

KUÇUK MODULER REAKTÖRLER



05.10.2021 ETU-Ankara



KMR ve ana konular:

1. Çalışma durumu ve yaklaşan SMR'ler
2. SMR'ler için Yakıt Geliştirme Durumu (matris, kaplama ve yapısal malzemeler ve geometri)
3. SMR'ler için Yakıt Döngüsü Seçenekleri (Ön Uç Sorunları, Çekirdek İçi Yakıt Yönetimi, Arka Uç Stratejisi ve İlgili Sorunlar)
4. SMR yakıt ve yakıt çevriminin Güvenlik Sorunları
5. SMR yakıt döngüsünün nükleer silahların yayılmasına direnci ve güvenlik sorunları

Ülkelerin enerji sistemi analizindeki kapasitelerini güçlendirmek için

- ulusal sosyal, ekonomik ve çevresel (iklim değişikliği) hedeflerini en iyi karşılayan kendi ulusal sürdürülebilir enerji stratejilerini geliştirmek
- enerji teknolojilerinin en uygun karışımını belirleyerek
- ve, nükleer enerjinin gelecekteki enerji ihtiyaçlarını karşılamadaki potansiyel katkısını değerlendirmek gerekmektedir.

KMR Tanımı

IAEA ya göre:

Küçük ve Orta Ölçekli Reaktörler

- Güç<700MWe
- Modüler

Enerji Pazarı:

Küçük Modüler Reaktörler

- Güç<300MWe
- Fabrikada üretilmeleri mümkün
- Taşınabilir: demiryolu,karayolu ve deniz yolu

SMR yer seçimi için ön koşullar ÖZEL KOŞULLAR

ve TALEPlere bağlıdır

COĞRAFİ KOŞULLAR: Uzak bölgeler Adalar, kıyı şeritleri

TAŞINABİLİRLİK VE ESNEK YERLEŞİM

COĞRAFİ KOŞULLAR: Uzak bölgeler Adalar, kıyı şeritleri

ALT YAPI KOŞULLARI: Az gelişmiş/izole elektrik şebekeleri;
Enerji depolaması çok pahalıdır.

PIYASA KOŞULLARI: Enerji fiyatlarındaki oynaklık Yakıt
bağımlılığı.

YENİLENEBİLİR ÜRÜNLERE AŞIRI ODAKLANMA: Küçük enerji
kapasiteleri Temel yükün dengelenmesi sorunları.

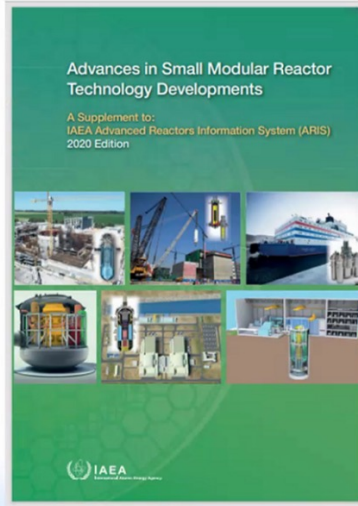
TAŞINABİLİRLİK VE ESNEK YERLEŞİM

TAK VE ÇALIŞTIR ŞEBEKE BAĞLANTISI

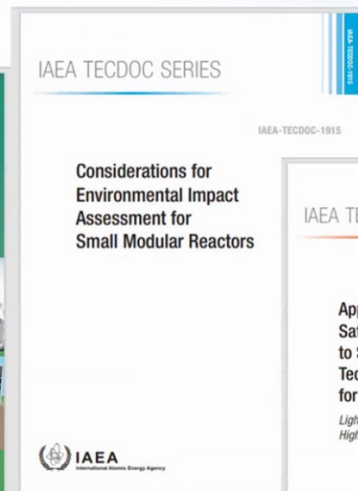
FİLODAN YÖNETİM

MALİYET ÖNGÖRÜLEBİLİRLİK, ÖLÇEK ETKİSİ ESNEK KULLANIM
KARARLI ÜRETİM

IAEA SMR Teknik Dökümanlar



2020



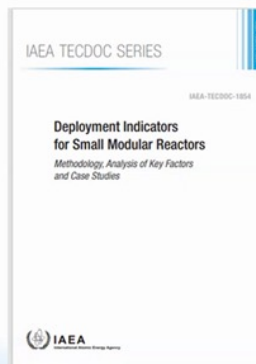
2020



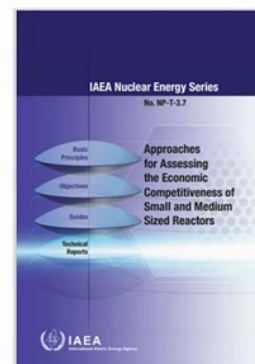
2020



2017

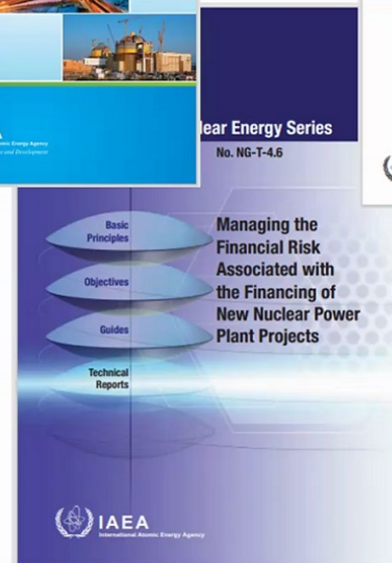
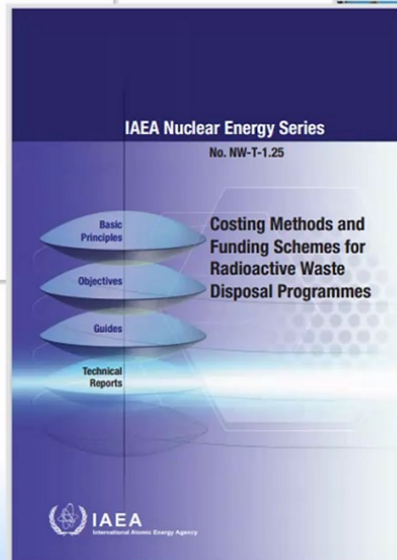
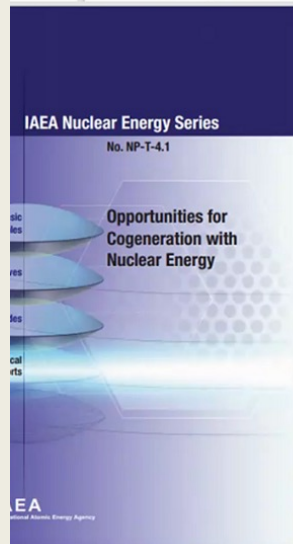
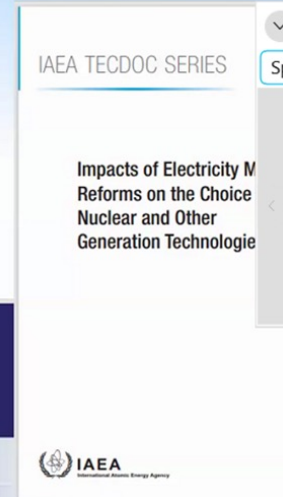
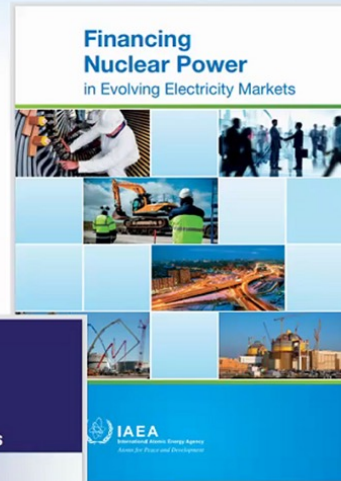
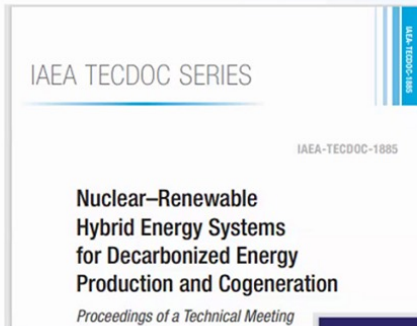


2018



2013

Activities relevant to business case building (1)



Market
Financ


IAEA Nuclear Energy Series
No. NE-T-3.17

Strategic
Environmental
Assessment for
Nuclear Power
Programmes:
Guidelines

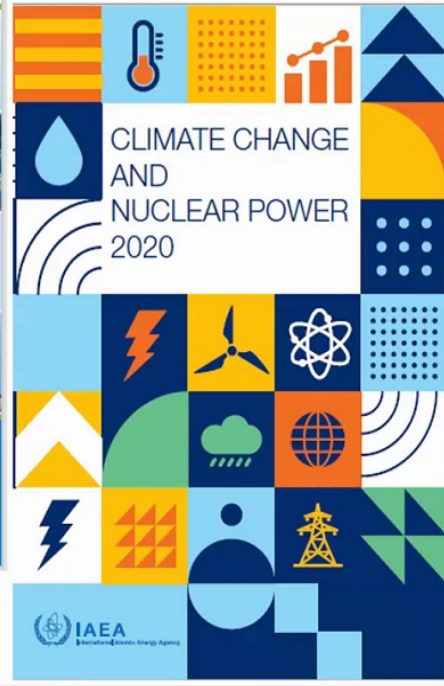
Nuclear Power and Market Mechanisms under the Paris Agreement



Integrated Assessment of Climate, Land, Energy and Water



CLIMATE CHANGE AND NUCLEAR POWER 2020



IAEA
International Atomic Energy Agency


Speaking: Aliko VAN HEEK (Cohost, internal)

Ahmet YAYLI
Me

Maide B... (Host...)

HR - Zeljko Tomsic

Aliko V... (Cohost...)



Generations of Nuclear Energy

Older Reactors (no more builds)

Generation I

Early Prototypes



- Shippingport
- Dresden
- Magnox

Generation II

Commercial Power



- PWRs
- BWRs
- CANDU

New Reactors (current builds)

Generation III
Advanced LWRs



- CANDU 6
- System 80+
- AP600

Generation III+
Evolutionary Designs

Small Modular Reactors

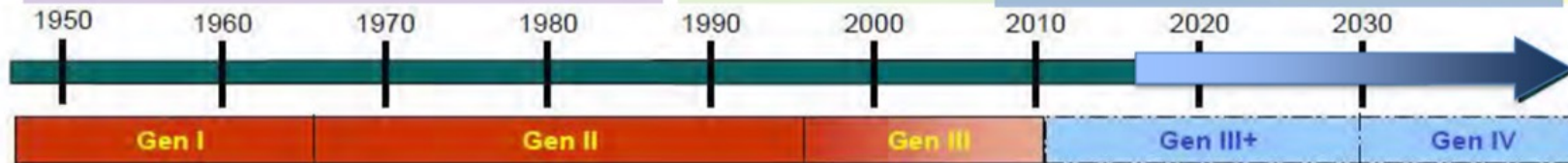
Gen III+
Integral-PWRs

- ABWR
- AC
- AP
- EP
- ES



Advanced reactors

Generation IV
Revolutionary Designs



iPWR - Bu tasarımda, birincil devre bileşenleri reaktörün basınç kabı içine yerleştirilmiştir. içine yerleştirilmiştir.

