

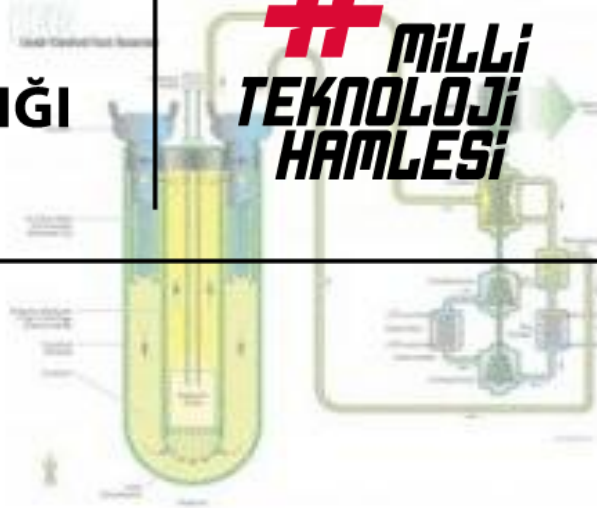


**T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI**

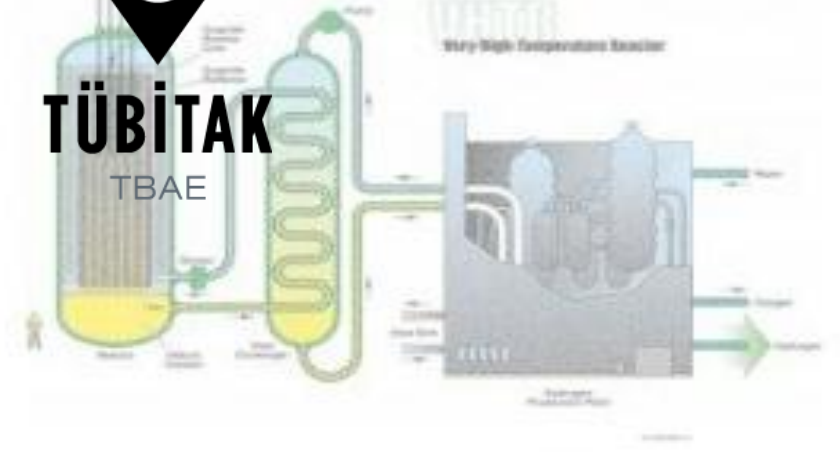
**#MİLLİ
TEKNOLOJİ
HAMLESİ**



Sodium Fast Reactor



Lead Fast Reactor



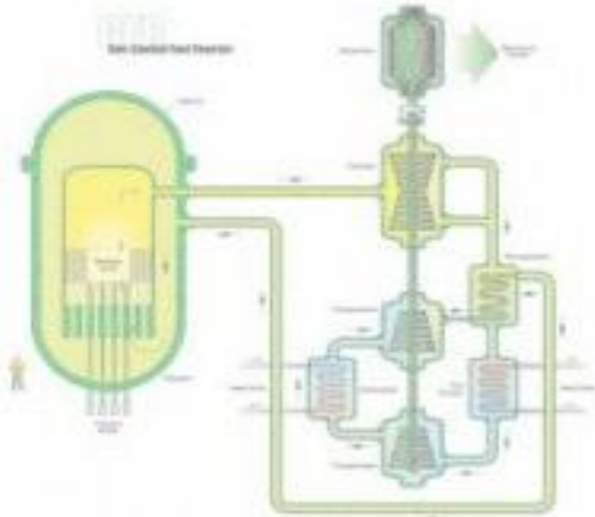
Very High Temperature Reactor

Dünyada ve ülkemizde ileri küçük modüler reaktörlere doğru

8 Ocak 2026

Orkun Hasekioglu, TUBITAK TBAE

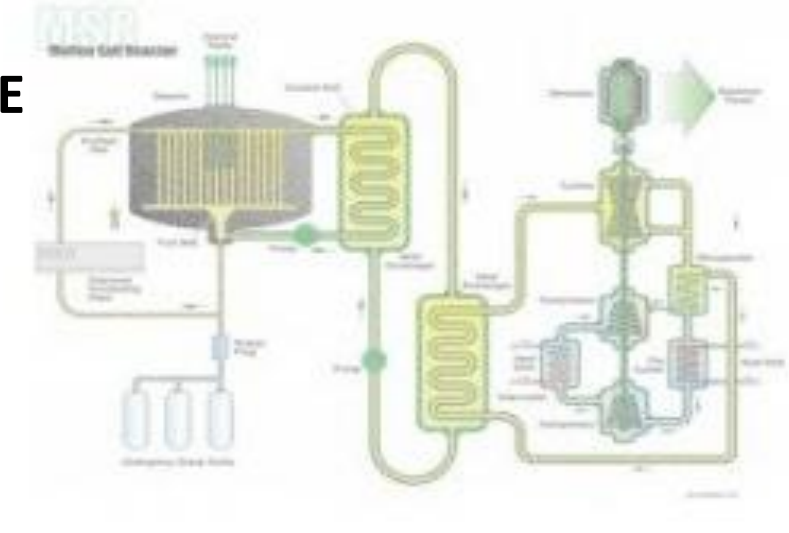
orkun.hasekioglu@tubitak.gov.tr



Gas Cooled Fast Reactor



Supercritical Water Cooled Reactor



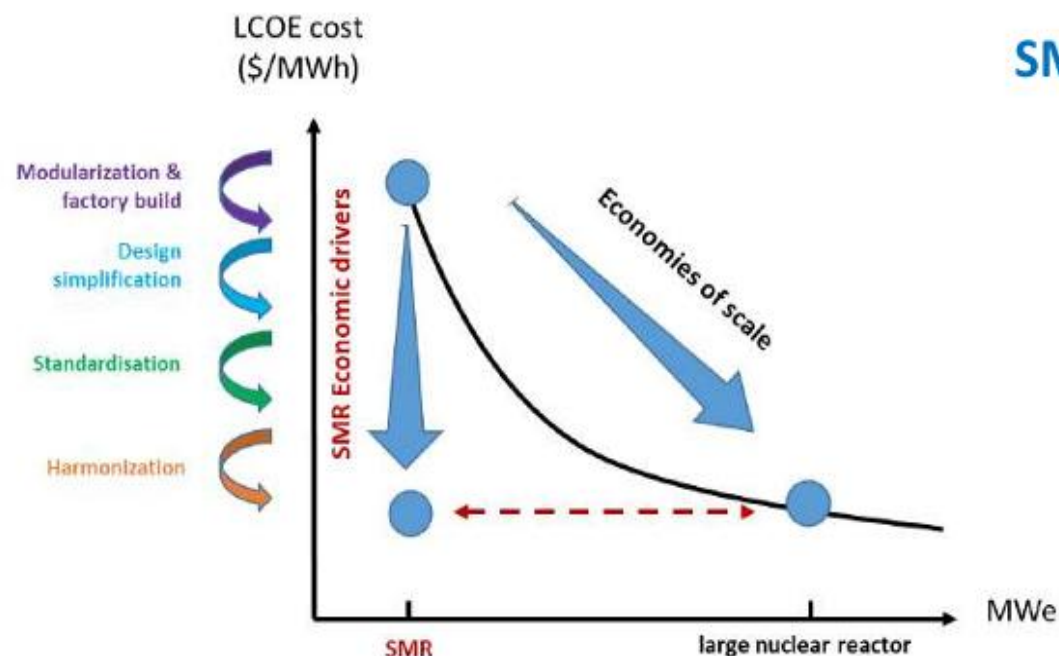
Molten Salt Cooled Reactor



State of SMR Deployment

- Worldwide (IAEA Perspective)
- US Perspective
- European Perspective
- Turkish Perspective

What are SMRs (Small Modular Reactors) ?



SMR / AMR / MMR

- Small Modular Reactor refers to reactors with reduced power (< 500 MWe max, often between 50 and 300 MWe). The techno-economic model of SMR is based on 4 factors:

- scale effect => modularity and manufacturing in factories
- Simplification of the design allowed by the reduced power => architecture, components, civil engineering.
- Series effect => Reduction in construction time and cost for the nth of a series
- Opening up to new markets: non-electric applications (heat, hydrogen, e-fuels, ammonia), niche markets, electricity/heat mix

Other factors: limited or phased investment, limitation of financial risk

- In general, SMR refers to water-cooled limited power reactors (PWR, BWR) and AMR (advanced modular reactor) refers to limited power reactors cooled with Pb, gas, sodium or molten salts.

- Micro reactors (MMR: Micro Modular Reactor or vSMR = Very Small Modular Reactor) refers to power reactors or calogens with a capacity between 1 and 20 MWe, for particular locations such as isolated areas (Alaska), military bases or industrial sites





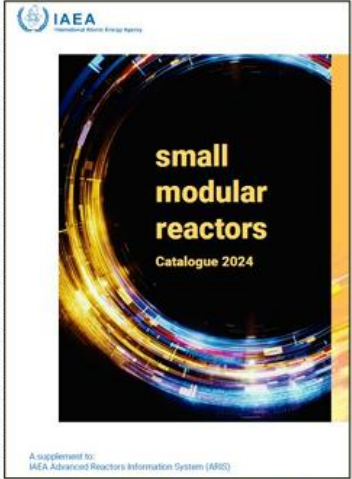
Worldwide IAEA Perspective: State of SMR

ARIS SMR Booklet (2012-2022)



83 Designs

• Land-based Light Water:	27
• Maritime reactors:	8
• High Temperature Gas:	22
• Molten Salt:	14
• Liquid Metal:	12



October 2024 Catalogue

Light Water (land):	14
(marine)	6
Gas cooled:	14
Microreactors:	14
Molten salt (land):	9
(marine):	2
Liquid metal fast:	10
Total:	69

https://aris.iaea.org/Publications/SMR_catalogue_2024.pdf



March 2025

Registered in ARIS data Base

Light Water (land):	15
(marine)	6
Gas cooled:	14
Microreactors:	15
Molten salt (land):	10
(marine):	2
Liquid metal fast:	10

<https://aris.iaea.org/>

Total: 72

The Only Commercial SMR's in Production worldwide



<https://fnpp.info/>

Russian Federation

2 x KLT-40S reactors (PWR)

70MWe

50 Gcal/h Heat power production

Enrichment: 14,1%

2020, May- Start of commercial operation

3-3.5 yrs operation prior to refuelling

2023, December - refuelled



China

2 x 200 MW units

210 MWe

245,000 spherical fuel elements ('pebbles'),
each 60 mm in diameter and containing
7 g of fuel **enriched to 8.5%**

2023, December- Start of commercial operation

Refuelling on-line



Glance at Reactor Fuels and operating characteristics (temperature and pressure)

Water Cooled Reactors



Gas Cooled Reactors



Molten Salt Cooled Reactors



Metal Cooled Reactors

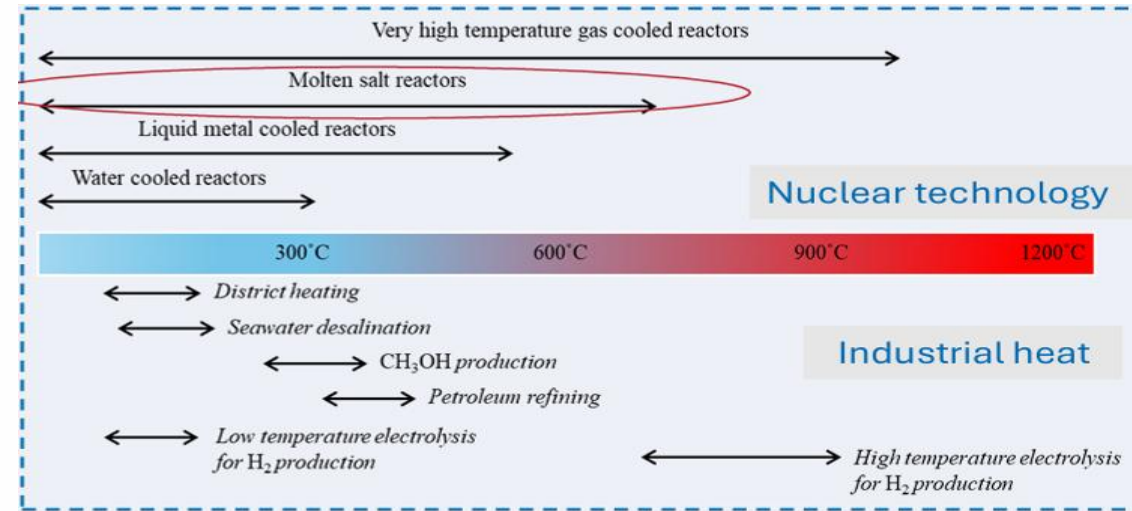


Moderate Temperatures
(250 – 550 °C)

