

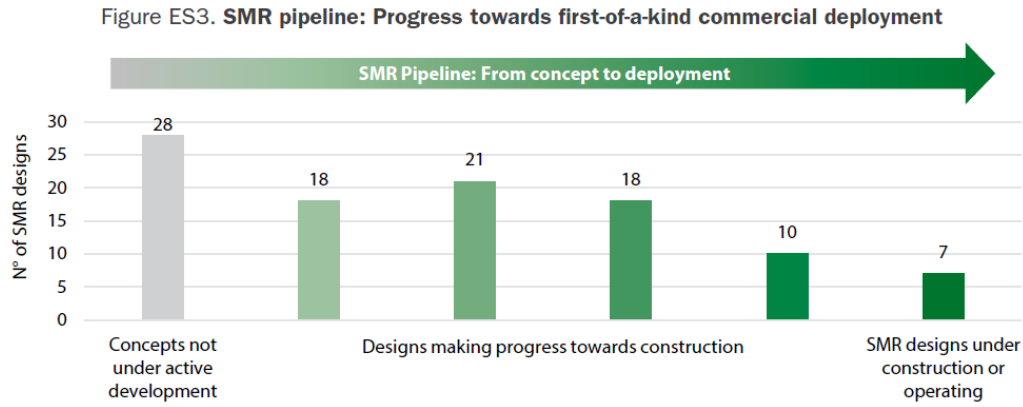
KÜÇÜK MODÜLER REAKTÖRLER (SMR)

Dünya'daki ve Türkiye'deki Gelişmelerin Özeti (2025)

Hazırlayan: Yüksel Atakan, Radyasyon Fizikçisi, Dr., ybatakan4@gmail.com, 20.08.2025
Not: Bu yazımız NEA raporundan /1/ ve diğer kaynaklardan özetlenmiş olup YZ ile de bir dizi yazışmalar sonucu hazırlanmıştır.

Bu yazımızda, Nükleer Enerji Ajansının (NEA) raporunda /1/ verilen 127 projeden öne çıkan 7 SMR reaktörüyle ilgili farklılıklar, yakıt türleri, uygulama alanları özetleniyor . Ayrıca pek bilinmeyen, Türkiye'deki ThorAtom Toryum Ergimiş Tuz SMR projesinin ayrıntıları da yazımızda yer alıyor.

NEA Raporunda 2025 verilerine göre 12 ülkede 127 SMR projesi yürütülüyor. Bunların gelişmeleri aşağıdaki Çizelgede gösteriliyor. Görüldüğü gibi 7 SMR yapım halinde ya da çalışıyor /1/. Şekil 1: 127 SMR'in gelişme durumları



/1/ https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_73678/nea-small-modular-reactor-smr-dashboard

Seçilen 7 SMR'in Özellikleri ve 2025 Başındaki Durumları

Bu tablo OECD-NEA SMR Dashboard (III. Baskı, 2025) ve güncel haber kaynaklarına dayanarak hazırlanmıştır. Seçilen 7 tasarım, teknolojik çeşitliliği ve farklı gelişme aşamalarını yansıtmaktadır. Her reaktör için tip, güç, yakıt ve mevcut durum özetlenmiştir.