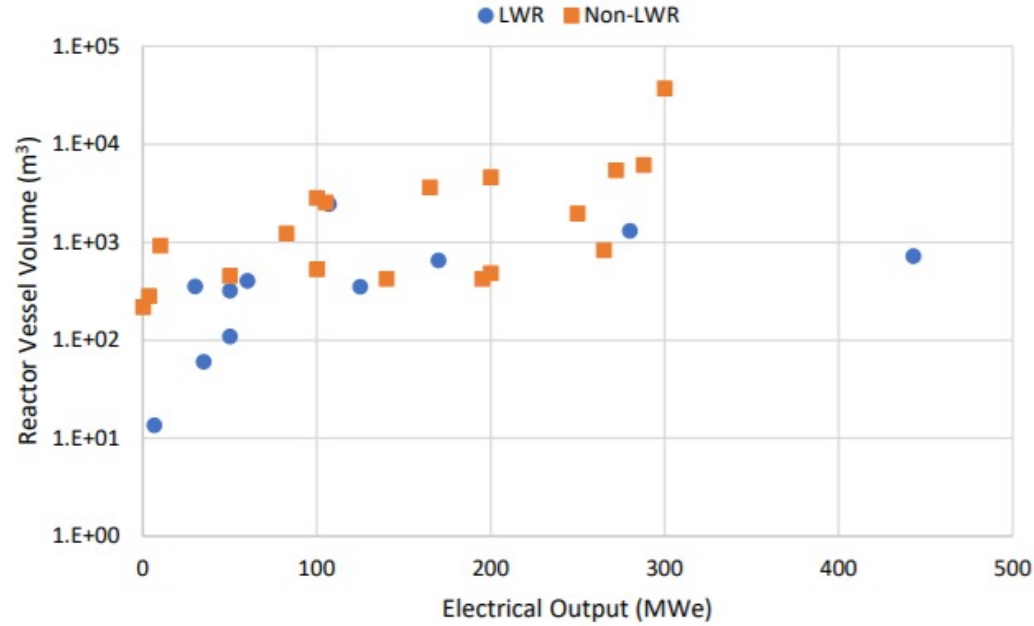
Table 2.1. Classification of SMR Designs Mentioned in IAEA (2020)

Reactor Type		Number of Designs Listed	Representative Products
Light water reactor		Land-based: 25 Offshore: 6	NuScale, GE Hitachi BWRX-300, Russia KLT-40S
High-temperature gas-cooled reactor		SMR: 14 MR: 2	X-energy Xe-100, Japan High Temperature Engineering Test Reactor
Fast reactor		SMR: 11 MR: 1	Toshiba 4S, Oklo Aurora
Molten salt reactor		SMR: 10 MR: 1	Terrestrial Integral Molten Salt Reactor, Moltex SSR-W
Others		MR: 2	Westinghouse eVinci

MR = microreactor, SMR = small modular reactor.

Source: IAEA (2020).

Figure 2.4. Electric Power Output and Reactor Vessel Sizes of SMR Designs Mentioned in IAEA
(2020)



LWR = light water reactor.
Source: IAEA (2020).

- BWR reaktör kabı boyutu örneği: çap 7.1 m, yükseklik 21 m
- PWR buhar jeneratörü boyutu örneği: çap 4,1 m, yükseklik 21 m (RPV-basınç kabı, örneği: çap 4,4 m, yükseklik 12,9 m)

Bazı AB ülkeleri ve nükleer enerji

Polonya

Polonya, 2033 yılına kadar ileri teknolojiye dayalı ilk nükleer reaktörünü kurmayı planlıyor ve 2043'e kadar beş tane daha inşa etmek, bu da 6-9 GW kapasite anlamına geliyor.

- Polonya'nın planının önceliği büyük reaktörler olsa da, HTGR'ler gibi KMR'lerin özellikle ısı üretimi ve kojenerasyon için yararlı olacağı öngörülmektedir.

KMR'ler iklim değişikliğinin azaltılmasına katkıda bulunacak. Sanayi için fosil yakıtların yerini alabilecektir. Isı üretimi için HTGR projesine başlandı. SMR'lere endüstrinin ilgisi de artıyor.

Estonya

KMR'ler iklim değişikliğinin azaltılmasına katkıda bulunacağı öngörülmektedir. Sanayi için fosil yakıtların yerini alabilecektir. Isı üretimi için HTGR projesine başlandı. SMR'lere endüstrinin ilgisi de artıyor.

AB 2050 de sıfır karbon emisyonuna ulaşmak istemektedir ve KMR lerin bu alanda önemli rol alabileceği öngörülmektedir.

Çeşitli reaktörler arasında GE HITACHI BWRX-300 en umut verici SMR'dir. 2021 de lisanslamanın tamamlanması beklenmektedir.

CANDU Owners Group (COG), CANDU sahiplerinin bir platformudur ve KMR'lerin ileri aşamalara taşınması çalışmaları var.

COG altında, çeşitli şirketlerin CEO'larının paylaşmasını içeren bir KMR forumu kurdu. Bu Platform bakış açıları ve ortak zorlukları ele alır. Kanada Nükleer Sanayi KMR kapsamında Eylem Planı oluşturdu ve bir sekreteryaya ile faaliyetlerin organizasyonları sağlanmaktadır ve yol haritası çalışmaları yapmaktadır.

COG ayrıca uluslararası işbirliği çalışmalarını da başlatmıştır. KMR'yi her ülkenin planlamalarındaki zaman dilimlerindeki farklılıkları dikkate alarak yeni işbirlikleride getirmektedirler. Sadece düzenleyiciler değil, aynı zamanda endüstriyel oyuncular ile de işbirlikleri yapmaktadırlar

Kanada ve ABD lisans için hazır durumdadırlar. Ayrıca birçok ülke ve şirketlere yoğun ilgi var. Yapay zeka kullanarak operasyon maliyetlerini düşürmeye yönelik araştırmalar üniversiteler de dahil olmak üzere ortaklarla ilerliyor

BWRX-300 ile kısa vadede kurulum için hazırdır ve endüstriyel ortaklar, uygun fiyatlı tasarım, lisanslama, tedarik zincirleri ve pazar sonrası hizmetler konularında çalışmalar sürmektedir.

- **Çin**, yüksek sıcaklık reaktörünün (HTR) ek olarak önemli olduğunu düşünmektedir.

Kömürle çalışan gücün yerini PWR'lerin alması planlanmaktadır. Hidrojen ve kojenerasyon tasarımları öne çıkıyor.

1970'lerde araştırmalara başlandı ve 2014'ten beri ticari tesisler inşa edildi.

HTR-PM, Shangdong'da kurulmuştur. Teknoloji, HTR-10'a dayanmaktadır ve iki reaktör ve iki buhar jeneratörü bir türbine bağlanmıştır. Yüksek sıcaklıklar ve verimlilik düşük maliyet sağlar.

HTR-PM projesi 2012 yılında inşaatına başlamıştır ve neredeyse tamamı tamamlandı. Kritik ve güç operasyonları 2021 için planlanıyor.

HTR-PM600'ün geliştirilmiş bir versiyonu da geliştirilmektedir.

KMR Pazarı

Name	Capacity	Type	Developer
CNP-300	300 MWe	PWR	CNNC, operational in Pakistan
PHWR-220	220 MWe	PHWR	NPCIL, India
KLT-40S	35 MWe	PWR	OKBM, Russia
CAREM	27 MWe	PWR	CNEA & INVAP, Argentina
HTR-PM	2x105 MWe	HTR	INET & Huaneng, China
VBER-300	300 MWe	PWR	OKBM, Russia
IRIS	100-335 MWe	PWR	Westinghouse-led, international
Westinghouse SMR	225 MWe	PWR	Westinghouse, USA
mPower	180 MWe	PWR	Babcock & Wilcox + Bechtel, USA
SMR-160	160 MWe	PWR	Holtec, USA
ACP100	100 MWe	PWR	CNNC & Guodian, China
SMART	100 MWe	PWR	KAERI, South Korea
NuScale	45 MWe	PWR	NuScale Power + Fluor, USA
PBMR	165 MWe	HTR	PBMR, South Africa; NPMC, USA
Prism	311 MWe	FNR	GE-Hitachi, USA
BREST	300 MWe	FNR	RDIPE, Russia
SVBR-100	100 MWe	FNR	AKME-engineering, Russia
EM2	240 MWe	HTR, FNR	General Atomics (USA)
VK-300	300 MWe	BWR	RDIPE, Russia
AHWR-300 LEU	300 MWe	PHWR	BARC, India
CAP150	150 MWe	PWR	SNERDI, China
SC-HTGR (Antares)	250 MWe	HTR	Areva
Gen4 module	25 MWe	FNR	Gen4 (Hyperion), USA
IMR	350 MWe	PWR	Mitsubishi, Japan
Fuji MSR	100-200 MWe	MSR	ITHMSI, Japan-Russia-USA

Source: World Nuclear

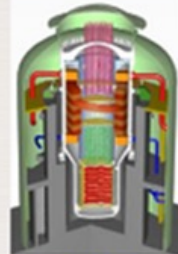
Terrestrial Enerji, maliyet sorununu çözmek için IMSR'yi geliştiriyor

Friday 20th August 2010

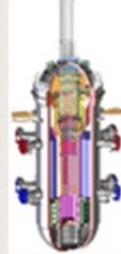
Light Water Cooled SMRs



CAREM-25
Argentina



IMR
Japan



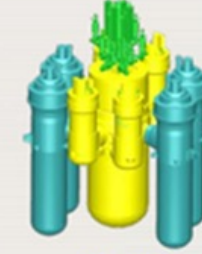
SMART
Korea, Republic of



VBER-300
Russia



WMER-300
Russia



KLT-40s
Russia



mPower
USA



NuScale
USA



**Westinghouse
SMR - USA**



CNP-300
China, Peoples Republic of



ABV-6
Russia

Lightwater SMRs courtesy:prezi.com

NUSCALE & HOLTEC (USA)

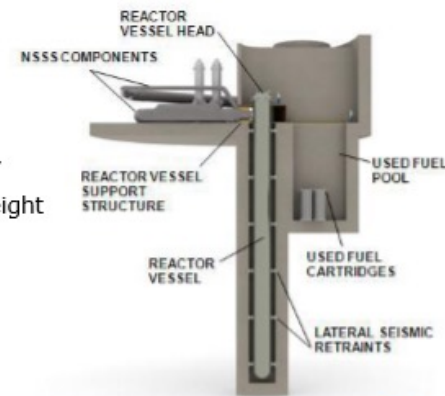
NUSCALE

- 45 MWe
- Integral PWR
- Reactor vessel submerged in water pool
- Natural circulation
- 17x17 fuel assembly
- 1.8 m core active height



HOLTEC

- 145 MWe
- Integral PWR
- Natural circulation
- 17x17 fuel assembly
- 3.6 m active core height



B&W mPower & WESTINGHOUSE SMR (USA)

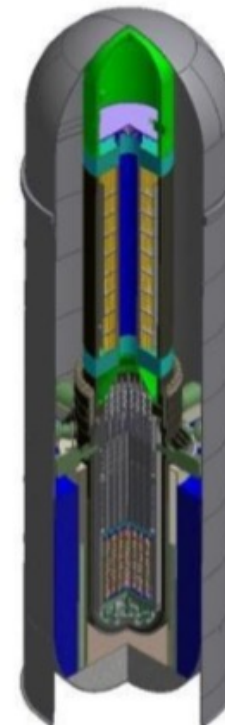
B&W mPower & WESTINGHOUSE SMR (USA)

NATIONAL NUCLEAR
LABORATORY



- mPower
 - 180 MWe
 - Integral PWR
 - Forced circulation
 - 69 17x17 fuel assemblies

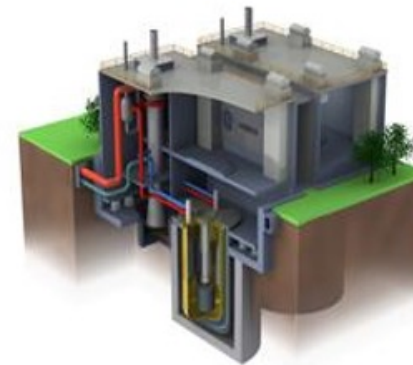
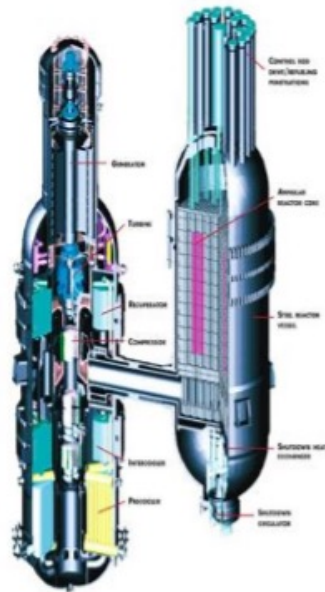
- Westinghouse SMR
 - 225 MWe
 - Integral PWR
 - Forced circulation
 - 89 17x17 fuel assemblies
 - 2.44 m active core height



General Atomics GT-MHR & GE-Hitachi PRISM (USA)

GT-MHR

- 285 MWe
- High Temperature Reactor (HTR)
- Ceramic TRISO fuel
- Helium coolant
- Graphite moderator
- Fuel compact in prismatic fuel blocks



PRISM

- 622 MWe
- Sodium cooled fast spectrum reactor
- Metal fuel
- Passive safety

IAEA (2020) veriler:

Sekizi karada yerleşik LWR dahil olmak üzere toplam 35 SMR; dört açık deniz LWR, altı HTGR, beş sıvı metal soğutmalı hızlı reaktör, yedi erimiş tuz reaktörü, ve beş mikroreaktör.