High Temperatures
(700 – 1,000 °C)

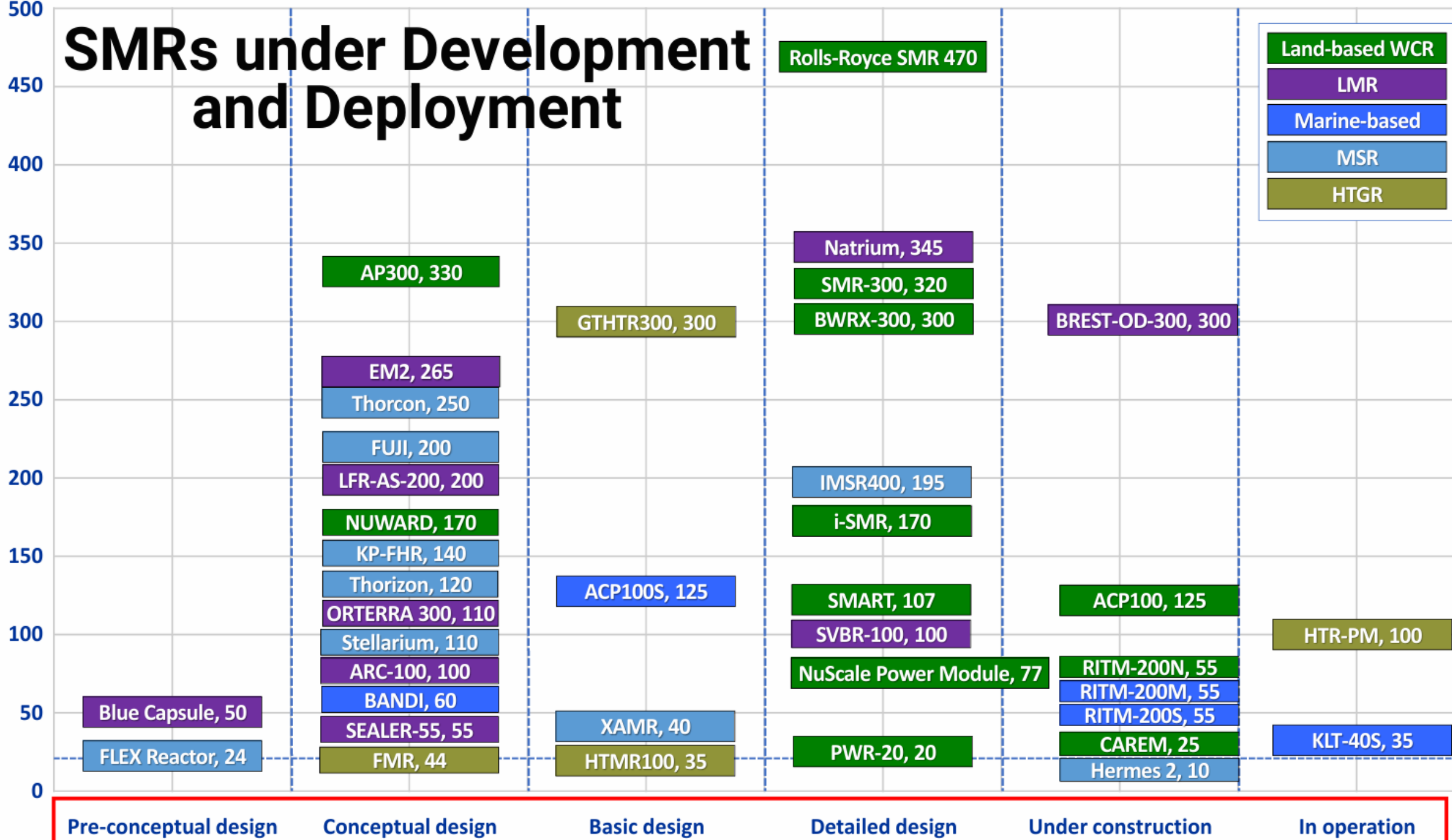
Operating temperature

Non electric applications

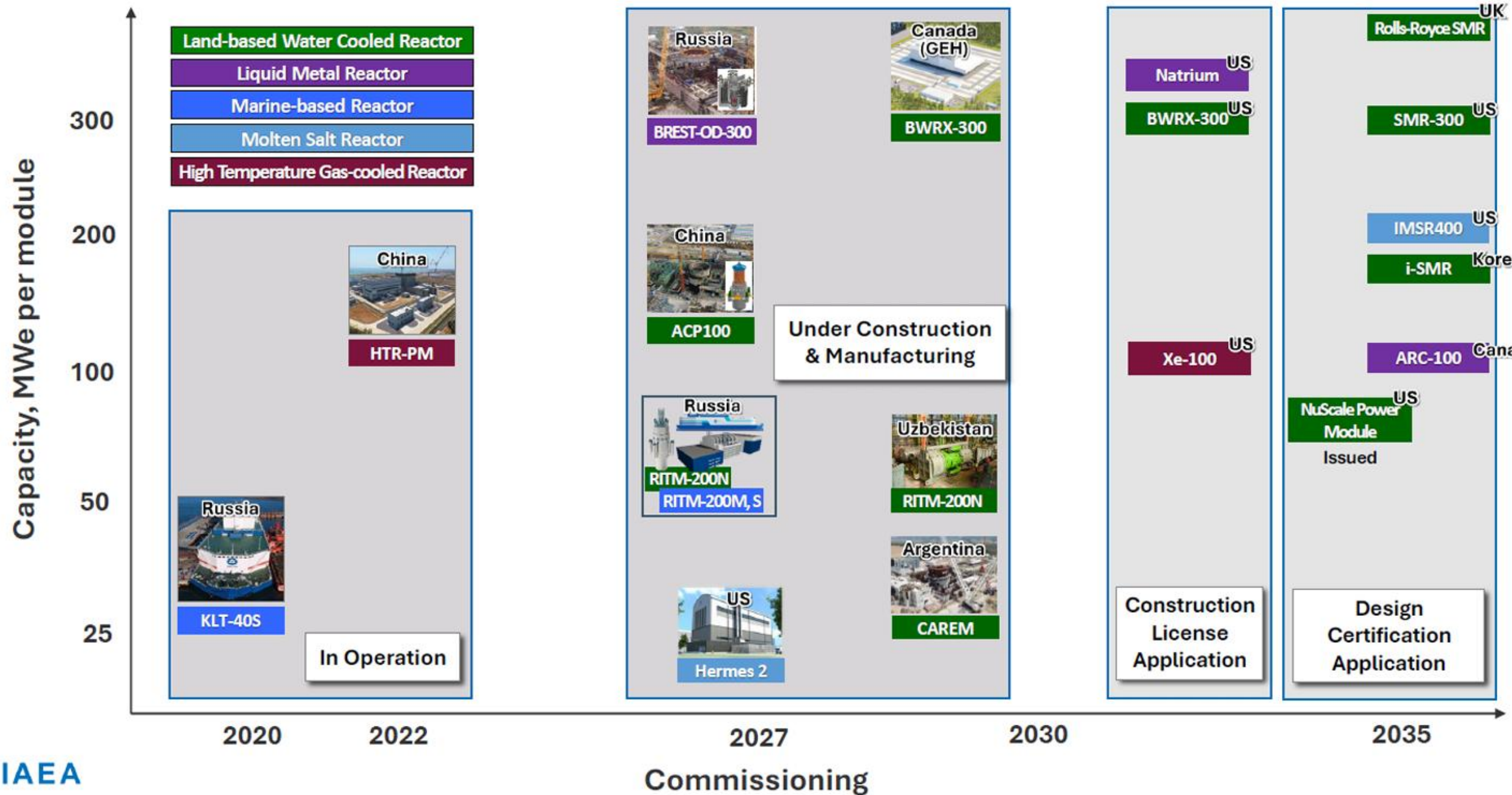


SMRs under Development and Deployment

Output capacity, MWe per unit

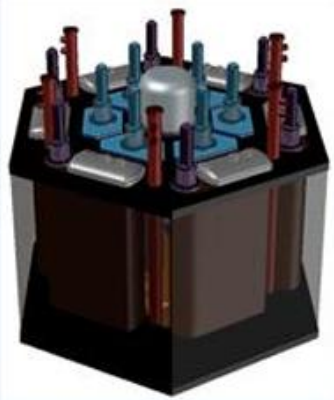
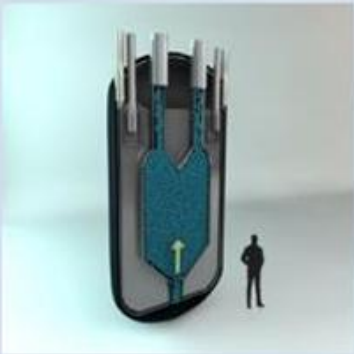
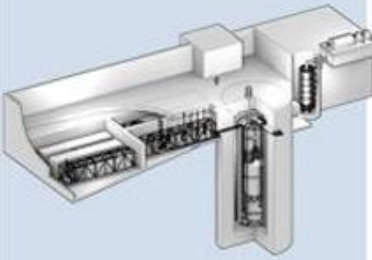


