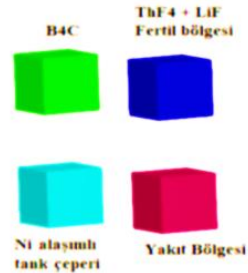
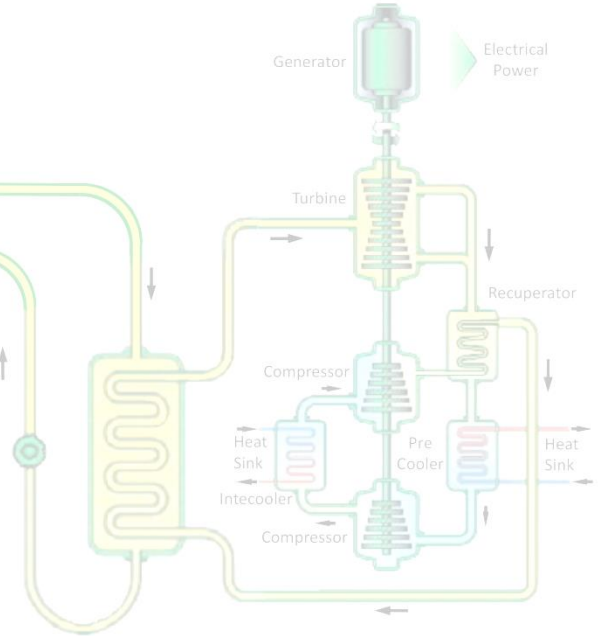
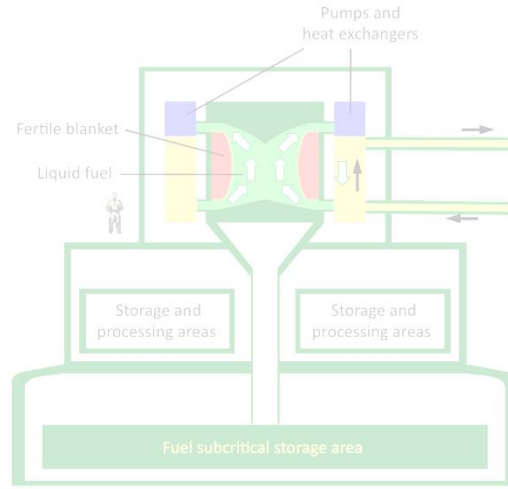
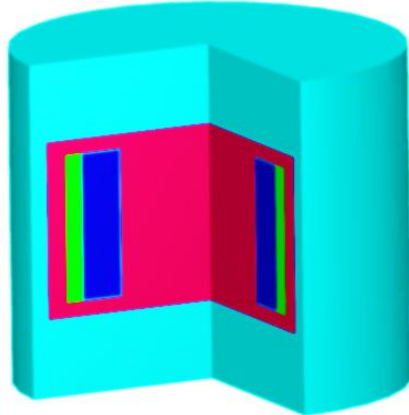
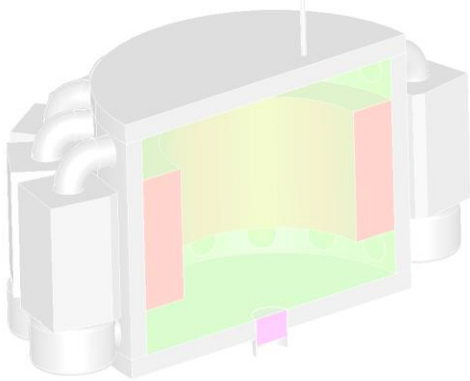


ERGİMİŞ TUZ REAKTÖRLERİNİN TEMEL İŞLEYİŞİ/ÇALIŞMA PRENSİPLERİ



Prof. Dr. H. Mehmet Şahin
Gazi Üniversitesi
Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü





İçerik

- ❑ **Dünya Geçekten Isınıyor, Paris Antlaşması**
- ❑ **I. Nükleer Enerji Zirvesi**
- ❑ **Mevcut Enerji Sistemlerinin Değerlendirmesi**
- ❑ **Nükleer Enerji ve IV. Nesil Reaktörler- SMR'lar**
- ❑ **ETR Teknolojisi**
- ❑ **ETR-Nötronik-Termal Hidrolik Analizler**
- ❑ **Gazi Üniversitesi-ETR-Ar-Ge Çalışmalarımız**
- ❑ **Sonuçlar ve Değerlendirme**

Toplum neye ihtiyaç duyar

- Temiz hava
- Temiz yiyecek
- Temiz su
- **Temiz enerji**

ENERJİ Kısaca iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanır
Endüstriyel manada enerji **Üretim** anlamına gelir

- **Güvenilir/Sürdürülebilir kaynaklardan sağlanmalı**
- **Sürekli olmalı**
- **Ucuz olmalı**
- **Çevreyle uyumlu olmalı**

Temiz Gelecek, Temiz Enerjiyle Mümkün

CARBON FOOTPRINT



ATOMS4 NET ZERO

2nd International Conference on
Climate Change and
the Role of **Nuclear Power**

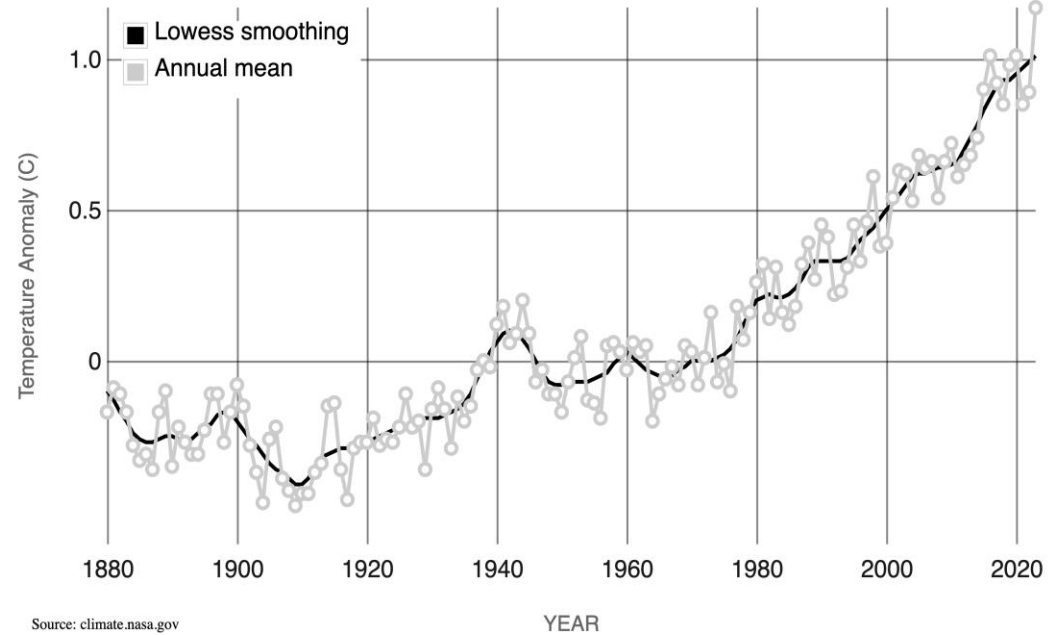


9-13 October 2023 | Vienna, Austria

#ATOMS4CLIMATE
#ATOMS4NETZERO

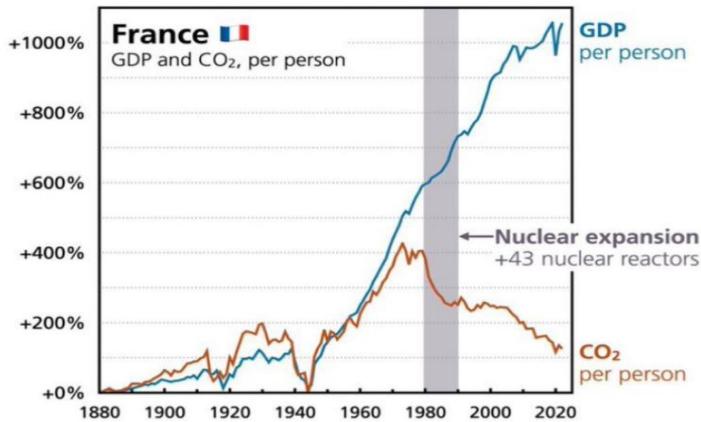
Dünya Geçekten Isınıyor

- Fosil yakıtlar dünya enerjisinin %82'sini sağlamaktadır.
- Fosil yakıt kullanımı; sınırlı arz, kirlilik ve küresel ısınmadan sorumlu CO₂ emisyonları, vb.....
- **Bilimsel gözlemler**
 - **Dünya ısınıyor**
 - **İnsan faaliyeti CO₂ emisyonlarının birincil etkenidir**
- **Fosil yakıtlara karşı bir diğer güçlü argüman: atmosferik kirlilik**
- **Basit bir cevap**
 - **Fosil yakıtları yakmayı bırakalım**



Atmosfer sıcaklığındaki yıllık değişim

Fransa da emisyon ve GDP ilişkisi



Nükleer Enerjide İtici Faktörler

- **Enerji güvenliğinde** küresel zorluklar
- **Paris Anlaşması** küresel sıcaklık artışını 2° C'nin altında tutacak
- Uluslararası Enerji Ajansı'nın (**IEA**) 2050 yılına kadar **Net Sıfır Emisyon** (NZE) hedefi
- IAEA'nın **Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri** (SDG'ler) 17
- **Sürekli Artan Enerji Talepleri** - Enerji ihtiyaçları artmaya devam ediyor

Nükleer Enerji

- **Yeşil**
- **Baz enerji**
- **Güvenli**
- **Güvenilir**
- **Ekonomik**

GELECEĞİN ENERJİSİ: NÜKLEER VE YENİLENEBİLİR GÜÇLERİN BİRLİĞİ

ENERJİ DÖNÜŞÜMÜNÜ TETİKLEYEN KÜRESEL ZORUNLULUKLAR



Dünya genelinde enerji ihtiyaçları sürekli olarak artmaya devam etmektedir.

ÇÖZÜM: NÜKLEER VE YENİLENEBİLİR İŞ BİRLİĞİ



Birbirini Tamamlayan Teknolojiler



Nükleer enerji, kesintili olan yenilenebilir kaynaklara istikrar ve sürdürülebilirlik sağlar.

Nükleer Enerjinin Tanımı: Sanayinin Lokomotifi



Yeşil, güvenli, güvenilir, ekonomik ve baz yük enerji kaynağı olarak öne çıkar.

Yeni Çağ: Gen-IV Reaktörleri



Küçük Modüler Reaktörler (SMR'ler) ve hibrit sistemler geleceği şekillendiriyor.

Yeni Çağ (Gen-IV)

Yenilikçi Reaktörler-Hibrid Reaktörler

Küçük Modüler Reaktörler (SMR's)

Nükleer Enerjinin Zirvesi: İklim ve Enerji Güvenliği İçin Küresel Taahhüt

Brüksel'de düzenlenen 1. Nükleer Enerji Zirvesi, 30'dan fazla ülkeyi bir araya getirerek iklim değişikliği ve enerji güvenliğini sağlama konusunda nükleer enerjiyi temiz ve güvenilir bir kaynak olarak konumlandırarak tarihi taahhütlerle sonuçlandı.

Küresel Zorluklar: Neden Şimdi Nükleer?

İklim Değişikliği Tehdidi

2050 yılına kadar net emisyonu ulaşıma hedefi aciliyet kazanmıştır.



Enerji Güvenliği Krizi

Fosil yakıtlara ve güvenilmez tedarikçilere olan bağımlılığı azaltma ihtiyacı artmıştır.



1. Nükleer Enerji Zirvesi 30+ Ülke

Çözüm ve Taahhütler: Zirve Kararları

Mevcut Santralleri Güçlendirme ve Yenilerini İnşa Etme

Ülkeler, reaktörlerin ömrünü uzatmak ve yeni santraller kurmak için iş birliği yapacak.



Finansal Engellerin Kaldırılması

Uluslararası Finans Kuruluşları Uluslararası finans kuruluşlarına nükleer projelere destek verme çağrısı yaptı.



Uluslararası finans kuruluşlarına nükleer projelere destek verme çağrısı yapıldı.



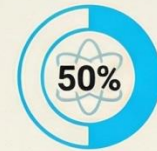
Yenilenebilir Enerjinin Sınırları

Yenilenebilir kaynaklar kesintili olduğu için tek başına enerji istikrarı sağlayamaz.



Geleceğin Teknolojisi: Küçük Modüler Reaktörler (SMR)

Gelişmiş reaktörlerin ve SMR'lerin kullanımını hızlandırmak için iş birliği teşvik edilecek.



Avrupa Birliği



Dünya

Tarihte bir ilk: Dünya liderleri nükleer enerjinin geleceğini şekillendirmek için Brüksel'de buluştu.

Tarih: 21 Mart 2024

Yer: Brüksel Expo Center

Ev Sahipleri: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ve Belçika Hükümeti

Katılım: 37 siyasi lider, 30'dan fazla ülke temsilcisi ve 300'den fazla üst düzey yönetici.

Türkiye'nin Temsili: Dışişleri Bakanı Hakan Fidan.



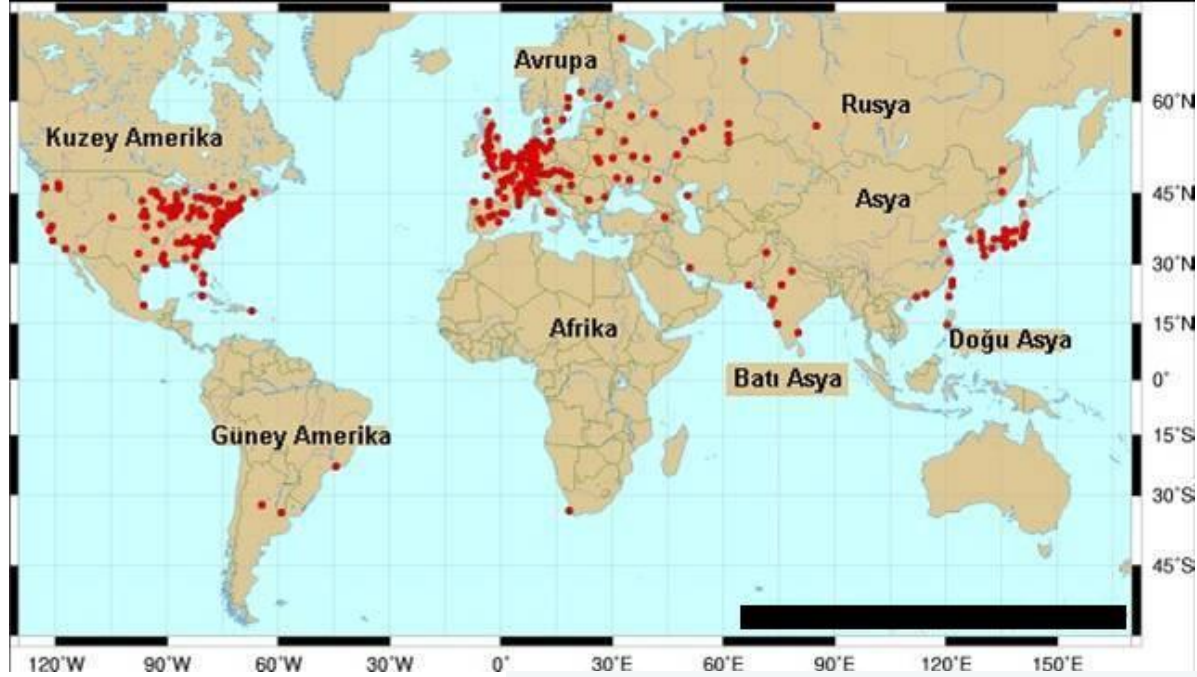
Zirvenin odak noktası: Daha esnek, güvenli ve ölçeklenebilir bir gelecek sunan Küçük Modüler Reaktörler (SMR).



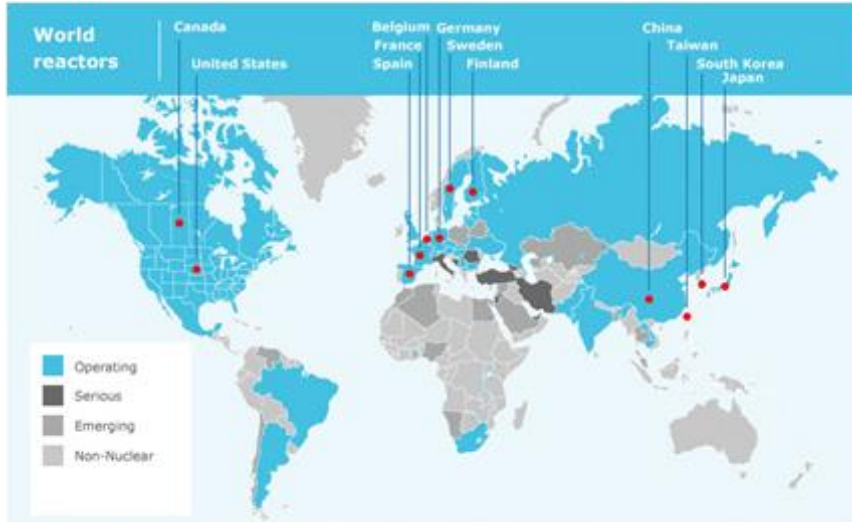
- Belçika'nın Yatırımı:** SMR araştırmalarına **100 milyon Avro** yatırım yapma kararı.
- Küresel Yayınlık:** Ursula von der Leyen: "Dünya genelinde **80'den fazla** SMR projesi ilerliyor."
- Bildirideki Vurgu:** "Gelişmiş reaktörlerin (SMR'ler dahil) zamanında konuşlandırılmasını sağlamak."

DÜNYADAKİ NÜKLEER SANTRALLERİN DAĞILIMI

36 ülkede toplam 448 adet



Nükleer Nektolojiye Sahip olan Ülkeler



Nükleer Enerjinin Küresel Ölçeği: 36 Ülkede 448 Santral

36

Nükleer Enerji Kullanan
Ülke Sayısı

448

Aktif Nükleer Santral
Sayısı

2.553
Milyar kWh

Yıllık Toplam Elektrik
Üretimi

Rakamlarla Dünya'da Nükleer Enerji

Nükleer enerji, dünya genelinde önemli bir elektrik kaynağıdır. Mevcut kapasitesi ve emisyonuz yapısıyla, 2050 net sıfır emisyon hedeflerine ulaşmada kilit bir rol oynamaktadır.



İklim Hedefleri İçin Kapasite Üç Katına Çıkmalı

2050 net sıfır hedeflerine ulaşmak için küresel nükleer kapasitenin artması gerekiyor.



Lider Ülkeler: Fransa ve ABD



© NotebookLM

Dünyanın En Gelişmiş Ekonomileri Nükleer Enerjiye Güveniyor

Amerika Birleşik Devletleri

🏢 98 adet nükleer santral

⚡ Elektrığının %20'sini nükleerden karşılıyor.

🏢 Nükleer üretimi, Türkiye'nin toplam üretiminin ~2,5 katı.

Fransa

🏢 58 adet nükleer santral

⚡ Elektrığının %70'ini nükleerden karşılıyor.

🏢 Nükleer üretimi, Türkiye'nin toplam üretiminin ~1,1 katı.

Küresel Nükleer Üretim, Türkiye'nin Toplam Elektrığının 8,5 Katına Eşit

Küresel Nükleer Üretim: 2.553 milyar kWh



8,5x

Türkiye Toplam Üretim: 306 milyar kWh

Sadece nükleer santrallerin ürettiğı elektrik, Türkiye gibi büyük bir ülkenin tüm kaynaklardan (kömür, gaz, hidro, güneş, rüzgar vb.) ürettiğı elektrığının sekiz buçuk katıdır.

© NotebookLM

Nükleer enerji, halihazırda küresel ve Avrupa ölçeğinde kanıtlanmış bir temiz enerji gücüdür.



~%10

Küresel elektrik üretimindeki payı.

%25

Dünyadaki temiz enerjideki payı.



%22

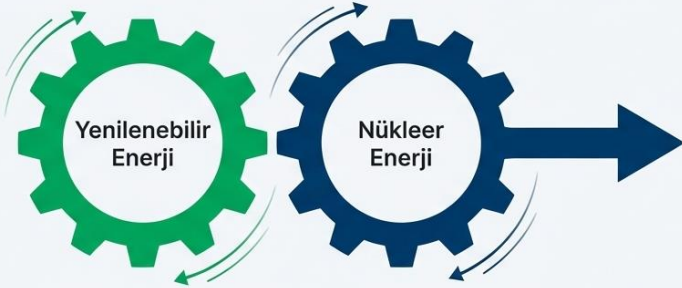
AB'deki en büyük elektrik üretim kaynağı.

%50

Avrupa'daki temiz enerjideki payı.



Türkiye'nin net-sıfır vizyonu: Nükleer ve yenilenebilir enerji birbirinin rakibi değil, tamamlayıcısıdır.



2053 Net-Sıfır & Enerji Güvenliği



İstikrar ve Sürdürülebilirlik:

Nükleer enerji, doğası gereği kesintili olan yenilenebilir enerjinin yarattığı dalgalanmaları dengeleyen bir "baz yük" gücü sağlar.