LWR'ler için /MW (12 adet), ortalama reaktör kabı hacmi :3,05 m³/MW. 25,86 m³ /MW non-LWR ler(35 adet), 3. nesil büyük güç reaktörlerindeyse bu rakamlar 0.5-07 m³/MW dolayındadır. Bu büyük farklılıklar reaktörlerin teknik özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Bu da şu demekler hacim başına güç oranları KMR lerde konvansiyonel güç reaktörlerine göre yüksektir.

Örneğin ETR ve HTGR lerde moderatör olarak grafit kullanıldığında, erimiş tuzun ve grafitin hava ve suyla temasının kesilmesi gerekmektedir. Bu durumda da ilave teknik donanımlar ve malzemeler gerekmektedir. Bu dizaynlarda hacimsel alan büyümesi demektir.

Daha büyük bir reaktör kabının maliyet üzerinde olumsuz bir etkisi vardır.

ABD için gelecek yedi yıl içinde tam kullanıma geçecek gelişmiş reaktörler tasarlanmaktadır.

Risk azaltma; gelecekte ileri reaktörlerin devreye girmesinde en önemli faktörlerden olacaktır.

2020 değerlendirmelerine göre 2030 da ileri reaktörlerin ticarileşmesi beklenmektedir.

DOE, (sodyum soğutmalı hızlı reaktör), TerraPower ve GE-Hitachi ve Xe-100 (yüksek sıcaklıkta gaz soğutmalı bir reaktör) tarafından geliştirilen reaktör ve X-energy tarafından geliştirilen ARDP (Advanced Reactor Demonstration Program) programı kapsamında her birine 80 milyon ABD Doları verdi.

DOE ayrıca, gelişmiş nükleer yakıtların araştırma ve geliştirmesini (Ar-Ge) teşvik etmektedir.

DOE ayrıca düşük zenginlikli uranyumlu HALEU (high-assay low-enriched uranium) yakıt demetleri üreticilerine de destek sağlamaktadır.

HALEU yakıtları; non LWR (Hafif susuz) KMR için yeni bir yakıt seçeneği olabilirler ve ABD de üretilmiş bu yakıtların bir kısmı çevre koşullarına uygun olarak INL de depolanmışlardır.

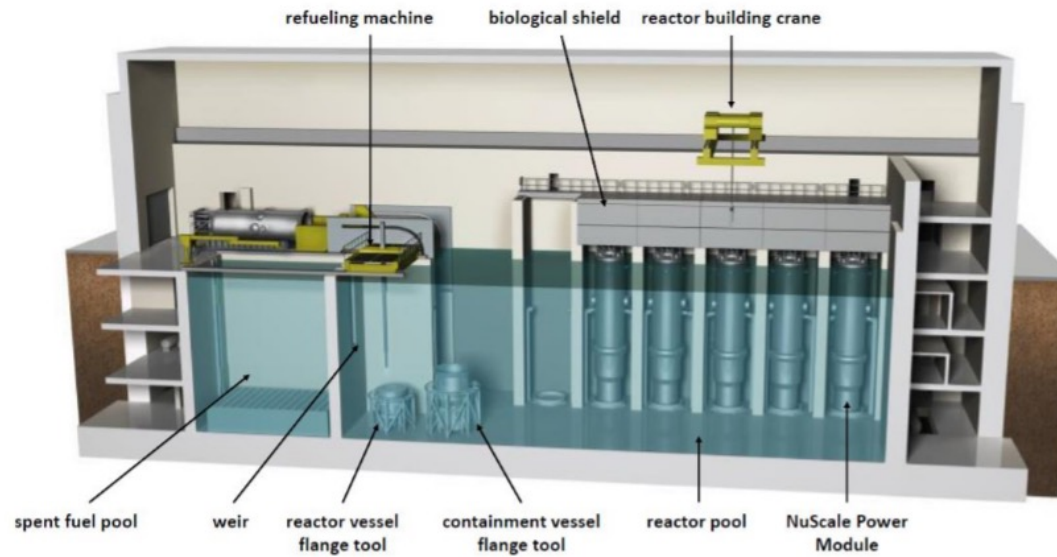
Yani ABD daha reaktörler tasarım aşamasında iken buralarda kullanılacak yakıtları üretilip testlerini de yapmaktadır. Bizimde benzer çalışmalara acilen başlamamız gerekmektedir

KMR'lerin yakıt çevrimi özellikleri, büyük güç reaktörlerinin yakıt çevrimlerine temel olarak benzerdir.

Ancak bazı KMR türleri için, özellikle “devrim niteliğinde” yeni konseptler için, yakıt elemanlarının da yeni bir tip olduğunun dikkate alınması gerekir. .

NuScale Power , INL sahasında KMR reaktör inşası için çalışmaktadır.

Figure 3.2. Reactor Building Design of the NuScale SMR



Source: Reyes and Hopkins (2018).

Çin, nükleeri güvenilir bir enerji olarak görmekte ve KMR'lere önem vermektedir.

Uzak bölgelerdeki küçük şebekelere katkıda bulunacağı öngörülmektedir. Son zamanlarda, 200 MW yüksek sıcaklıklı bir gaz soğutmalı reaktör (HTGR) araştırma reaktörü çalışmaları başlatılmış ve 100 MW'lık basınçlı su reaktörü üzerinde araştırmalara başlanması planlanmıştır.

- SMR'ler düşük karbonlu bir gelecek için önemlidir. Teknik konularda uluslararası işbirliği standartlar ve düzenleme sistemleri çok önemlidir

Ülkeler ve SMR Çalışmaları

Fransa



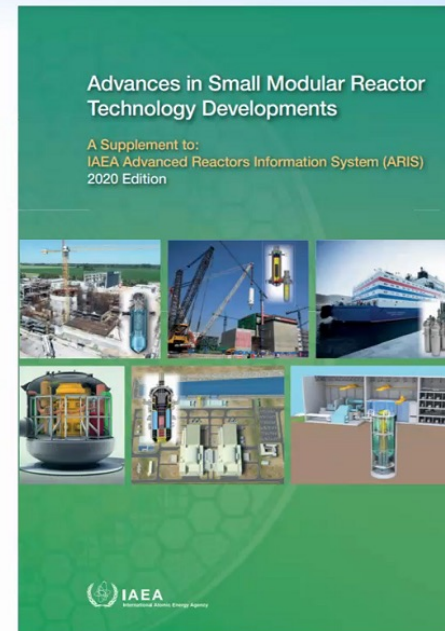
Multiple SMR projects are currently under development (about 50 designs and concepts) and have varying technology readiness levels.

For each project, a unique value proposition has to be developed to address the targeted market needs and expectations.

Costs and delivery times need to be adequately estimated, analysed and optimised.

Revenues – and financing – must be secured, and the business case demonstrated.

Finally, the economic impact of SMR development and deployment has to be quantified and communicated to gain societal support.



Bazı az gelişmiş ülkelerde nükleer enerjiye bakış

Kenya

Artan talebi karşılamak için Kenya, 2035'ten sonra nükleer enerjiye geçmeyi planlıyor. Kenya Nükleer Güç Programı (NuPEA), 2010 yılında başlatıldı ve saha karakterizasyonu ve 2020'de bir araştırma reaktörü projesi ve büyük reaktörlerin ardından KMR ler planlanıyor. Öncelik doğal olarak maliyeti az olan projelerde.

Ürdün

Bir teknik seçerken basınçlı su reaktörlerine odaklanıyoruz, hafif su reaktörleri ve yüksek sıcaklıkta gaz soğutmalı reaktörler ve sıvı metal reaktörleri ve erimiş tuz reaktörleri hariçtir.

Ürdün'ün (GSYİH) değeri dikkate alındığında yatırımın ölçeği sınırlıdır ve finansal bir risk olabilir.

Danimarka

SEABORG

TEKNOLOJİMİZ

HAKKIMIZDA

BİZE KATILIN

CMSR

Yeni tip nükleer
reaktör

Kompakt Erimiş Tuz Reaktörümüz CMSR, güvenlidir, önemli ölçüde daha küçüktür, çevre için daha iyidir ve fosil yakıtlara kıyasla bile ucuzdur.



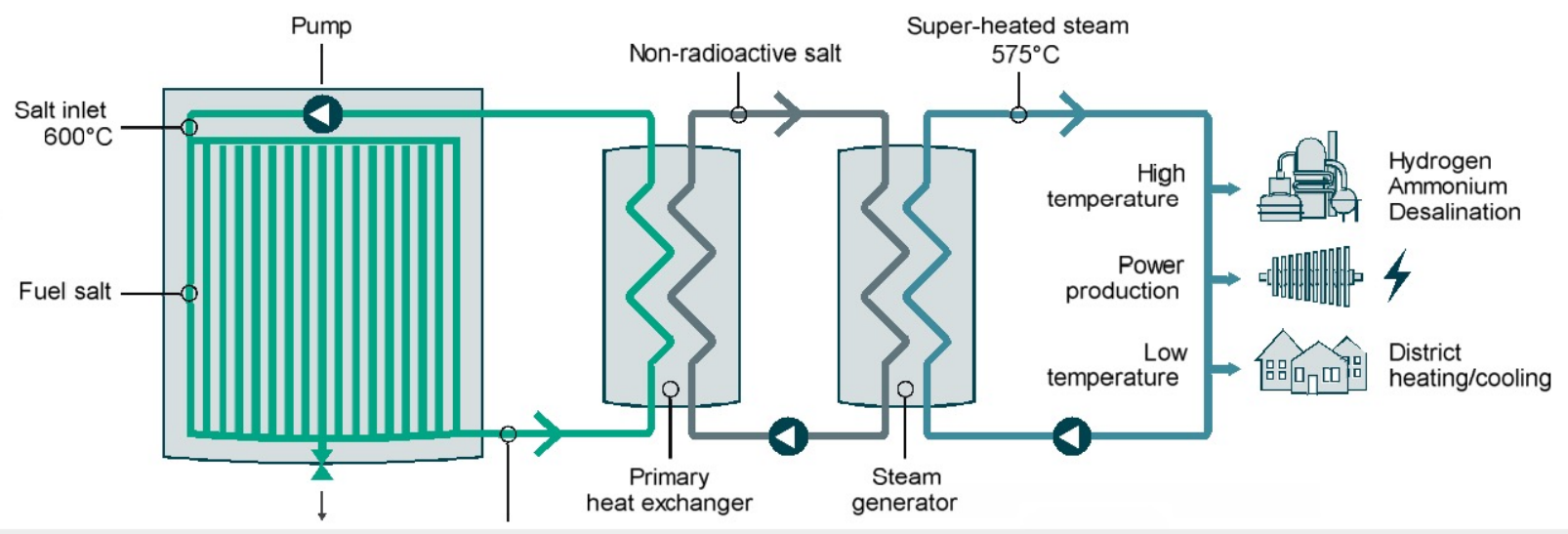
< Ahmet YAYLI Me IAEA, M... (Host...) Peder Norborg Aiki VAN HECK Cohost, internal Alin Tatu Anton CHAUSHEVSKI > Layout

Viewing P. Norborg_Sea...



THE COMPACT MOLTEN SALT REACTOR

Seaborg scope of supply



Ahmet YAYLI
MSc



Peder Norborg

Ali VANN HEIK
Chief, Internal

Ali Tavu

Anton CHAUSHEVSKI



TURNKEY FLOATING POWER PLANT

The CMSR Power Barge

Flexible, convenient and fast:

- Standard designs with 200/400/600/800 MWe
- Fully commissioned at shipyard
- First power barge delivered in 2025

	Length [m]	Thermal output [MWt]	Electrical output [MWe]
2x CMSR	98.4	500	200
4x CMSR	160.8	1000	400
6x CMSR	223.2	1500	600
8x CMSR	285.6	2000	800



Ahmet YAYLI
Me



Peder Norborg

Aiki VAN HECK
Cohost, internal

Alin Tatu

Anton CHAUSHEVSKI

200 MWe power barge

400 MWe power barge

600 MWe power barge

**REGULATORY
APPROVAL**



Participant list showing names and video thumbnails: Ahmet YAYLI (Me), IAEA, M... (Host...), Peder Norborg, Aiki VAN HEEK (Cohost, internal), Alin Tatu, Anton CHAUSHEVSKI. Includes a 'Layout' button.

Viewing P. Norborg_Sea... ▾



UN REGULATORY FRAMEWORK

Complying with IAEA through IMO regulations

IAEA

The International Atomic Energy Agency is the world's central **intergovernmental forum** for scientific and technical **co-operation** in the nuclear field.

It works for the **safe, secure** and peaceful uses of nuclear science and technology, contributing to international peace and security and the United Nations Sustainable Development Goals.

IMO

The International Maritime Organization – is the United Nations **global standard-setting authority** for the **safety, security** and environmental performance of international shipping.