Estimated Deployment Timelines



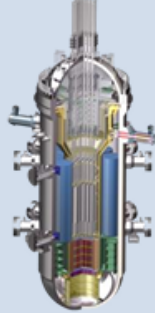


Quick Glance at Some Designs

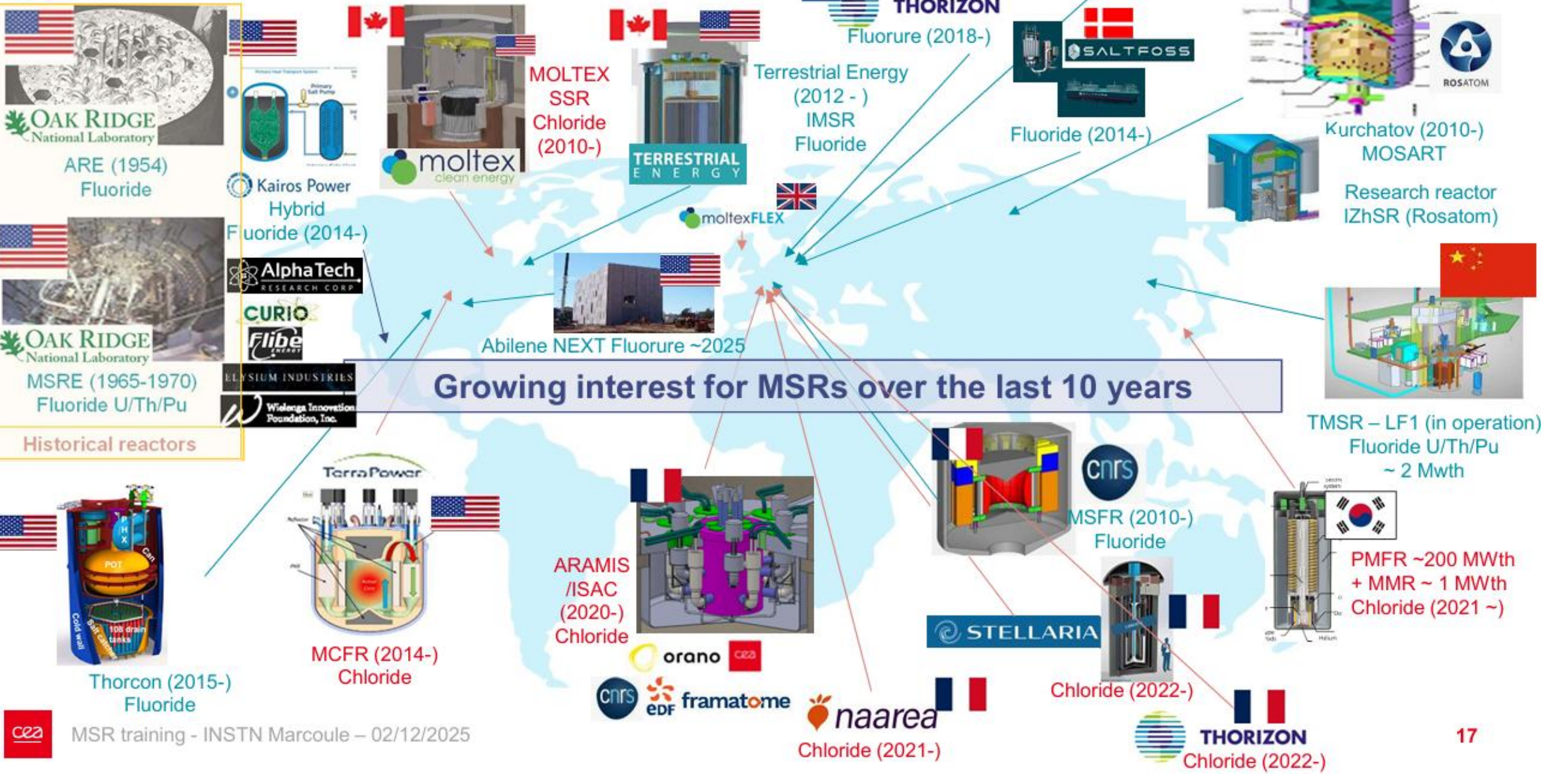
MCSFR	FUJI	KP-FHR	IMSR	ThorCon
				
<u>Design Status:</u> Conceptual design in progress, fuel development in testing	<u>Design Status:</u> 3 experimental MSR's were built. Detail design not started	<u>Design Status:</u> Conceptual design in progress	<u>Design Status:</u> Conceptual design complete – basic engineering in progress	<u>Design Status:</u> Complete basic design
- Elysium Industries, Canada and United States - Molten-salt cooled 100 MWt / 50 MWe - Forced Circulation - Core Outlet Temp: 610°C - Enrichment: fuel salt contain 10-20% fissile actinide fraction and consume 100% actinide - Refuel interval: Online refuelling	- ITMSF, Japan-led consortium - Molten-salt cooled 450 MWt / 200 MWe - Forced Circulation - Core Outlet Temp: 704°C - Enrichment: 2% - Refuel interval: Continuous operation possible	- Kairos Power, LLC, United States - Modular, pebble bed, high temperature, salt-cooled reactor 320 MWt / 140 MWe - Core Outlet Temp: 650°C - Enrichment: 19.75% - Refuel interval: Online refuelling	- Terrestrial Energy Inc, United States - Molten salt reactor - Forced Circulation 440 MWt / 195 MWe - Core Outlet Temp: 700°C - Enrichment: <5% - Refuel interval: 84 months	- ThorCon International, United States - Thermal molten salt reactor - Forced Circulation 557 MWt / 250 MWe per module - Core Outlet Temp: 704°C - Enrichment: 5 – 19.7% - Refuel interval: 48 months



Pressurized Water Reactors (SMR-PWR)

 CAREM	 ACP100	 SMART 	 VOYGR™	 RITM-200M
				
<u>Design Status:</u> Under construction. Targeted first criticality in 2026.	<u>Design Status:</u> Under construction. Targeted commercial operation in 2026.	<u>Design Status:</u> Detailed design.	<u>Design Status:</u> Equipment Manufacturing in Progress.	<u>Design Status RITM series reactors:</u> Operated on 3 icebreakers and 2 reactors are manufacturing for 1 icebreakers.
• 100 MWt / ~30 MWe • 61 Fuel Assemblies • UO₂ pellet / hexagonal • Fuel active length: 1.4 m • Maximum enrichment: 3.1% (UO₂) • Reactivity controls: CRDM only • Cladding: Zr-4 • Refuelling cycle: 14 months	• 385 MWt / 125 MWe • 57 Fuel Assemblies • UO₂ pellet / 17x17 square • CF2 shortened fuel assemblies • Enrichment: < 4.95% • Fuel active length: 2.15 m • 17x17 square pitch arranged fuel assemblies developed independently by CNNC • Refuelling cycle: 24 months	• 365 MWt / 107 MWe • 57 Fuel Assemblies • UO₂ pellet / 17x17 square • Enrichment: < 5% • Advanced Grid / IFM design • Peak Rod Burnup < 60 GWd/t • Refueling cycle: 30 months • Reactivity controls: Control Rods, Soluble Boron, BP • Refuelling cycle: 30 months	• 250 MWt / 77 MWe per module • 37 Fuel Assemblies • UO₂ pellet / 17x17 square • Enrichment: ≤ 4.95% • AREVA's proven US 17X17 PWR technology • Zircaloy-4 HTP™ upper and intermediate spacer grids • Alloy M5® fuel rod cladding • Refuelling cycle: nominal 18 months	• 198 MWt / 50MWe • 241 Fuel Assemblies • UO₂ pellet / hexagonal • Fuel assembly (FA) size across the flats: 98.5 mm • Enrichment: <20 % • Total assigned lifetime/service life, up to: 480,000 / 60 • Cladding material: 42XHM alloy • Cladding thickness approximately 0.3 mm • Refuelling cycle: 120 months

Panorama of MSRs in the world



SMR and AMR projects in France

SMR



nuward

- Replace coal-fired power plants with a capacity between 300 and 400 MWe
- Ensure load monitoring in addition to renewable energies
- Supply to remote areas and energy-intensive industrial sites
- Support other energy-intensive uses, such as co-generation of electricity and heat, hydrogen production, district heating and desalination of seawater

Reorientation of the design
in 2024 (reducing risks)



<https://www.edf.fr/groupe-edf/produire-une-energie-respectueuse-du-climat/energie-nucleaire/nous-preparons-le-nucleaire-de-demain/le-projet-smr-nuwardtm/le-projet>

archeos



- Low pressure PWR providing from 20 to 50 MW of heat up to 150°C.
- Fast deployment: use of already proven technological bricks
- Commercial targets: agri-food, industry and collectivities

CEA R&D project -> industrial project
in 2025

GOUVERNEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

FRANCE
2030

bpi**france**



- LWR
- Power : 30 MWth
- Application: heat distribution for cities

AMR



- SFR
- Power : 180 MWth / 110 MWe
- Applications : industrial heat and electricity

CEASpin Off



- SFR
- Power : 400 MWth / 150 MWe
- Applications : industrial heat and electricity

CEASpin Off



- Hybrid reactor (HTR cooled by Na)
- Power : 150 MWth / 50 MWe
- Applications : industrial heat and electricity

CEASpin Off

Jimmy

- HTR
- Power : 15 MWth
- Applications : industrial heat

newcleo
Futurable Energy

- Lead Fast Reactor
- Power : 90 or 500 MWth et 30 ou 200 MWe
- Applications : electricity, heat, radio-isotopes



- **Fast MSR – chloride salt**
- Power : 80 MWth / 11400 MWe
- Applications : industrial heat and electricity

STELLARIA

- **Fast MSR – chloride salt**
- Power : 400 MWth / 250 MWe
- Applications : industrial heat and electricity

CEASpin Off



THORIZON

- **Fast MSR – chloride salt**
- Power : 250 MWth / 110 MWe
- Applications : industrial heat and electricity



US Perspective – ‘National Security Concern’

On May 23, President Trump announced four executive orders aimed at reinvigorating America’s nuclear energy industry.

Nuclear Energy is a **national security** concern.

1. Speed up Nuclear Reactor Licensing

U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) to create an expedited pathway to approve reactors that have been safely tested by DOE or the Department of Defense (DoD). Also included is a comprehensive review of the NRC and the establishment of a deadline to evaluate and approve new construction and operation licenses within 18 months.

2. Add 300 Gigawatts of New U.S. Nuclear Capacity by 2050

Working with industry to facilitate 5 gigawatts of power uprates Leveraging the Department’s Loan Programs Office to support reactor restarts and finish partially completed construction projects Improving supply chains . Having 10 new large reactors with complete designs under construction by 2030



3. Lay the Groundwork for Faster Reactor Testing

Three pilot reactors could be built and tested outside of the national laboratories with the goal of achieving criticality by July 4, 2026, as part of an overarching plan to shorten the length of time it takes to test advanced reactors.

DOE will revise its regulations and guidance for expedited review and approval of reactor projects under its supervision. The Department will also use all available authorities to eliminate or expedite its environmental reviews for authorizations, permits, approvals, leases, and any other activity requested by an applicant or potential applicant.

4. Deploy U.S. Reactors for AI and Military Bases

DOE will lay the groundwork for building and operating an advanced nuclear reactor supporting AI or other critical infrastructure no later than October 2027.

DoD was also directed to build a nuclear reactor at a domestic military installation to commence operations within the next three years,



5. Explore Fuel Recycling and Reprocessing

The United States hasn't recycled or reprocessed commercial spent nuclear fuels since the 1970s, and the President's executive orders seek to change that. To that end, DOE is instructed to find ways to efficiently transfer spent nuclear fuel from commercial light-water reactors to a government-owned, privately operated reprocessing and recycling facility.

6. Increase Domestic Nuclear Fuel Production

Building out the U.S. nuclear fuel supply chain will reduce the nation's dependence on foreign sources of uranium and enable long-term expansion of American nuclear energy. That means a focus on increased mining, enrichment, conversion and deconversion capabilities — and even recycling and reprocessing of spent nuclear fuel — with assistance from DOE-supported nuclear industry consortia.

7. Bolster the American Nuclear Workforce

60 percent of the nuclear workforce is between the ages of 30 and 60. DOE is also directed to increase access to R&D infrastructure, workforce, and expertise at the national laboratories for college and university nuclear engineering students.



8. Assess Spent Nuclear Fuel Management

Secretaries of energy, defense, and transportation, along with the director of the Office of Management and Budget, to recommend a national policy on spent nuclear fuel management and high-level waste that considers the development and deployment of advanced fuel cycle capabilities to establish a safe, secure, and sustainable long-term fuel cycle.

9. Expand U.S. Nuclear Energy Exports

Within 90 days, the State Department and other agencies including DOE are instructed to produce strategies that will increase financing for U.S. nuclear projects and promote nuclear trade, and to make financial and technical support available for foreign adoption of nuclear energy

Developer	Name	Type	Power Output (MWe/MWth)	Fuel	Coolant	Moderator	Refueling Interval
Aalo Atomics	Aalo One	STR	7 MWe/20MWth	U-Zr-H	Sodium	H	3-5 years
Alpha Tech Research Corp	ARC Nuclear Generator	MSR	12 MWe/30 MWth	LEU	Flouride salt		intermittent
Antares Industries	R1	Sodium Heat Pipe	1.2 MWth	TRISO	Sodium	Graphite	
BWXT	BANR	HTGR	17 MWe/50 MWth	TRISO	Helium	Graphite	5 years
Deep Fission	DB-PWR	PWR	1-15 MWE	LEU	Water	Water	4-6 years
General Atomics	GA Micro	HTGR	1-10 MWe		Gas		
HolosGen	HolosQuad	HTGR	13 MWe	TRISO	Helium/CO2		10 years
Micro Nuclear, LLC	Micro Scale Nuclear Battery	MSR/Heat Pipe	10 MWe	UF4	FLiBe	YH	10 years
Nano Nuclear	Zeus/Odin	HTGR/MSR	1.0 MWe/2.5 MWth	UO2	Helium		
NuCube	Nu3	Heat Pipe	1 MWe/3 MWth	TRISO	Sodium	Graphite	10+ years
NuGen, LLC	NuGen Engine	HTGR	2-4 MWe	TRISO	Helium		
NuScale Power	NuScale Microreactor	LMTM/Heat Pipe	<10 MWe	Metallic	Liquid Metal	Liquid Metal	10 years
Oklo	Aurora	SFR	15 MWe	Metallic (U-Zr)	Sodium		10+ years
Radiant Nuclear	Kaleidos Battery	HTGR	1.2 MWe	TRISO	Helium	Graphite	4-6 years
Ultra Safe Nuclear	Micro Modular Reactor	HTGR	5 MWe/15 MWth	TRISO	Helium	Graphite	20 years
Westinghouse	eVINCI	Sodium Heat pipe	5 MWe/15 MWth	TRISO	Sodium	Graphite	8 years
X-Energy	XENITH	HTGR	5 MWe/10 MWth	TRISO	Helium	Graphite	3+ years