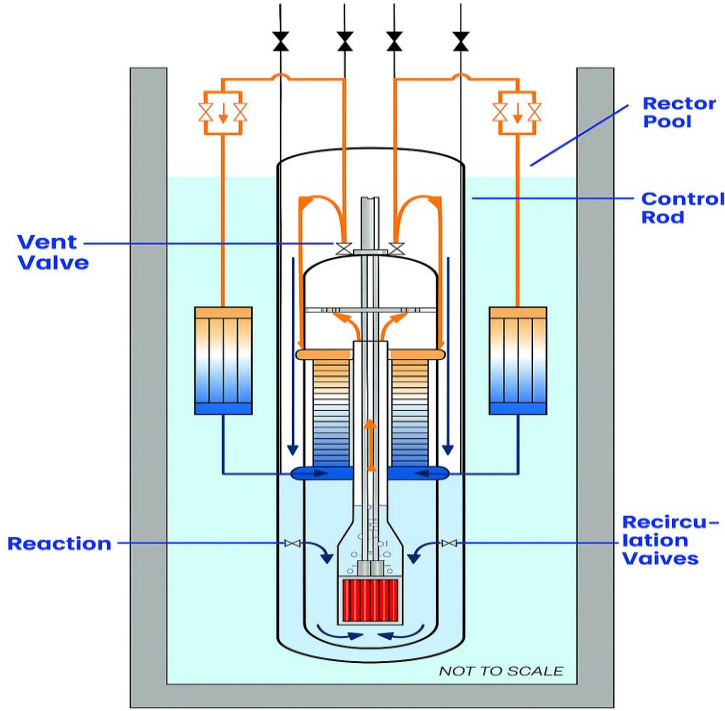
No	Reaktör (Tasarım)	Ülke / Şirket	Tip / Soğutucu	Güç (MW)	Yakıt	Durum (2025)	Kısa Not
1	HTR-PM	Çin - CNNC/INET	Yüksek sıcaklıklı gaz reaktörü (He)	210	TRISO (LEU <20%)	Ticari işletmede (06.12.2023) çalışıyor	2×250 MWt
2	KLT-40S (Akademik Lomonosov)	Rusya – Rosatom	PWR (yüzer NGS)	2×32 ≈ 64	LEU	Ticari işletmede (05.2020)	Pevek'te elektrik ve ısı sağlıyor

3	BWRX-300	Kanada – GE Hitachi / OPG	Kaynar su reaktörü (BWR)	300	UO ₂ (LEU)	İnşaat lisansı (04.04.2025, onay 08.05.2025)	Darlington sahasında ilk SMR yapımı başladı
4	NuScale VOYGR (US460 modül)	ABD – NuScale	Entegre PWR	77 / modül	LEU	NRC Standart Tasarım Onayı (29.05.2025)	CFPP iptal, yeni müşteri arayışı sürüyor
5	Natrium (Kemmerer-1)	ABD – TerraPower / GEH	Sodyum soğutmalı hızlı reaktör + erimiş tuz depolama	345	HALEU	Yakıt anlaşmaları (2025), hedef 2030	HALEU tedariki ASP Isotopes ile sağlanıyor
6	Rolls-Royce SMR (470)	Birleşik Krallık – Rolls-Royce SMR	PWR	470	LEU	Birleşik Krallık'ta tercih edilen teknoloji (10.06.2025)	ČEZ ile Temelín'de saha-özel çalışmalar
7	Project Pele mikroyakıt reaktörü	ABD – DoD SCO / BWXT	HTGR mikroyakıt reaktörü (TRISO/He)	1.5	TRISO (HALEU)	Çekirdek üretimi başladı (07.2025)	INL'de 2028 için taşınabilir demo hedefi

Temel Farklılıklar

1. **Teknoloji:** PWR, BWR, HTGR ve yüzer reaktörler gibi farklı fisyon yöntemleri kullanılıyor.
2. **Güç Çıktısı:** 32 MWe (CAREM) ile 300 MWe (BWRX-300) arasında değişiyor.
3. **Yakıt:** Çoğunlukla LEU, ancak HTR-PM TRISO gibi ileri yakıtlar kullanılıyor.
4. **Uygulama:** Elektrik üretimi, endüstriyel ısı, denizcilik ve mobil çözümler gibi farklı alanlara odaklanıyor.