Teknolojik Bağımsızlık:

Her iki teknoloji de bir ülkenin yeraltı zenginliğine değil, yüksek teknoloji ve bilgi birikimine dayanır.



Ortak Hedef:

Bu iki teknoloji, Türkiye'nin 2053 net-sıfır emisyon hedefi ve enerji bağımsızlığı için birlikte çalışmalıdır.

Net Sıfır Hedeflerine Ulaşmak İçin Küresel Nükleer Kapasite 2050'ye Kadar En Az Üç Katına Çıkmalı

3x

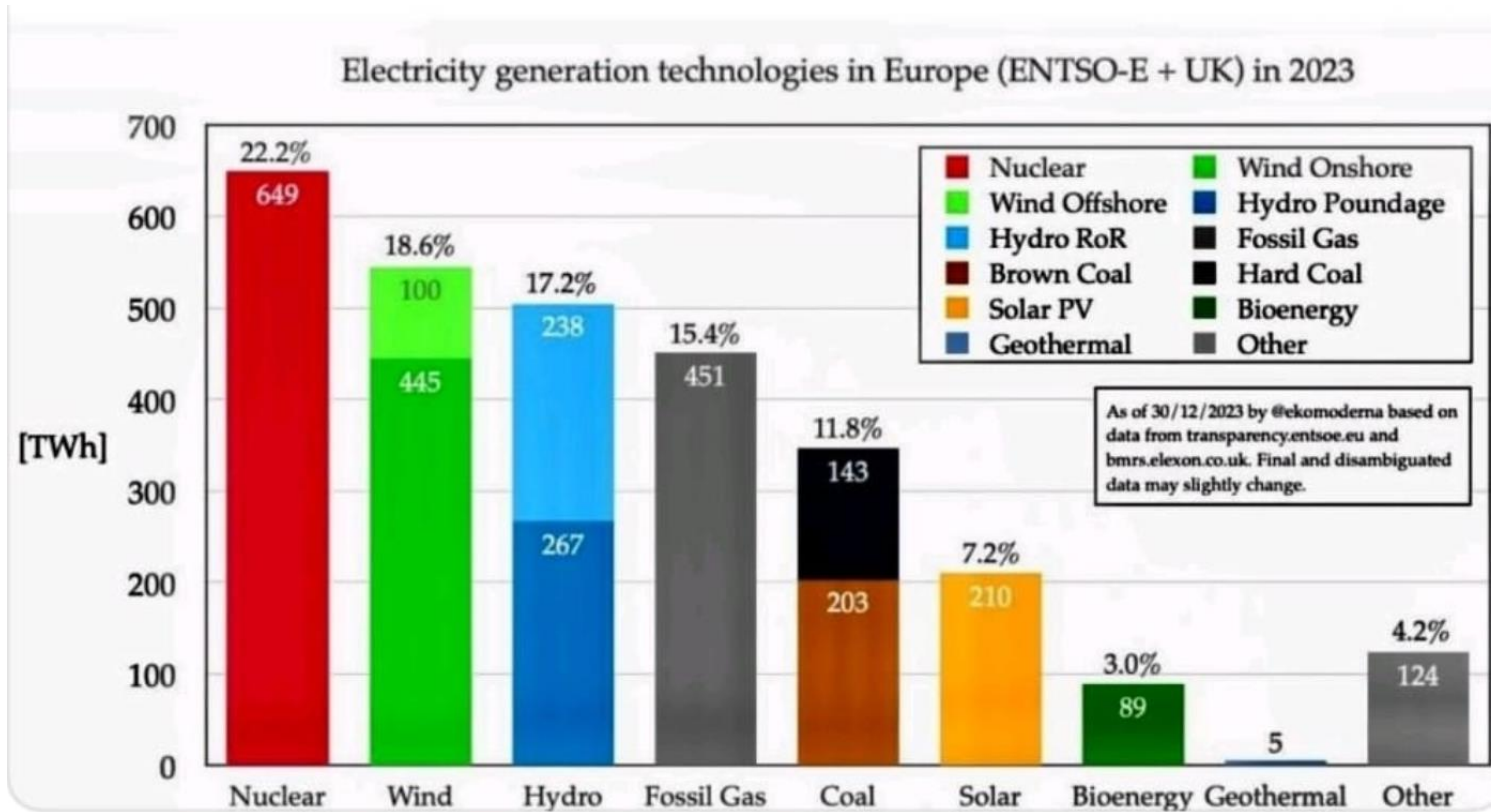
İklim hedeflerine ulaşmak ve dünyamızın ihtiyaç duyduğu enerji güvenliğini sağlamak için küresel nükleer enerji kapasitesinin 2050 yılına kadar en az üç katına çıkarılması bir zorunluluktur.

Avrupa İletim Sistemi Operatörleri Ağı -2023

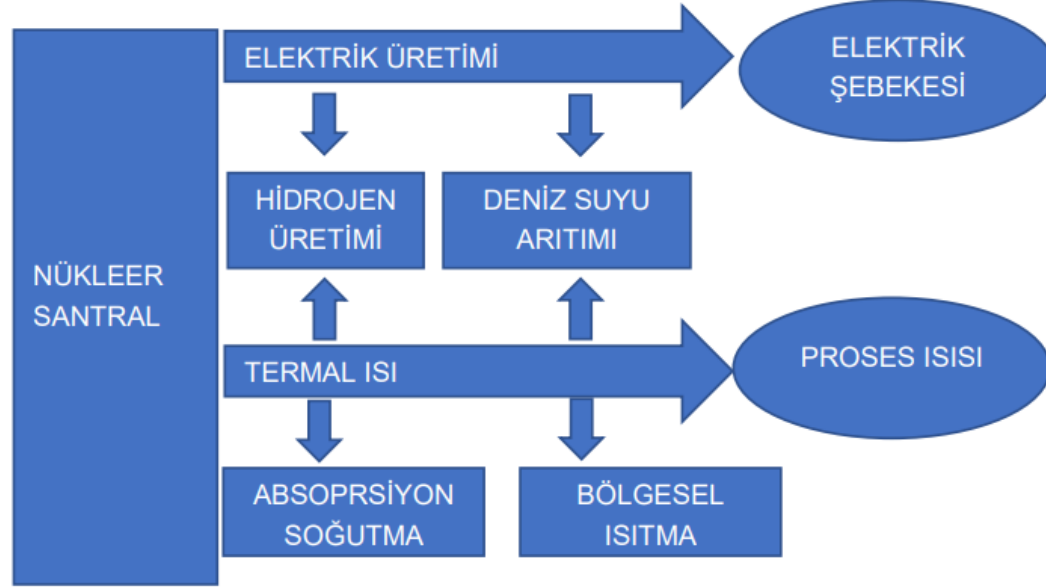
verileri

ENTSO-E, the European Network of Transmission System Operators

- Bu rakamların % 68'i Karbonsuz teknolojiler (Nükleer ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları)
- Sadece %27'si Fosil yakıtlar
- %5'i diğerleri



Nükleer enerjiden faydalanılabilme: **İKİNCİL ENERJİ KAYNAKLARI**



Niçin Nükleer Enerji

- 1 kg Nükleer Yakıt aynı miktardaki kimyasal yakıttan **100 milyon** kat daha fazla enerji içerir
- Çevreye **zararlı emisyonlar içermez** (CO₂)-Küresel Isınma, iklim değişikliği, Buzulların erimesi, Çölleşmeyi önler
- Binlerce yıl tükenmeyecek yakıt mevcut
- **Bir ülkenin yeraltı zenginliğine bağlı olmayıp, yüksek teknoloji ve bilgi birikimi gerekir.**
- **Bir ülkede endüstrinin gelişmesi ve emniyeti için elektriğin ucuz ve emniyetli kaynaklardan elde edilmesi gerekir.**
- Türkiye hızla gelişen büyüyen bir ülkedir
- **Her yıl %7 ile 10 arasında yeni enerji yatırımları yapmak zorundadır.**
- Türkiye bu büyüme rakamlarına Doğal gaz ithal ederek büyümez
- Enerji kaynaklarını çeşitlendirmek zorundadır
- **Paris anlaşmalarına göre CARBON salınımını azaltmak zorundadır.**
- Bu nedenle yerli katkılarla hem **Nükleer hem de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına yönelmek zorundadır**
- Ayrıca **'Nükleer Enerji Sanayinin Lokomotifi'** olduğu da unutulmamalıdır

Türkiye'nin Enerji Geleceği: Nükleer ve Yenilenebilir Güçlerin Sinerjisi

Hızla büyüyen Türkiye, artan enerji talebini karşılamak ve karbon emisyonlarını azaltmak için nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarını birlikte kullanarak ithalata bağımlılığı azaltmayı ve enerji güvenliğini sağlamayı hedefliyor.

Enerji Çıkmazı ve Küresel Hedefler



Sürekli Artan Enerji Talebi

Türkiye'nin hızlı büyümesi her yıl %7-10 arasında yeni enerji yatırımı gerektiriyor.

İklim Değişikliğiyle Mücadele Taahhüdü

Paris Anlaşması, küresel sıcaklık artışını sınırlamak için karbon salınımını azaltmayı zorunlu kılıyor.



Enerji Bağımsızlığı Arayışı

Sürdürülebilir büyüme, ithal doğal gazla olan bağımlılığı azaltmayı ve kaynakları çeşitlendirmeyi gerektirir.

Çözüm: Nükleer ve Yenilenebilir Entegrasyonu

Birbirini Tamamlayan Güçler

Nükleer enerji, kesintili olan yenilenebilir kaynaklar için sürekli ve güvenilir bir baz yük sağlar.



Nükleer Enerjinin Temel Nitelikleri



Yeşil



Güvenli



Güvenilir



Ekonomik

baz enerji kaynağıdır

Geleceğin Teknolojisi: Yeni Nesil Reaktörler

Küçük Modüler Reaktörler (SMR'ler) gibi yenilikçi çözümler enerji geleceğini şekillendiriyor.



SMR'ler

Nükleer Enerji: Net Sıfır Geleceğin Anahtarı

KÜRESEL ENERJİ İKİLEMİ: HEDEFLER VE ZORLUKLAR

Paris Anlaşması Zorunluluğu

Küresel sıcaklık artışını 2°C altında tutmak için karbon salınımını azaltmak gerekiyor.



Artan Enerji Talebi

Dünya genelinde enerji ihtiyaçları olarak artmaya devam ediyor.



Yenilenebilir Enerjinin Sınırlılığı

Yenilenebilir kaynaklar doğası gereği kesintilidir ve tek başına sürekli enerji sağlayamaz.



ÇÖZÜM: NÜKLEER VE YENİLENEBİLİR İŞBİRLİĞİ

Birbirini Tamamlayan Teknolojiler

Nükleer enerji, yenilenebilir kaynakların istikrarını ve sürdürülebilirliğini sağlar.



Sanayinin Lokomotifi

Nükleer; yeşil, güvenli, güvenilir ve ekonomik bir baz enerji kaynağıdır.



Geleceğin Teknolojisi: Yeni Nesil Reaktörler

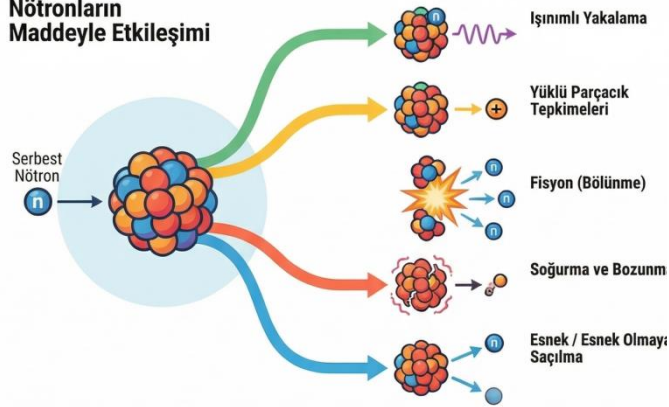
Küçük Modüler Reaktörler (SMR'ler) gibi yenilikçi tasarımlar öne çıkmaktadır.



Nükleer Reaksiyonların Özü: Nötron Etkileşimleri ve Fisyon

NÜKLEER SANTRALLER

Nötronların Maddeyle Etkileşimi



Fisyon: Her Fisyon Reaksiyonunda ~200 MeV Enerji Açığa Çıkar



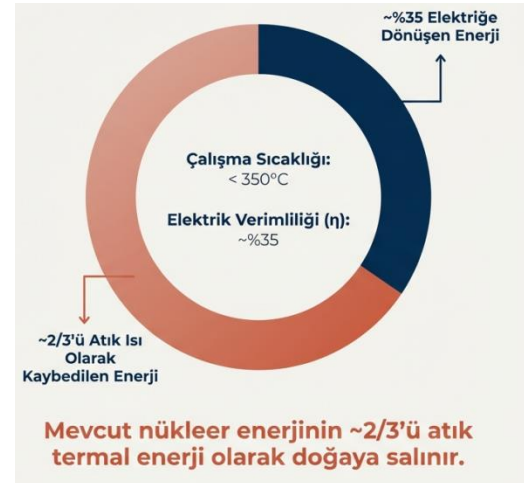
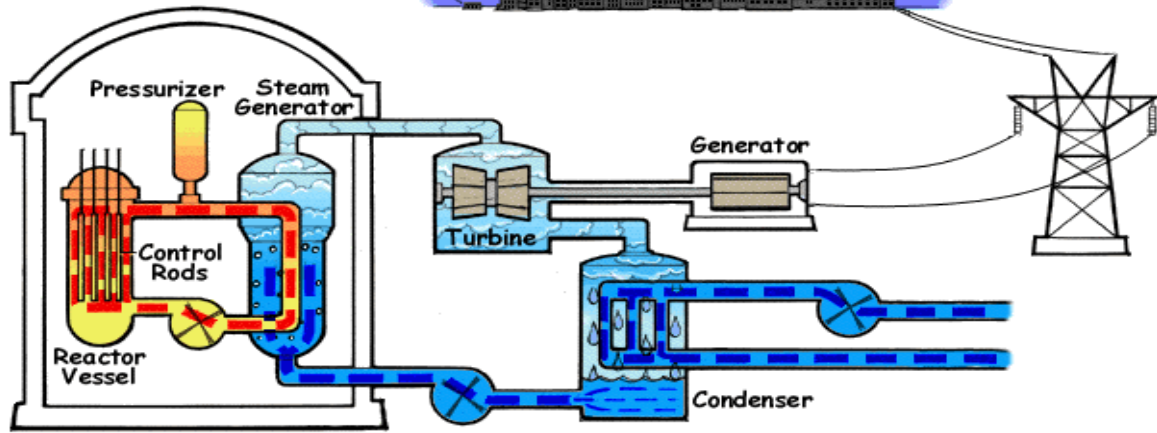
Anlık ve Gecikmeli Nötronlar: Reaktör Kontrolünün Anahtarı



$$\text{Reaksiyon Hızı} = \text{Nötron Akısı (yoğunluk)} \times \text{Tesir Kesiti (olasılık)}$$

Birim zamandaki reaksiyon sayısı, nötron yoğunluğu ve etkileşim olasılığına bağlıdır.

Containment Structure



Mevcut Teknolojinin Kırılganlıkları: Hafif Su Reaktörlerinin (LWR) Çözölemeyen Sorunları



Yüksek Basınç Tehlikesi

Soğutucu sisteminin 160 bar'dan yüksek basınçta çalışması, kaza riskini artırır.



Erime Riski

Soğutma kaybı durumunda yakıt çubuklarının erime tehlikesi (Three Mile Island, Fukushima).



Patlama Riski

Kaza anında buhar veya hidrojen patlaması olasılığı (Çernobil, Fukushima).



Atık Sorunu

Binlerce yıl radyoaktif kalacak Plütonyum-239 içeren kullanılmış yakıtların yönetimi.



Düşük Verimlilik

Uranyum enerjisinin sadece ~%2'sinin kullanılması ve termal verimliliğin %35 ile sınırlı olması.



Sınırlı Yakıt Ömrü

Radyasyon hasarının yakıt ve koruyucu kılıfların ömrünü kısaltması.



Operasyonel Karmaşıklık

Xenon-135 zehirlenmesi gibi etkenler nedeniyle hassas güç kontrolü gerekliliği.



Very Big



Very Expensive



Rely on human and electricity

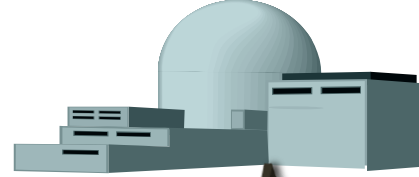
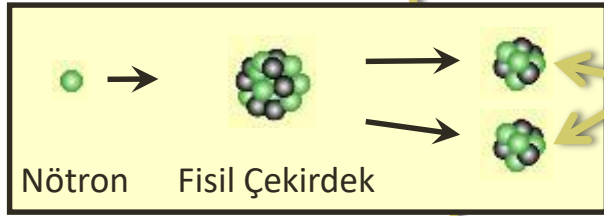


100000 years

Günümüz Reaktörleri

Hafif Su Reaktörleri (LWR)

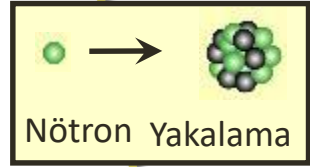
Zenginleştirilmiş Uranyum



Fiyon Ürünleri

Transuranic

Nukleer Atıklar



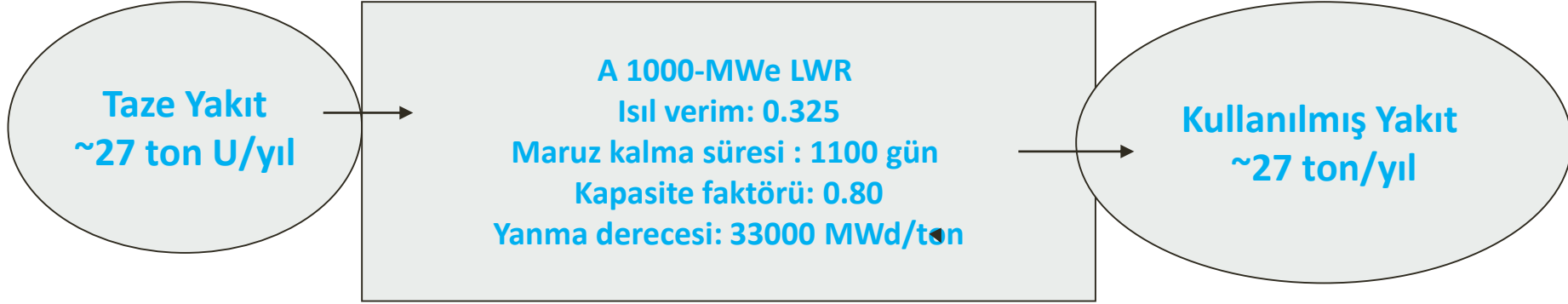
H																			He
Li	Be											B	C	N	O	F		Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl		Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br		Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I		Xe	
Cs	Ba	*	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At		Rn
Fr	Ra	*	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus		Uuo

↓

*	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
*	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No

Actinidler:

Taze ve Kullanılmış LWR Yakıtı



U-235: 3.3 w/o

U-238: 96.7 w/o

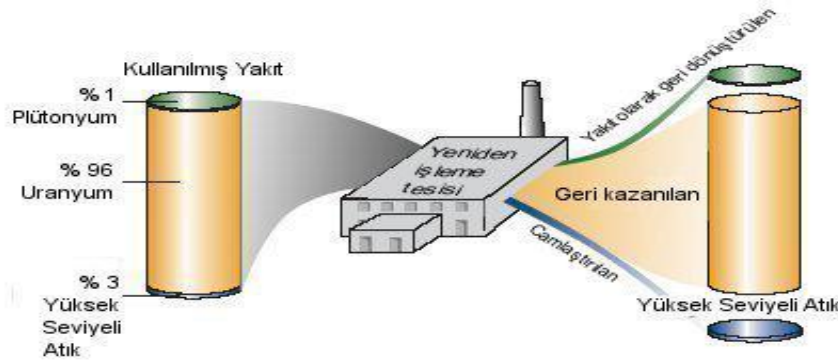
U-238: 94.4 w/o

**U-235:
0.8 w/o**

Pu: 0.9 w/o

(Fissile Pu: 70%)

**Fisyon ürünleri: 3.5
Diğer Aktiniler: 0.1 w/o**



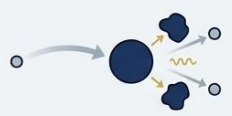
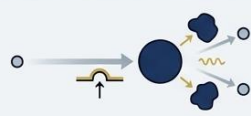
Günümüzde çoğu reaktör hafif su reaktörlerini (LWR) kullanmaktadır.