MOLTEN SALT REACTORS (MSRs)

	Molten Chloride Fast Reactor TerraPower	Molten Salt Research Reactor™ Abilene Christian University	Integral Molten Salt Reactor™ Terrestrial Energy	Stable Salt Reactor™ Moltex
FUNCTION	Flexible Electricity, Molten Salt Energy Storage, Process Heat	Unviersity-led Research Program	Flexible Electricity, Desalination, Chemical Synthesis, Black start capability	Flexible Electricity, Desalination, Hydrogen, UNF Recycling, Black start capability
NEUTRON SPECTRUM	Fast	Thermal	Thermal	Fast
MODERATOR	None (Fast)	Graphite	Graphite	None (Fast)
HEAT TRANSFER MECHANISM	Molten Chloride Salt	Molten Flouride Salt	Molten Fluoride Salt	Molten Fluoride Salt
OUTLET TEMP	735 °C	500 °C	>600 °C	700 °C
FUEL				
Enrichment	HALEU	HALEU	LEU	HALEU
Fuel Form	U-Molten Chloride	U-Molten Flouride	U-Molten Fluoride	Solid Fuel
Refueling Period/Method	Online	Online	Online	Online
POWER OUTPUT				
Classification	MSR-SMR (mid-scale)	MSR-Micro	MSR-SMR	MSR-SMR
Base Model Output (MWe or MWt)	300-170-430* MWe (mid-scale) 780-650-910* MWe (large-scale)	Test Reactor: 1 MWth	195 MWe	300-500 MWe
Plant Scalability Output (MWe)			390 MWe (x2)	
REGULATORY PROGRESS				
Government Support	One of five ARDP Risk Reduction awards with DOE support of \$136M on total project of \$171M	\$30.5M USD	Over \$40M USD support from US, UK, CDN governments and over \$1B USD loan guarantees from LPO.	\$40M CAD million investment by Canadian federal government, and support from Ontario Power Generation
NRC Status	Preapplication Engagement	Construction permit issued September 2024	Standard design approval application in progress.	
CNSC Status	None	None	VDR Phase 1 and Phase 2 complete	VDR Phase 1 complete, Phase 2 expected
Deployment Expected	INL (USA) Test Experiment Project: 2025/2026	ACU (USA) Site: Late 2020s	Not publicly available	Not publicly available

Advanced Reactor Demonstration Program (ARDP)

Three projects received funding for concept development:

ARC Clean Technology will produce a conceptual design of a seismically isolated sodium-cooled reactor, building on pre-conceptual work it's done for a 100 MW reactor facility. DOE will provide \$27.5 million of the \$34.4 million project cost.

Advanced Sodium-Cooled Reactor Facility

ARC CLEAN TECHNOLOGY



General Atomics will produce a conceptual design for a 50-megawatt fast modular reactor. The DOE will provide \$24.8 million of the \$31.1 million project cost.

Fast Modular Reactor

GENERAL ATOMICS



Boston Atomics (in partnership with the Massachusetts Institute of Technology) will produce a conceptual design of a horizontal Modular Integrated Gas-Cooled High Temperature Reactor to support commercialization activities. The DOE will provide \$3.9 million of the \$4.9 million project cost.

Horizontal Compact High-Temperature Gas Reactor

BOSTON ATOMICS AND
MASSACHUSETTS INSTITUTE
OF TECHNOLOGY



ARDP is not the Energy Department's only grant program for support of new reactors. The Department has also promised up to \$1.4 billion to the Carbon Free Power Project, the first nuclear project that will use the NuScale small modular reactor.

In addition, the Canadian federal government will invest \$45 million (in U.S. dollars) to help with development of a small modular reactor in New Brunswick, Moltex Energy's Stable Salt Reactor-Wasteburner, in addition to \$7 million from the U.S. DOE. And the provinces of New Brunswick, Ontario, Saskatchewan and Alberta have signed a memorandum of understanding to collaborate on SMR development.



Türkiye: Önemli Aşamalar (2016-2025)

- **Şubat 2016 BTYK Kararı - TUBITAK**
- Kasım 2017 TUBITAK Bilim Kurulu Gen4 Forum (GIF) üyelik kararı
- 2018 GIF Policy Group sunumu, Paris
- Eylül 2018 STB GIF resmi üyelik başvurusu
- Ağustos 2019 GIF Türkiye raporu
- 2020 TÜBİTAK ETR Çalışma Gurubu raporu
- **Nisan 2021 BTPYK Çalışma Gurubu raporu ve Cumhurbaşkanlığı'na sunum**
- Mayıs 2021 STB ETR Bakanlık sunumu
- **Eylül 2021 SBB altyapı desteği onayı**
- Kasım 2021 Altyapı desteği 2022 TBMM bütçe onayı
- **Kasım 2021 IAEA ve NDK bilgilendirme**
- Ocak 2022 IAEA SMR/MSR Collaboration Center başvurusu
- Şubat 2022 Resmi Gazete 2022 yılı bütçesi (ön kavramsal tasarım, fizibilite)
- **Mart 2023 Fizibilite ve kavramsal tasarım çalışması tamamlandı**
- **Temmuz 2025 Cumhurbaşkanlığı 2030 Sanayileşme Planı**
- **2024-2025 SBB Başvuruları**
- **2025-2026 STB SMR Çağrısı**

National MSR Roadmap
Study Group, Turkish
Presidency,
Science, Technology and
Innovation Policies Board



T.C. CUMHURBAŞKANLIĞI



Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Kurulu

Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Çalışma Grubu



TBMM Plan Bütçe Komisyonu Sunumu ve 2022

yatırım bütçesi TBMM onayı

- 6 - Ülkemiz gibi nükleer teknoloji alanına yeni adımlar atmakta olan ülkeler için reaktör teknolojilerine ilişkin gerekli reaktör bileşenlerinin imal edilmesine yönelik teknolojik adımların atılması, nükleer teknoloji alanında millileşme yönünde kat edilebilecek önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda “İleri Reaktörler Fizibilite Ve Kavramsal Tasarım Çalışması Projesi” ile Enerji kaynağı olarak yakıt ve yakıt üretimi, kullanılmış yakıt yönetimi ve yeniden işlenmesi (reprocessing), nükleer atıkların taşınması ve depolanması gibi konularda olabildiğince dışarıya bağımlılığın azaltılması; reaktör tasarımına hâkim olabilmek ve reaktör bileşenlerinin yurt içinde geliştirilmiş teknolojiyle imâl edilebilmesi; imalât teknolojisine ulusal ölçekte yüksek oranda hâkim olunabilecek, konvansiyonel nükleer reaktör kavramından çok farklı, güvenliği çok yüksek, ama maliyeti düşük IV. nesil yenilikçi bir nükleer reaktör teknolojisine geçilmesi; kurulması planlanan yerli ve milli reaktörün en az 60 yıl enerji üretmesine imkân verecek bir yakıtı, mümkünse ulusal imkânlarla üretebilecek bir teknolojinin geliştirilmesi; yakıt çevrimi güvenli, güvenilir ama toryum içerikli nispeten sade bir nükleer yakıt çevrimi kullanılması; IV. nesil reaktörler olarak adlandırılan yeni nesil nükleer reaktörlere ilişkin çalışmalar, güvenlik, işletme ekonomisi ve uygulama esnekliğinde iyileştirmeler amaçlanmaktadır. IV. nesil reaktör teknolojileri içinde en olgun ve ticarileşmeye en yakın olarak görülen ergimiş tuz reaktörleri (ETR), dünyanın çeşitli ülkelerinde yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Türkiye’nin sahip olduğu geniş Toryum (Th) rezervleri de göz önüne alındığında, Th tabanlı ve diğer yakıt çevrimlerine uygun, Ergimiş Tuz Reaktör kurulumuna en kısa sürede başlanması önem taşımaktadır. Türkiye’nin bu teknolojiye girişi ile birlikte; Konvansiyonel nükleer reaktör teknolojisinde kaçırdığı fırsatı yakalama imkânı veren IV. nesil ileri nükleer reaktör teknolojisine giriş yapılacak, millî ileri reaktör tasarımı ve yapımı gerçekleştirilecek, yurt dışına bağımlılığı azaltacak olan toryumun nükleer enerji kaynağı olarak kullanılması gerçekleştirilecek, nükleer enerjiden üretilen ısıdan yararlanarak hidrojen ve alternatif yakıtlar üretilerek enerji anlamında dışa bağımlılık büyük ölçüde azaltılacak, Türkiye’nin- tarihinde ilk defa nükleer teknoloji üreten bir ülke olarak uluslararası toplumda hak ettiği itibarlı noktaya erişmesi sağlanacaktır.
- 7- “Florinasyon Yöntemleriyle UF_4 , ThF_4 Üretimi Projesi” ile yüksek saflıkta UF_4 ve ThF_4 bileşiklerinin üretilmesi için laboratuvar ölçeğinde bir uranyum ve toryum florlama sisteminin tasarlanıp bir florinasyon ünitesi kurulması ve bu ünite ile ilgili bileşiklerinin üretimleriyle beraber kimyasal ve fiziksel kalite kontrol testlerinin yapılması amaçlanmaktadır. Bu proje ile Ülkede henüz uygulaması yapılmamış bir teknolojinin kazandırılması, NTE, değerli metaller ve aktinitlerin florlama yöntemleriyle kazanılması ve ekonomiye stratejik katkı sağlanması, bu sahada henüz çalışma yapılmamış olması nedeniyle, stratejik konularda insan kaynaklarına katkı sağlanması, ileri teknolojilerde sürdürülebilirliğin sağlanmasına katkı, milli – stratejik teknoloji alt yapılarının oluşturulması, enerjide dışa bağımlı teknolojilerde ilerleme sağlanması hedeflenmektedir.

Ar-Ge Konusu	Alt Kırılım	Çıktı	Tarih
Prototip 30 MW th üretken reaktör	Kavramsal/Ön Tasarım Çalışması	Reaktör Ön tasarımı	T ₀ +4 yıl
	Analitik ve Sayısal Detay Tasarımlar	Reaktör tasarımı	2026
	Kurulum	Reaktör	2030
	Lisanslama	Lisans	2030
	İşletme	Prosedürler, Sertifikasyon	2031
300 MW th üretken reaktör	Kavramsal - Analitik ve Sayısal Tasarım Çalışmaları	Reaktör Tasarımı	2025
Tuz Sistemleri	İzotop zenginleştirme	Li-7, B-10 izotopları	2027
	Soğutucu Tuz Sistemleri Üretimi	FLiNaK NaBF ₄	2028
	Yakıt Tuz Sistemleri	ThF ₄ , UF ₄ , ²³³ UF ₄ NaCl, ThCl ₄ ve UCl ₃ karışımı	2028
Yapısal Malzemeler Üretimi	Ni bazlı /Super-alaşımlar	Ni-alaşımları, reaktör komponentleri	2025
	Nükleer kalitede grafit üretimi (Reaktör özelliğine göre karar verilecektir)	Nükleer Grafit	2025
	Malzeme Karakterizasyonu ve mekanik testler-TM	Test raporları	2025
Korozyon deneyleri	Statik koşullarda	Rapor	2023
	Loop- dinamik koşullarda	Rapor	2025



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-1

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.1	GENEL İHTİYAÇLAR			
İ.1.1.	Nükleer teknolojileri alanında farklı disiplinlerde insan kaynaklarının eksikliği	Kısa/Orta/Uzun	Nükleer endüstrideki işgücünün arz ve talep dinamikleri arasında denge sağlamak için iyi tanımlanmış ve hedef odaklı bir insan kaynakları geliştirme ve yönetimi (İKG & Y) geliştirilmesi gereklidir. Özellikle; Türk asıllı bilim insanlarını ülkemize çekecek çok özel programların başlatılması ve Üniversitelerdeki konu ile ilgili kürsü sayılarının artırılması ilgili Kurumların (TÜBİTAK, YÖK, vs.) desteğiyle başlatılması gereklidir. Ancak bunun için en öncelikli konu kaynak sağlanması(bütçe) ve isteklendirme oluşturulması (büyük bir lansman, vs) önemlidir.	Akademi, hükümet ve endüstriden oluşturulacak; aktif ve sürekli bir eğitim ayağının yönetildiği böyle bir sistem ile ihtiyaç duyulan kapasitede, bilgi ve beceride; nükleer teknolojilerle ilgili farklı alanlarda eğitim almış bir insan gücü kadrosu kısa sürede oluşturulacaktır.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-2