Its main role is to create a **regulatory framework** for the shipping industry that is fair and effective, universally adopted and universally implemented.

Ahmet YAYLI Me
IAEA, M... (Host...)
Peder Norborg
Aliko VAN HEEK Cohost, internal
Alin Tatu
Anton CHAUSHEVSKI

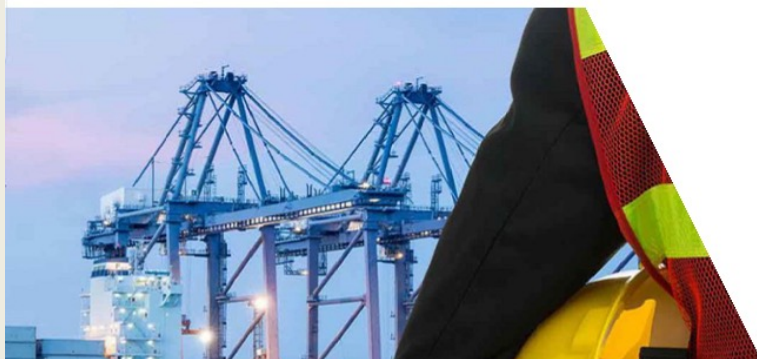
Layout >

Viewing P. Norborg_Sea... ▾



ABS – CLASSIFICATION SOCIETY

American Bureau of Shipping (ABS) is a member of the **International Association of Classification Societies (IACS)**



- Founded in 1862 with HQ in Texas. Operates 200 offices with **5,500 employees**.
- Rules established by IACS also adopt and include the rules from the **International Maritime Organization** on behalf of the **flag states**.
- Assessments for the United States Department of Homeland Security and US Coast Guard.
- American Bureau of Shipping (ABS) Group has performed **advanced compliance assessments** for several **nuclear facilities**.

Ahmet YAYLI
Me



Aliki VAN HEEK
Cohost, internal

Alin Tatu

Anton CHAUSHEVSKI

ONAY SÜRECİ



APPROVAL IN PROCESS

Enabling worldwide market

July 2020

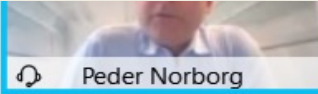
Feasibility Approval from the
American Bureau of Shipping.
(Including compliance matrix to IAEA guidelines)

Timeline:

- 2023** Commence serial production
- 2025** Get first reactor online
- 2027** Obtain type approval



Ahmet YAYLI
Me



Peder Norborg

Aliki VAN HEEK
Cohost, internal

Alin Tatu

MODULAR CMSR POWER BARGE

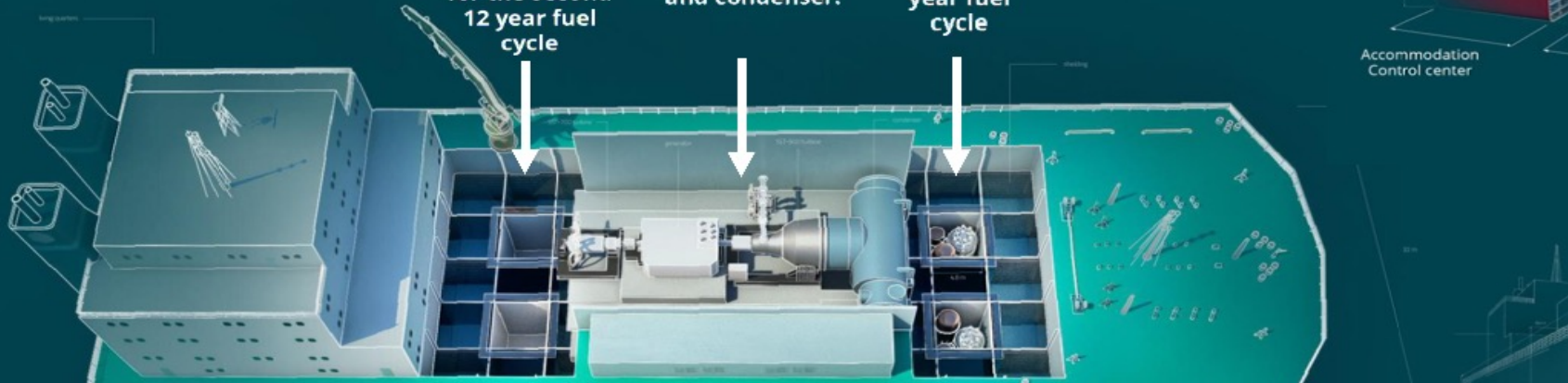
24 years operational life time

2 empty CMSR compartments for the second 12 year fuel cycle

Steam Turbine with generator and condenser.

2 CMSRs for the first 12 year fuel cycle

Accommodation Control center



Ahmet YAYLI
Me



Peder Norborg

Aliki VAN HEEK
Cohost, internal

Alin Tatu

Anton CHAUSHEVSKI



WASTE AND DECOMMISSIONING

Seaborg's goal is to process and recycle spent fuel salt to minimize waste footprint and reduce storage to **300 years**

Waste from one CMSR:

- Activated components fit in two **40-foot containers**
- Spent fuel salt fits in a **10-foot container**

CO₂ impact from one CMSR:

12 years of operation will save **8,400,000*** tons of CO₂



GREEN FIELD DECOMMISSIONING

RUSYA

in and development of smart



- **1945** – “birth” of nuclear industry
- **Since 1954**, O Afrikantov (ROS) been designing reactors (<60 M
- **Over twenty s reactors** for civ applications hav manufactured al so far
- **Total experier** operation of sma icebreaker fleet reactor years

Ahmet YAYLI Me IAEA, M... (Host...) Aliki VAN HEK Cohost, internal Fedor Alin Tatu Artan M

Viewing Fedor's applicati...
Competitiveness of nuclear power in Russia

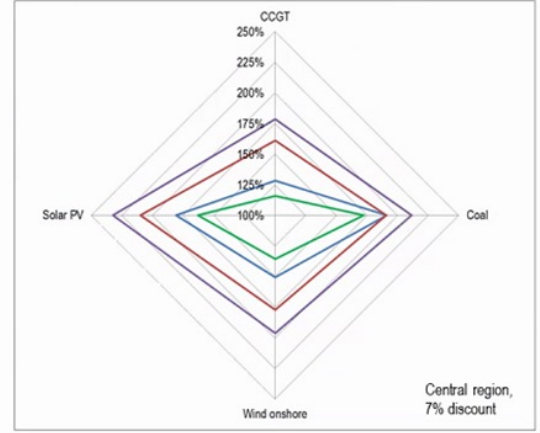


- Nuclear plants provide 12% of total installed capacity and 19% total electricity production in the national power system (UPS)
- Russia has well-developed domestic industry providing the full cycle of equipment production and construction of nuclear power plants as well as their fuel supply. It results to:
 - low capital costs of large-scale 1200 MW units with VVER-type reactors (near 2000 USD/kW for NOAK units)
 - expected 15% decrease of capital costs for NOAK units with VVER-TOI type reactors after 2030
 - serial construction of units with fast reactors after 2040 and further 15% decrease of capital costs
 - different SMR concepts (8-300 MW unit capacity); Bilibino SMR was commissioned in 1974. New floating SMR was commissioned in 2020.

Electricity production structure in UPS of Russia, TWh

	2010	2019	2040 (Strategy)	2040 (Least cost plan)
Total UPS	1004,7	1080,6	1481,1	1481,1
- Nuclear	170,2	208,8	281,9	399,0
- Hydro	158,9	190,3	227,1	227,8
- RES	0,0	1,6	17,6	13,8
- Thermal fossil	675,5	679,9	954,5	840,6
NPP share, %	16,9%	19,3%	19,0%	26,9%

Competitiveness of large-scale NPPs vs alternative types of plants estimated as a ratio of their LCOE



- New nuclear plants are competitive with conventional fossil power plants and they are the least cost option for the non-carbon electricity production
- The role of NPPs will increase. Actual adopted strategy assumes moderate growth of nuclear generation. According to the least-cost development plan, the optimal volumes of NPP generation may be 1,5 times higher

Russia need floating nuclear ?



- Northern and remote regions occupy **more than 50%** of the Russian territory
- **~20 mn** people live there
- **Richest reserves** of minerals have been discovered and developed here
- **Unified energy system** of Russia covers only **~15%** of the country's territory
- **Northern regions** of Russia are located in **decentralized energy supply zone**
- **Low powered thermal energy** sources prevail there
- FNPP provides **reliable and clean heat and power supply** to the population and **ensures potential** for further industrial consumers of Chukotka
- In the future FNPP **will replace** ageing Bilibino NPP and Chaunsk coal fired thermal power plant

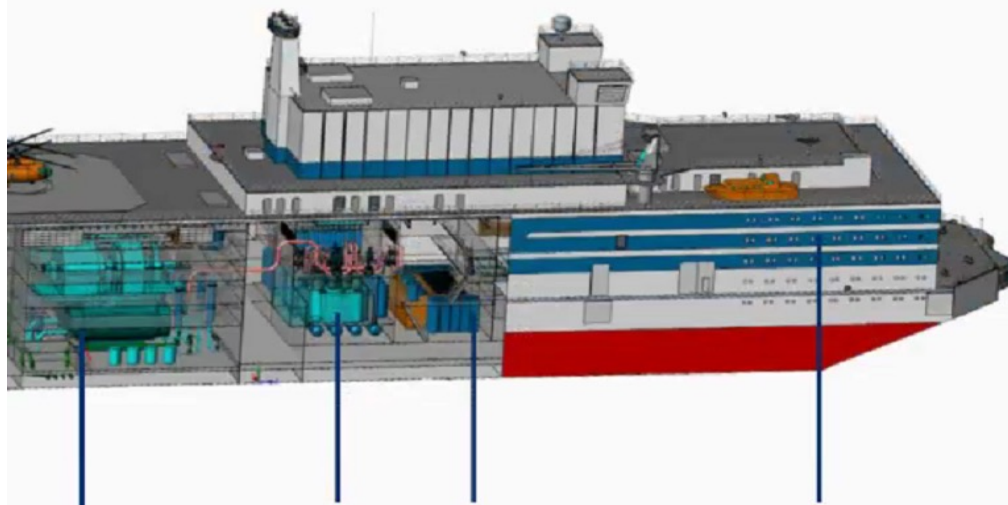
Speaking: Elena Pashina Rusatom

Ahmet YAYLI
Me

Fedor

Elena Pashina

Power unit equipment layout



TURBINE REACTOR SPENT NUCLEAR FUEL AND SOLID RADIOACTIVE WASTE STORAGE RESIDENTIAL UNIT

Speaking: Elena Pashina Rusatom

Ahmet YAYLI
Me

Fedor

Elena Pashina I

Yakıt?