LWR'lerin aşağıda dezavantajları sıralanmıştır:

- Uranyum-238'in düşük bölünme verimi nedeniyle **her 1-3 yıl arasında yeni yakıt eklenmelidir.**
- İster yeniden işlensin isterse atık olarak imha edilsin kullanılmış yakıtta **Pu-239** bulunması,
- Termal verimlilik %35 ile sınırlıdır.**
- Yüksek basınçlı soğutucu kap (>160 bar)**, olası kaza tehlikesi yaratabilmektedir.
- Buhar patlaması tehlikesi** (Çernobil) vardır.
- Yüksek kalp radyoaktivitesi kazaların en büyük kaynağıdır.
- Yüksek miktarda oluşan atıkların** bertarafı sorundur.
- Three Mile Island ve Fukushima'da yaşanan benzer şekilde reaktör kalbinin aşırı ısınması nedeniyle **yakıt çubuklarının erime tehlikesi vardır.**
- Radyasyon hasarı yakıtın ve koruyucu kılıfların ömrünü sınırlamaktadır.**
- Fukushima kazasında olduğu gibi kaza sırasında **Hidrojen üretimi olasılığı vardır.**
- Xenon-135 (**Zenon**) zehirlenmesi, aşırı yüksek kalp reaktivitesi ve dikkatli güç kontrolü gerektirmektedir.
- Bir kerelik mevcut yakıt çevrimleri, **uranyum enerjisinin yaklaşık %2'sini kullanmaktadır** ve büyük hacimlerde yüksek seviyeli radyoaktif atık üretmektedir.

Kimler Bölünebilir? Fisil ve Fisyonlanabilir Çekirdekler

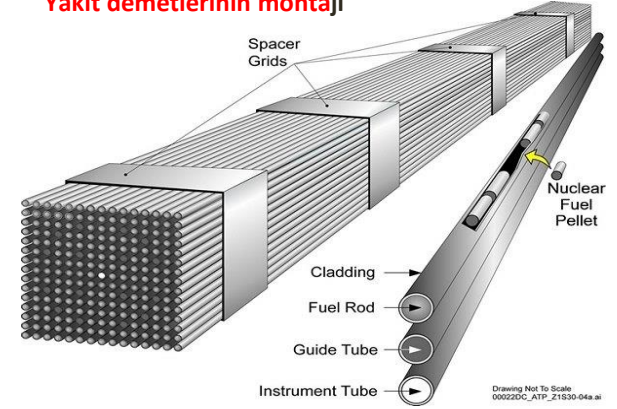
Tüm ağır çekirdekler nötronlarla aynı şekilde reaksiyona girmez. Fisyon yeteneklerine göre iki önemli kategori vardır.

Kategori	Fisil Çekirdekler (Fissile)	Fisyonlanabilir Çekirdekler (Fissionable)
		
Tanım	Herhangi bir enerjideki (termal dahil) bir nötronu yuttuğunda fisyona uğrayabilen çekirdekler.	Sadece belirli bir eşik enerjisinin üzerindeki yüksek enerjili (hızlı) bir nötronu yuttuğunda fisyona uğrayabilen çekirdekler.
Enerji Gerekşinimi	Eşik enerjisi yoktur.	Yüksek bir eşik enerjisi (E_crit) vardır.
Örnekler	U-233, U-235, Pu-239	U-238, Th-232
Reaktördeki Rolü	Termal reaktörlerin birincil yakıtıdır. Zincirleme reaksiyonu sürdürürler.	Hızlı reaktörlerde fisyona katkıda bulunurlar ve nötron yakalayarak fisil izotoplara (örneğin Pu-239) dönüştürülebilirler ("doğurgan" çekirdekler).

Sinterlenmiş yakıt peletleri



Yakıt demetlerinin montajı



Nükleer fisyon yakıtları: (~ 200 MeV/fission)

Doğal Yakıt

$^{235}\text{U}_{92}$ ($T_{1/2} = 7 \cdot 10^8$ a) "cevherde bulunma oranı: 0.72 %"; $\sigma_f = 583$ b; $\sigma_\gamma = 98$ b

Yapay Yakıtlar

$^{233}\text{U}_{92}$ ($T_{1/2} = 1.592 \cdot 10^5$ a); $\sigma_f = 531$ b; $\sigma_\gamma = 48$ b

$^{239}\text{Pu}_{94}$ ($T_{1/2} = 2.411 \cdot 10^4$ a); $\sigma_f = 742$ b; $\sigma_\gamma = 269$ b

$^{241}\text{Pu}_{94}$ ($T_{1/2} = 14.4$ a); $\sigma_f = 1009$ b; $\sigma_\gamma = 368$ b

$^{242m}\text{Am}_{95}$ ($T_{1/2} = 141$ a) "production rate: 35 %, $\sigma_f = 6600$ b; $\sigma_\gamma = 1400$ b"

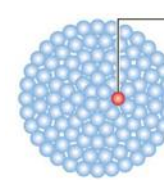
$^{245}\text{Cm}_{96}$ ($T_{1/2} = 8500$ a) " $\sigma_f = 2020$ b; $\sigma_\gamma = 345$ b"

1 barn (b) = 10^{-24}cm^2

Uranium İzotop Zenginlik Yüzdesi

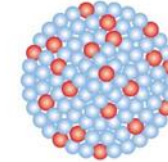
ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ URANYUM

DOĞAL URANYUM



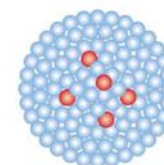
%0.7

Doğal uranyumun içinde U-235 izotopunun oranı yüzde 0.7'dir. Maddenin yapısında ağırlıklı olarak U-238 izotopları bulunur.



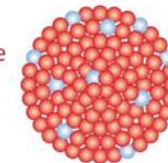
Maddenin içindeki U-235 izotopları **%20** seviyesine çıkarıldığında elde edilen ürün nükleer bomba yapımında kullanılabilir. Ancak tehlikeli kütle seviyesine ulaşmak için çok büyük miktarda uranyum ve patlayıcı gerekir.

DÜŞÜK ORANDA ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ URANYUM



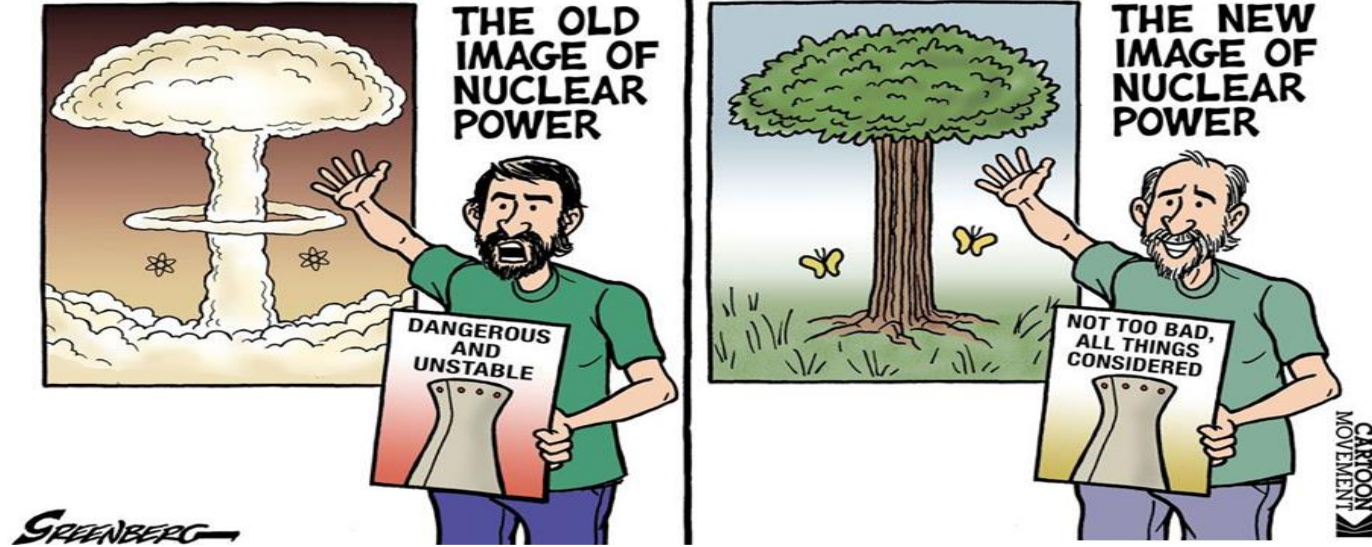
Uraniumun içindeki U-235 izotopu **%3-5** seviyesine çıkarıldığında elde edilen madde nükleer reaktörlerde yakıt olarak kullanılabilir.

YÜKSEK ORANDA ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ URANYUM



Maddenin içindeki U-235 izotopları **%90** seviyesine ulaştığında elde edilen ürün atom bombası yapımında, araştırma reaktörlerinde ve deniz araçlarında kullanılabilir.

Nükleer enerjinin değişen imajı



Tarihsel olarak tehlikeli ve istikrarsız olarak görülmüştür (örneğin nükleer felaketler ve **silahlar-nükleer enerjinin talihsizliği atom bombası ile duyurulması**).

Eski Algı:

- Nükleer kaza ve radyasyon korkusu.
- Silahlar ve atıklarla ilgili endişeler.

Artık temiz, sürdürülebilir enerji için potansiyel bir çözüm olarak görülüyor.

Yeni Algı:

- İklim hedefleri için düşük karbonlu enerji.
- Daha güvenli, daha verimli teknolojiler (örneğin SMR'ler, erimiş tuz reaktörleri).

Çevreciler – Nükleer Enerji

ABD'de aşırı çevreciler (yeşiller): Whole Earth Catalog Kurucusu Stewart Brand,

Greenpeace kurucu başkan yardımcısı Patrick Moor ve Bilim Adamı James Lovelock;

Nükleer enerjinin, kömür ve doğalgaz santrallerinin bir alternatifi olarak, **temiz enerji kaynağı olduğunu onaylamışlardır**.

Time June 20, 2005

Nükleer Enerjide Yeni Bir Çağ: IV. Neslin Yükselişi



Nesil I (1950-1970)

1950

İlk Prototipler



Nesil II (1970-1990)

1970

Ticari Güç Santralleri -
Günümüzün Çalışan
Filosu



Nesil III/III+ (1990-2020)

1990

Evrimsel Gelişmeler -
Daha Güvenli LWR'ler



Nesil IV (2030+)

2030+

**Devrimsel Tasarımlar -
Paradigma Değişimi**

- Safe
- Sustainable
- Economical
- Proliferation Resistant and Physically Secure

Nükleerin Geleceğini Yeniden Yazmak: IV. Nesil Reaktörlerin Doğuşu

Geleneksel reaktörler; düşük verimlilik, nesiller boyu sürecek nükleer atık mirası ve kamuoyunda endişe yaratan güvenlik riskleri gibi temel zorluklarla karşı karşıyadır. Doğal uranyum kaynaklarının yalnızca %1'ini kullanırlar.

Bu sorunlara çözüm bulmak amacıyla, önde gelen teknoloji ülkeleri (ABD, Rusya, Japonya, Fransa vb.) bir araya gelerek IV. Nesil reaktör konseptini geliştirdi.

2030'lardan sonra ticarileşmesi planlanan bu reaktörler, nükleer enerjiyi temelden dönüştürmeyi hedefliyor.



NÜKLEER ATIK



DÜŞÜK VERİM



GÜVENLİK RİSKLERİ



DAHA AZ ATIK



YÜKSEK VERİM

IV



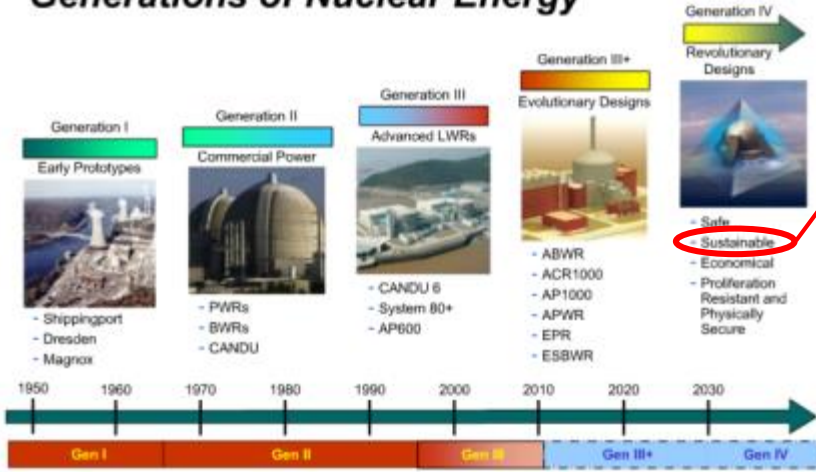
YÜKSEK VERİM



PASİF GÜVENLİK

- Bugünkü teknoloji ile sadece **U-235 yakıtı kullanılmaktadır.**
- **Th rezervleri U göre 3 kat daha fazladır.**
- **Th + Pu-239 yakıt karışımı (RGPU ve WGPU)**
- Böylece bugünkü yakıt kullanım potansiyeli 4 kat artacak (% 400)
- Dünya genelinde yaklaşık 250 ton nükleer savaş başlığında Pu bulunmaktadır (WGPU).
- **Fisyon (LWR, vb.) reaktörlerinden çıkan tonlarca nükleer aktinitler (atıklar)-MA yeniden yakıt olarak kullanılabilir**

Generations of Nuclear Energy

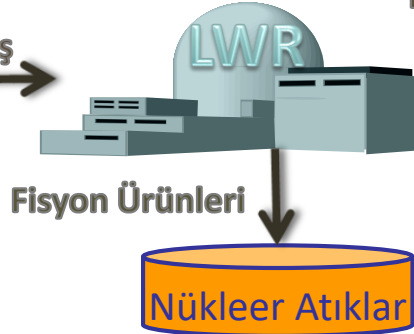


Sürdürülebilirlik:

- Nükleer atıkları en aza indirmesi
- Alternatif nükleer yakıt kullanım olanağı sağlanması

Kapalı Çevrim

Zenginleştirilmiş
Uranyum



Fertil malzemeler: Thoryum veya U238

Transuranics
= Fuel

GEN IV

Breeds:
Fisil
U233 or Pu
= Yakıt

Fisyon Ürünleri

2002'lerden beri: **Erimiş Tuz Reaktörü** = IV. Nesil Uluslararası Forumu (GIF) tarafından seçilen 6 reaktör konseptinden biridir. Teknolojik hedefler şunlardır:

- Güvenli ve Emniyetli Sistemler-Düşük basınç, yüksek sıcaklık şartlarında çalışma
- Sürdürülebilir Nükleer Enerji-alternatif (Th, U-238, TRU) yakıtların kullanımı
- Rekabetçi Nükleer Enerji-Daha ekonomik (Modüler)
- Silahsızlanma Direnci ve Fiziksel Koruma-Nükleer silahların yayılmasını önleme

IV. Nesil Reaktörler

- Gaz (He gazı) soğutmalı hızlı reaktör (GFR)
- Çok yüksek sıcaklık reaktörü (VHTR)
- Kurşun soğutmalı hızlı reaktör (LFR)
- **Ergimiş tuz soğutmalı hızlı reaktör (MSFR)**
- Süper kritik-su (kızgın su buharı) soğutmalı reaktör (SCWR)
- Sodyum soğutmalı hızlı reaktör (SFR)

Ana amaç: elektrik üretimi

Diğer kullanım alanları şunlar olabilir:

- proses ısısı
- hidrojen üretimi
- deniz suyunun damıtılması
- bölgesel ısıtma

Generation IV International Forum (GIF), IV. nesil reaktörlerin gelişimini koordine eden uluslararası bir organizasyondur.

Nükleer Enerjinin Geleceği: Yeni Nesil Reaktör Teknolojileri

Geleneksel nükleer santrallerin güvenlik, verimlilik ve atık yönetimi konularındaki sınırlamaları, enerji geleceği için yenilikçi çözümleri zorunlu kılmıştır. IV. Nesil reaktörler, nükleer enerjiyi daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir hale getirmeyi hedefleyen gelişmiş teknolojiler sunmaktadır.

Küçük Modüler Reaktörler (SMR)



Nedir?

300 MW'tan daha az güç üreten, küçültülmüş ve modüler nükleer santrallerdir.

Düşük Maliyet ve Hızlı Kurulum

Fabrikada üretilen modüller sayesinde inşaat süresi ve maliyetleri önemli ölçüde düşer.

Esnek ve Yaygın Kullanım

Uzak bölgeler, küçük şebekeler ve endüstriyel tesisler için ideal enerji çözümü sunar.

Ergimiş Tuz Reaktörleri (MSR)



Nedir?

Katı yakıt yerine, sıvı ergimiş tuz içinde çözülmüş nükleer yakıt kullanan reaktörlerdir.

Üstün Güvenlik Özellikleri

Düşük basınçta çalışır, pasif güvenlik sistemleri sayesinde kaza riskini en aza indirir.

Daha Az Atık ve Sürdürülebilir Yakıt



Tonum kullanabilir, daha az uzun ömürlü radyoaktif atık üretir ve atıkları geri dönüştürebilir.

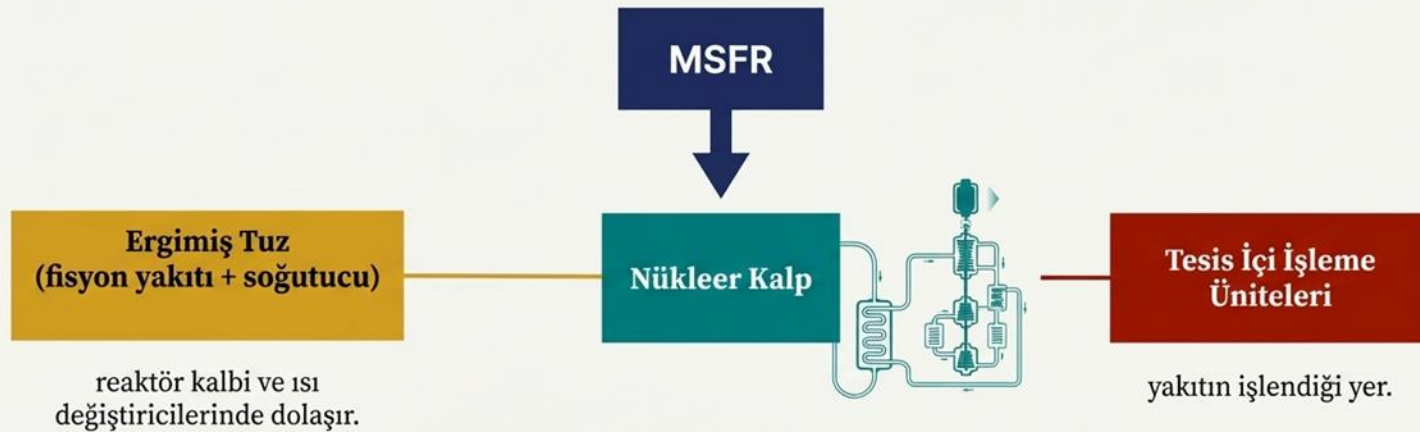


Yeni Nesil Reaktörler (SMR)

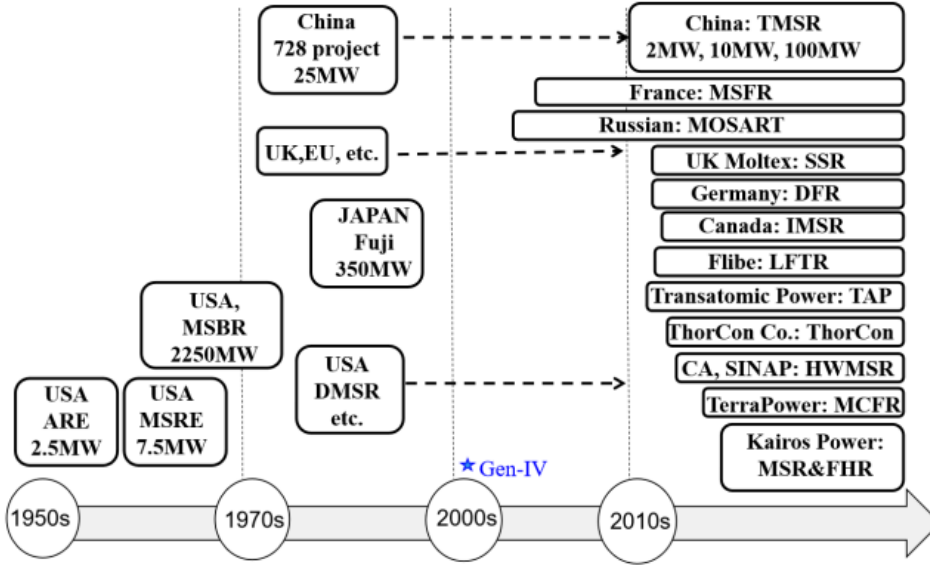
- Normal nükleer reaktörlerden daha küçük boyuttadır.
- Az yer kaplayıp sınırlı alanlarda kurulabilir.
- Sera gazı salınımı yapmadan elektrik üretilir.
- Diğer reaktörlere göre maliyeti daha az ve kurulum süresi daha kısadır.
- 20-300MW'lık santraller kurulması için kullanılır.