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.1	GENEL İHTİYAÇLAR			
İ.1.2.	İdari yapılanma ve yurtiçi ve uluslararası işbirliklerin sorumlu kurum çatısı altında toplanılması ve paydaşlar kurulu kurulması	Kısa	Tahsis edilecek devlet yatırım projeleri ile birlikte; uygun seçeneklerin değerlendirilmesi, çeşitli disiplinlerden gelen girdilerin TUBITAK ve TENMAK çatısı altında toplanılması önemlidir.	Gerekli bilgileri etkin bir şekilde yayılması, proje adımlar belirlenmesi, işlerin dağıtılması, bütçenin ve teşviklerin düzenlenmesi ve takibi yönünden kolaylık sağlayacaktır.
İ.1.3.	Dördüncü nesil nükleer reaktör teknolojilerinin edinilmesi ve yerleştirilmesi içingerekli uluslararası işbirliklerinin yapılması (GIF, EURATOM, IAEA, DOE CRADA vs anlaşmaları)	Kısa/Orta /Uzun	Tek başına bir ulusal nükleer enerji programı rekabetçi bir şekilde geliştiremez çünkü çok sayıda uluslararası standartları ve kuralları karşılayacak şekilde uyarlanmalıdır. Bu nedenle, yakın uluslararası işbirliği ve dünya teknolojisi ve güvenlik önlemlerinin incelenmesi, nükleer enerji programının başlatılması ve sürdürülebilirliği anlamında önemlidir.	Teknik kapasiteyi geliştirmek ve yüksek kaliteli insan kaynakları desteği elde etmek aşamasında katkı sağlayacaktır.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-3

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.1	GENEL İHTİYAÇLAR			
İ.1.4.	Tedarik zincirinin oluşturulması	Kısa/Orta/Uzun	Tasarım, mühendislik ve bileşen üretimi için bir Nükleer Teknolojiler Araştırma Enstitüsü kurulması ve bu suretle yabancı tedarikçilerin yönlendirmesiyle “İş Başında Eğitim” ve “İş Başında Katılım” ile kademeli olarak yerli sanayinin rolünün artırılarak, yabancı ana yüklenicilerin alt yüklenicilere dönüştürülmesi.	Mevcut makine, elektronik, metal sanayinin nükleer sektöre yönelik ürünlere yönelmesi bu alandaki eksikliği kapatılırken; nükleer enerji teknolojisi transferinin bu faydası, çelik yapımı, gemi yapımı ve ağır donanım imalatı gibi diğer endüstriyel sektörlerde de yayılmasını sağlayacaktır.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-4

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.1	GENEL İHTİYAÇLAR			
İ.1.5.	Devletin, özel sektörün yeni nesil reaktör teknolojisine giriş yapabilmesi için özel sektöre ve KOBİ'lere yönelik özendirici teşvik programlarını yürürlüğe konulması	Orta/Uzun	Ülkemizde her ne kadar milli nükleer enerji sistemleri devlet doğrudan yatırımı gerektirse de girişimcilik bu alanda desteklenmelidir. Üniversite ve araştırma merkezleri personelinin özel firma kurmalarının yolu açılmalı, akademik dereceye bakmaksızın yenilikçi fikirlerin hayata geçirilmesi için risk/destek programları geliştirilmelidir. Üniversiter kurumlar dünyanın her yerinde yenilikçiliğin öncüleridir.	Ülkemizde orta ve uzun vadede nükleer teknolojilere ilgi duyan özel firma ve KOBİ'lere fırsatlar sunulması nükleer teknolojilere ulusal katılımın arttırılması yönünde katkı sağlamakla birlikte, diğer ihtiyaç duyulan yan sanayi alanlarının da geliştirilmesi yönünde katkı sağlayacaktır.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-5

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.2	ALTYAPI İHTİYAÇLARI			
İ.2.1	Kullanılan yapısal ve ergimiş tuz malzemelerinin radyasyon ile etkileşiminin incelenmesi ÇNAEM faaliyete geçmesi veya yeni bir araştırma reaktörü akı 10^{14} n/cm²/sec üzeri olacak şekilde kurulması Mevcut ÇNAEM TR-2 (5 MW) Araştırma Reaktörünün aktif hale getirilmesi Alternatif olarak TENMAK bünyesinde çok amaçlı kullanıma uygun yerli bir araştırma reaktörü tasarlanması ve kurulması	Kısa	TR-2 araştırma reaktörünün acilen işletmeye alınarak, her türlü nötron radyasyonu altında malzeme testi, operatör deneyimi, radyoizotop üretimi ve nükleer mühendislik tecrübesi kazanılması, önem arz etmektedir. Ülkemizdeki nükleer teknoloji geliştirme faaliyetlerinin desteklenebilmesi için malzeme testleri, radyoizotop üretimi, deneysel çalışmalar gibi çok amaçlı kullanıma uygun yüksek nötron akı yeni bir araştırma reaktörü ihtiyacı bulunmaktadır. Yerli araştırma reaktörünün kalbinin ve soğutma devresinin tasarlanmasına yönelik olarak 2019 yılında TENMAK-NÜKEN bünyesinde bir proje başlatılmıştır.	Enerji üreten bir reaktör yapımından önce araştırma reaktöründe mühendislik deneyimi, ayrıca ithat edilen bazı radyoizotopların NAA ile yerli olarak üretilmesi sağlanılacaktır. Nükleer teknolojide bilgi ve yetkinliğin artması, nükleer güç reaktörü tasarımı için ön deneyimin kazanılması, bilimsel çalışmalara katkı sağlanması. Ayrıca, yerli üretim araştırma reaktörü ile yurt dışına emek ve finansal ihraç önlenerek, özellikle nükleer tıp alanında ihtiyaç duyulan radyoizotop üretimi konusunda bölgesel ihtiyacı karşılayacaktır.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-6

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.2	ALTYAPI İHTİYAÇLARI			
İ.2.2	Nükleer Teknoloji Ar-Ge Merkezi kurulması	Kısa-Orta	TENMAK, TUBITAK ve diğer ilgili kurumların birlikte çalışmalarını sağlayacak, dünyadaki emsallerine benzer bir yapı kurulması gereken bu yeni nükleer teknoloji merkezinin içinde araştırma reaktörleri olmalıdır. Yeni teknoloji merkezi, kamu-üniversiteler-özel sektör işbirliği içerisinde kurgulanmalıdır. Nükleer teknoloji ar-ge çalışmalarının yapılacağı donanımları içeren tesis ve laboratuvarlar kurulmalıdır.	Söz konusu yeni nükleer teknoloji ve Ar-Ge merkezi, ülkemizin nükleer teknoloji geliştirme faaliyetlerine destek olacaktır.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-7

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3	TEKNİK İHTİYAÇLAR			
İ.3.1	- Tuz yakıt veya soğutucu malzeme geliştirilmesi - Reaktör yapısal malzemelerinin geliştirilmesi. - Nükleer Yakıt/Atık ve Malzeme teknolojilerine yönelik sürdürülmesi/başlatılması gereken çalışmaların belirlenmesi			
İ.3.1.1.	IV. Nesil ETR reaktörleri için ergimiş tuz nükleer yakıt ve malzeme teknolojileri altyapısının geliştirilmesi ve kapasitesinin artırılması	Kısa-Orta-Uzun	Bu kapsamındaki laboratuvar çalışmaları ülkemizde TENMAK NÜKEN bünyesinde yürütülmektedir. Türkiye’de uranyumlu ve toryumlu yakıt teknolojilerinin konvansiyonel ve ileri yakıt çevrimleri yöntemleriyle üretim teknolojileri dahil nükleer reaktör malzemeleri teknolojilerinin geliştirilmesi ile teorik ve uygulamalı olarak nükleer yakıtların, diğer nükleer reaktör malzemelerinin üretiminin tüm aşamalarının öğrenilmesi gerektiğinde daha geniş çapta nükleer tesislerin kurulma ve planlama çalışmaları, nükleer tesislerde kullanılabilecek yakıt ve yakıt elemanlarında ve nükleer reaktör malzemelerinin gerekli test ve karakterizasyonları yapılarak malzeme standartlarının belirlenmesi, nükleer	Uranyum ve toryumlu yakıt teknolojilerini kapsayan nükleer yakıt ve malzeme alanında yürütülecek Ar-Ge faaliyetleri, nükleer reaktörler için yakıt ve malzeme üretim teknolojilerine sahip olunmasını sağlayacaktır.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-8

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3	TEKNİK İHTİYAÇLAR			
İ.3.1.2.	Kararlı izotop zenginleştirme ve saflaştırma tesisinin kurulması	Orta	Nükleer yakıt çevirimi içerisinde B-10 izotopu, Li-7 izotopu gibi bazı izotoplar kullanılmaktadır. B-10, doğal borun içerisinde yaklaşık %20 oranında, Li-7 ise %92,5 oranında bulunmaktadır. Reaktörlerdeki nötron ekonomisi için benzeri izotopların zenginliği yüksek olması gerekmektedir.	Ülkemizde bol miktarda bulunan bor elementinin katma değeri yüksek ürüne dönüştürülmesi sağlanacaktır. Kararlı izotop zenginleştirme altyapısının ülkemizde bulunması nükleer yakıt çevirimi ile ilgili teknolojik bağımsızlık sağlayacaktır.
İ.3.1.3.	Toryum ve uranyum cevherlerinin işlenmesi	Kısa	Uranyum, nükleer yakıt çevriminde en önemli girdidir. Toryum ise yeni nesil nükleer reaktör teknolojilerinde yeni nesil yakıt tipleri için öne çıkan zenginleştirilmiş uranyum, plutonyum veya U-233 gibi fisil malzemeler ile kullanılabilecek nitelikte malzemedir.	Ülkemiz kaynaklarının nükleer yakıt çevriminde kullanılması ve dışa bağımlılığının azaltılması sağlanacaktır. Ayrıca, bu madenlerde bulunan nadir toprak elementlerinin de kazanılması sağlanacaktır.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-9

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3	TEKNİK İHTİYAÇLAR			
İ.3.1.4.	Reaktör/yakıt geliştirme kritiklik tesisi (criticality facility) kurulması	Orta	Reaktör teknolojisi geliştirme süreçlerinde, reaktör kor tasarımının uygunluğunun yakıt grubublarını veya yakıt yataklarının kritiklik sağndığı(yani fisyon zincirleme tepkimlerinin sürdürülebilirliği) testleri için gereklidir	Kritiklik tesisinde, enerji üreten bileşenlere (buhar jeneratörü, ısı değıştirciler, akışkan pompaları, atık ısı çekme sistemleri) bağlanmaz. Ancak özellikle yeni tür bir yakıt teknolojisi (örneğin, Toryum+235U içeren ve daha önceden sınanmamış) reaktöre yüklemekten sınanması gerektiğinden, nihai testler için bir "kritiklik" tesisine ihtiyaç vardır. Diğer bir ifadeyle, enerji çekmeden bütün nötronik tüm testler, bu tesiste başarıyla geçmelidir.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-10

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3	TEKNİK İHTİYAÇLAR			
İ.3.1.5.	U235 (%20 altı) zenginleştirilmiş Cl veya F tuzları temini ve/veya Transuranik aktinitlerin yakıt olarak temini	Uzun	Doğal uranyum içerisinde fisil U-235'in miktarı %0,7 civarındadır. Dünyada doğal uranyum ile çalışan reaktör tipleri bulunmakta ancak ülkemizde tercih zenginleştirilmiş uranyum ile çalışan reaktörler yönünde olmuştur. Uranyumun nükleer yakıt olarak kullanılması için U-235 açısından zenginleştirilmesi gerekmektedir.	Nükleer teknolojiye en stratejik ürün reaktörde kullanılan yakıttır. Yakıtta reaksiyonun devamı için fisil malzeme ihtiyacı vardır. Nükleer yakıt üretilecektir. Nükleer teknolojiye teknolojik bağımsızlık sağlanacak, dışa bağımlılık azalacaktır.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-11