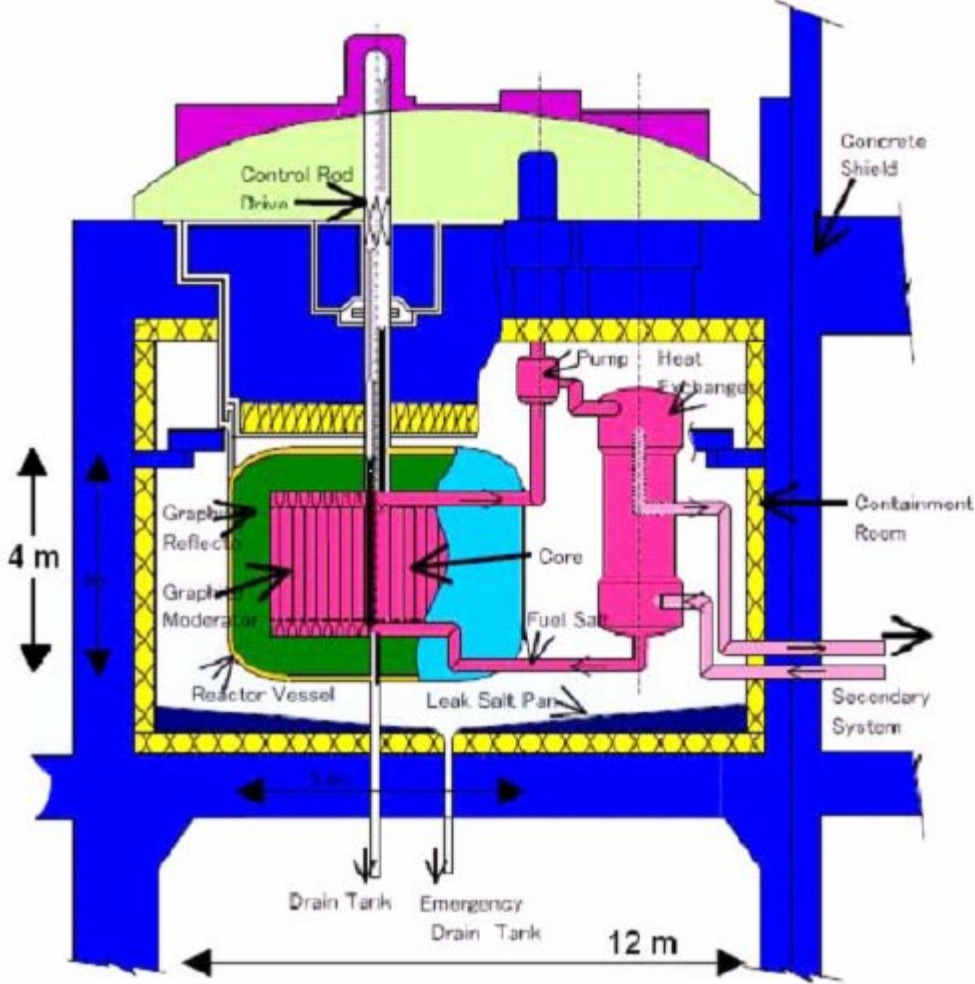
Bu çeşitlilik, SMR'lerin enerji piyasasında **esneklik ve uyarlanabilirlik** sağladığını gösteriyor.



Şekil 2 : NuScale SMR tasarımı

Şekilde Ne Görülüyor?

- **Reaktör Çekirdeği (Core / Reactor vessel):** Şekilde aşağıda merkezde konumlanmış, içinde grafit moderatör ve ergimiş tuz yakıtın dolaştığı bölge. Bu tuz karışımı genellikle $\text{LiF-BeF}_2\text{-ThF}_4\text{-UF}_4$ oranında kombine edilmiş yakıt tuzudur [ResearchGate](#).
- **Birincil Yakıt Devresi:** Reaktörde ısınan ergimiş tuz, birincil devre üzerinde ilerleyerek ısıyı aktarım sistemlerine taşır. Bu sistemde borular, pompa ve ısı değiştirici gibi bileşenler yer alır [WikipediaResearchGate](#).
- **Isı Değiştirici (Heat Exchanger, HX):** Sıcak ergimiş tuzun ısınıp ikinci devreye aktardığı bölge. Ardından türbinlere yönlendirilen buhar üretilir [WikipediaResearchGate](#).
- **Reaktör Çekirdeği ve acil çekirdek soğutma sistemi** bileşenleri belirgin şekilde etiketlenmiştir.
- NuScale SMR tasarımı, reaktör modülünü bir bütün olarak kapsayan entegre bir yapı sergiler.
- Su bazlı soğutma ve buhar üretimi sistemi, görselde net bir şekilde yer alır. Bu tasarım, NuScale'in reaktör modülünün iç yapısını ve pasif güvenlik sistemlerini görsel olarak ifade edebilmesi açısından önemli bir referans sunar. [Wikipedia](#)
- **Reaktör Çekirdeği ve acil çekirdek soğutma sistemi** bileşenleri belirgin şekilde etiketlenmiştir.
- NuScale SMR tasarımı, reaktör modülünü bir bütün olarak kapsayan entegre bir yapı sergiler.
- Su bazlı soğutma ve buhar üretimi sistemi, görselde net bir şekilde yer alır. Bu tasarım, NuScale'in reaktör modülünün iç yapısını ve pasif güvenlik sistemlerini görsel olarak ifade edebilmesi açısından önemli bir referans sunar. [Wikipedia](#)