General parameters



Displacement	21 000 t
Length	140 m
Beam	30 m
Draught	5.6 m
Fuel cycle	3 years
Design life	40 years
Time to maintenance	12 years
Fuel enrichment	<15.7%

40S

77 MWe

150 MWth



CONTROL AND SAFETY RODS

MAIN CIRCULATION PUMPS

CORE

Speaking: Elena Pashina Rusatom

Ahmet YAYLI
Me

Fedor

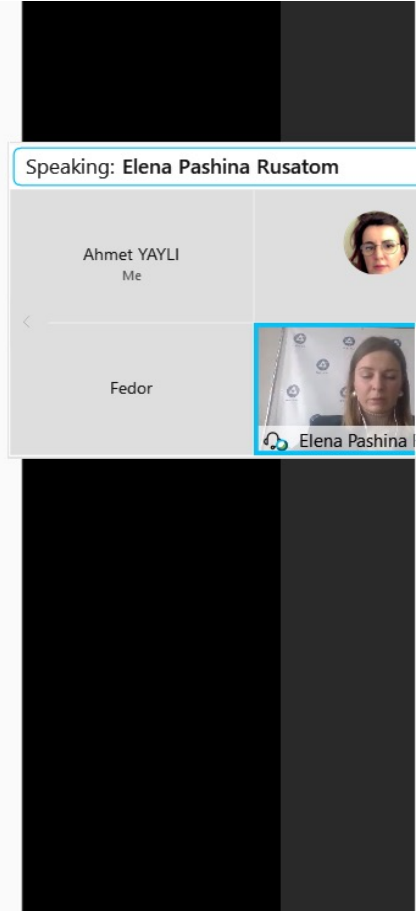
Elena Pashina

Süreçler

Murmansk



- **July-September 2018** – fuel loading into reactors
- **November 2018** – KLT-40S reactors attained criticality
- **March 2019** – comprehensive mooring trials of the FPU completed
- **April 2019** – FPU coloring
- **June 2019** – operation licence is granted by Rostekhnadzor
- **August 2019** – FPU left Murmansk for Pevek



Protection against external hazards and environment protection



Seismic impact

- Vertical acceleration of up to 1.8 m/sec²

Aircraft crash

- 10-ton helicopter crash from 50 m height

Tsunamis

- Safety is provided by the design of the vessel and special onshore infrastructure including the breakwaters protecting the vessel

Total blackout

- Safety is guaranteed during unlimited grace period

Environment

- No impact on the biosphere at the site
- No fuel handling at the site

Speaking: Elena Pashina Rusatom

Ahmet YAYLI
Me

Fedor

Elena Pashina



MR evolution: from OKTM-200



PWR technology

duration

dimensions, **35% less in mass***



Speaking:

Ahmet YAYLI
Me



Fedor



RITM series SMR solutions for the market

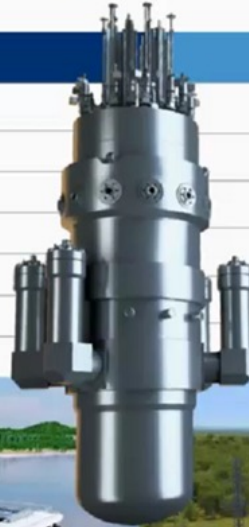


Floating solution

Reactor	2 x RITM-200M
Electrical capacity	100 MW
Fuel cycle	up to 10 years
Design life	60 years
Length	112 m
Beam	30 m
Draught	5 m

Land-based solution

Reactor	2 x RITM-200N
Electrical capacity	110 MW
Fuel cycle	up to 6 years
Design life	60 years
Plant area	0.06 km ²
Construction period	3-4 years



Приложению iaee.webex.com предоставлен доступ к вашему экрану. [Закрывать доступ](#) [Скрыть](#)

Speaking: Elena Pashina Rusatom

Ahmet YAYLI
Me

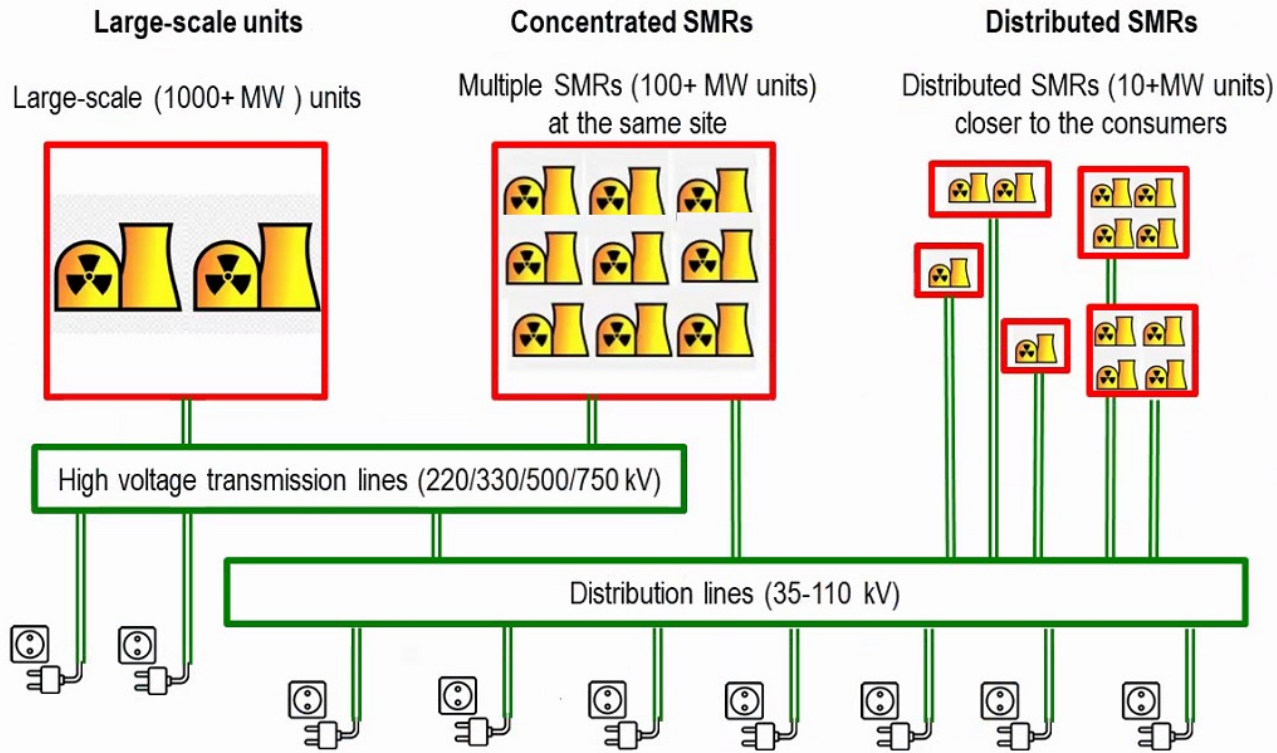


Fedor



Elena Pashina

Alternative nuclear projects by unit size and location



GenIV Reaktörlerinde Yapısal Malzemeler

IV. Nesil gereksinimleri ve teknik zorluklar

Bu reaktörlerin bazı öncüleri, örneğin SFR ve VHTR gibi geçmişte inşa edildi, ancak IV. Nesil gereksinimlerinin bazıları karşılamadı.

Teknolojinin veya gereksinimlerin odaklanması gereken dört öncelikli alanı şunlardır:

- **sürdürülebilir nükleer enerjinin geliştirilmesi**
- **rekabet gücünün korunması veya artırılması**
- **güvenlik ve güvenilirliğin iyileştirilmesi ve artırılması**
- **Nükleer silahlanma yayılmasının önlenmesi ve fiziksel korumanın sağlanması.**

Table 1.1 Overview of Generation IV systems

System	Neutron spectrum	Coolant	Outlet temperature (°C)	Fuel cycle	Size (MW _e)
VHTR (very-high-temperature reactor)	Thermal	Helium	Up to 1000	Open	250–300
GFR (gas-cooled fast reactor)	Fast	Helium	850	Closed	1200
SFR (sodium-cooled fast reactor)	Fast	Sodium	500–550	Closed	50–150 300–1500 600–1500
LFR (lead-cooled fast reactor)	Fast	Lead	480–570	Closed	20–180 300–1200 600–1000
MSR (molten salt reactor)	Thermal/ fast	Fluoride salts	700–800	Closed	1000
SCWR (supercritical water-cooled reactor)	Thermal/ fast	Water	510–625	Open/ closed	300–700 1000–1500

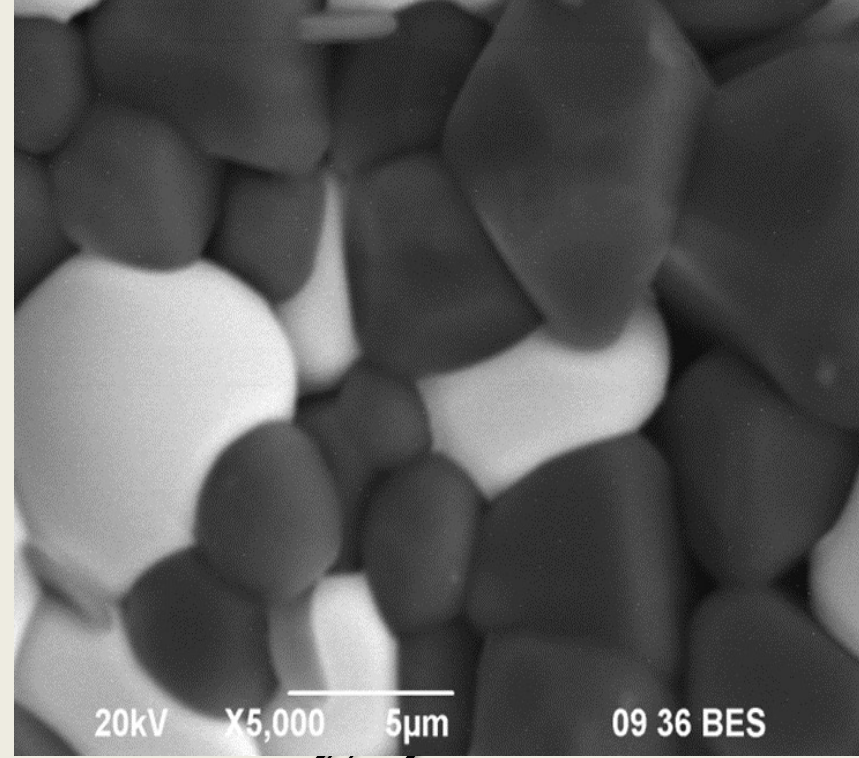
TÜRKİYE NÜKLEER YAKIT ÇEVİRİMİ ÇALIŞMALARI KMR YAKIT
DÖNGÜSÜ İÇİNDE NELER YAPILDI NELER YAPILABİLİR?

YAPILANLAR

YAPILMASI GEREKENLER

KMR
TASARIM
MALZEME ÇALIŞMALARI
YAKIT ÇEVİRİMİ ÇALIŞMALARI

TORYUM- URANYUM YAKIT ÇEVİRİMLERİ



TAEK Toryum-Uranyum Yakıt Çevrimi
Çalışmaları

Toz Metalurjik ve Sol-Gel Yöntemleri

UO₂

ThO₂

(U,Th)O₂

(U,Ce)O₂

(Th, Ce, Al, Mg) oksit Spinell
IMF

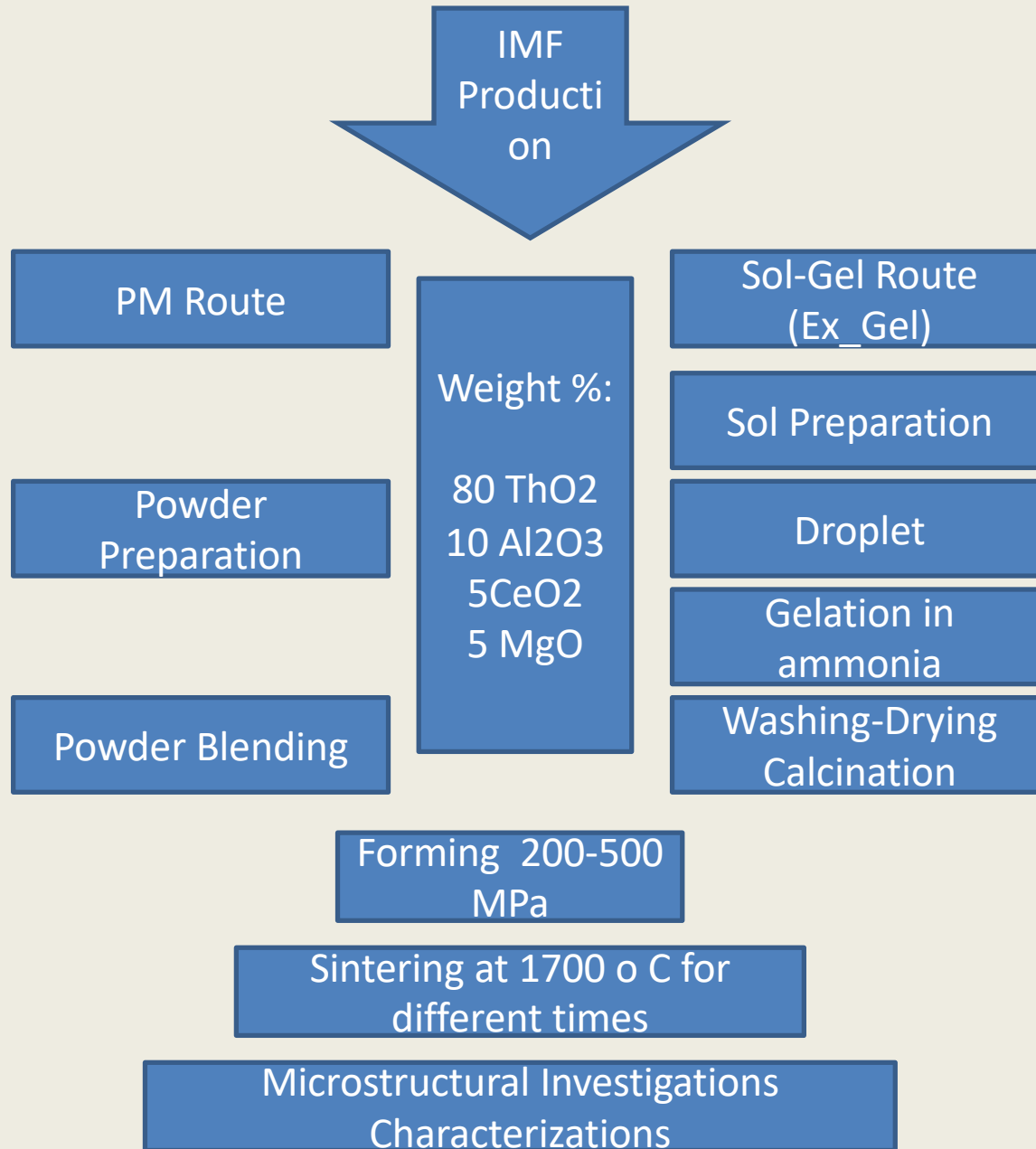
UC

ThC

(U,Th)C

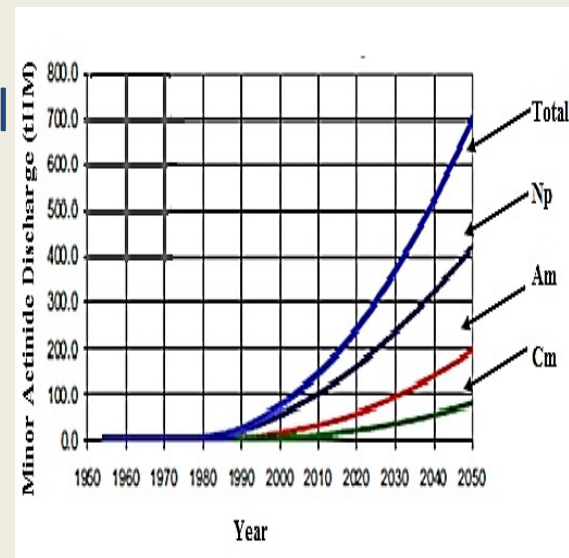
(U,Th)N?