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3	TEKNİK İHTİYAÇLAR			
İ.3.1.6.	Nükleer tuz yakıt işleme tesisinin kurulması	Uzun	Nükleer reaktörde yakıtın tipi ne olursa olsun (uranyum veya toryum) kullanılmış yakıtın içerisinde tekrar kullanılabilir fisil malzeme ve ayrıştığı zaman miktar olarak azalan radyoaktif atık bulunmaktadır. Fisil malzeme tekrar yakıt olarak kullanılabilir. Atık da daha küçük hacimde depolanabilir.	Nükleer faaliyet sonrasında ortaya çıkan radyoaktif atığın bertarafı sağlanacak ve yeniden kullanılabilir yakıt elde edilecektir.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-12

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3	TEKNİK İHTİYAÇLAR			
İ.3.1.7.	Tedarik zinciri kurulması (Kritik reaktör komponentlerinin, yapısal malzemelerin milli olanaklarla üretimine Ar-Ge projeleri ile başlanması.)	Kısa	Grafit dahil yapsal malzemelerin, özellikle yüksek sıcaklık ve korozyona dayanıklı malzemelerin geliştirilmesi (örn. Yüksek Nikel ihtiva eden alaşımların üretimi ve şekillendirilmesi teknolojilerindeki eksikliklerimiz giderilmiş olacaktır.	ARGE projeleri ile yapısal malzemeler alanında yenilikçi ürünler geliştirilebilecek ve sanayiye teknoloji transfer ile aktarılabilir olacaktır.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-13

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3.2	İleri Nesil Nükleer Reaktör Teknolojilerinde Çeşitlilik			
İ.3.2.1.	Teknolojik riskleri gözönüne alıp tek reaktör tipine yoğunlaşılması fakat diğer tipler üzerinde alternatif çalışmalara devam edilmesi. (MSR ve Lead cooled reaktör gibi)	Kısa	Akkuyu'da kurulan reaktörün yakıtı UO2 (konvansiyonel olmayan zenginleştirilmiş U-235 içeren) çalışma süresi boyunca 50-60 yıl kurucu yabancı şirket tarafından mı karşılanacak? Bizim bu süre içinde yakıt üretmede know-how sahibi olmamız planlanmış mıdır?	Bu konuyu açıklığa kavuşturursak planlamamızı hedefler doğrultusunda daha kolay yaparız, aksi halde çalışmalarımızın çok anlamlı olacağını düşünmüyorum.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-14

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3.2.2.	Ergimiş Tuz Reaktörleri (ETR)			
İ.3.2.2.1	Millî yakıt olarak toryumu kullanacak teknolojiye ve tasarıma sahip yeni nesil nükleer reaktörün alt özelliklerinin belirlenmesi (MSFBR-Th gibi)	Kısa ve orta	Yeni nesil nükleer reaktörler grubuna giren reaktörler içinde toryum yakıt çevrimini kolaylıkla kullanabilen reaktör teknolojisinin seçilmesi Türkiye'nin millî yakıt kaynağı olan toryumun kullanılmasını sağlayacaktır. Yıllardır varlığı bilinen ama bir türlü nükleer enerjide kullanılmayan toryum kaynağımız ülkenin yararına kullanılmaya başlayacaktır.	Yeni nükleer reaktör teknolojilerinden Ergimiş Tuz Reaktörünün böylece yeni nesil ETR'lerin yaygınlaşmasıyla yurt dışına bağımlılığımız azalacaktır. Türkiye uzun vadede toryumu nükleer enerji sistemlerinde kullanma yolunda dünyada lider konumuna gelecektir.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-15

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3.2.2.	Ergimiş Tuz Reaktörleri (ETR)			
İ.3.2.2.2	Ergimiş Tuz sistemlerinin hazırlanması (FLiNaK, FLiBe, ThF ₄ , UF ₄). Yakıt ve ısı taşıyıcı tuzlar için gerekli izotopların üretimi	Orta	Ergimiş tuz reaktörleri için Toryum ve uranyum halojen bileşikleri kullanılmaktadır (klorür ve florür tuzları). Bu tuzların yüksek saflıkta, inert ortamlarda sentezlenmesi gerekmektedir. İthal ürün olan bu tuzlar pilot tesislerde milli olanaklarla üretilbilir. Ayrıca Li-7, B-10 gibi izotopların da üretilmesi bu kapsamdadır.	Dışa bağımlılığın hammadde açısından ortadan kalkması sağlanacak, ihracat yapılması imkanı doğacak ve döviz girdisi elde edilecektir.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-16

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3.2.2.	Ergimiş Tuz Reaktörleri (ETR)			
İ.3.2.2.3	Ni tabanlı süper alaşımlar ve diğer malzemelerin geliştirilmesi Yüksek radyasyon, sıcaklık ve aşındırıcı ortam testleri	Orta-uzun	Yeni nesil ETR teknolojisi yüksek sıcaklık tuz korozyonuna ve nötron-malzeme etkileşimlerine maruz malzemelerden yapılmaktadır. Ergimiş tuz metalürjisi ve kimyası bakımından altyapı ve teknoloji gelişimi gerekmektedir.	Yüksek sıcaklıklarda ergimiş tuz karışımlarının malzeme ler üzerindeki etkileşiminin öğrenilmesiyle yeni ve özel süper alaşımların ülkemizde gelişmesi sağlanacak, sadece nükleer alanda değil savunma ve hassas teknolojiler alanında büyük ilerlemeler kaydedilebilecektir.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-17

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3.2.2.	Ergimiş Tuz Reaktörleri (ETR)			
İ.3.2.2.4	Sayısal hesaplama alt yapıları: termal/hidrolik/nötronik hesaplama, yakıt ve malzeme performansı kodları	Orta-uzun	Türkiye'nin matematik modelleme, sistem simülasyonları konusunda oldukça gelişmiş bir altyapısı vardır. Enerji sistemleri ve özellikle nükleer reaktörler konusunda simülasyon çalışmaları gerekmektedir.	Dijital ikizi çıkarılan bir ETR'nin bütün çalışma koşulları ve güvenlik testleri simülatör ile gerçek zamalı olarak gerçekleştirilebilecektir. (Kanada ETR'si IMSR'nin simülatörü L3 firması tarafından yapılmaktadır.)



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-18

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3.2.2.	Ergimiş Tuz Reaktörleri (ETR)			
İ.3.2.2.5	ETR'lerin ısı ve elektrik enerjisi çıktılarından yararlanacak hidrojen üretimi, şehir ve tarım, metanol ve amonyak gibi başka yenilikçi teknolojilerin desteklenmesi	Kısa-orta-uzun	Konvansiyonel reaktörlerden farklı olarak yüksek sıcaklıkta ısı üretebilen ETR'lerin ısı enerjisi çeşitli kimyasal proseslerde, yerleşim yeri ısıtmada, deniz suyundan tatlı su üretiminde kullanılabilir. Ayrıca Küçük Modüler ETR'ler küçük ve uzak yerleşim ve sanayi bölgelerinde kullanılabilir.	ETR'lerin ısı enerjisinden hidrojen (dolayısıyla metanol ve amonyak) üretimi sağlanabilir. Dolayısıyla kara ve deniz taşıtlarında karbon izi olmayan bu yakıtlar kullanılabilir. Küçük modüler ETR'lerin yaygınlaşmasıyla doğalgaz kombine santrallarına önemli bir alternatif gelmiş olacak, üretilen elektriğin karbon yükü çok azaltılmış olacaktır.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-19

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3.2.2.	Ergimiş Tuz Reaktörleri (ETR)			
İ.3.2.2.6	Moderatör malzeme geliştirilmesi: Reaktör grafiti geliştirilmesi (Termal nötron spektrumunda çalışan reaktör olduğu takdirde moderatör olarak kullanmak üzere)	Kısa	Karbon ve grafit konusunda know-how mevcut, reaktör tipine bağlı olarak (hızlı ise gerek yok) grafit için Ar-Ge gerekir.	



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-20

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3.2.2.	Ergimiş Tuz Reaktörleri (ETR)			
İ.3.2.2.7	Reaktör güvenliği için ek aktif ve pasif güvenlik sistemlerinin planlanması – termal ve hızlı nötron spektrumlu ETR reaktörleri için farklı güvelik sistemleri düşünülmeli.	Kısa-orta-uzun	Güvenlik	Güvenli reaktör ve lisans onayı



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-21

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3.2.2.	Ergimiş Tuz Reaktörleri (ETR)			
İ.3.2.2.8	Faydalı izotopların geri dönüşümü: (Offline reprocessing) - faydalı izotopların kazanılması (Online processing) Reaktiviteyi düşüren izotopların ayrıştırılması (Poison gas, Pal)	Online-orta Offline-uzun	Ar-Ge çalışmaları gerekir	Reaktör dışı işleme – Faydalı izotopların kazanılması, Transuranic elementlerin yakıt olarak değerlendirilmesi Reaktör içi işleme – reaktiviteyi etkileyen zararlı gaz ve elementlerin ayrıştırılması



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-22

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3.2.2.	Ergimiş Tuz Reaktörleri (ETR)			
İ.3.2.2.9	Atık Yönetimi – Bertaraf ve depolama tesisleri, saklama teknikleri	Uzun	Mevzuatlar mevcut değil. Kullanılmış yakıt ve drenaj tuzlarının soğutma konusu Ar-Ge gerektirir.	Yüksek radyoaktiviteye sahip atıkların çevreye zarar vermeden saklanması. Reaktör çıkışından uzun dönem depolamaya kadar ki bütün süreç.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-23

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3.2.2.	Ergimiş Tuz Reaktörleri (ETR)			
İ.3.2.2.10	Sertifikasyon ve gerekli mevzuat açısından hazırlık durumu	Kısa	Nükleer Düzenleme Kurumu henüz ETR alanında mevzuat geliştirmedir.	NDK, ETR ve diğer ileri reaktörler konusunda lisanslama için gerekli mevzuatı hazırlanması
İ.3.2.2.11	Nükleer güvence (safeguards) mevzuatı	Kısa	Yasal güvenlik: ETR tasarımı çerçevesinde NPT konusu incelenmeli.	NDK tarafından bu konudaki uluslararası sorumluluklarımıza uyacak mevzuatın hazırlanması
İ.3.2.2.12	Enstrumantasyon, kontrol, ölçüm teknolojileri ve standartları	Kısa	Enstrumantasyon ve kontrol kalite güvence standartlarının kurulması gerekli.	Basınç, sıcaklık, akış, akı gibi ölçüm ve kontrol ürünleri Bu ürünlerin nükleer alanda kullanımı için sertifikasyon standartları oluşturulacak.