Şekil 3: FUJİ Ergimiş Tuz Reaktörü'nün (MSR) kesit çizelgesi ([ResearchGate](#)).

- **Reaktör Çekirdeği (Core / Reactor vessel):** Şekilde merkezde konumlanmış, içinde grafit moderatör ve ergimiş tuz yakıtın dolaştığı bölge. Bu tuz karışımı genellikle $\text{LiF}-\text{BeF}_2-\text{ThF}_4-\text{UF}_4$ oranında kombine edilmiş yakıt tuzudur [ResearchGate](#).
- **Birincil Yakıt Devresi:** Reaktörde ısınan ergimiş tuz, birincil devre üzerinde ilerleyerek ısı enerjisini aktarım sistemlerine taşır. Bu sistemde borular, pompa ve ısı değiştirici gibi bileşenler yer alır [WikipediaResearchGate](#).
- **Isı Değiştirici (Heat Exchanger, HX):** Sıcak ergimiş tuzun ısı enerjisini ikincil devreye aktardığı bölge. Ardından türbinlere yönlendirilen buhar üretilir [WikipediaResearchGate](#).

Sözlük – NEA-SMR Raporu'nda Kullanılan Kısaltmalar

- **SMR** = *Small Modular Reactor* (Küçük Modüler Reaktör)
- **HTGR** = *High-Temperature Gas-cooled Reactor*
- **PWR** = *Pressurized Water Reactor*
- **BWR** = *Boiling Water Reactor*

Yakıt ve Malzeme İlgili

- **TRISO** = *TRi-structural ISOtropic fuel particle*
- **LEU** = *Low-Enriched Uranium* (zenginleştirme $< \%20$)
- **HALEU** = *High-Assay Low-Enriched Uranium* (zenginleştirme $\%5-20$ arası)

- UO_2 = Uranium Dioxide

Proje ve Kurum Adları

- **CFPP** = Carbon Free Power Project (ABD’de NuScale ile planlanan, fakat iptal edilen proje)
- **ČEZ** = ČEZ Group (Çekya merkezli, devlet ağırlıklı enerji şirketi)
- **ASP** = ASP Isotopes Inc. (ABD merkezli izotop tedarik şirketi)
- **NRC** = Nuclear Regulatory Commission (ABD Nükleer Düzenleme Komisyonu)
- **INL** = Idaho National Laboratory (ABD, Idaho Ulusal Laboratuvarı)

Türkiye İçin Uygun SMR Seçenekleri: Bir analiz – Yukarıdaki Tablo’nun Türkiye için değerlendirilmesi (YZ)