ETR'lere bir bakış

Çözüm: Ergimiş Tuz Hızlı Reaktör (MSFR) Konsepti



Dünya genelinde ETR Ar-Ge çalışmaları



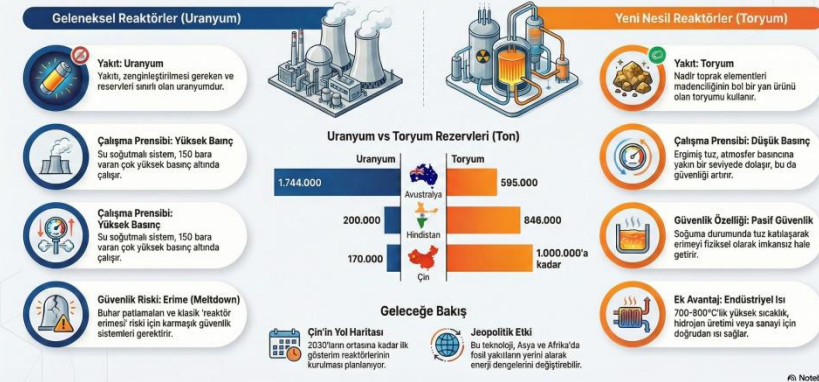
Çin'in Nükleer Hamlesi: Toryum Uranyum'un Yerini Alabilir mi?

Çin, Batı'nın on yıllar önce terk ettiği, unutulmuş bir nükleer teknoloji olan toryum erimiş tuz reaktörünü yeniden canlandırıyor. Bu stratejik hamle, küresel enerji piyasalarını yeniden şekillendirme, uranyumun hakimiyetine meydan okuma ve nükleer güvenlik anlayışını değiştirme potansiyeli taşıyor.



Toryum: Nükleer Enerjinin Unutulmuş Geleceği mi?

Çin, Batı'nın Soğuk Savaş döneminde terk ettiği bir nükleer teknolojiyi yeniden canlandırıyor: Toryum Erimiş Tuz Reaktörleri. Bu gelişme, daha güvenli ve bol bir yakıt kaynağı sunarak küresel enerji jeopolitiğini yeniden şekillendirme potansiyeli taşıyor.



Şanghay'daki Deney, Onlarca Yıllık Teoriyi Gerçeğe Dönüştürerek Stratejik Bir Kilidi Açtı

Şanghay Uygulamalı Fizik Enstitüsü, küçük bir deneysel erimiş tuz reaktöründe, toryum reaktörün içinde bölünebilir uranyum-233'e dönüştürmeyi başardığını duyurdu. Bu, Batı'daki sayısız projenin 1960'lardan beri başarısız olduğu veya umutsuzluğa kapılıdığı bir dönüm noktasıdır.

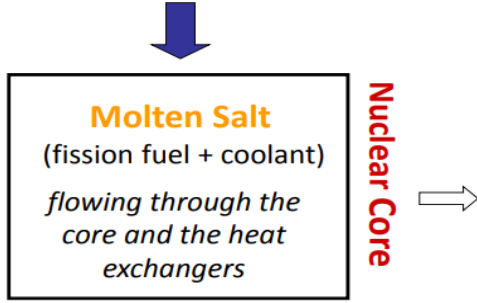


- Henüz elektrik üretmiyor, ancak toryum-U-233 döngüsünün gerçek dünya operasyonunda işlev görebileceğini kanıtlıyor.
- Bu, Çin'de toryumun bölünebilir uranyuma dönüştürülmesinin gerçek bir erimiş tuz sisteminde ilk kez kanıtlanmasıdır.

Çin'de geliştirilen TMSR (Th yakıtlı ETR) teknolojisinin AMAÇ ve HEDEFLERİ

- ✓ MSR için **hızlı ve termal nötron akı** ortamında ve korozyona dirençli **yapısal malzeme geliştirilerek** ve doğrulanmalıdır.
- ✓ **Erimiş tuz pompası, ısı eşanjörü ve basınçlı kap** gibi ana reaktör bileşenleri ETR için geliştirilecek ve doğrulanmalıdır.
- ✓ ETR'ye **gerçekçi bir uygulama elde etmek** için çevrimiçi (on-line) yakıt işleme ve Th-U yakıt döngüsü daha **fazla araştırılmalıdır**.
- ✓ **Analiz kodlarını doğrulamak** ve ana sistem tasarımlarını iyileştirmek için daha fazla **termal-hidrolik ve malzeme test deneyleri yapılmalıdır**.

MSFR



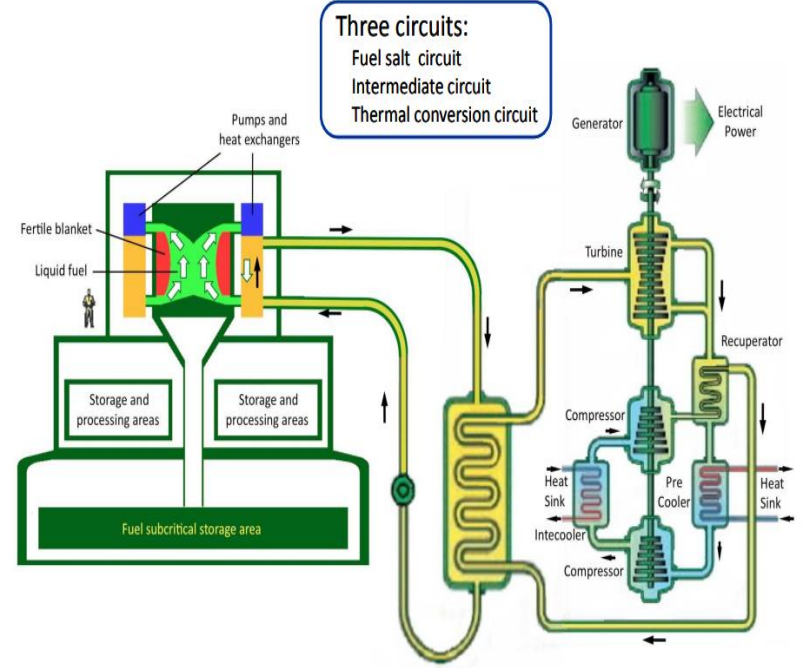
associated to

**Processing Units of the fuel
located on-site**

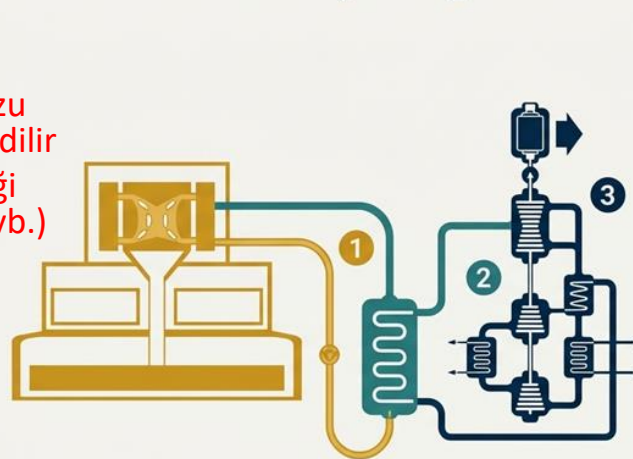
MSFR Özellikleri

- **Sıvı yakıt**
 - Erimiş yakıt tuzu hem yakıt hem de soğutucu olarak işlev görür
 - Reaktör çalışması sırasında yakıtın yeniden işlenmesi ve yüklenmesi
- **Çekirdekte kontrol çubukları yok**
 - Reaktivite, HX + yakıt tuzu geri besleme katsayılarındaki ısı transfer oranı, yakıt tuzu kütesinin geometrisi tarafından kontrol edilir
 - Nötron akısı şeklini kontrol etme gerekliliği yoktur (DNB yok, tek tip yakıt ışınlaması, vb.)
- **Yakıt tuzu boşaltma**
 - Soğuk kapatma, erimiş tuzun yakıt devresinden boşaltılmasıyla elde edilir
 - Yakıt boşaltma işlemi pasif olarak veya operatör tarafından yapılabilir

Molten Salt Fast Reactor (MSFR)



MSFR Sistemi: Üç Entegre Devre



1. **Yakıt Tuzu Devresi (Birincil Devre):** Reaktör kalbini, pompaları ve birincil ısı değiştiricileri içerir. Isı burada üretilir.
2. **Ara Devre:** Isıyı yakıt devresinden alır ve radyoaktif olmayan birincil tuz kullanarak güç dönüşüm devresine güvenli bir şekilde aktarır.
3. **Güç Dönüşüm Devresi:** Isıyı kullanarak türbini çalıştırır ve jeneratör aracılığıyla elektrik üretir.

Sıvı yakıtlı reaktörler: neden "erimiş tuz reaktörleri"?

Sıvı Yakıtın avantajları

- ✓ Yakıtın homojenliği (yükleme tesisi yok)
- ✓ Isı doğrudan akışkanında üretilir
- ✓ Yakıt geometrisini pasif olarak yeniden yapılandırma imkanı:
- ✓ Reaktörü durdurmadan yakıtı yeniden işleme imkanı:
 - Nötronik ve fizikokimyasal özelliklere zarar veren fisyon ürünlerinin daha iyi yönetimi
 - Reaktivite rezervi yok

Sıvı yakıtın çalışma şartları nelerdir?

- Çok yüksek olmayan erime sıcaklığı
- Yüksek kaynama sıcaklığı
- Düşük buhar basıncı (Yüksek sıcaklıkta buhar üretimi)
- İyi termofiziksel özellikler (yakıt = soğutucu)
- Radyoaktivite altında kararlılık
- Fisil ve fertil malzemelerin iyi çözünürlüğü
- Radyo-izotop üretimi yok
- Yakıt tuzunu yeniden işleme/kontrol imkanı var

Lityum florürler tüm bu şartları sağlamaktadır



Ergimiş Tuz Reaktörleri

2. Historical overview of MSR's

Sıvı yakıtlı reaktörler: neden "erimiş tuz reaktörleri"?

Sıvı yakıtın çalışma şartları nelerdir?

- Çok yüksek olmayan erime sıcaklığı
- Yüksek kaynama sıcaklığı
- Düşük buhar basıncı (Yüksek sıcaklıkta buhar üretimi)
- İyi termofiziksel özellikler (yakıt = soğutucu)
- Radyoaktivite altında kararlılık
- Fisil ve fertil malzemelerin iyi çözünürlüğü
- Radyo-izotop üretimi yok
- Yakıt tuzunu yeniden işleme/kontrol imkanı var

Lityum florürler tüm bu şartları sağlamaktadır

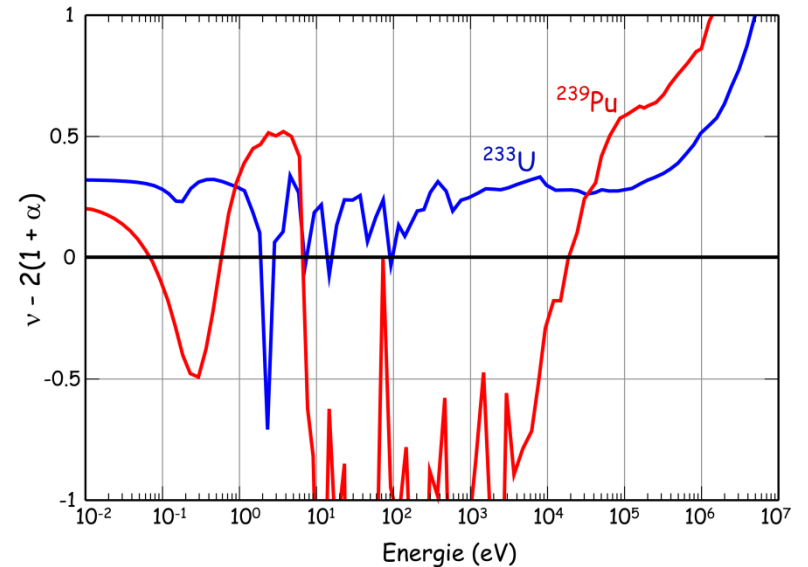
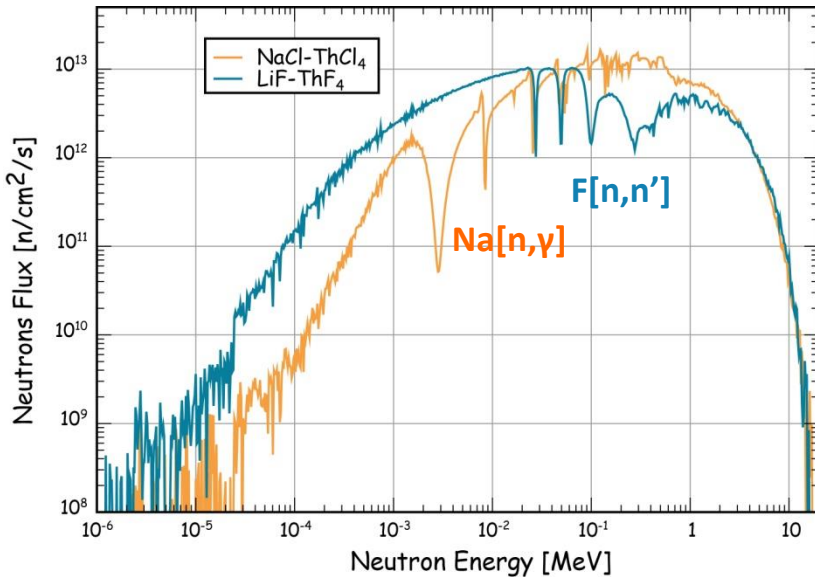


Ergimiş Tuz Reaktörler



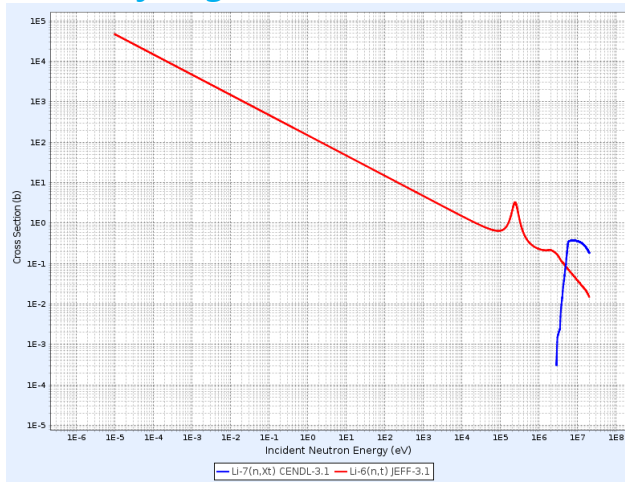
Yakıt çevriminde nötron ekonomisine karşı florun nötronik tesir kesitleri (sodyum ve florür)

Toryum / ^{233}U Yakıt Çevrimi

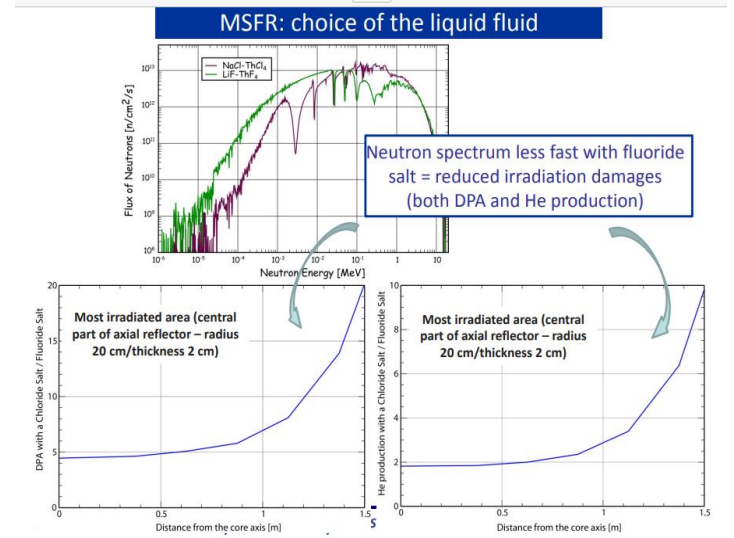


Klorür ve florür tuzlarının karşılaştırılması ve nötronik davranışları

- Florür ve klorür tuzları arasında kimyasal ve termofiziksel özellikler açısından ayırt edici bir fark yoktur ve benzerlik göstermektedirler.
- Bununla birlikte, **nötronik açıdan bakıldığında**, klorür tuzunun **Toryum bazlı bir MSFR'de kullanıldığında üremeyi sağlama (breeding) kabiliyetinin sınırlı olduğunu, önemli miktarda radyotoksik (çok zararlı) ve sonlandırılmayan Cl-36 üretiminin kaçınılmaz olduğunu** görüyoruz.
- Bu literatür çalışmaları, **MSFR'de klorür tuzlarına karşı florür tuzlarının kullanılmasının kesin avantajını göstermektedir.**



Li izotoplarının n-t reaksiyon tesir kesitlerini



MSFR: choice of the liquid fluid

Element produced	Problem	Fluoride Salt	Chloride Salt
^{36}Cl produced via $^{35}\text{Cl}(n,\gamma)^{36}\text{Cl}$ and $^{37}\text{Cl}(n,2n)^{36}\text{Cl}$	Radioactivity $y - T_{1/2} = 30100\text{y}$		10 moles / y (373 g/year)
^3H produced via $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$ and $^6\text{Li}(n,t)^3\text{H}$	Radioactivity $y - T_{1/2} = 12\text{ years}$	55 moles / y (166 g/y)	
Sulphur produced via $^{37}\text{Cl}(n,\alpha)^{34}\text{P}$ (β -[12.34s]) ^{34}S and $^{35}\text{Cl}(n,\alpha)^{32}\text{P}$ (β -[14.262 days]) ^{32}S	Corrosion (located in the grain boundaries)		10 moles / year
Oxygen produced via $^{19}\text{F}(n,\alpha)^{16}\text{O}$	Corrosion (surface of metals)	88.6 moles/year	
Tellurium produced via fissions and extracted by the on-line bubbling	Corrosion (cf. Sulphur)	200 moles/year	200 moles/year

Combination of both neutronic and chemical considerations



MSFR based on a molten LiF fuel salt

ETR'lerde kullanılan Tuzun Özellikleri

- Kimyasal olarak **inert ve kimyasal yanma özelliği yoktur.**
- Hidrojen patlaması veya sodyum yanması olmaz.**
- Gaz fazındaki fisyon ürünleri reaktörün çalışması esnasında tahliye edilir.**
- Basınç düşme** tehlikesi yoktur.
- Yakıt sıvı formda olduğundan yani **yakıt çubukları olmadığı için malzeme hasarı olmaz.**
- Ergimiş tuz **iyonik sıvıdır ve bir ısı emicidir.**

ETR'lerde kullanılan Tuzun Özellikleri

- Reaktör kapatıldığında **kordaki ısı tuz tarafından soğurulur**. Halbuki su soğutmalı reaktörlerde (LWR) ısıyı atmak için **basıncılı suyun sirkülasyonu gerekir**.
- **Tuz yüksek kaynama noktasına ve mükemmel nötron ekonomisine sahiptir**. Bu durum taze yakıt yüklemesini kolaylaştırır. Aynı zamanda fisyon ürünleri de yakıttan çekilebilir.
- Sıvı yakıt çevrimi (Tuz-yakıt karışımı) **hem Th hem de U-238 kullanımından kaynaklı fisil izotopların üremesini sağlar** (U-233 ve Pu izotopları) aynı zamanda Pu izotopları yakıldığı için silahsızlanmayı da destekler.
- Nükleer atık olan **Minor aktinitlerin (MA) bertaraf edilmesine** imkân verir.
- Ayrıca sıvı yakıt çevrimi **parçalanma atıklarının temizlenmesine ve reaktör devrede iken yeni yakıt enjeksiyonuyla kritikliğin kontrolüne** imkan verir

ETR'lerin Özellikleri

- U ve Th nükleer yakıt soğutucu akışkanın içinde çözülmüş olduğundan ETR'ler daha yüksek bir termodinamik verimlilik için su soğutmalı reaktörlere göre **daha yüksek sıcaklıklarda çalıştırılabilmektedirler.**
- Yüksek sıcaklıklarda çalıştırılabildikleri için **ısı verimi yüksektir.**
- Mevcut nükleer reaktörler 160 bar ve üzeri basınçlarda çalışırken, ETR'ler **atmosferik basınçlarda çalıştırılırlar.**
- **Atmosferik çalışma şartları** bu reaktörlerin mevcut teknolojilere göre **daha güvenli ve geometrik olarak daha küçük olmalarına imkân** vermektedir.
- Ergimiş tuzun **sirkülasyonu çevre basıncında** olduğundan reaktör **yapı elemanlarında mekanik stres azalır, reaktör kabının patlama riski yoktur**, daha güvenlidir, yapımı daha kolaydır, su soğutmalı reaktörlere göre işletme daha ekonomiktir ve **radyoaktivitenin olası yayılımı düşüktür.**
- Olası bir kazada, su soğutmalı reaktörlere nazaran, tuz reaktörleri yüksek sıcaklıklarda bile, **fisyon ürünlerini kimyasal ve termofiziksel özelliklerinden dolayı bünyesinde tutar**, bu da en ciddi güvenlik özelliklerinden birisidir.