Nadir Toprak –Toryum Ayırma Çalışmaları



The Production of the Thoria Based Inert Matrix Nuclear Fuel by Powder Metallurgy

- Plutonium Management
 - OECD/NEA 2011
 - 500 tons Pu
 - Nuclear weapon warhead
 - Reprocessing of spent fuel
 - Prolifiretion and environmental
- Minor Actinides
 - Radiotoxic material
 - Increasing
- Thoria based IMF
 - Reduce Pu stockpiles
 - Transmutation of minor actinides



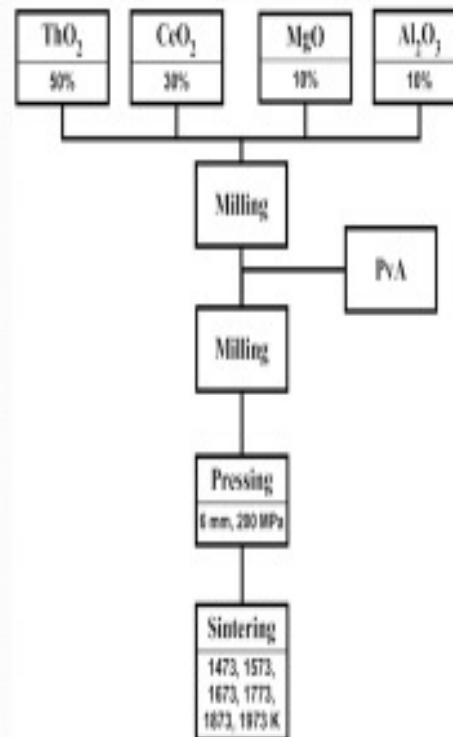
The Production of the Thoria Based Inert Matrix Nuclear Fuel by Powder Metallurgy

- Experimental Studies

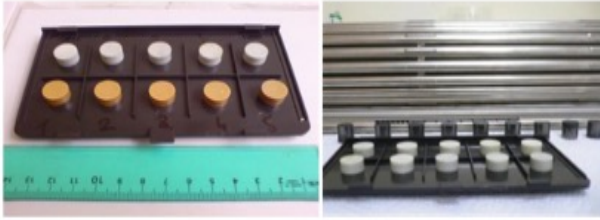
- Pellet Production
 - Blending powders
 - Adding PVA for bindering
 - Pressing at 200 Mpa
 - Sintering at elevated temp.



Sintered pellets



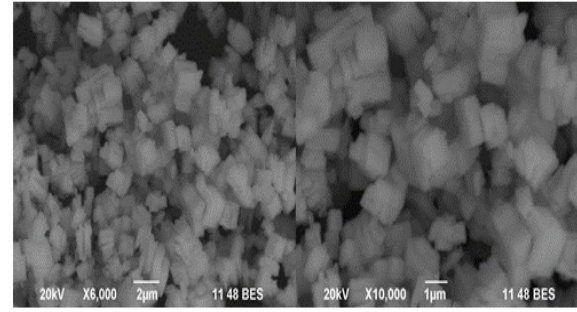
Flow sheet of the pellet production



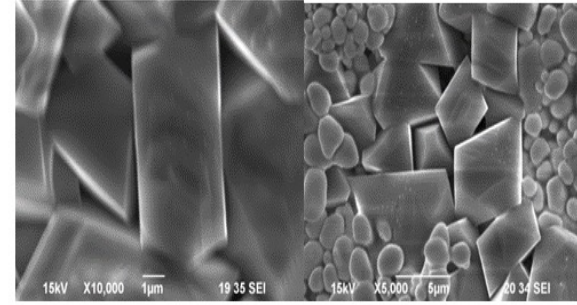
ÇNAEM'de Üretilen Toryum dioksit, ThO₂ Nükleer Yakıt Peletleri



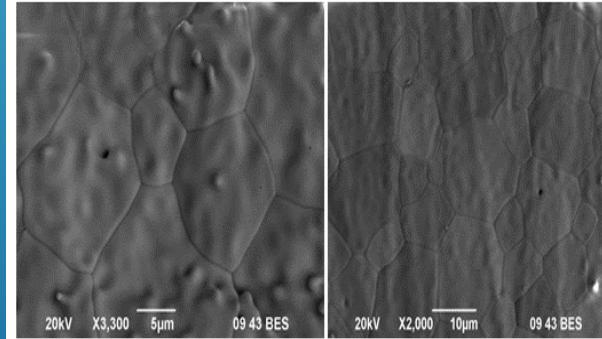
ÇNAEM'de Sol-Gel Yöntemiyle Üretilen (U,Th)O₂ Nükleer Yakıt Peletleri



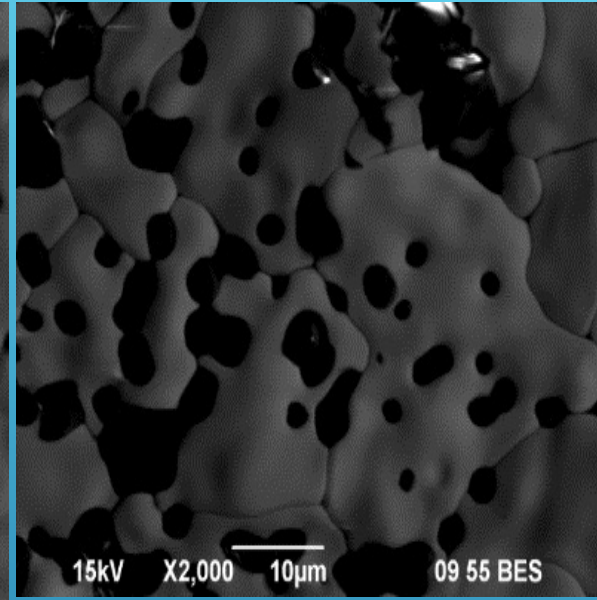
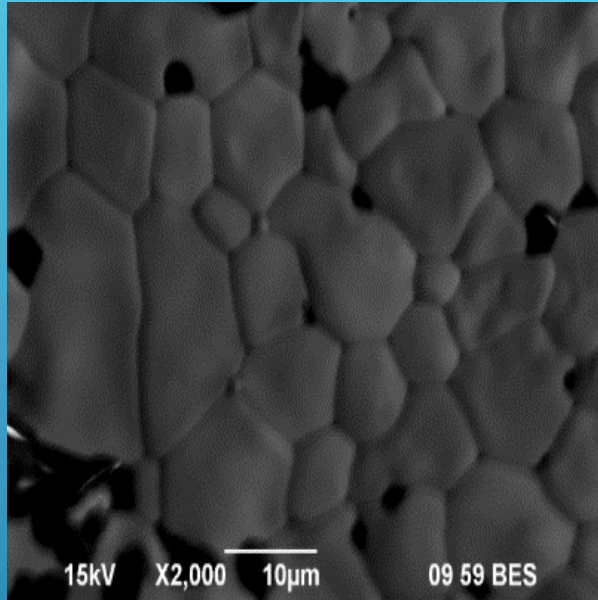
ÇNAEM'de Üretilen ThO₂ Tozlarının Elektron mikroskobu Görüntüleri



ÇNAEM'de Üretilen Toryum Esaslı İnert Matris Nükleer Yakıt peletlerinin Elektron Mikroskobunda Alınmış Mikro Yapı Görüntüleri



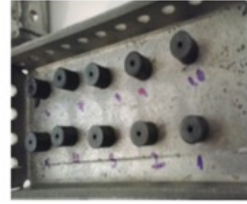
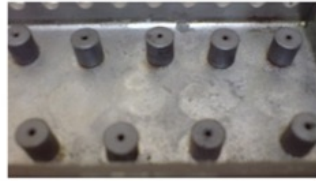
ÇNAEM'de Sonokimyasal Yöntemle (Dünyada ilk kez ÇNAM de Yapılmıştır) Üretilen Toryum Dioksit Nükleer Yakıt peletlerinin Elektron Mikroskobunda Alınmış Mikro Yapı Görüntüleri



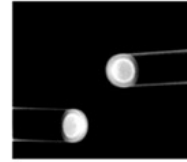
IMF PM 1700 – 12
h



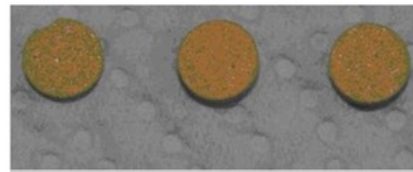
Resim 7. Yarı otomatik iç jelleştirme düzeneği ve bu yöntemle üretilen UO_2 peletleri



Resim 8. Türkiyede ilk kez ÇNAEM'de üretilen WWER tipi sinterlenmiş UO_2 (solda) ve yanabilir soğuruculu $UO_2-Gd_2O_3$ peletleri(sağda)



Resim 9. Sinterlenmiş UO_2 (siyah)ve ThO_2 (beyaz) peletleri ve zircaloy zarfta tapa kaynak röntgeni



Resim 10. Dış jelleştirme ile elde edilmiş (U, Th) O_2 ve tekrar sinterlenen ThO_2 peletleri