Reaktör	Güç (MWe)	Türkiye İçin Artıları	Eksileri / Zorluklar	Uygunluk Notu
HTR-PM (Çin)	210	Yüksek sıcaklık → endüstriyel ısı kullanımı; TRISO tecrübesi kazanımı	TRISO yakıt Türkiye’de yok; sınırlı teknoloji transferi	Niş (sanayi ısı uygulamaları için)
KLT-40S (Rusya, yüzer)	64	Rusya ile mevcut işbirliği; kıyı kentlerde enerji/ısı	Küçük güç; kıyıya bağımlı; Rusya’ya stratejik bağımlılık artar	Sınırlı (özel kullanım)
BWRX-300 (Kanada/GEH)	300	Şebekeye uygun; lisanslama ileride; Batı finansmanı	Yakıt dışa bağımlı; BWR tecrübesi yok	Güçlü aday
NuScale VOYGR (ABD)	77×N	Modüler tasarım; ABD ile stratejik işbirliği	CFPP iptali → finansal risk; maliyet belirsiz	Orta düzey
Natrium (ABD/TerraPower)	345	Depolama ile esnek güç; yenilenebilir destek	HALEU yakıt Türkiye’de yok; erken aşamada	Gelecek vadeden (uzun vadede)
Rolls-Royce SMR (İngiltere)	470	Şebekeye çok uygun; AB/UK finansmanı; yüksek güç	Hâlâ geliştirme aşamasında; maliyet net değil	Güçlü aday
Project Pele (ABD, mikro)	1.5	Askeri üsler, uzak bölgeler için esnek	Şebekeye küçük; sadece özel kullanım	Niş (savunma/izole bölgeler)
ThorAtom (Türkiye, Thorium Molten Salt Reactor) Eklendi NEA raporunda yok	100–250 (plan)	Yerli teknoloji geliştirme imkânı; thorium yakıt Türkiye’de var; uzun vadede enerji bağımsızlığı	Teknoloji geliştirme aşamasında; endüstriyel ölçekte deneyim yok; lisanslama süreci uzun	Gelecek vadeden (yerli teknoloji)

Ek 1- Türkiye ThorAtom Toryum Ergimiş Tuz SMR Projesi – 2025

ThorAtom projesi, Türkiye’nin ilk özel sektör girişimi olarak FİGES Grubu bünyesinde kurulan ThorAtom Nükleer Teknolojiler AŞ tarafından yürütülen bir tasarımdır. Projenin temel amacı, 2030 yılına kadar toryum yakıt çevrimli *Ergimiş Tuz Reaktörü (ETR)* geliştirilmesi, üretilmesi ve ticarileştirilmesidir. Bu reaktörler, dördüncü nesil (Gen IV) nükleer teknolojiler arasında yer alır ve çevre dostu, güvenli, karbon salımı düşük bir enerji üretim yöntemi sunmayı hedefler.

ThorAtom Projesinin Özellikleri ve Hedefleri:

1. ***Toryum Kullanımı***: Türkiye'nin yaklaşık bir milyon tonluk toryum rezervlerinden faydalanarak enerji üretiminde dışa bağımlılığı azaltmayı amaçlar. Toryum, uranyuma ek olarak nükleer yakıt olarak kullanılabilir ve Türkiye'nin bu alandaki potansiyelini değerlendirmek için önemli bir kaynaktır.
 2. ***Ergimiş Tuz Reaktörü (ETR)***: Bu reaktörler, 700-800°C'de ergimiş toryum tuzları ile çalışır ve yüksek düzeyde pasif güvenliğe sahiptir. Düşük basınçta (1 bar) çalışması ve insan müdahalesi gerektirmeyen tasarımı sayesinde kaza riski neredeyse sıfırdır. Ayrıca, geleneksel reaktörlere göre 300 kat daha az nükleer atık üretir ve bu atıkları da yakıt olarak kullanabilir.
 3. ***Çevre Dostu Enerji***: İklim kriziyle mücadelede etkili bir çözüm olarak, karbon ayak izi neredeyse sıfır olan bir enerji üretim yöntemi sunar. Elektrik üretim maliyetinin kWh başına 2-4 cent (USD) olması beklenmektedir.
 4. ***Çok Yönlü Uygulamalar***: ETR teknolojisi, elektrik ve ısı üretiminin yanı sıra yeşil hidrojen, yeşil amonyak üretimi, deniz suyundan tatlı su elde edilmesi, seracılık ve yüzer platformlarda itici güç gibi farklı alanlarda kullanılabilir.
 5. ***Enerji Bağımsızlığı ve İhracat***: Türkiye'nin enerji ithalatını azaltarak enerji güvenliğini artırmayı ve nükleer teknoloji alanında ihracatçı bir ülke konumuna gelmeyi hedefler. Özellikle Afrika'daki dost ülkelere yönelik ihracat potansiyeli vurgulanmaktadır.
 6. ***Yerli Teknoloji ve Ar-Ge***: FİGES'in 2016'dan bu yana sürdürdüğü Ar-Ge çalışmaları, TÜBİTAK, TENMAK ve üniversitelerle iş birliğiyle yürütülmektedir. Proje, Türkiye'yi nükleer teknoloji üreten bir ülke konumuna taşımayı amaçlar.
- Projenin Gelişim Süreci: ***Başlangıç***: FİGES, 2016 yılında nükleer teknoloji alanında çalışmalara başlamış ve 2017'de Horizon 2020-EURATOM destekli SAMOFAR projesinde yer alarak ısı değiştiricisi tasarımı gibi önemli katkılar sağlamıştır.
- ***ThorAtom Kuruluşu***: 2023'te ThorAtom Nükleer Teknolojiler AŞ kurulmuş ve proje, 5. Nükleer Santraller Fuarı ve Zirvesi'nde (NPPES) tanıtılmıştır.
 - ***Hedef***: 2030 yılına kadar toryumla çalışan milli bir reaktörün tasarımı, üretimi ve ticarileştirilmesi.