ETR'NİN EKONOMİK ÜSTÜNLÜKLERİ

- **Düşük basınçta çalışma ve yüksek ısı kapasitesine (birim kütlenin taşıdığı ısı) sahip ergimiş sıvı** nedeniyle, kompakt, daha ucuz reaktör kalbi kullanılır.
- Büyük muhafaza binaları gerekli olmayabilir.
- Kompakt reaktörler seri üretilebilir (**Modüler**), reaktör sahalarına nakledilebilir ve yer altına kurulabilir. (Bu avantaj, gelecekteki bazı LWR'lerde de mevcut olacaktır.)
- Reaktör kalbi, yüksek sıcaklıkta ($\sim 700^{\circ}\text{C}$) çalışabildiğinden elektrik üretim verimliliğini artırır (mevcut LWR'ler için verim %33'e kıyasla **ETR'de verim ~ 45 'in üzerindedir**). Yüksek sıcaklık, kompakt **Brayton çevrim** sistemlerinin kullanılmasına olanak sağlar.
- ETR daha yüksek sıcaklıkta soğutma sıvıları sağlayabileceğinden **hava soğutmalı enerji dönüşüm sistemleri kurak veya soğuk bölgelerde kullanılabilir.**

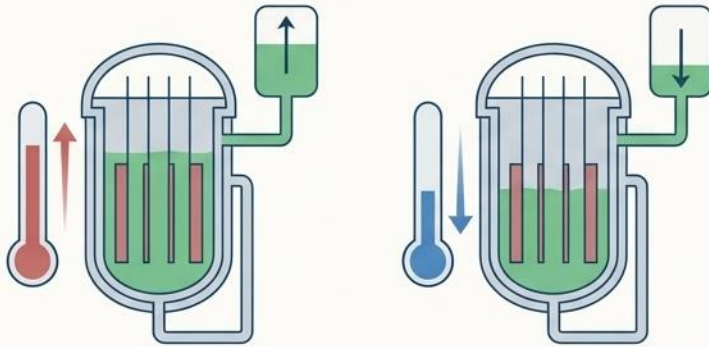
ETR'NİN EKONOMİK ÜSTÜNLÜKLERİ

- Yakıt peletleri, çubuklar ve hassas kalp yapısı üretimine gerek yoktur.
- Reaktör kalbini sızıntı yapabilen yakıt çubukları için sürekli test etmeye gerek yoktur.
- Yakıt ikmali için kapatmaya gerek yoktur.
- Kullanılmış bölünebilir LWR yakıtları (TRU) kullanılarak çalıştırılabilir.
- Toryum reaktörleri yeterli U-233'ü ürettikten sonra, U-235 zenginleştirme tesislerine gerek kalmaz.
- Yakıt ömrü radyasyon hasarı ile sınırlı değildir.
- Sıvı yakıt reaktörleri, kömürden daha ucuza elektrik üretebilir.
- Toryumdan elde edilen U-233, UF₄ tuzunu erimiş tuzdan kabarcıklar çıkaran gaz halindeki UF₆'ya dönüştüren flüorür gazı kabarcıkları ile ergimiş tuzdan çıkarılabilir.
- Saflaştırılmış Uranyum, H₂'ye maruz bırakılarak tekrar UF₄'e dönüştürülebilir ve kalbe geri döndürülebilir.

Başlık: Tasarımla Gelen Güvenlik: ETR'nin Pasif Güvenlik Mekanizmaları

Metin: ETR, insan müdahalesi veya karmaşık aktif sistemler gerektirmeden, temel fizik yasalarına göre çalışan, doğası gereği güvenli bir reaktör türüdür.

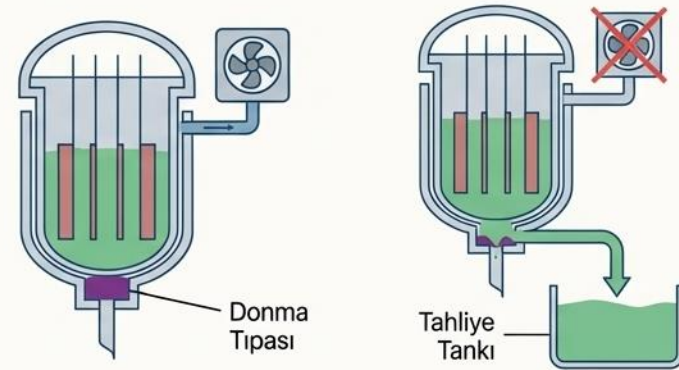
Mekanizma 1: Negatif Geri Besleme (Kendi Kendini Düzenleme)



Sıcaklık Artınca: Sıvı yakıt genişler -> Çekirdekteki yakıt yoğunluğu azalır -> Nükleer reaksiyon yavaşlar -> Sıcaklık stabilize olur.

Sıcaklık Azalınca: Sıvı yakıt büzülür -> Yakıt yoğunluğu artar -> Reaksiyon hızlanır -> Sıcaklık stabilize olur.

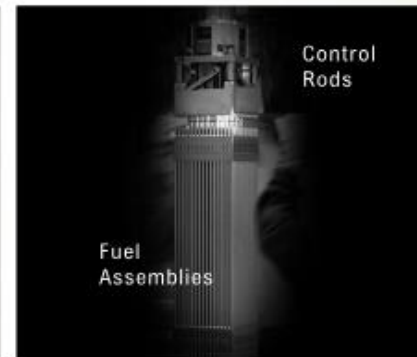
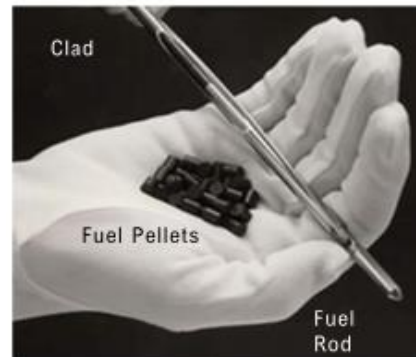
Mekanizma 2: Donma Tıpası (Erimeye Karşı Pasif Koruma)



Beklenmedik Durumda: Soğutma fanı gibi aktif sistemler devre dışı kaldığında, reaktörün altındaki 'Donma Tıpası' (Freeze Plug) pasif olarak erir. Sonuç: Tüm sıvı yakıt, yerçekimi kuvvetiyle, reaksiyonun durduğu ve ısının pasif olarak yayıldığı güvenli bir tahliye tankına boşalır. Bu, Fukushima tipi bir çekirdek erimesi riskini ortadan kaldırır.

Nuclear Fuel Evolution

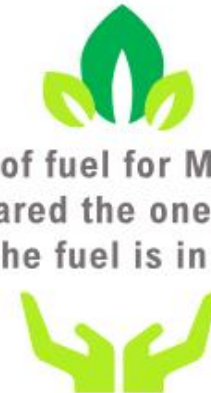
**I-III+ Generation
Conventional Power
Reactors
Solid Fuel**



**Molten Salt Reactors
Liquid Fuel**



The production of fuel for MSR is extremely simple compared the one for traditional reactors. The fuel is in liquid form.

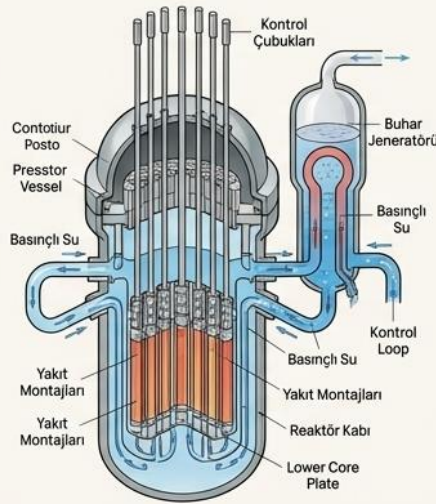


Başlık: Paradigma Değişimi: Katı Yakıttan Sıvı Yakıta Geçiş

Metin: Erimiş Tuz Reaktörleri, nükleer reaktör tasarımında temel bir devrim sunar: yakıtın kendisi sıvıdır. Bu basit ama güçlü konsept, geleneksel reaktörlerin birçok kısıtlamasını ortadan kaldırır.

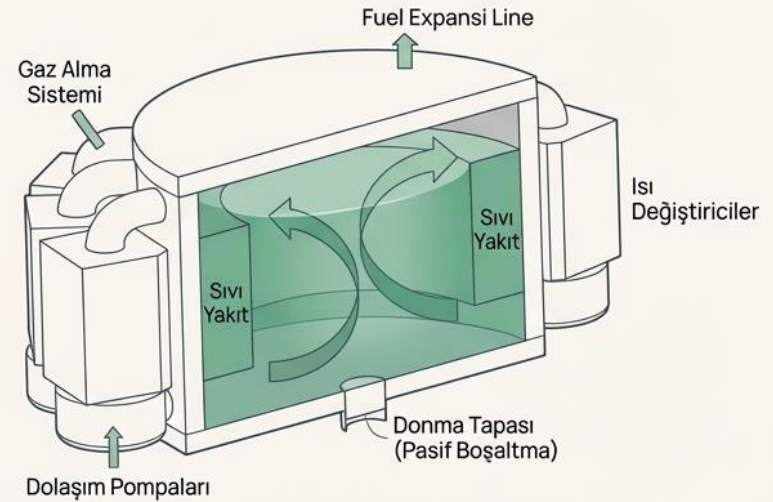
GELENEKSEL REAKTÖRLER (NESİL I-III+)

Yakıt: Katı Yakıt Peletleri ve Çubukları
Basınç: 150 bar iç basınç
Soğutucu: Su ile ısı transferi

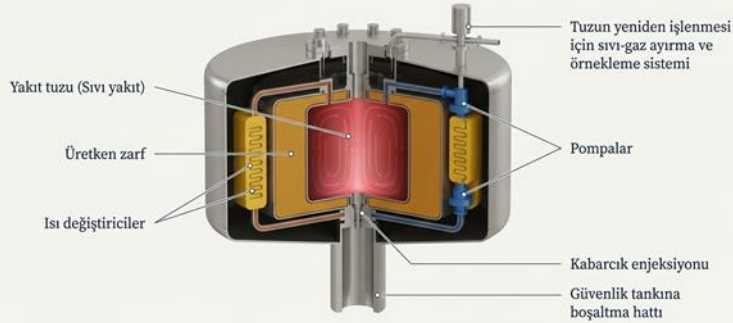


IV. NESİL ERİMİŞ TUZ REAKTÖRÜ (ETR)

Yakıt: Sıvı Yakıt (Erimiş Tuz)
Basınç: 1-3 bar iç basınç (Atmosferik basınca yakın)
Soğutucu: Yakıtın kendisi soğutucudur (Su yok!)

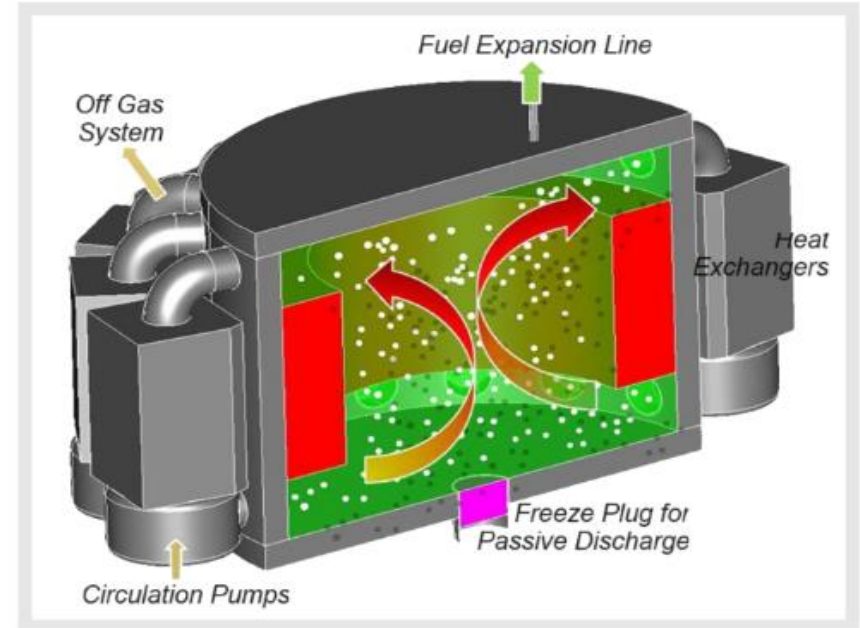


Reaktör Kalbi: Kompakt ve Entegre Tasarım

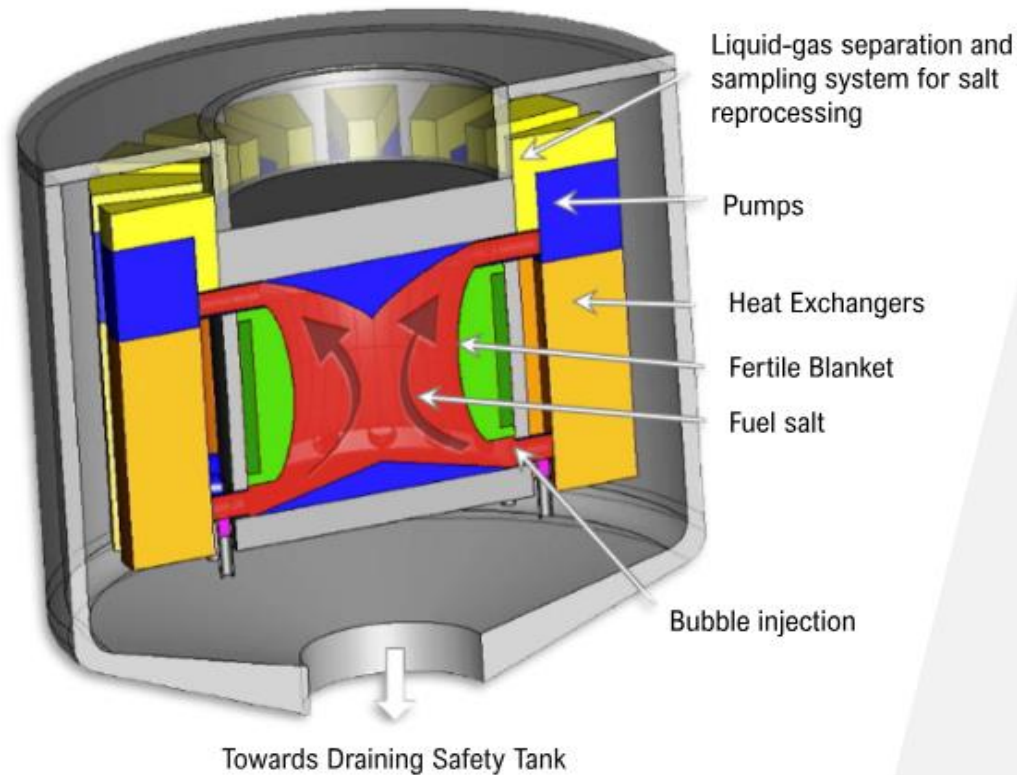


IV. GENERATION MSR

- Liquid Fuel
- Internal pressure of 1-3 bars
- Heat transfer with liquid fuel (No water!)



EU Project (SAMOFAR): Design of the Molten Salt Fast Reactor



- Financing from Horizon / Euroatom
- ~20 Million USD in the last 10 years R&D investment
- EVOL (2010-2013)
- SAMOFAR (2015-2019)
- SAMOSAFER (2019-2023)
- TU Delft, CNRS, JRC, CIRTEN, IRSN, CINEVESTAV, AREVA, CEA, EDF, PSI, KIT
- **FIGES** (Heat Exchanger Design), Kurchatov Institute, NRG, SINAP

Related video
image



Molten Salt Fast Reactor

Yakıtı yeniden işleme

Fisyon Ürünlerinin Reaktörden alınması: Motivasyonlar

- ✓ Tuzun fizikokimyasal özelliklerinin kontrolü (tortu, erozyon ve korozyon olaylarının kontrolü)
- ✓ Nötronik özellikleri korur

Fiziksel Ayrıştırma (Korda)

- Gaz Yeniden İşleme Ünitesinde Kabarcık yoluyla ayıklama
- Kr, Xe, He vb. fisyon ürünü partikülleri ayıklanması

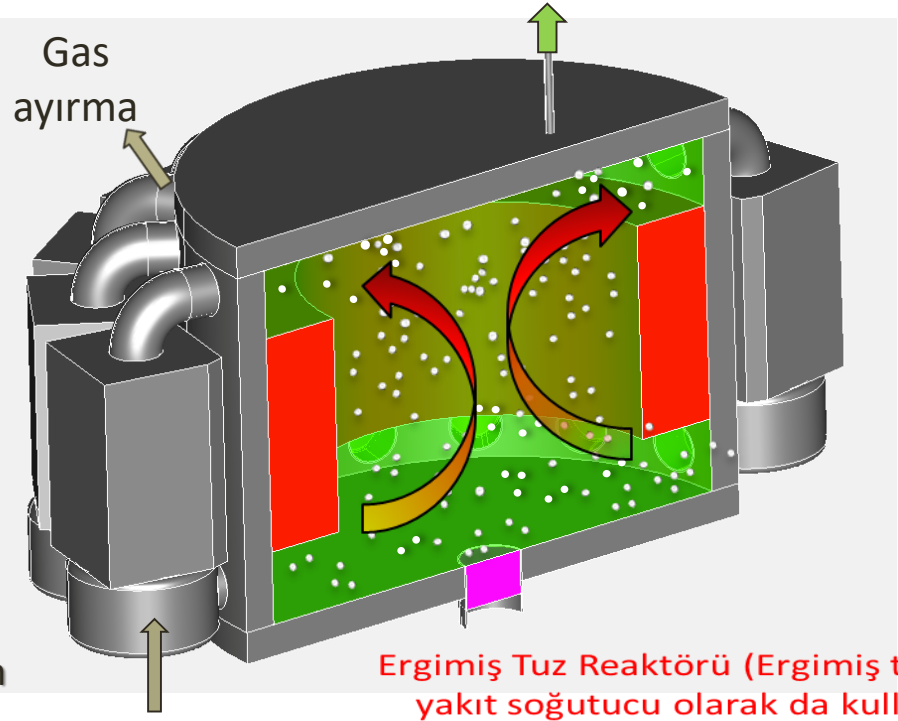
Kimyasal Ayrıştırma

(Banyo yoluyla)

İlk Yakıt Ergimiş Tuz $\text{LiF-ThF}_4\text{-}^{233}\text{UF}_4$ with

77.5 % LiF
or $\text{LiF-ThF}_4\text{-}$
(Transuranics) F_3

Bileşimi (mol%)

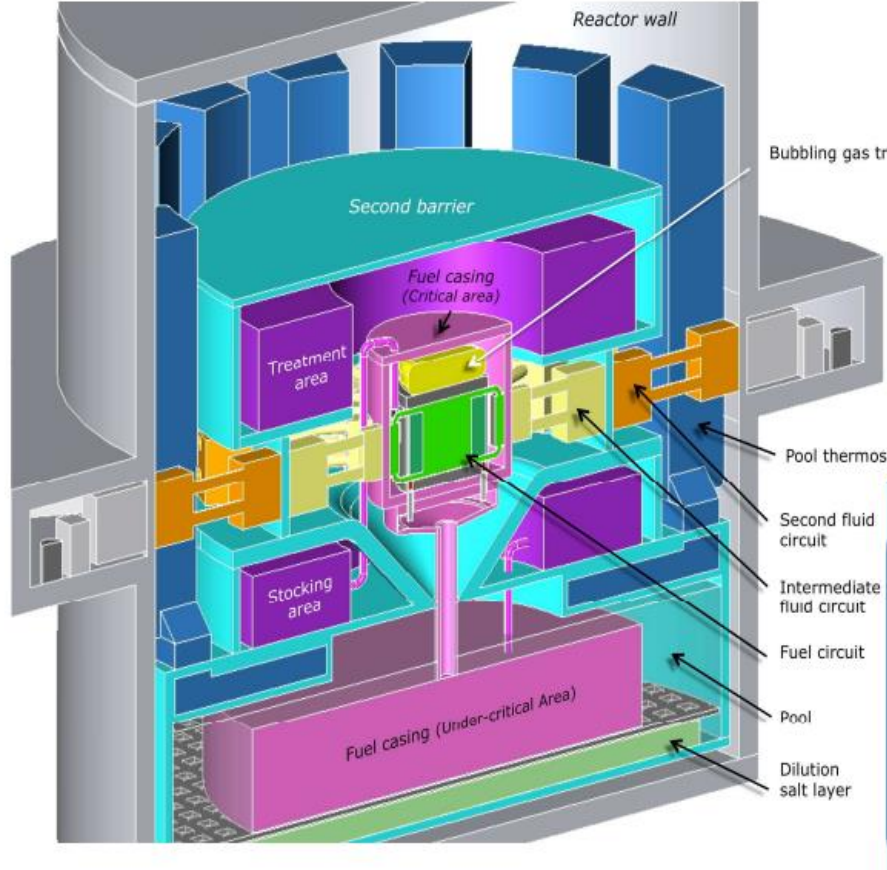


Ergimiş Tuz Reaktörü (Ergimiş tuz = sıvı yakıt soğutucu olarak da kullanılır)

Thoryum bazlı yakıt çevrimi

Kor içerisinde katı madde örn. Yavaşlatıcı (moderator) ve kontrol çubuğu yok ⇒ Hız nötron spectrum

MSFR and Safety Evaluation



Kor içerisinde asal gaz enjeksiyonu (Online)