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-24

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3.2.3.	İleri Teknoloji Küçük Modüler Reaktörler			
İ.3.2.3.1	10MWe ve 10 – 300 MWe enerji üretim kategorisinde - Geleneksel küçük reaktörlerin tasarım ve geliştirilmesi konusunda alternatif planlamaların yapılması - Bu konuda farklı alt teknolojilerin: basınçlı su, termal spektrum vb göz önüne alınması (Örnek olarak NuScale, Rolls-Royce, Arjantin CAREM, Rosatom KLT40-KLTS40 küçük modüler reaktörleri incelenebilir.)	Kısa	Bilinen ve serbest piyasadan temin edilebilecek düşük zenginlikteki uranyum yakıt geliştirme için ek bir zaman kaybı yaşanmaksızın, yakıtın güvenle tedarik edilebileceği ve yine serbest nükleer pazardan bir çok reaktör komponentinin çoğunluğunun tedarik yoluyla temin ederek ve bazı bileşenlerin de yerli imkanlarla yapılabilmesi ve kısa sürede düşük güçlü bir reaktör serisi için benzer parçaların/bileşenlerin fabrikalarda imal edilerek modüler şekilde bir araya getirilmesiyle ve gerektiğinde tek veya seri bağlanarak " ilk yatırım sermayesi oldukça düşük" elektrik enerjisi veya ısı üreten vSMR'ler yapılması mümkündür.	SMR'ler Karada, ulaşılabilirliği zor olan yerlere, enterekte(şebeke) sistemiyle bağlantısı olmayan yerlerde, dizel jeneratörler yerine dahi kullanılabilecek örneğin sadece 5-10 Milyon dolar ilk sermaye yatırımıyla özel girişimciler kurabilir. Düşük güçlü(<10MWe) ve orta düzey güçlerde (10-50MWe) SMRler artık gemi üzerine de monte edilerek kullanıldığına göre, denizcilikte büyük bir atılım sağlayarak yük taşımacılığında dizel yakıtlara alternatif olacaktır. Bu tür düşük ve orta güçteki SMR'ler ilk yatırım sermayesinin az olması sermaye riskini düşürerek, çevreci ve ekonomik, güvenilir ve pasif nükleer güvenlik sistemleriyle donatılı reaktörler edinilmesine imkan hazırlayacaktır. Özel sektör girişimciler için cazip, teşvik edici yeni nesil/innovatif bir reaktör teknolojisi olacaktır. Üstelik Ülkemizde özel sektörün kurduğu doğalgaz çevrim santrallerine alternatif olacaktır. Çevreci ve temiz bir enerji veya ısı üretim imkanı olduğu için devletten teşvik destekleri de sağlanabilecektir



Yeni Nesil Nükleer Teknolojiler Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları-25

No	İhtiyaçlar	Zaman Boyutu	Gerekçelendirme	İhtiyacın Giderilmesi Durumunda Elde Edilecek Fayda
İ.3.	TEKNİK İHTİYAÇLAR			
İ.3.3.	Teorik hesaplamaların ve simulasyon çalışmalarının yapılması	Kısa	Her konuda olduğu gibi yeni nesil reaktörlerde de bu husu önemlidir. Çok pahalı kurulum değerine sahip olan bu yatırımlarda bu tür hesaplamalar ilgili birimler tarafından yapılmalıdır.	Yüksek maliyetlerle gerçekleştirilen bu tür yatırımlarda bu çalışmalar zaman para ve insan israfını önleyecektir.
İ.3.4.	Alt sistemlerin ve bileşenlerin belirlenmesi	Kısa ve orta	Sadece nükleer teknolojiler değil her türlü alanda kritik alt sistemler bütünün tamamlanabilmesi için en önemli parametredir. Bu bakımdan kritik alt sistemlerin belirlenerek bir an önce programlamanın yapılması gerekir.	Kritik alt sistemler bütünün tamamlanabilmesi için olmazsa olmazlardır. Bu hususta önemli kısımların dışarıdan tedariki sistemin kurulmasını geçiktirecektir. Dolayısıyla ilgili paydaşlar ile bu konuda kısa ve orta vadede girişimlere hız verilmelidir.
İ.3.5	Enstrumantasyon ve kontrol sistemlerinin geliştirilmesi	Orta	Reaktör sistemlerine hakimiyet ve operasyon maliyetinin düşürülmesine yönelik yeni-akıllı kontrol sistemleri geliştirilmesi nükleer teknolojinin en önemli unsurlarındandır.	Reaktör performansının, güvenilirliğinin ve güvenliğinin insan faktöründen doğan zayıf yönlerinin otomasyon ve akıllı sistemlerle elimine edilebilir olmasını sağlayacaktır.



2030

SANAYİ VE TEKNOLOJİ STRATEJİSİ

MART 2025



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

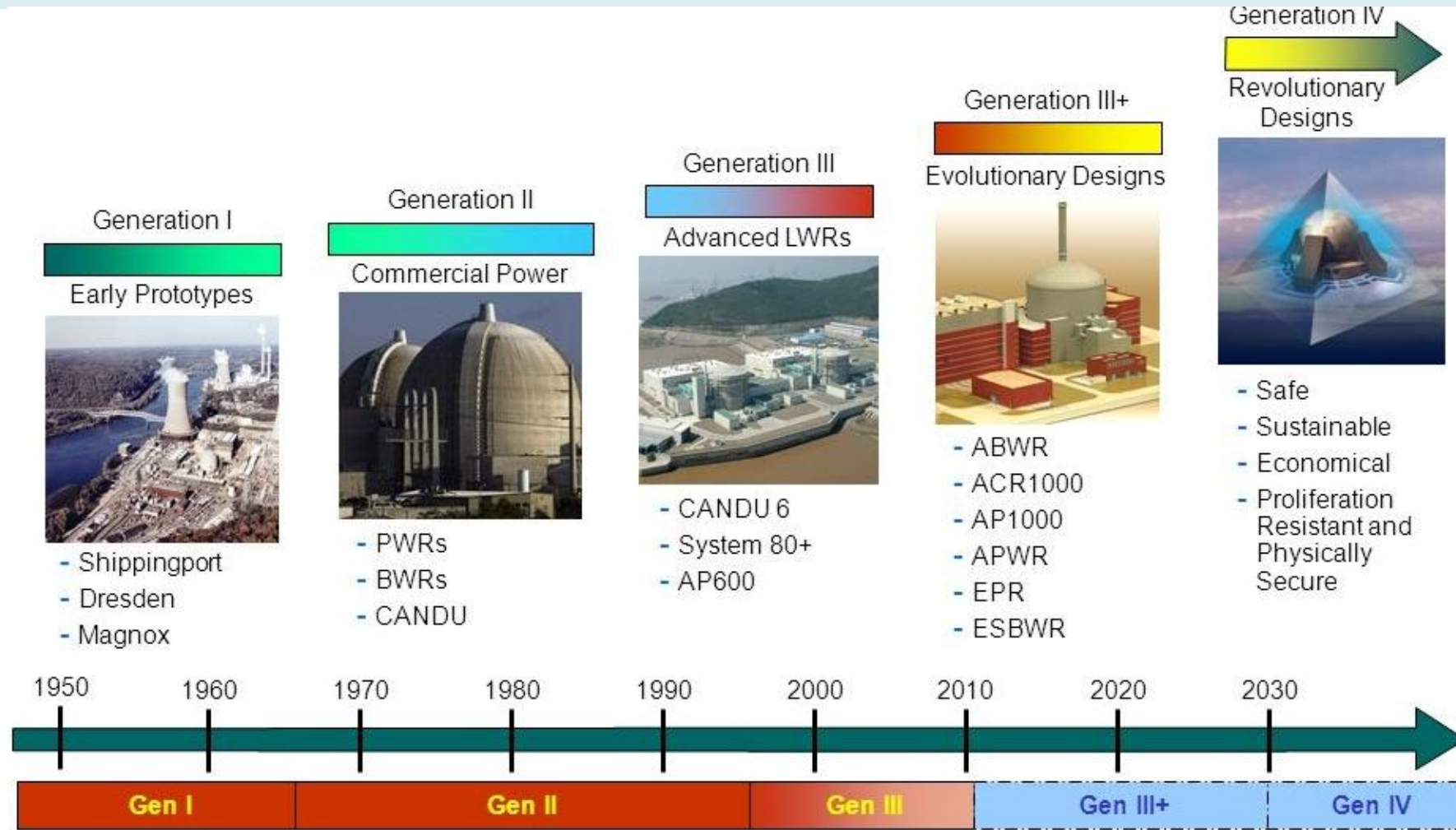


BTYPK Nükleer ÇG
tedbirlerinin önemli bir
kısmı 2030 Sanayi ve
Teknoloji Stratejisi
kapsamında ele alındı.



Nükleer Teknolojilerin Gelişimi

1950'lerde nükleer santrallerin geliştirilmeye başlamasından bu yana nükleer reaktörler sürekli olarak gelişim içerisinde.



1. Nesilden 4. Nesil reaktörlere doğru evrimleşme nükleer enerjiyi daha sürdürülebilir ve etkin şekilde kullanılmak amacıyla yeni nesil nükleer reaktör ve nükleer yakıt çevrimi arayışlarına girilmiştir.

What are Molten Salt Reactors (MSR) ?

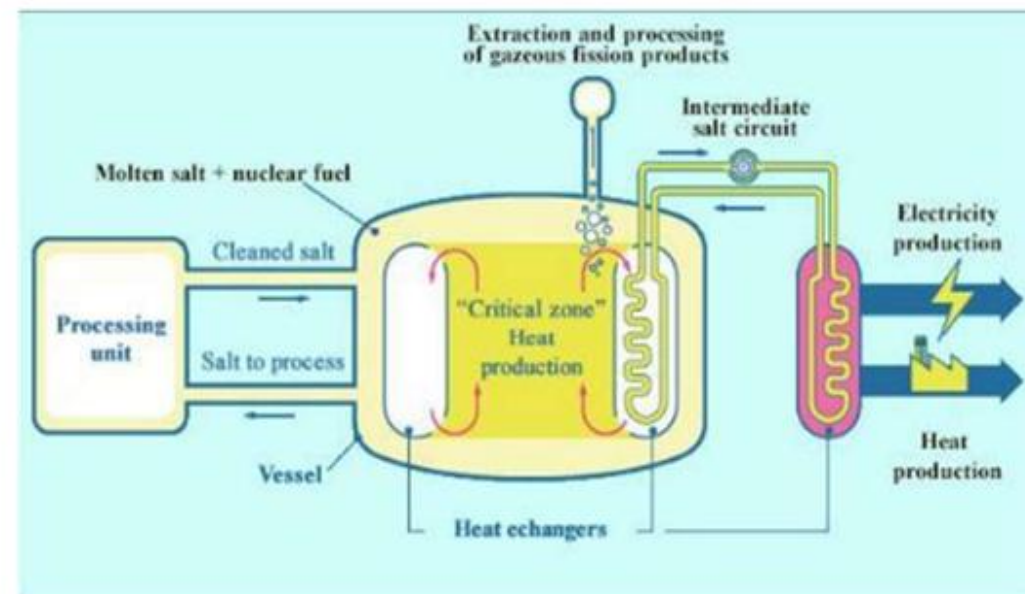
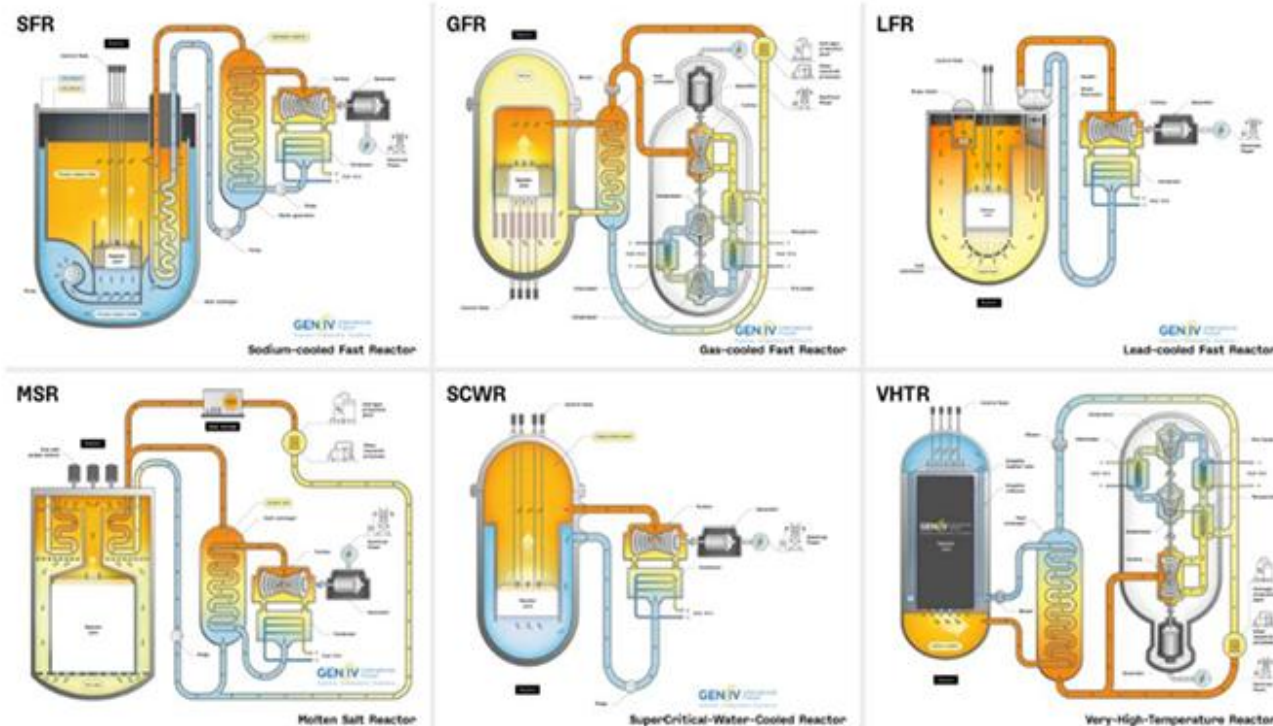
MSRs are 1 of the 6 reactor families studied by the GIF (International Forum Gen IV)