Sol-gel yöntemiyle
toryum
küreciklerinin eldesi

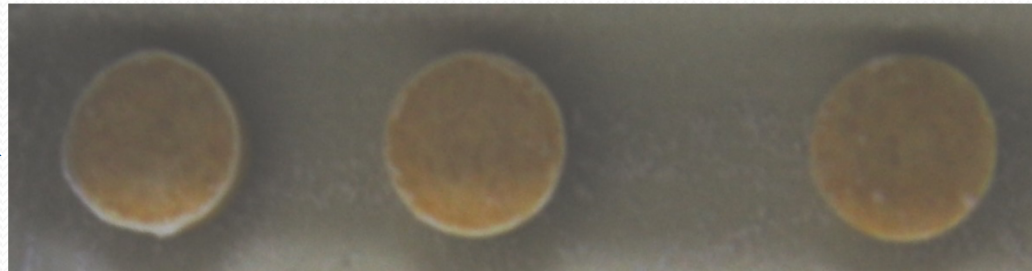


TRISO

Sol-gel yöntemiyle
Uranyum
küreciklerin
eldesini

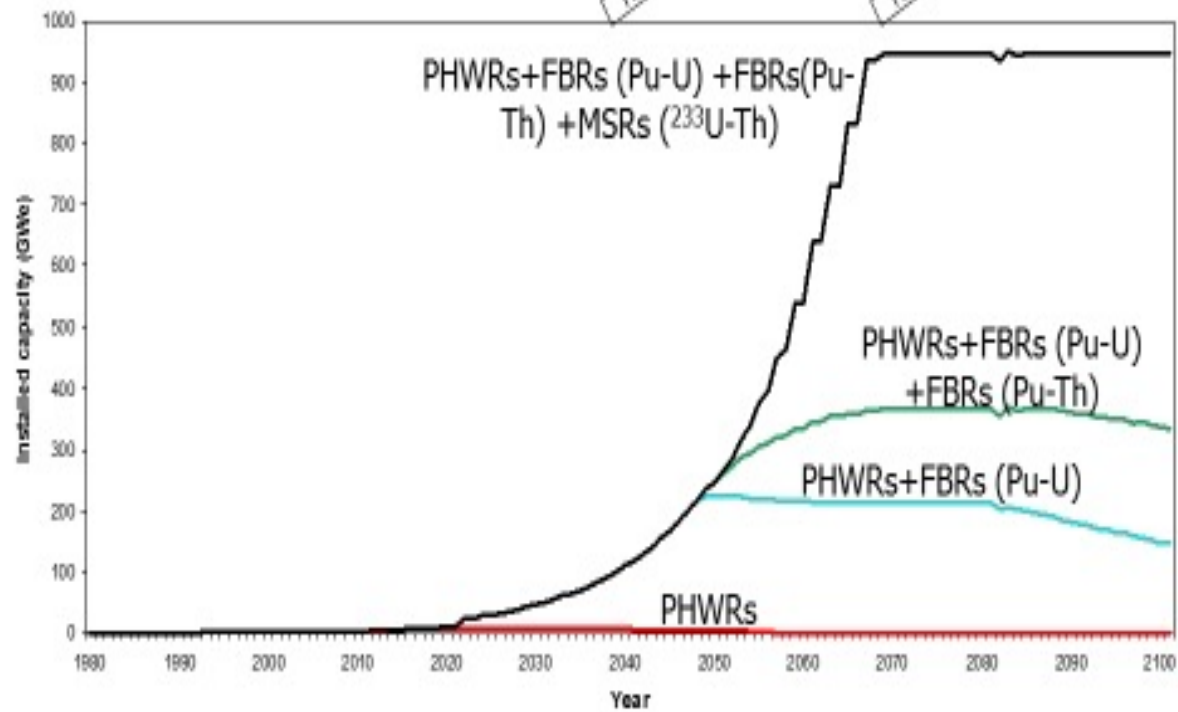
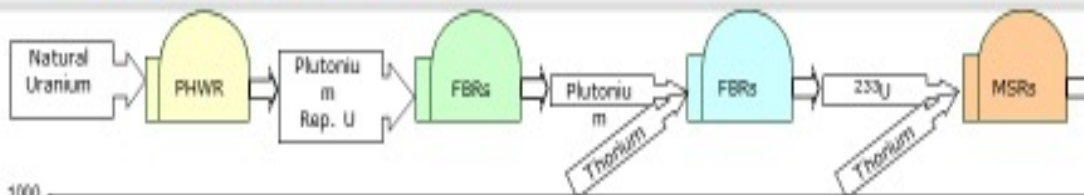


SGMP



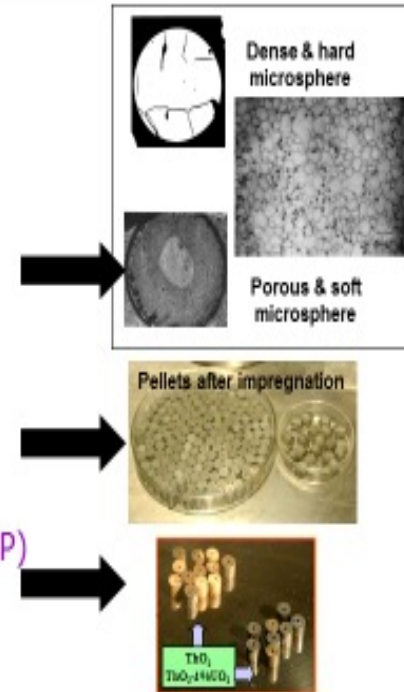
$(Th_{0.9}, U_{0.1})O_2$ Dış jelasyon yöntemiyle üretilmiş yakıt peletleri

Role of thorium in sustainable growth of nuclear power- A case study for India



Manufacturing routes for (Th,U)O₂ fuel tried at BARC

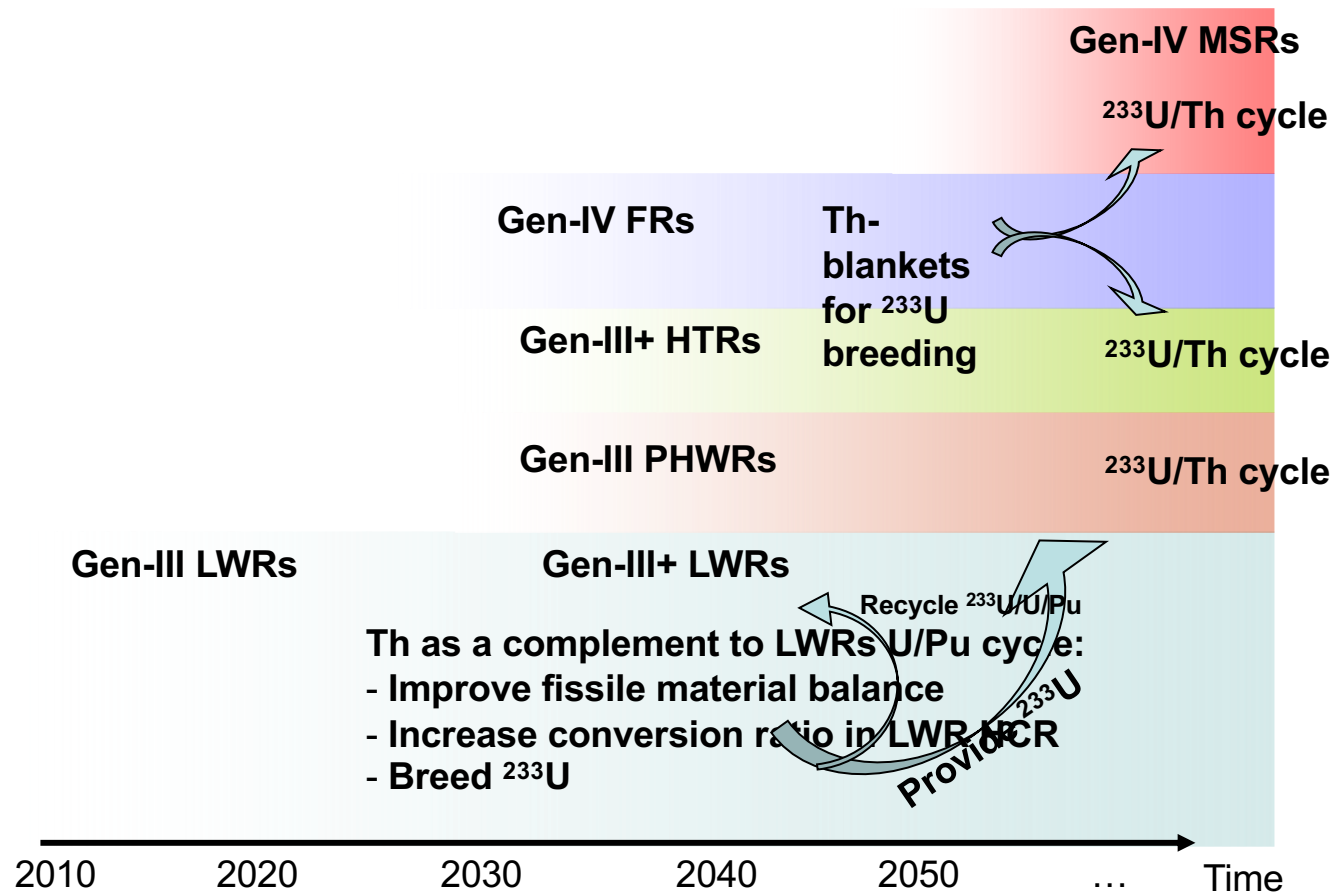
- Powder metallurgy route
- Sol gel microsphere pelletization (SGMP)
 - Carbon black (30 g per mol of Th and U) was added to the broth and subsequently removed by controlled oxidation during heat treatment to obtain porous Gel microspheres.
- Pellet impregnation
- Coated agglomerate pelletization (CAP)
 - Coating of U₃O₈ on ThO₂ granules
- Advanced CAP(ACAP)
- Co-precipitation from respective solutions



Sintering of thorium fuel



Scenarios for Thorium Use



source: Aliko van Heek Thorizon 1 March 2011

Ceramic Coated Particles for the HTR

HTR

1954 P Fortescue

1956 R Schulten

History of coated particles:

1957 R A U Huddle

1959 W Goeddel

1961 J Oxley, Battelle
fluidised bed coating

Manufacturing

United States

United Kingdom

France

Belgium

Germany

Russia

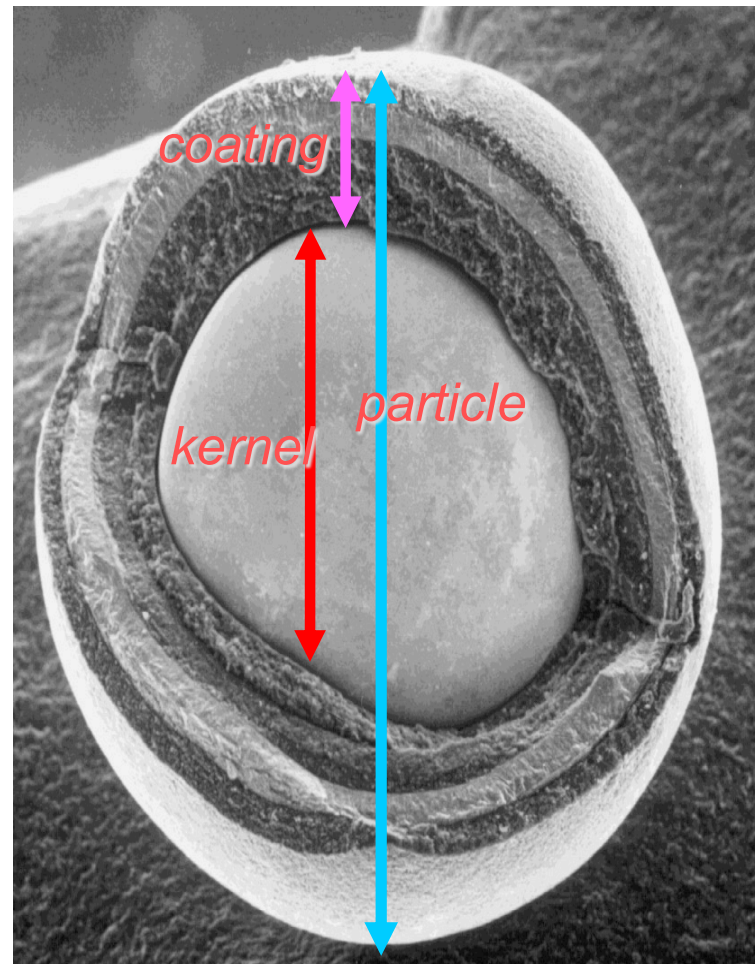
India

Japan

China

South Africa

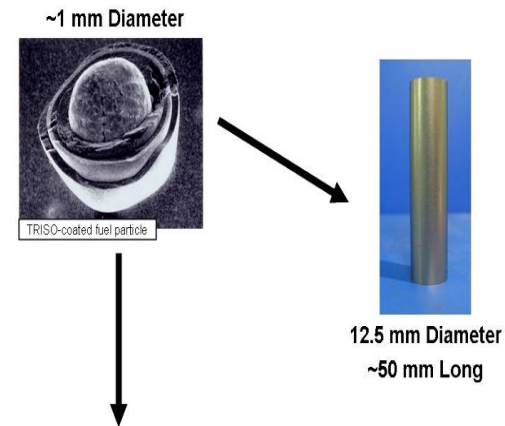
South Korea



The HEU/Thorium Fuel Cycle extensively studied in early HTR development in both the USA and Germany

High Temperature Reactors (HTRs)

- AVR (Germany)
- Peach Bottom (USA)
- THTR (Germany)
- Fort St. Vrain (USA)



NUCLEBRAS/CDTN

R.B. Pinheiro*, F.A.N. Carneiro, F.S. Lameiras*, R.A.N. Ferreira, W.B. Ferraz,
M.S. Dias, M.L.L. Soares, E.P. de Andrade, H.A. Mascarenhas, A.M.M. dos Santos,
L.C.M. Pinto, A. Santos, S.A.C. Filgueras, M.J. de O. Lopes.