Önerilen Koruma (Hapsetme) Bariyerleri:

İlk bariyer: yakıt zarfı, iki alandan oluşur: kritik ve kritik-altı bölümler

İkinci bariyer: yeniden işleme ve depolama ünitelerini de içeren reaktör kabı

Üçüncü bariyer: reaktör binasına karşılık gelen reaktör dış duvarı

Tüm çözünmeyen **fisyon parçalanma ürünlerini** (çoğunlukla soy metaller ve gaz şeklinde) **uzaklaştırmak** için, **akan sıvı tuza** (çekirdeğin içine) **helyum enjekte edilir** → Ayrışma (tuzda / kabarcıklar şeklinde)

Yapı malzemelerindeki radyasyon hasarı

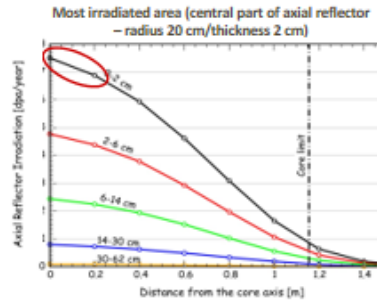
MSFR: Design and Fissile Inventory Optimization

Structural material composition Ni based alloy:

Ni	W	Cr	Mo	Fe	Ti	C	Mn	Si	Al	B	P	S
79.432	9.976	8.014	0.736	0.632	0.295	0.294	0.257	0.252	0.052	0.033	0.023	0.004

DPA
Displacement per atom

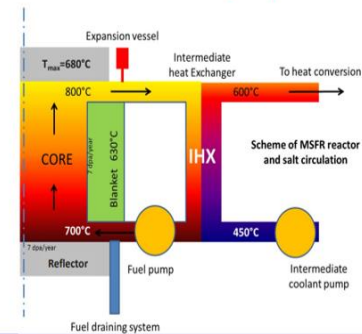
Fast neutrons ($E_n > 100$ keV) eject the nucleus from the structure material creating damage through atom displacement (evaluated with cross-section MT444)



Concept of MSFR: structural materials (Ni-based alloys) resistance

Ni	W	Cr	Mo	Fe	Ti	C	Mn	Si	Al	B	P	S
79.432	9.976	8.014	0.736	0.632	0.295	0.294	0.257	0.252	0.052	0.033	0.023	0.004

Neutronic irradiation damages to the structural materials (modify their physicochemical properties) = displacements per atom, production of Helium gas, transmutation of Tungsten in Osmium, activation - At high temperatures



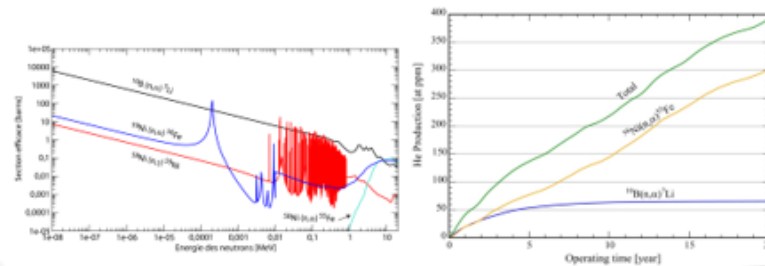
MSFR: Design and Fissile Inventory Optimization

Structural material composition Ni based alloy:

Ni	W	Cr	Mo	Fe	Ti	C	Mn	Si	Al	B	P	S
79.432	9.976	8.014	0.736	0.632	0.295	0.294	0.257	0.252	0.052	0.033	0.023	0.004

He production

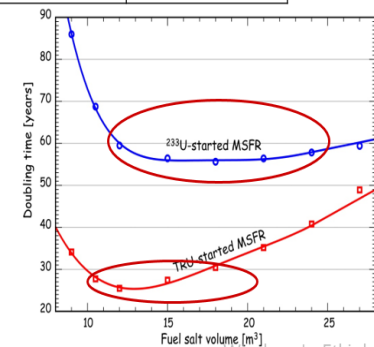
mainly on ^{50}Ni , ^{58}Ni and ^{10}B
(Boron quantity may be re-adjusted)



MSFR: Design and Fissile Inventory Optimization

Fuel salt volume / specific power	t(100 dpa)	t(100 ppm He)	t(-1 at% of W)
12 m ³ - 500 W/cm ³	85 years	2.2 years	4.7 years
18 m ³ - 330 W/cm ³	133 years	3.2 years	7.3 years
27 m ³ - 220 W/cm ³	211 years	5.5 years	10.9 years

Optimization = Medium Fuel Salt Volumes



Enerjinin Ötesinde: Yüksek Teknoloji Ekosisteminin Lokomotifi Olarak Nükleer



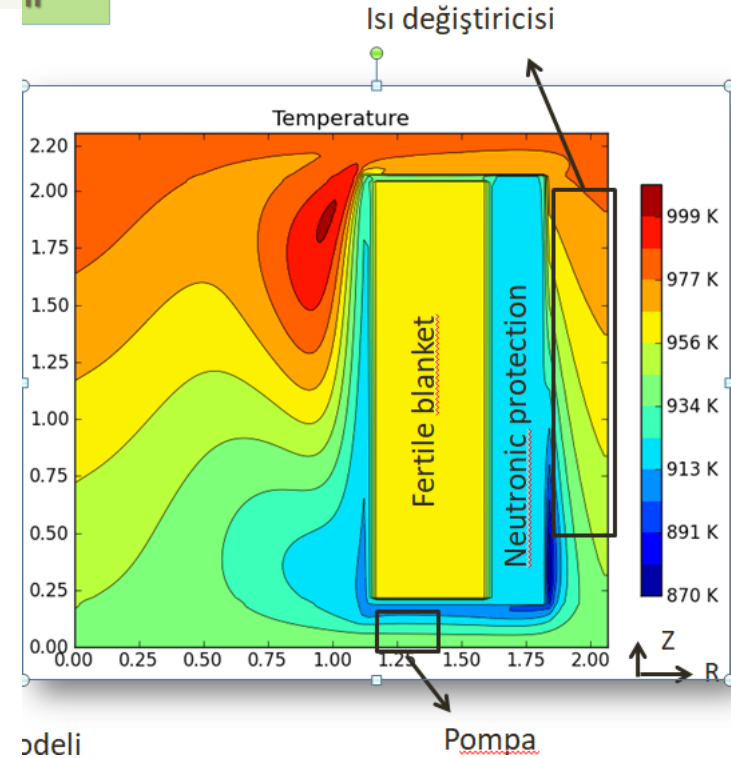
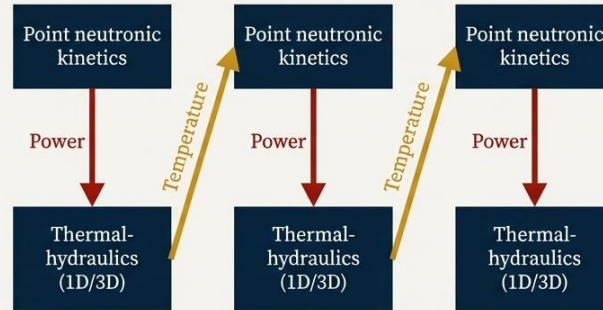
Gazi Üniversitesi'nde Yürütülen MSFR Tasarım ve Analiz Çalışmaları

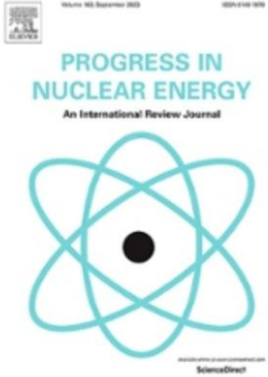
Bu bölümde, 50 MWth gücünde bir Ergimiş Tuz Hızlı Reaktörün geliştirilen yenilikçi tasarım konsepti ve bu konseptin çoklu fizik (nötronik ve termo-hidrolik) analiz sonuçları sunulacaktır.

İleri Modelleme: Nötronik ve Termal-Hidrolik (CFD) Birleşimi

Metodoloji

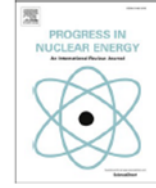
- **COUPLING Kodu:** Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü'nde (KIT) geliştirilen 2D aksel simetri kodu kullanılmıştır.
- **Nötronik Model:** 2 enerji gruplu difüzyon denklemi.
- **Termo-Hidrolik Model:** Kütle, Navier-Stokes ve enerji korunum denklemleri (Newtonian akış).
- **Bileşen Modelleri:** Pompa modeli (sabit akışkan hızı) ve ısı eşanjörü modeli (negatif ısı kaynağı).





Contents lists available at ScienceDirect

Progress in Nuclear Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/pnuceneDesign studies for A 50 MW_{th} molten salt fast reactorSümer Şahin^a, Hacı Mehmet Şahin^{b,*}, Güven Tunç^b, Hüseyin Şahiner^c^a Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Nişantaşı University, İstanbul, Türkiye^b Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, Ankara, Türkiye^c Department of Nuclear Energy Engineering, Sinop University, Sinop, Türkiye**ÖZET**

- Bu makalede, 50 MW_{th} Erimiş Tuz Reaktörü (MSR) için tasarım çalışmaları, **erimiş tuz-yakıt (LiF-UF₄) karışımının ötektik noktası** için gerçekleştirilmiştir.
- Nötronik hesaplamalar **%19,75 zenginleştirilmiş uranyum ve %100 7Li** izotopu içerecek şekilde gerçekleştirilmiştir.
- MCNP6 nükleer kodu, geometri boyutlarını ve kritikliği belirlemek için ENDF/B-VIII nükleer veri kütüphanesi ile birlikte kullanılmıştır.
- Reaktördeki Pu ve diğer ağır izotopların zaman içindeki evrimi MCNPAS arayüz kodu ile hesaplanmıştır.
- Farklı reaktör kabı malzemeleri ile dört model incelenmiştir:

Model 1: Ni alaşımı (NiCrW-Hastelloy çeliği),**Model 2: Berilyum,****Model 3: Grafit ve****Model 4: Silisyum Karbür (SiC).**

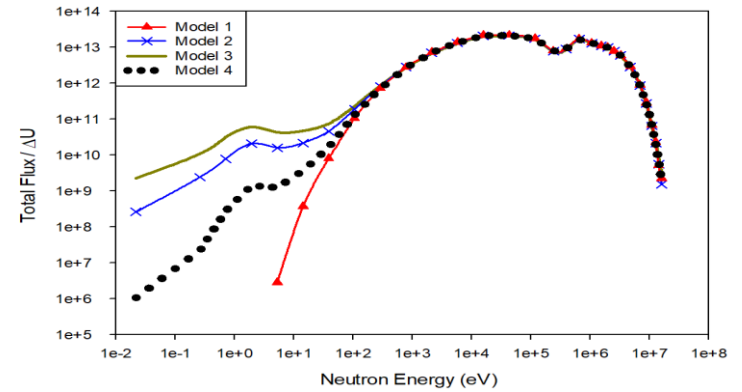
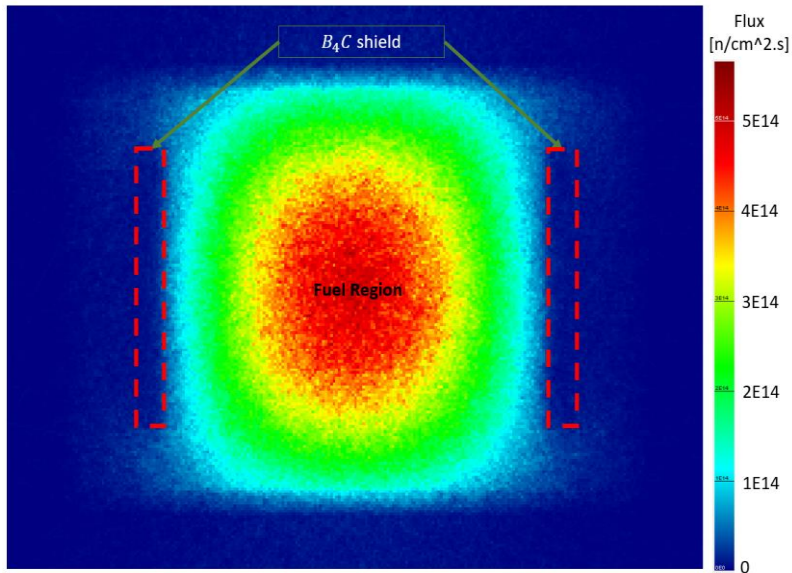
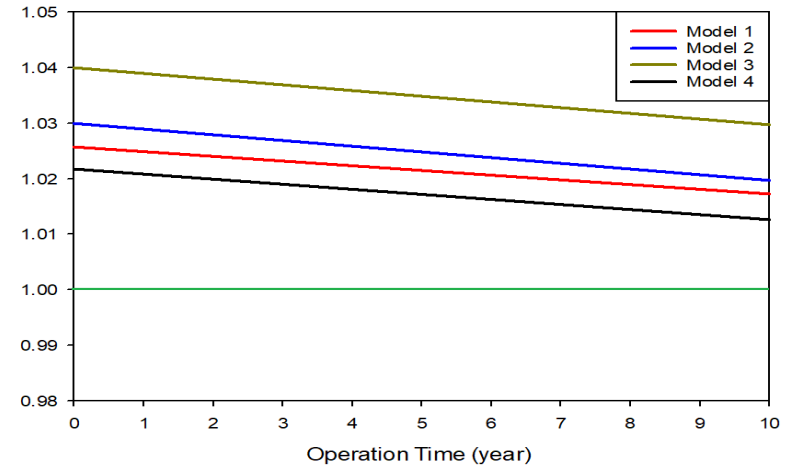
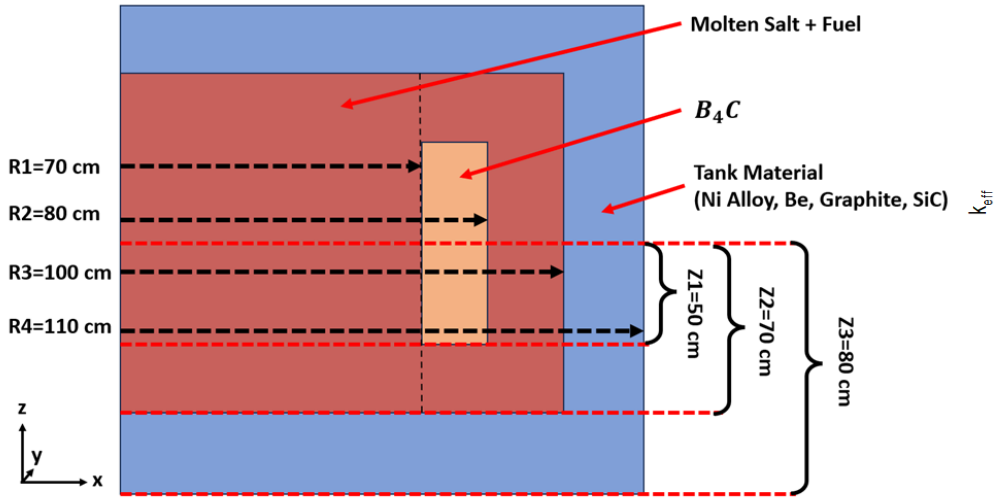
- İlgili modeller için, zamana bağlı kritiklik hesaplamaları $k_{eff} = 1.0262, 1.0298, 1.0404$ ve 1.0223 başlangıç kritiklik değerleri ile gerçekleştirilmiştir.
- İlgili modeller için **10 yıllık reaktör işletimi boyunca** tüketilen 235U sırasıyla 257,9 kg, 258,8 kg, 259,4 kg ve 257,9 kg'dır.
- Aynı zamanda 238U tüketimleri sırasıyla 400,6 kg, 380,0 kg, 379,8 kg ve 400,9 kg'dır.
- Daha yüksek kaliteli yeni yakıtın (239Pu) **10 yıl boyunca üretilen miktarı**, ilgili modeller için sırasıyla 129,10 kg, 127,41 kg, 122,95 kg ve 128,66 kg olarak hesaplanmıştır.

Nötronik Hesaplar

Peki biz neden nötronik hesaplar (similasyon) yapıyoruz?

- Elimizde gerçek bir deneysel çalışma olmadığı için (Gerçek deneysel durumun yerini hiçbir şey tutmaz) yinede deneysel durumu modellemek
- MCNP ile yapılan kor hesapları, binlerce deneysel ölçüm ve uluslararası benchmark çalışmalarıyla doğrulanmış nükleer veri kütüphanelerine dayanmaktadır.
- Yüksek radyasyon riski var
- Ar-Ge harcamalarını azaltmak
- Gerçek modeli öğrenmek
- Deneysel sonuca hızlı cevap vermek için
- Modern bilgisayar programları güvenilir sonuçlar veriyor
- Doğrulama yapmak için yine de her zaman deney ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmalıdır
- Atomik yoğunluk değişimlerinin izlenmesi
- Reaktör içerisinde radyoaktif bozunma süreçleri
- Nötronik çarpışma olayları
- **Not:** MCNP'nin doğruluğu: Kodun kendisinden değil, Nükleer veri kütüphanelerinden, Benchmark deneylerinden, Belirsizlik analizlerinden gelir.

Nötronik hesaplama için reaktör geometrisi



Calculation Procedures

- MCNP6
 - Monte Carlo Neutronic Transport Code
 - Generalized geometry (3-D)
 - Continuous energy
 - The most recent neutronic cross-section data library, ENDF/B-VI and ENDF/B-VII, Evaluated Nuclear Data File (ENDF) system
- ORIGEN 2.2
 - Burn-up Code
 - Calculates new material compositions according to be defined time interval
- Monteburns 2.0
 - Interface code between MCNP and ORIGEN

The MCNP transport code

Features and requirements:

- A general purpose Monte Carlo N-Particle transport code.
- Can be used for neutron, photon and electron transport.
- Requires an arbitrary three-dimensional configuration of materials in geometrical cells bounded by surfaces.
- It uses continuous and discrete energy data libraries.
- The program gives reliable results dependent on the model defined by the user.

MCNP Input File

The transport equation : Solutions

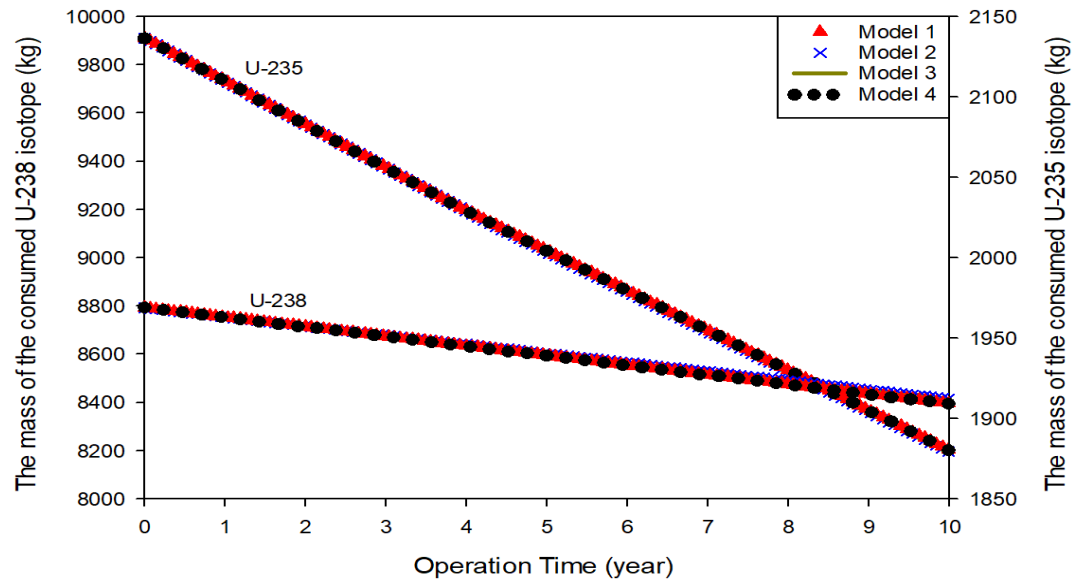
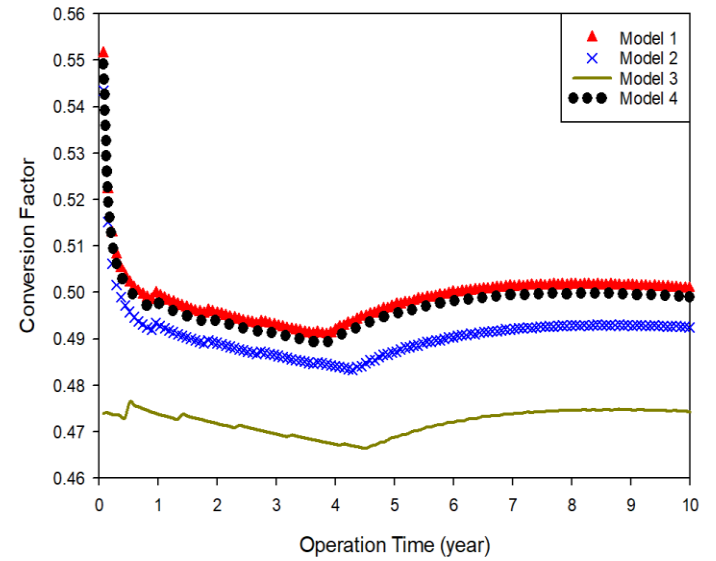
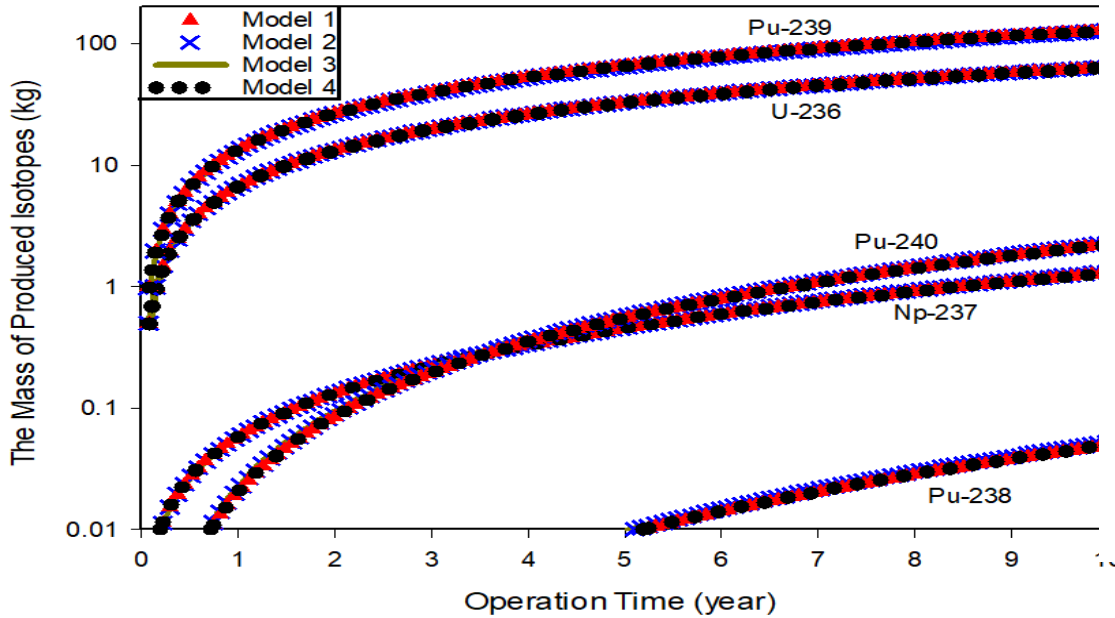
- Possible solutions use:
 - **Analytical methods** – provides a **full solution** to the transport equation → very limited
 - **Deterministic methods** – approximates the parameter space (e.g. discrete cross-sections) results in a **full solution**.
 - **Monte Carlo method** - solves a transport problem by simulating particle histories gives a **local solution** to the transport equation.