Önemli Noktalar:

- ***Güvenlik***: ETR'ler, düşük basınçta çalışma, genleşme kabı ve eriyen tuz tapası gibi özelliklerle nükleer kazaları önler.
- ***Maliyet ve Verimlilik***: Düşük kurulum ve bakım maliyetleriyle ekonomik bir enerji çözümü sunar.
- ***Milli Teknoloji***: Türkiye'nin toryum rezervlerini değerlendirerek nükleer teknolojide dışa bağımlılığı azaltmayı ve yerli teknoloji geliştirmeyi hedefler.

ThorAtom projesi, Türkiye'nin enerji bağımsızlığına katkı sağlamanın yanı sıra, küresel iklim krizine karşı sürdürülebilir ve yenilikçi bir çözüm sunmayı amaçlayan stratejik bir girişimdir.

Bu yazıyla ilgili kaynaklar

(<https://thoratom.com/en/who-we-are/>)

[<https://www.paradergi.com.tr/is-dunyasi-kulis/2023/06/27/yerli-toryum-reaktoru-2030a-kadar-hazir>]
[<https://thoratom.com/nukleer-teknoloji/yeni-nesil-reaktor-calismalari/milli-etr-projesi/>]

ThorAtom (Türkiye) SMR projesi neden NEA SMR raporunda yer almıyor? (YZ)

NEA raporunun metodolojisi; değerlendirmenin **doğrulanabilir kamu kaynakları** üzerinden yürütüldüğünü ve tasarımcıların geri bildirimlerinin **bağımsızca doğrulanabildiği** ölçüde kullanıldığını söylüyor. Yani, bir tasarımın Dashboard’a girmesi için **yeterli, doğrulanabilir, kamusal teknik/finansman/saha/lisans bilgisi** bulunmalı ve (varsa) tasarımcıdan gelen ilave veriler doğrulanabilmelidir. [Nuclear Energy Agency \(NEA\)](#)

Thoratom A.Ş., kamuya açık kaynaklarında **ergimiş tuz reaktörü (MSR) ve toryum** odaklı bir geliştirme vizyonu, “Milli ETR Projesi” gibi erken aşama faaliyetler ve (2025 yazında) **NAAREA** ile gelişmiş nükleer teknolojilerde iş birliği gibi haberler paylaşıyor. Ancak bunlar, NEA’nın Dashboard’ında kullanılan ayrıntı düzeyindeki **tasarım olgunluğu, sahalama, lisanslama, tedarik zinciri ve doğrulanmış finansman** metriğini henüz karşılayacak kapsamda görünmüyor. (Thoratom’un kamuya açık sayfaları ve basın haberleri: kurum tanımı, yeni nesil reaktör çalışmaları, ETR sayfası, NAAREA ile iş birliği haberi). [ThorAtom+2ThorAtom+2Türkiye Today](#)
Dolayısıyla Thoratom’un raporda yer almamasının en olası nedenleri:

- **Erken AR-GE/kavram aşaması** (henüz FOAK projesi, lisans başvurusu, doğrulanmış saha/finansman zinciri gibi göstergeler kamuya açık ve doğrulanabilir seviyede değil).
- **NEA’nın veri gereksinimleri:** Bağımsız kaynaklarla teyit edilebilir detay/metrik eksikliği.