The GIF defines 2 distinct streams depending on the state of the fuel

- Solid fuel cooled by a liquid molten salt
- Molten salt contains fissile material (liquid fuel) and serves as coolant

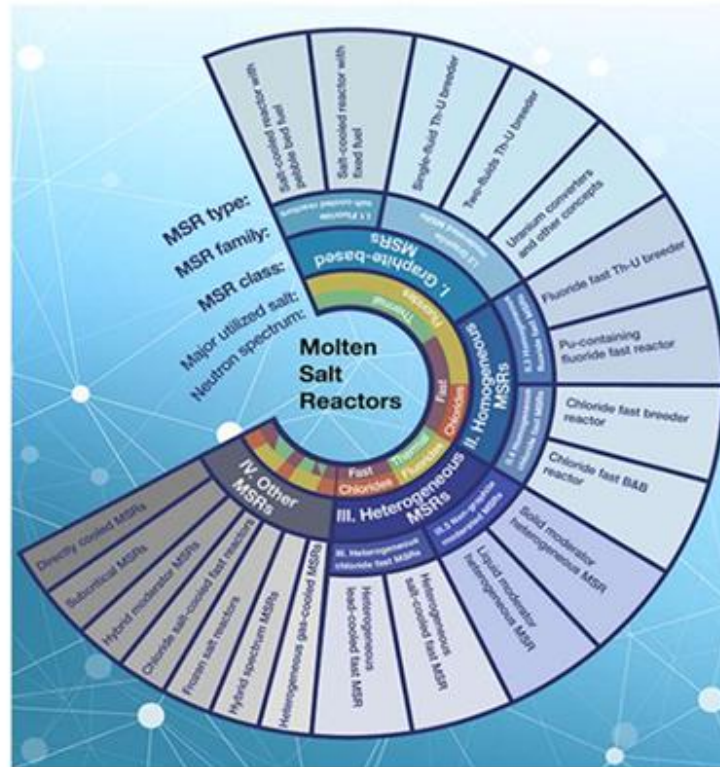


Fuel salts are often salts based on Cl or F + fissile (U233 for the Th/U233 cycle, U235, Pu, even minor actinides)

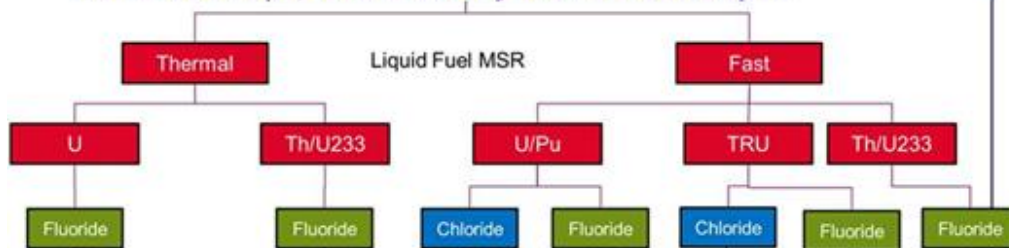


Operating principle of a liquid-fuelled molten salt reactor, with online reprocessing

Diversity of types of concepts and designs



Compared to other GENIV concepts, MSR is not a concept, it is a family tree of concepts

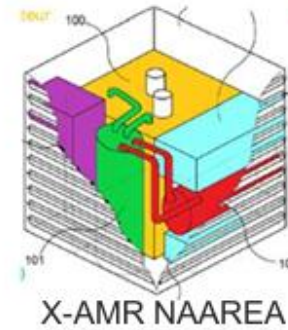


Introduction formation INSTN sur les RSF 20/05/2025

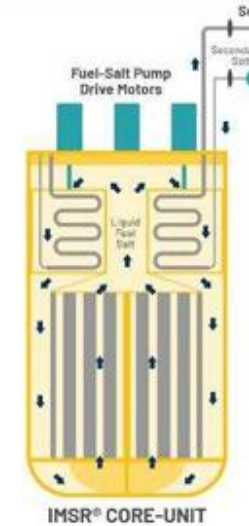
Pool type concepts



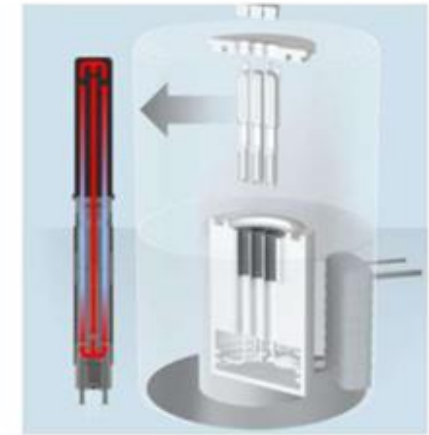
STELLARIUM



X-AMR NAAREA

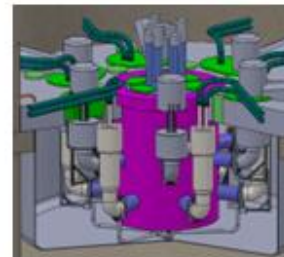


TERRESTRIAL

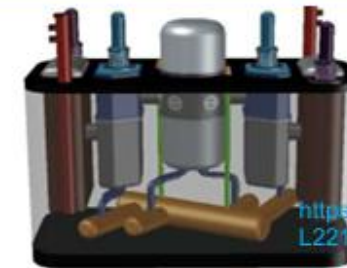


THORIZON

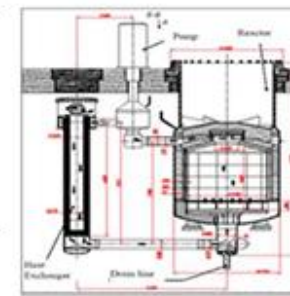
Loop type concepts



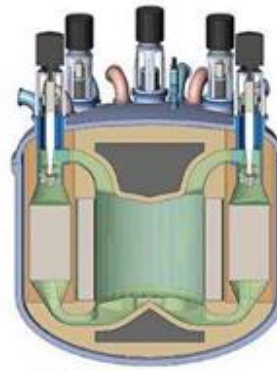
ARAMIS ISAC



MCSFR ELYSIUM



MOSART



MCFR Terrapower

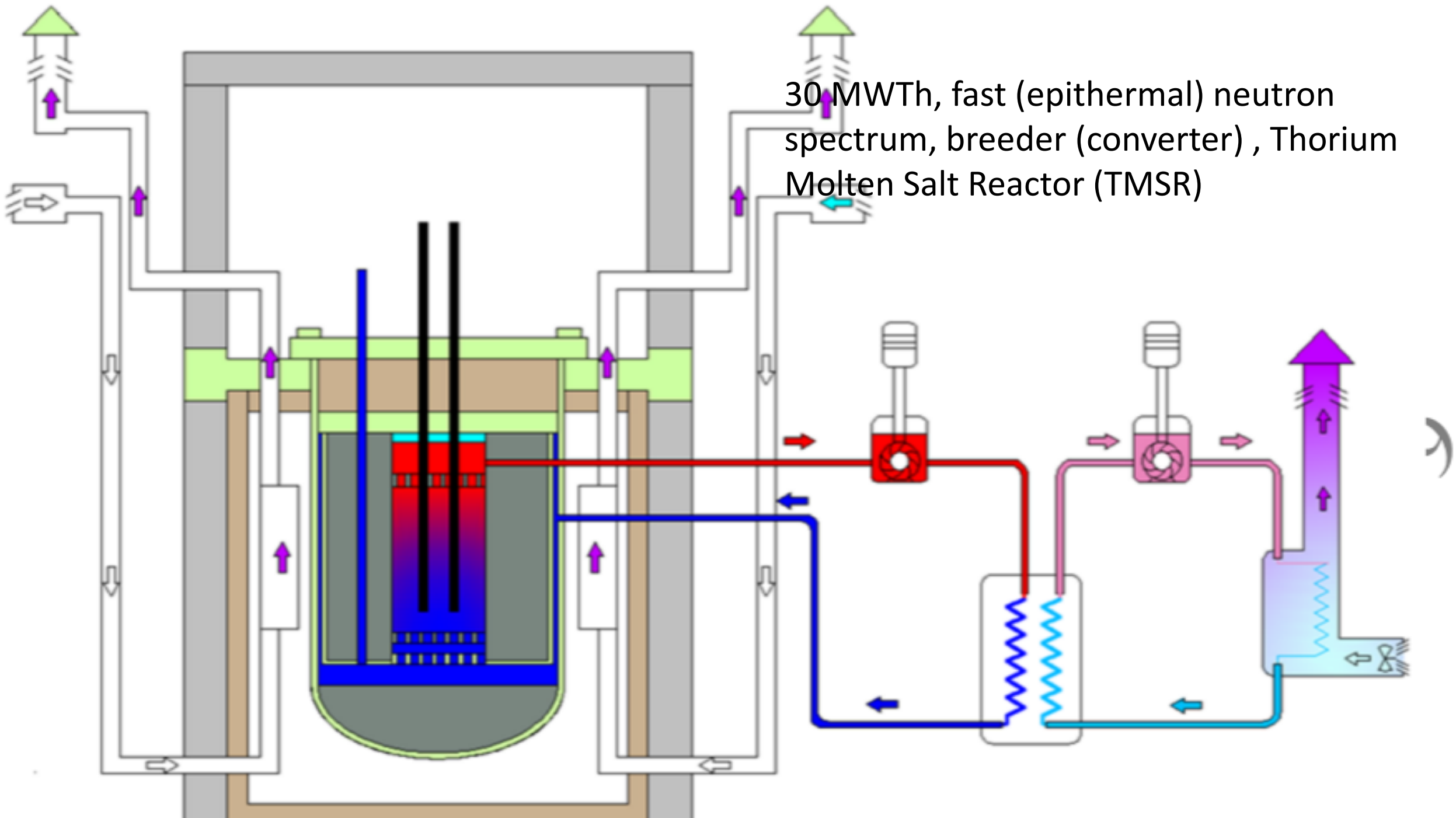
MSBR



Tasarım Hedefleri

- Multipurpose: industrial heat, H₂ production, electricity, medical isotopes (Mo99), propulsion for vessels and submarine, etc.
- Inexpensive: less than 3c /KWh opex, less than 1000USD/Kw capex
- Compact (high energy density), transportable, modular
- Passive safety (LOCA resistant, passive convection cooling etc.)
- Safety, easy certification (marine installation)
- Use of Th
- Burn actinide waste
- Modular, scalable, suitable for in-factory, mass production

30 MW_{Th}, fast (epithermal) neutron spectrum, breeder (converter), Thorium Molten Salt Reactor (TMSR)



Working Groups: feasibility study - conceptual design



1. fuel/coolant production
2. safety and certification
3. instrumentation and control, flux, flow, pressure transducers
4. modeling and simulation – coupled neutronics/TH -
5. industrial heat, energy conversion
6. structural materials testing
7. ThO₂ from ore
8. salt flow loop, HEX
9. online fuel processing -



10. Tritium capture and processing
11. Online fuel processing for the blanket salt, Pa-233 removal
12. Online fuel processing and removal of poisons, oxides, rare earths and other fission products etc.
13. Testing and validation (thermophysical properties, material and fuel qualification etc.)
14. Maintenance/operations procedures
15. Building and construction / citing



- Türkiye nükleer enerji üretimi teknolojilerini acilen geliştirmeli ve nükleer enerji reaktörü üretimini yapmalıdır.
- Orta vadede yeni Gen4 reaktör tasarımları göz ardı edilmemeli, fakat kısa vadede klasik nesil PWR'da göz önünde edilmemelidir.
- Her bir tasarımın hedefi farklıdır, birkaç teknoloji birlikte çalışılmalıdır: (MSR, PWR, HTGR)
- Topyekün ulusal bir seferberlik gereklidir:
Test altyapıları, yakıt üretimi, finansal, sertifikasyon ve hukuki altyapı vb.
- Nükleer enerji üretimi üzerine oluşturulacak fikri mülkiyetin, lisanslama yoluyla, uygun şartlarda, yaygınlaştırılması sağlanmalıdır.



Teşekkürler
orkun.hasekioglu@tubitak.gov.tr