Elements of a Monte Carlo Calculation

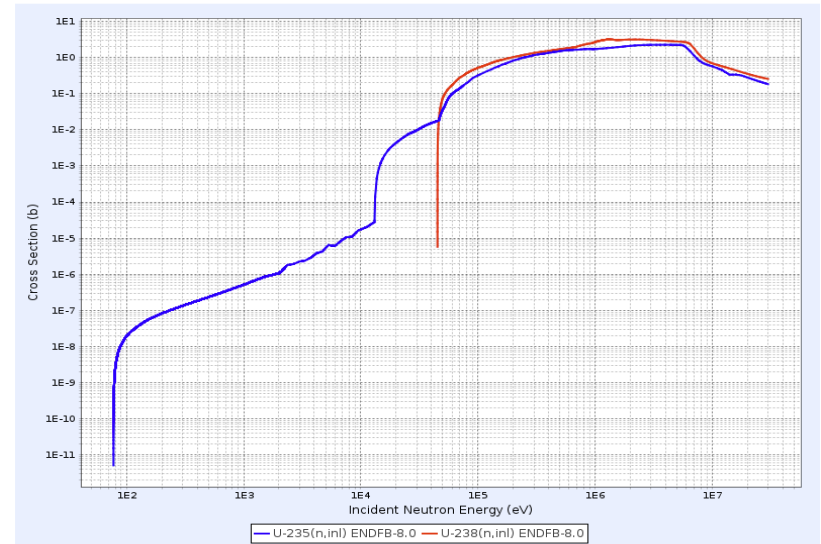
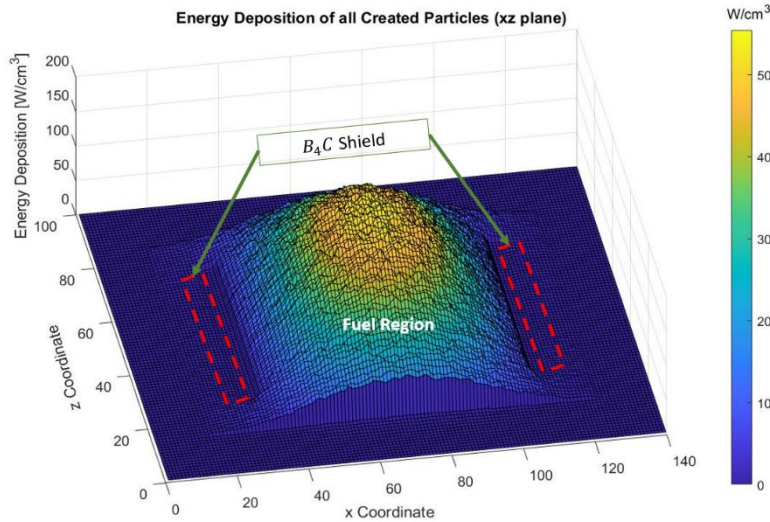
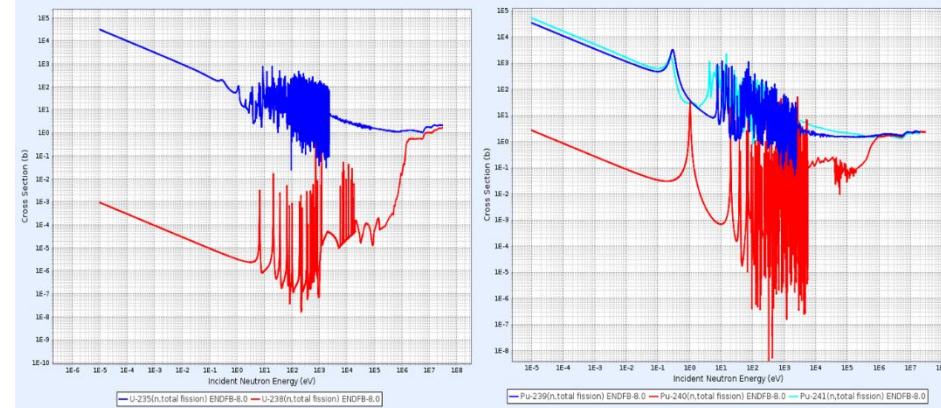
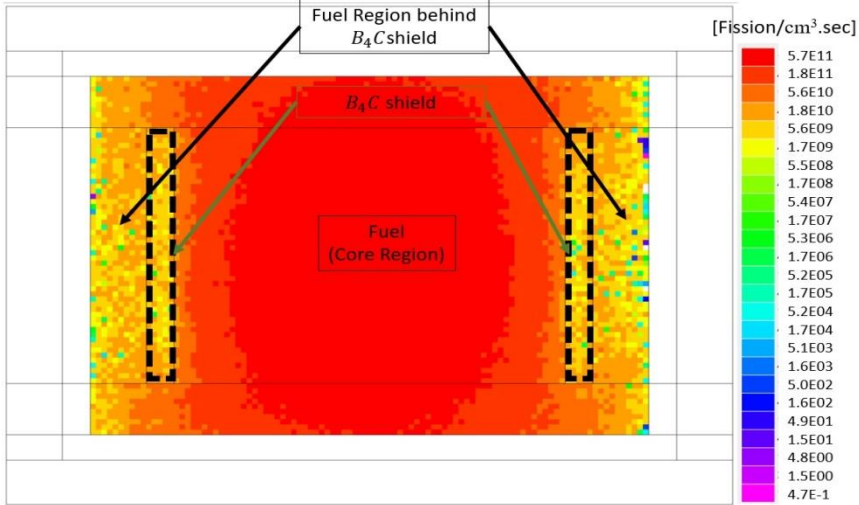
A Monte Carlo Calculation requires :

- A specification of the **geometry** of the system.
- The description of the **materials**.
- The location and characteristics of the neutron, photon or electron **source**.
- The **scores** or tallies required.
- Any **variance reduction** techniques to improve efficiency.

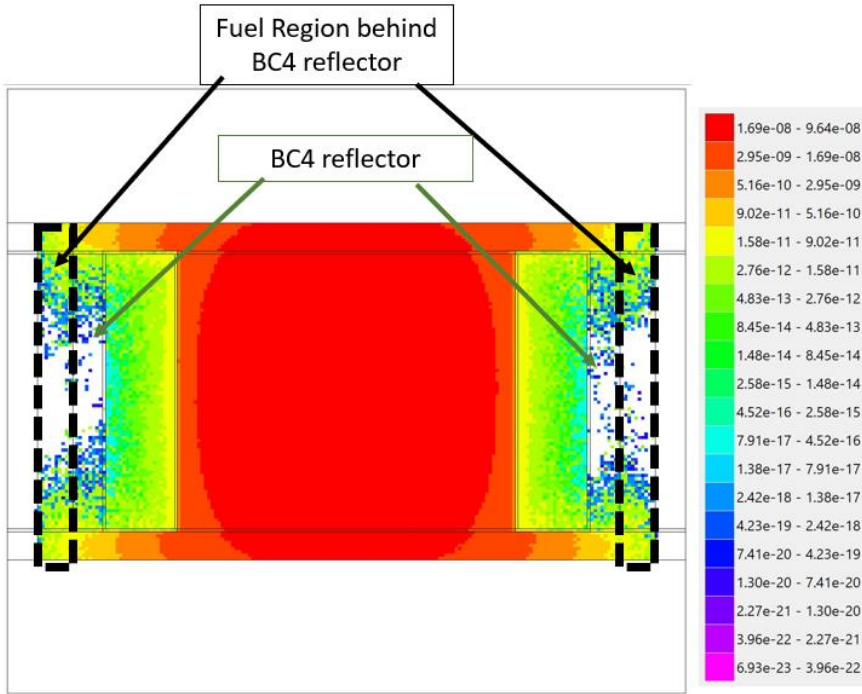
Tüm modeller için fisil (bölünebilir-fisyon yapabilir) izotopların kütleindeki değişim



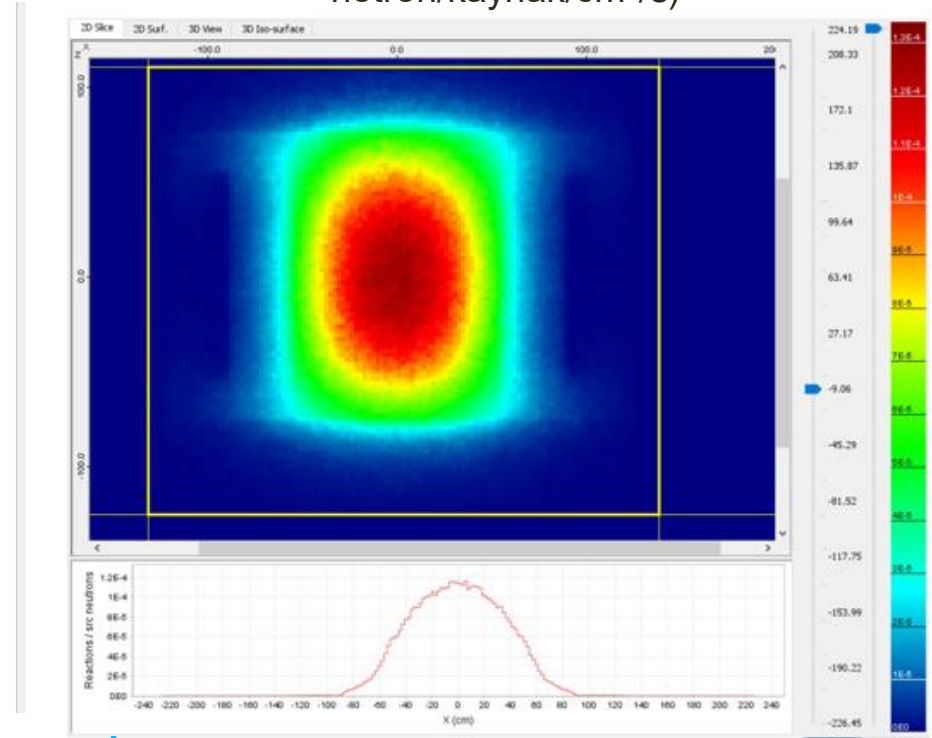
Reaktör genelinde 50 MWth için fisyon oranı dağılımı



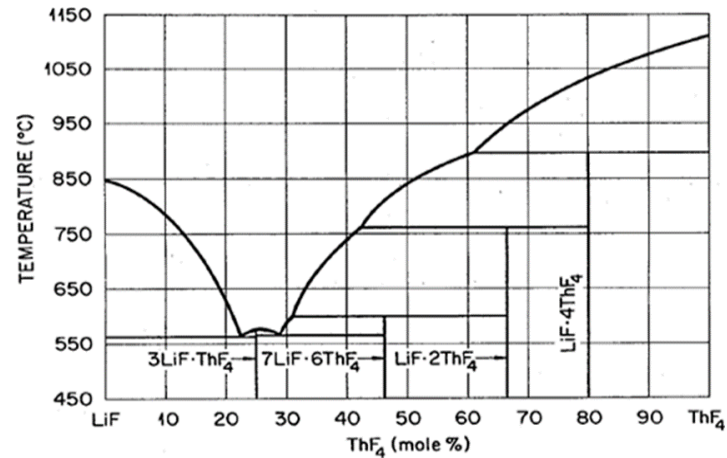
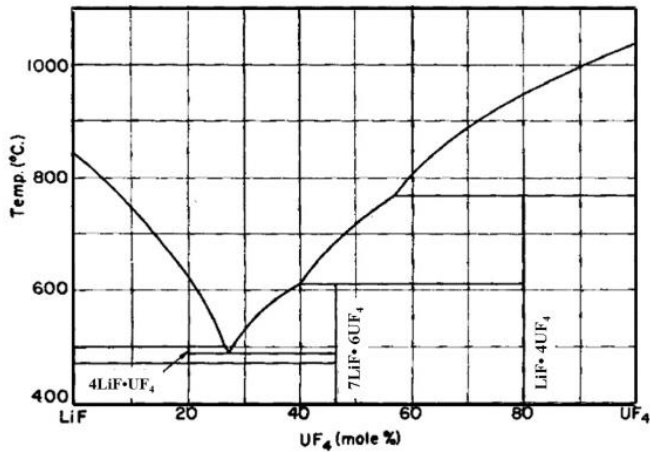
Fisyon oranının tüm reaktör boyunca dağılımı

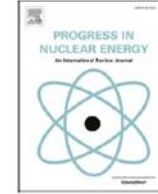


Reaktörün tamamında volumetrik nötron akısı (Birim: nötron/kaynak/cm²/s)



LiF-UF₄ ve LiF-ThF₄ faz diyagramları





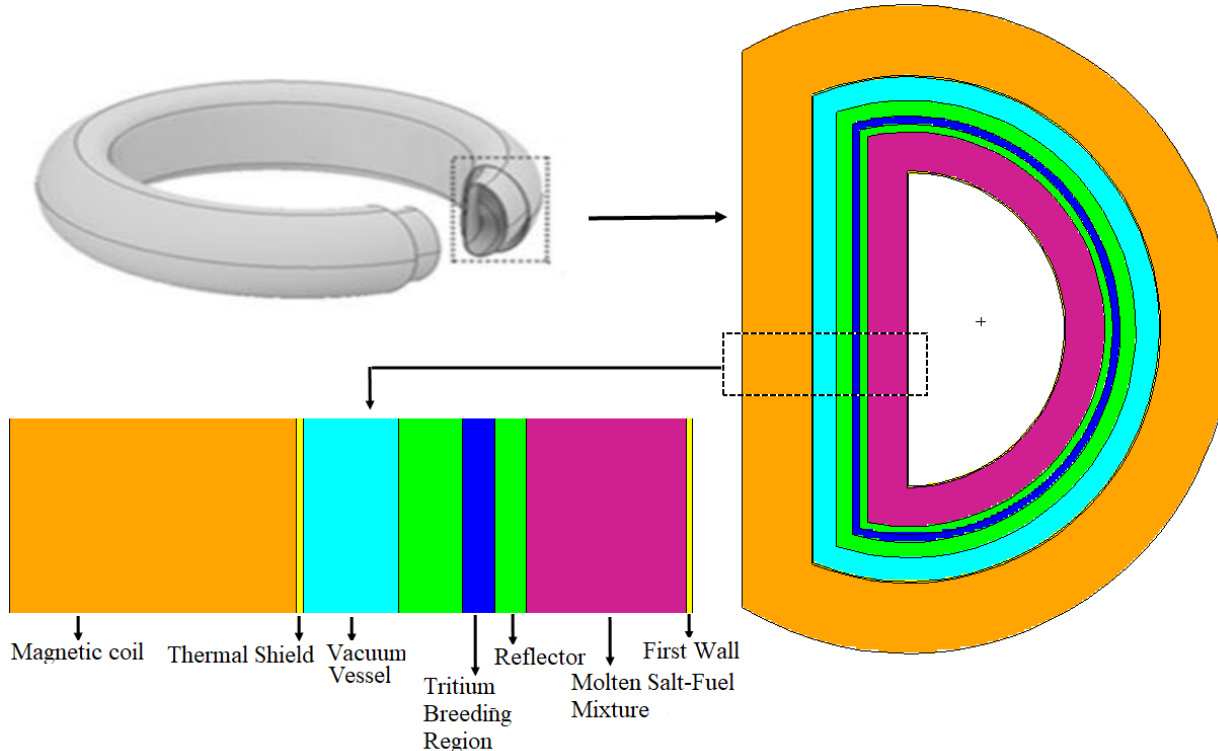
Neutronic study of ThF₄-UF₄-LiF fuel mixture in the molten salt hybrid reactor for ²³³U denaturing

Hacı Mehmet Şahin^{a,*}, Sümer Şahin^b, Güven Tunç^a, Hüseyin Şahiner^c

^a Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, Ankara, Türkiye

^b Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Nişantaşı University, İstanbul, Türkiye

^c Department of Nuclear Energy Engineering, Sinop University, Sinop, Türkiye

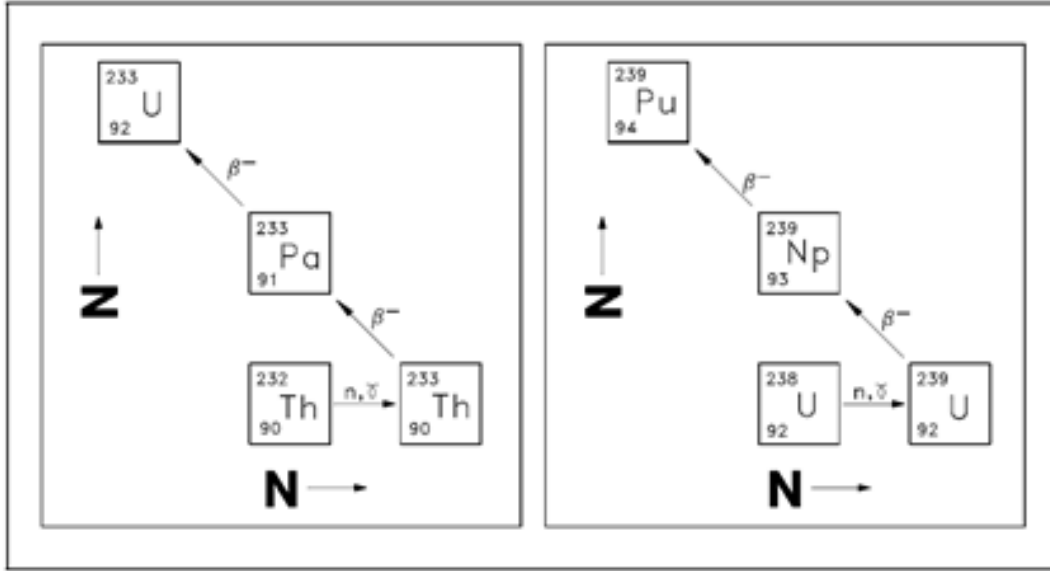


Molten Salt- Fuel Mixture
LiF (77.5%)–ThF₄ (20.25%)–UF₄
(2.25%)

10 wt% DU/(DU+Th)

- Nükleer yakıt çevriminde silahlanmaya elverişli izotopların **denatürasyonu**, fisil izotopların (**özellikle ²³³U**) izotopik ve radyolojik özelliklerinin **bilinçli** olarak değiştirilerek **silah üretimine teknik ve pratik açıdan elverişsiz hâle getirilmesini** ifade eder.
- Böylece yakıt çevrimi, **nükleer silahların yayılmasının önlenmesine** yönelik **uluslararası güvenlik ve emniyet ilkeleriyle uyumlu hâle** getirilir.