Ek 2- NEA Raporunda yer almayan Rusya’nın Ergimiş Tuz Araştırma Reaktörü (IZhSR) Projesiyle ilgili bilgi:

Kaynak: NEI Magazine, 14.02.2025 <https://www.neimagazine.com/news/russia-completes-rd-on-molten-salt-research-reactor-project-11486550/>

Genel Bilgi

- Rusya Devlet Atom Enerjisi Kurumu **Rosatom**’a bağlı **Mining & Chemical Combine (MCC)**, “**IZhSR**” adı verilen **Ergimiş Tuz Araştırma Reaktörü** projesinin **ön tasarım (preliminary design)** aşamasını tamamladı.
- Bu proje, Rusya’nın **toryum ve ergimiş tuz reaktör teknolojilerine** yönelik Ar-Ge kapasitesini geliştirmeyi amaçlıyor.

Teknik ve Program Bilgisi

- Reaktör: **Molten Salt Research Reactor (MSR)** – deneysel ölçekte, araştırma amaçlı.
- Amaç: Yakıt çevrimi, tuz karışımları, güvenlik sistemleri ve malzeme performanslarının denenmesi.
- Takvim:
 - **2027** – inşaat ruhsatı alınması planlanıyor,
 - **2031** – reaktörün devreye alınması hedefleniyor.

Önemi

- Rosatom, halihazırda SMR ve hızlı reaktör projeleri yürütmekte. Bu araştırma reaktörü, **gelecekte ticari ergimiş tuz reaktörleri için temel teknolojik basamak** olarak görülüyor.
- Proje, Rusya’nın nükleer yakıt çevriminde çeşitlilik sağlaması, yeni nesil **yüksek güvenli** ve **esnek nükleer reaktörlere** yönelmesi açısından kritik.

Uluslararası Bağlam

- NEA (OECD Nükleer Enerji Ajansı) tarafından yayımlanan **SMR Dashboard** raporuna dahil edilmedi. Bunun nedeni: Proje henüz erken aşamada (ön tasarım), ticari veya lisanslama düzeyine geçmemiş olması.

- Ancak, Rosatom'un mevcut SMR portföyü (ör. RITM-200, BREST-OD-300) ile birlikte, uzun vadeli stratejide önemli bir araştırma yatırımı olarak değerlendiriliyor.
- **Özet Sonuç**
Rusya, IZhSR ile **ergimiş tuz reaktör teknolojilerinde araştırma kapasitesini** geliştirmeyi hedefliyor. Proje, 2027'de lisans, 2031'de devreye alma hedefiyle ilerliyor. Henüz erken aşamada olduğundan uluslararası SMR raporlarına girmemiştir, fakat uzun vadede **Rusya'nın ileri nesil reaktör stratejisinde kilit rol oynayacaktır.**

Ek Kaynaklar

Genel bağlam ve tasarım listeleri için NEA SMR Dashboard III. Baskı ve dijital pano:

[Nuclear Energy Agency \(NEA\)+1](#)

BWRX-300 Darlington lisans/onay: [OPGAmerican Nuclear Society](#)

NuScale 77 MWe SDA ve CFPP'nin iptali: [ReutersWorld Nuclear News](#)

Natrium yakıt/termin: [American Nuclear Societyandthewest.stanford.edu](#)

Rolls-Royce SMR seçimi ve ÇEZ anlaşması: [World Nuclear NewsWorld Nuclear News](#)

Pele mikroreaktör çekirdek üretimi: [People Strong. Innovation Driven.World Nuclear News](#)

HTR-PM ve KLT-40S işletmede: [World Nuclear News+1pris.iaea.org](#)