SIEMENS KWU/Nuclear Fuel Cycle

M. Peehs*, G. Schlosser, F. Wunderlich, H. Gross, W. Doer, M. Gaertner, G. Kaspar,
H. Finneemann, D. Porsch.

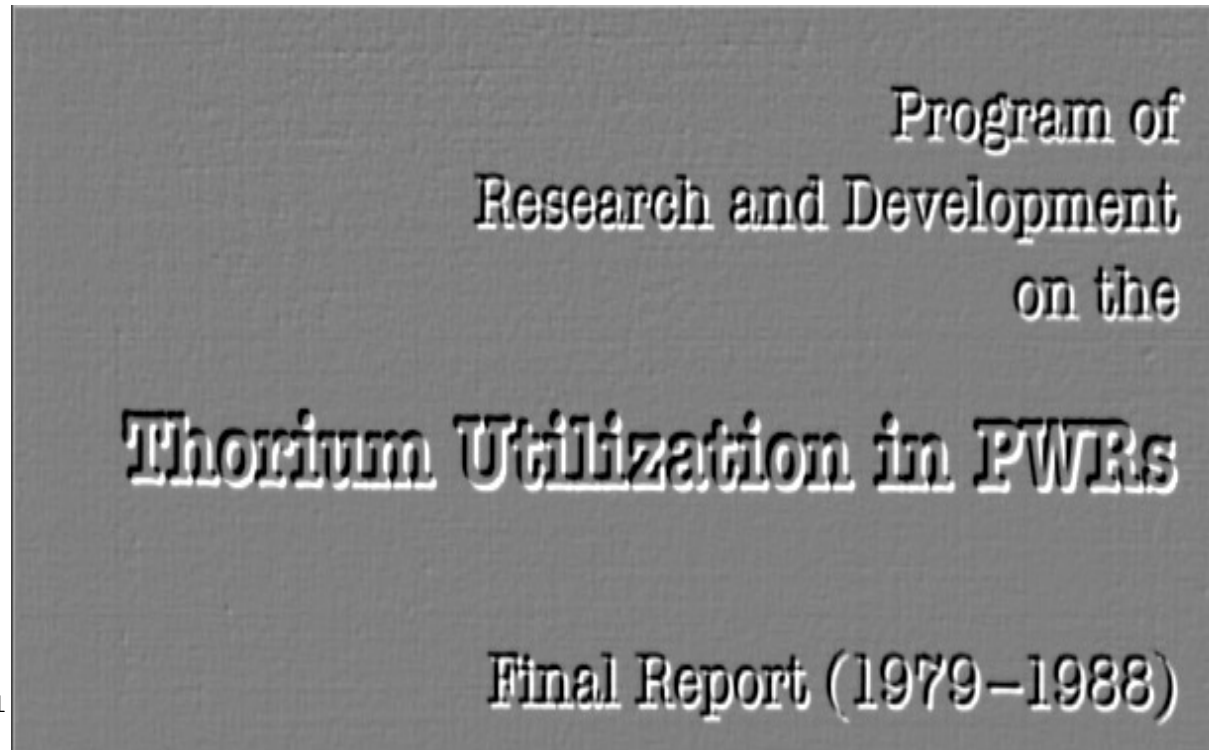
NUKEM

M. Hrovat, M. Kadner.

KFA-Jülich

V. Maly*, K. Reichardt, B.G. Brodda, E. Zimmer.

German
Brazilian
Programme
on the Thorium
Utilization in
PWRs
FINAL REPORT
'88



IAEA CRPxxx. Proposal for Work Structure

“Assessment of Thorium Fuel Cycle in Thermal and Fast Reactors”:

- Why Thorium?
- Thorium resources
- Fuel Cycle Considerations
- Th in Fast Reactors
- Th in LWRs
- Th in HTRs
- Th in MSR
- Conclusions and recommendations**



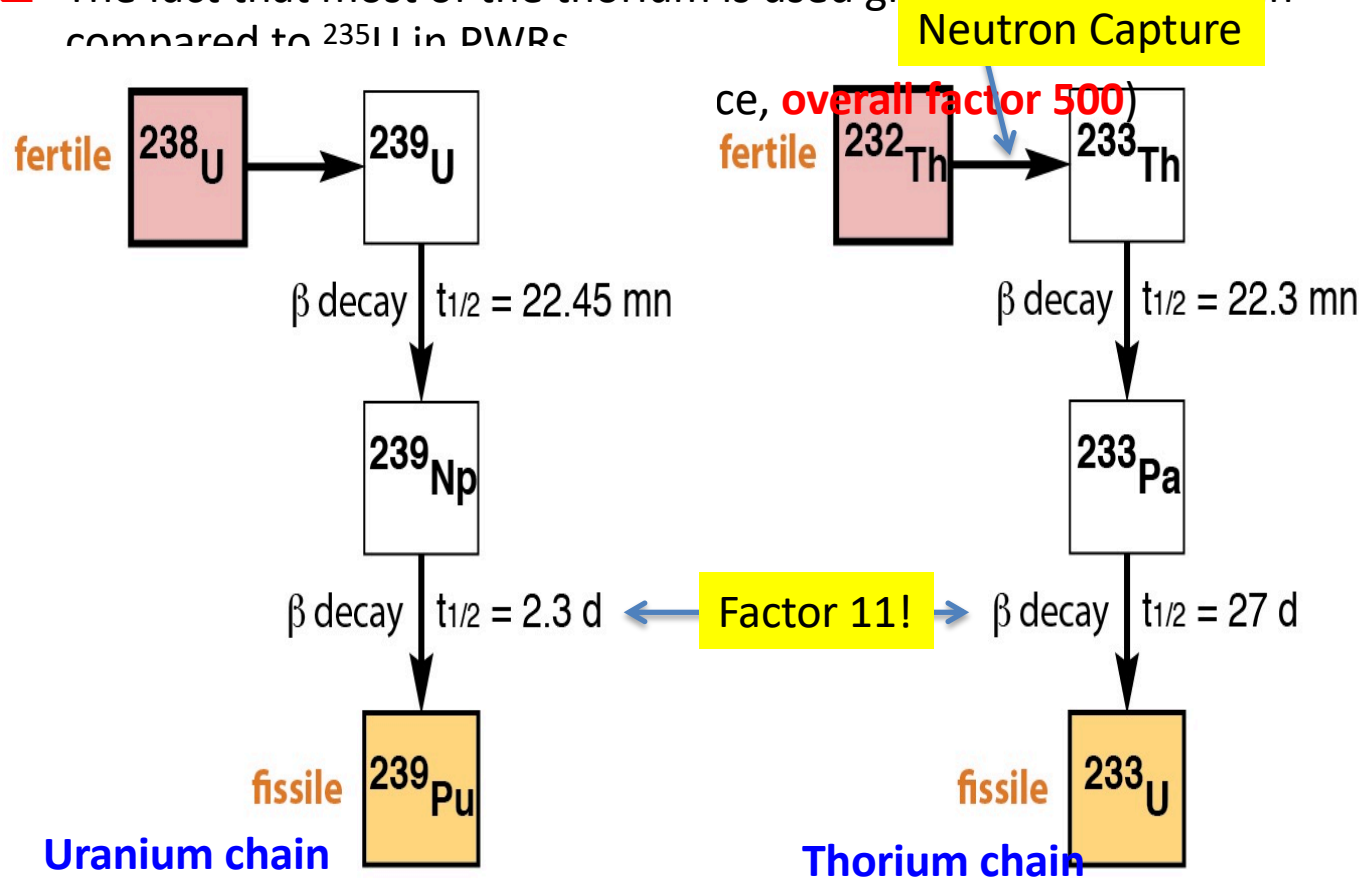
Th in HTRs

Results obtained in the German HTR Fuel Development Program 1977-1989

- 1 Introduction
- 2 (Th,U)O₂ TRISO Coated Fuel Particle Design
- 3 HTR Fuel Manufacture
 - 3.1 (Th,U)O₂ Fuel Kernels
 - 3.2 The TRISO Coating
 - 3.3 Spherical HTGR Fuel Elements
 - 3.4 As-Manufactured Fuel Quality
- 4 Irradiation Behavior (Normal Operating Conditions)
 - 4.1 Irradiation Envelope
 - 4.2 Material Test Reactor Irradiation & Analysis
 - 4.2.1 Post-irradiation Examination
 - 4.3 AVR Real-Time Irradiation Testing & Analysis
 - 4.3.1 Post-AVR Examination
 - 4.4 Irradiation Performance Assessment
- 5 Fuel Performance under Accident Conditions
 - 5.1 Simulation Testing of Core Heatup after Depressurization
 - 5.1.1 (Th,U)O₂ Release Under Isothermal Heating Conditions (1600° C - 1800° C)
 - 5.1.2 (Th,U)O₂ Release Under Fast-Ramp Heating Conditions (up to 2500° C)
 - 5.1.3 Comparison of (Th,U)O₂ TRISO with other HTR Fuel Designs
 - 5.2 Accident Condition Performance Assessment
- 6 IAEA Consultancy CRP proposal on Assessment of Thorium Fuel Cycle Performance Limits

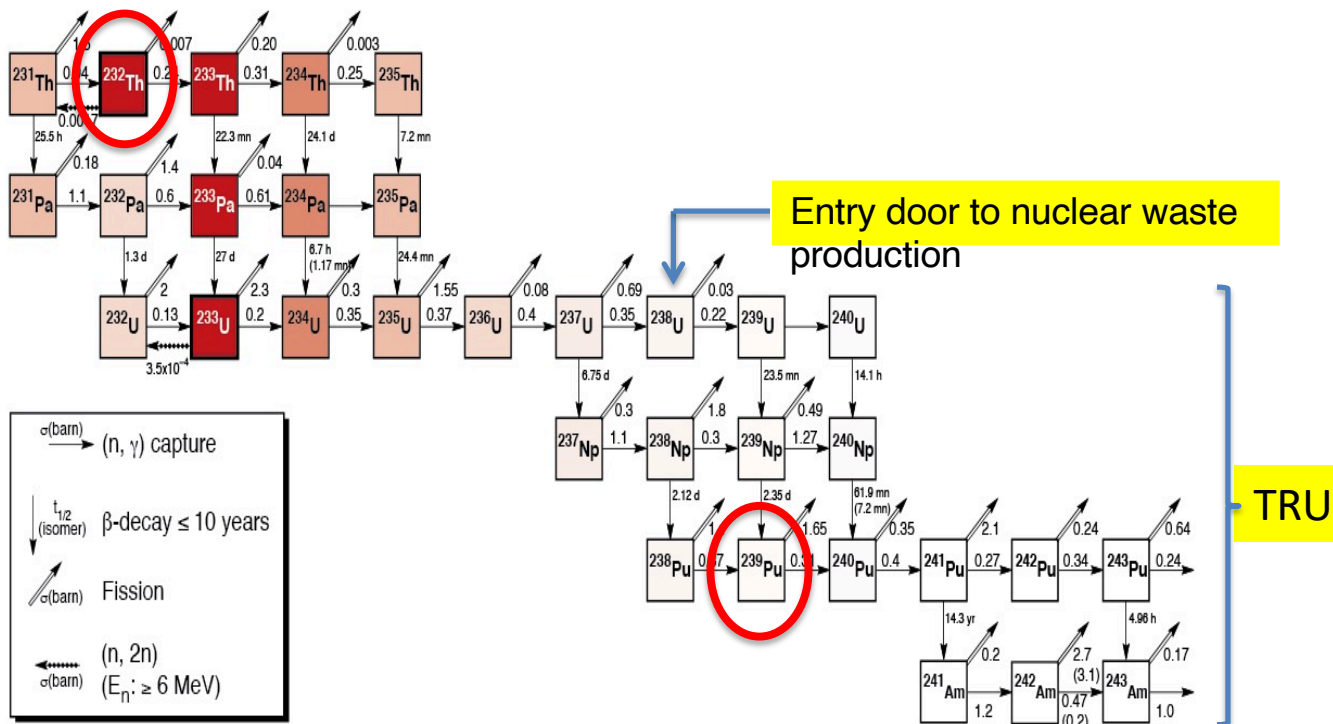
What is fission energy from $^{232}\text{Th}_{90}$?

- ❑ Thorium is **fertile**, not fissile, so it can **ONLY** be used in breeding mode, by producing ^{233}U , which is fissile. In the reactor the fuel is almost completely used up.
- ❑ The fact that most of the thorium is used gives a factor 140 gain compared to ^{235}U in DWRs



Destroying nuclear waste with $^{232}\text{Th}_{90}$

- Thorium minimizes nuclear waste production, as it is 7 neutron captures away from ^{239}Pu
- **For the same reason, it can be used to destroy nuclear waste (transuranic elements) with efficient recycling and a fast neutron flux in the reactor**



TEŞEKKÜRLER

A. YAYLI