yayılması veya Terörizm	Daha düşük yakıt miktarları nükleer silahların yayılma olasılığını artırabilir.
İç Siyasi Güçler	Lobi grupları gibi iç siyasi baskılar
Dış Siyasi Güçler	Karar alma sürecine müdahale gibi dış siyasi baskılar Yabancı ülkelerle yapılan müzakerelerin öncelikleri değişebilir
Kurumsal Atalet	Bürokrasi ve düzenleme gibi toplumdaki yapılar belirli bir teknolojiyi destekleyebilir ve bu nedenle gözden geçirilmesi gerekebilir
Gelişim Düzeyi	GSYİH, şebeke altyapısı vb. gibi bir ülkenin gelişmişlik düzeyini gösteren sosyo-politik göstergeler yararlıdır

- Dünyada, iklim değişikliğinden kaynaklanan yaşamları ve geçim kaynaklarını tehdit eden değişimler şimdiden görülmeye başlandı.



Source: Our World in Data based on the Global Carbon Project (2022)

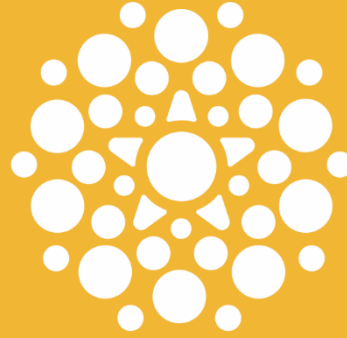
OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions • CC BY

- Sıcaklık artışını 1.5 °C'nin altında sınırlamak ve ciddi iklim bozulmalarından kaçınmak istiyorsak 2050 yılına kadar net sıfır emisyona ulaşmalıyız.
- İklim değişikliğini durdurmak için çok daha fazla miktarda temiz ve güvenilir enerjiye ihtiyacımız var.
- İklim değişikliğiyle mücadele etmek için 2050 yılına kadar tüm elektriğin %80'inin düşük karbonlu olması gerekecektir.

- Nükleer, karbon yoğun kaynakların yerini alabilecek temiz, sağlam temel yük gücü sağlamaktadır.
- İklim hedeflerine ulaşabilmek için nükleer kapasiteyi arttırmalıyız.
- Fosil yakıt kullanan geleneksel jeneratörlerle karşılaştırıldığında, SMR'ın CO₂ emisyonlarını yılda yaklaşık 900.000 ton azaltması beklenmektedir, bu da yılda 7,5 milyon ağaç dikmeye eşdeğerdır.
- SMR'lar karbonsuz enerji üreterek çevre için büyük faydalar sağlamaktadır.

- Uzun vadede, küçük modüler reaktörler iklim değişikliğiyle mücadelede ve elektrik ihtiyacı giderek artan toplumun için ihtiyaç duyduğu esnekliği sağlamada etkili bir araç olabilir.
- SMR'lar dalgalanan elektrik arzı talebine rekabetçi bir maliyetle ve daha az karbon ayak iziyle yanıt verebilir.

- *Türkiye halihazırda planladığı konvansiyonel reaktörlere ek olarak küçük modüler reaktörlere yapacağı yatırımla enerji kapasitesini önemli ölçüde artırmalıdır.*
- *SMR teknolojisini benimseyen ve araştırmalarını güçlendiren ülkeler, enerjide dışa bağımlı olmayan bir altyapı ile ülke ekonomilerine katkı sağlayarak ve çevreyi koruyarak enerji üretme şansına sahip olacaklardır.*



TENMAK

TÜRKİYE ENERJİ, NÜKLEER VE
MADEN ARAŞTIRMA KURUMU

TEŞEKKÜRLER



ugur.cevik@tenmak.gov.tr

Mustafa Kemal Mahallesi Dumlupınar Bulvarı No: 192 Çankaya/ANKARA
www.tenmak.gov.tr