Fertil Çekirdeklerin Fisil Çekirdeklere Dönüşümü



Toryum

- ❑ **Toryum doğada uranyumdan daha bol** bulunur.
- ❑ Bölünebilir (fisil izotop) olmaktan ziyade üretkendir (**fertil izotop**-fisil izotopa dönüşebilen) ve **yalnızca geri dönüştürülmüş plütonyum gibi bölünebilir bir malzeme ile birlikte** yakıt olarak kullanılabilir.
- ❑ **Toryum yakıtları** çeşitli nükleer reaktörlerde kullanılmak üzere bölünebilir **U-233 (fisil yakıt)** üretebilir.
- ❑ **Erimiş tuz reaktörleri (ETR)**, normal yakıt çubuğu üretiminden kaçınıldığı (oldukça pahalı) için **toryum yakıtına çok uygundur.**

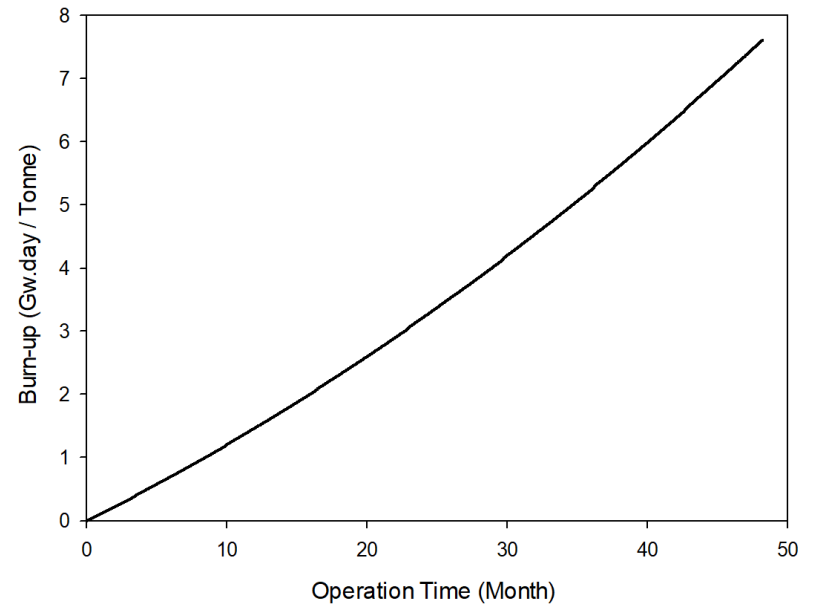
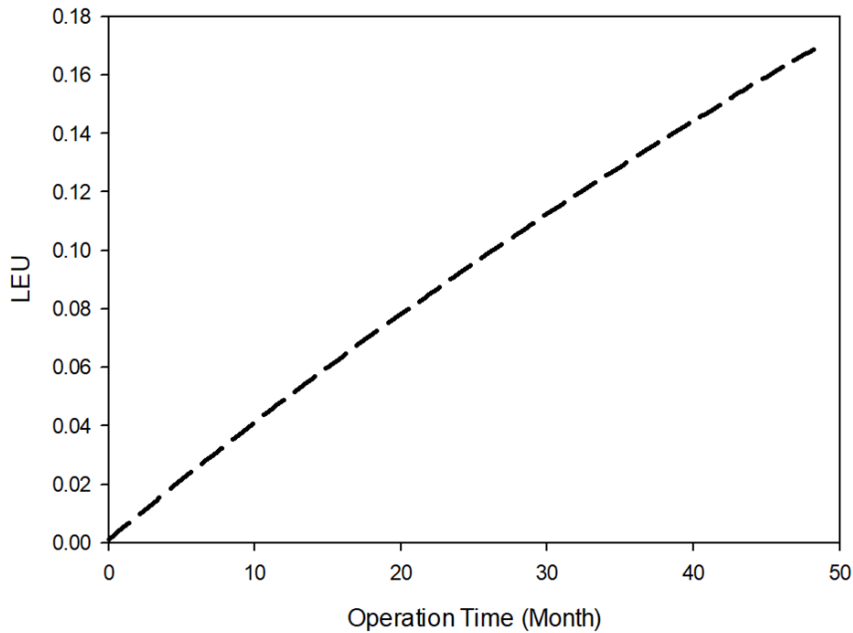
Nötron akısı altında Fertile malzemeler fissile malzemelere dönüşebilirler.

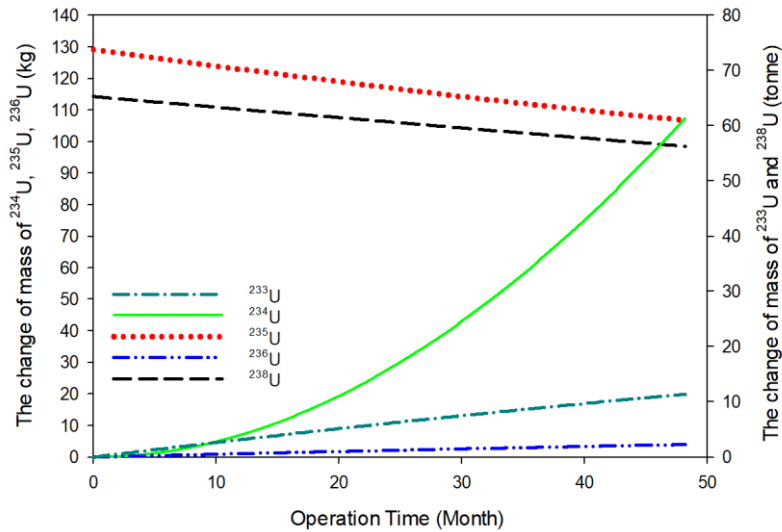
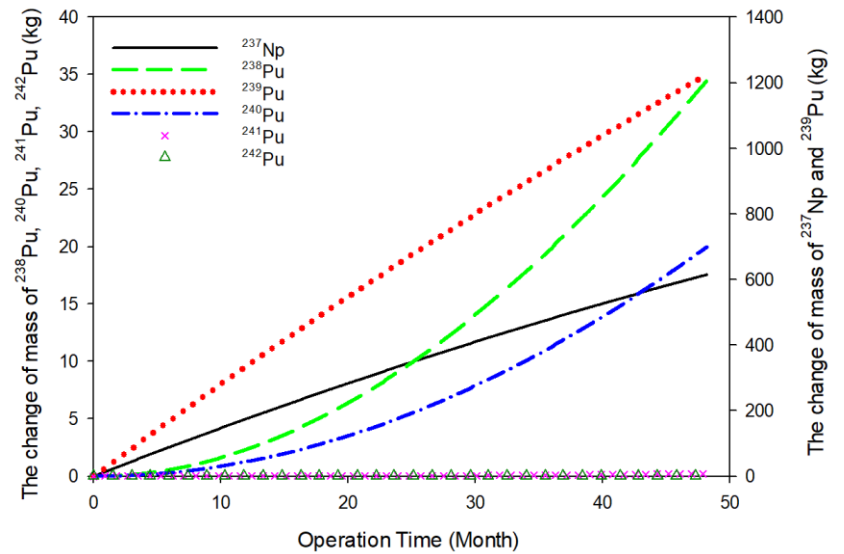
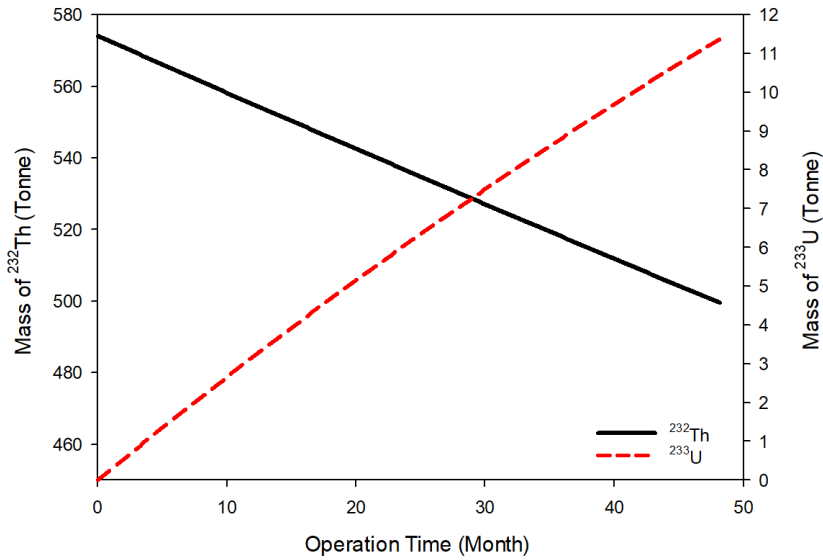
Şekil, iki verimli çekirdeğin, toryum-232 ve uranyum-238, sırasıyla uranyum-233 ve plütonyum-239 dönüşüm mekanizmasını göstermektedir.

İki çeşit reaktör tipi vardır, bunlar;

- «Breeder» üretken Reaktörler (Eğer üretilen fisil yakıt, yanmasından (burn-up) daha fazla ise) ve
- «Converter» dönüşüm Reaktörler (Kullanılandan daha az yakıt üretiliyorsa).

- $$LEU233 = \frac{\text{Weight of } ^{233}\text{U} + 0.6 \times \text{Weight of } ^{235}\text{U}}{\text{Weight of total uranium}} < 0.12$$





Isotopes	Initial Mass (kg)	Final Mass (kg)
^{232}Th	574060	499490
^{233}U	-	11381
^{234}U	-	107.4
^{235}U	129.2	106.6
^{236}U	-	4.0
^{238}U	65303	56315
^{237}Np	-	614.3
^{238}Pu	-	34.5
^{239}Pu	-	1225
^{240}Pu	-	20
^{241}Pu	-	0.221
^{242}Pu	-	0.002

Figures. Change in the mass of isotopes as a function of operating time.

Progress in Nuclear Energy

Thermal-Hydraulic Analysis of a 50 MWth Molten Salt Fast Reactor to Optimise Pump Configuration and Core Geometry

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	PNUCENE-D-25-00559R2
Article Type:	VSI: NURER2024
Keywords:	thermal-hydraulic analysis; Molten salt fast reactor; small modular reactor; Computational Fluid Dynamics; Pump Configuration; Geometric Optimization
Corresponding Author:	Ömür Akbayır, Ph.D. Eskişehir Technical University TURKEY
First Author:	Ömür Akbayır
Order of Authors:	Ömür Akbayır Hacı Mehmet Şahin

[2nd revision] Thermal-Hydraulic Analysis of a 50 MWth Molten Salt Fast Reactor to Optimise Pump Configuration and Core Geometry

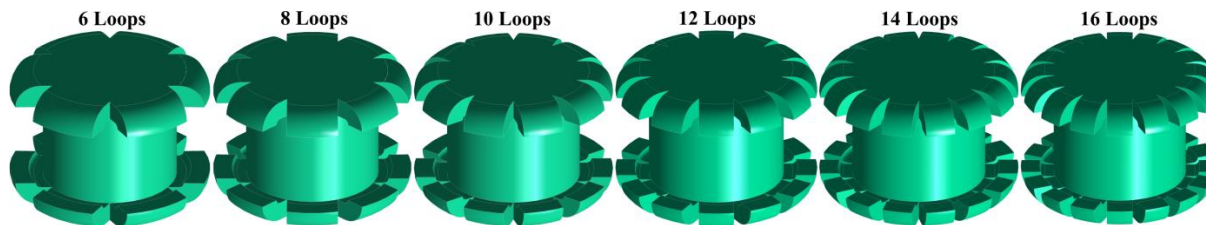
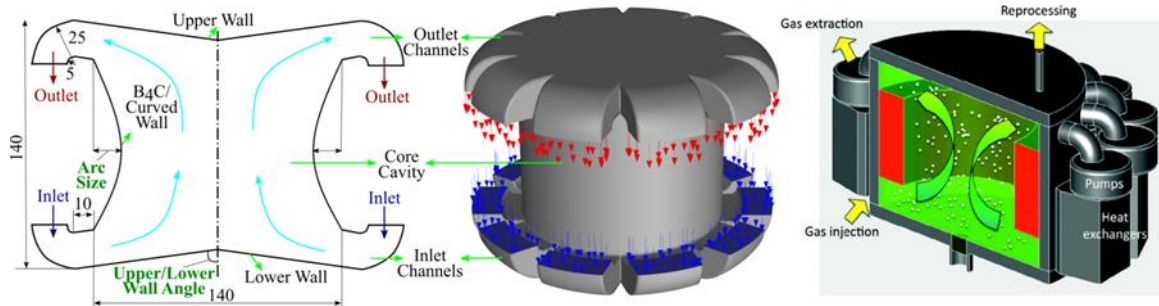
- Reviews completed: 0
- Review invitations accepted: 1
- Review invitations sent: 2+

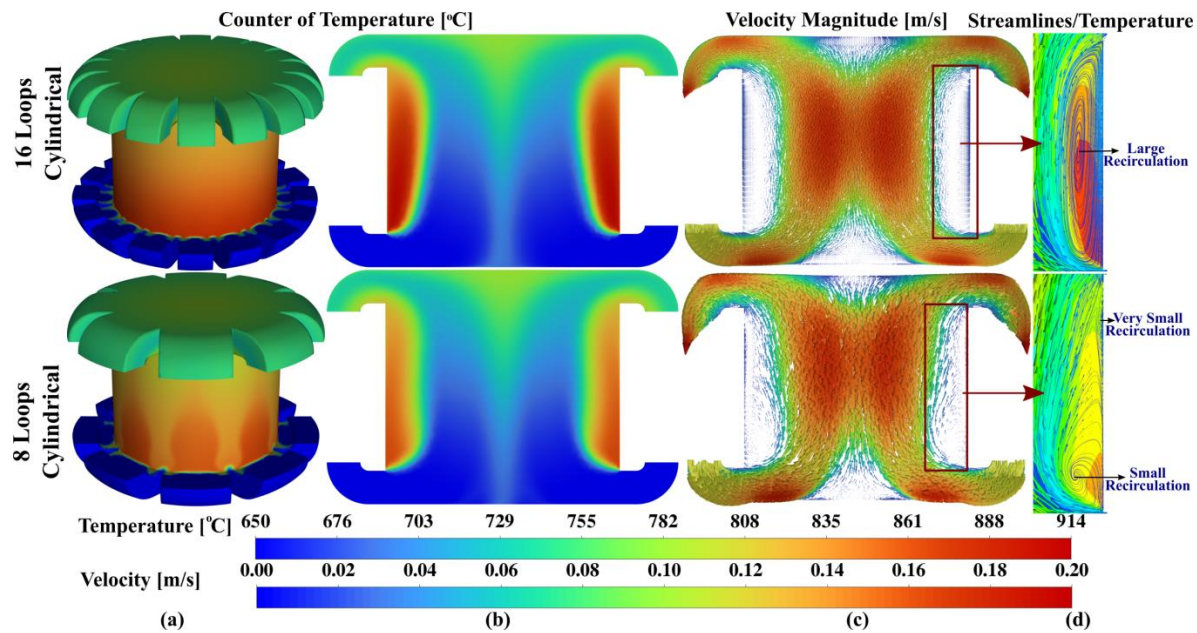
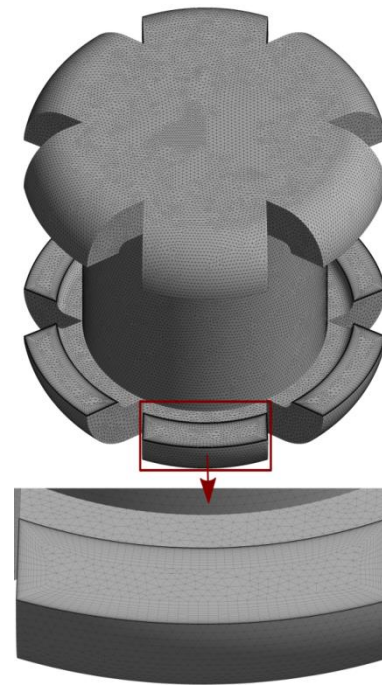
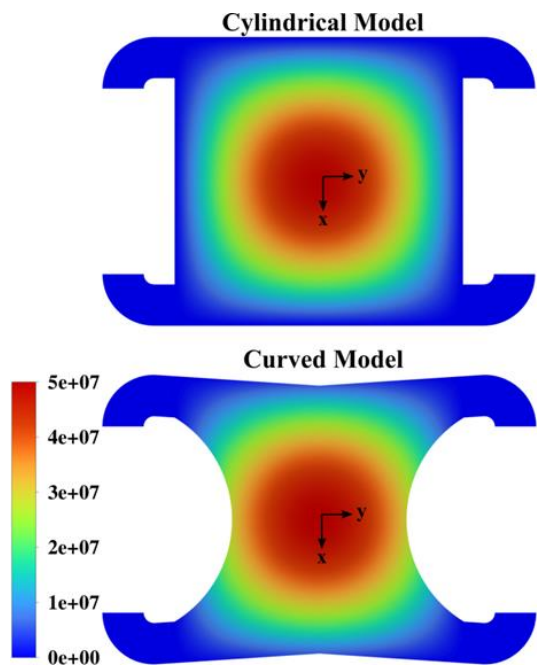
2nd revision

Under Review

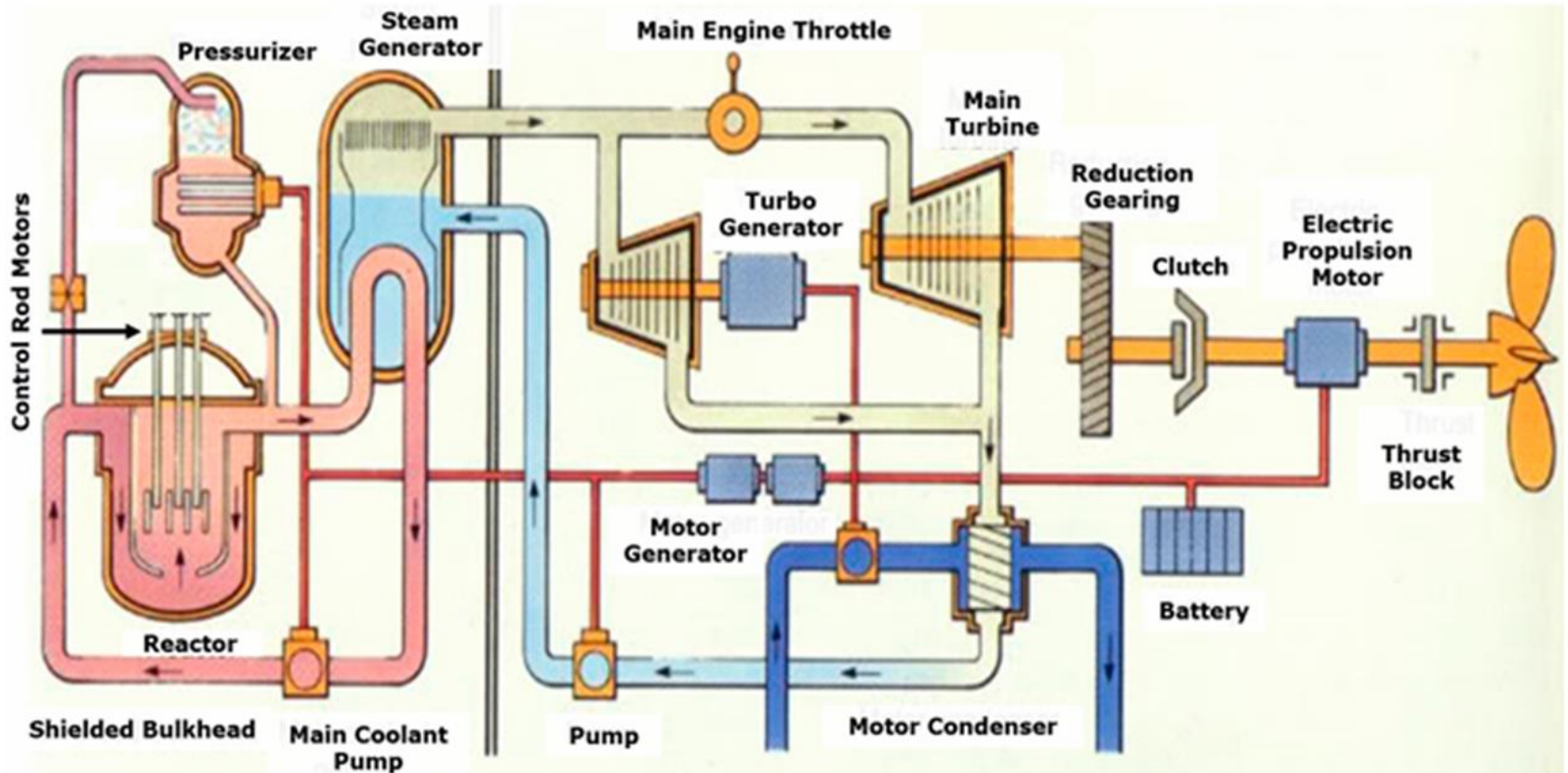
Last review activity: 1st
January 2026

Watch to learn what we're doing behind the scenes

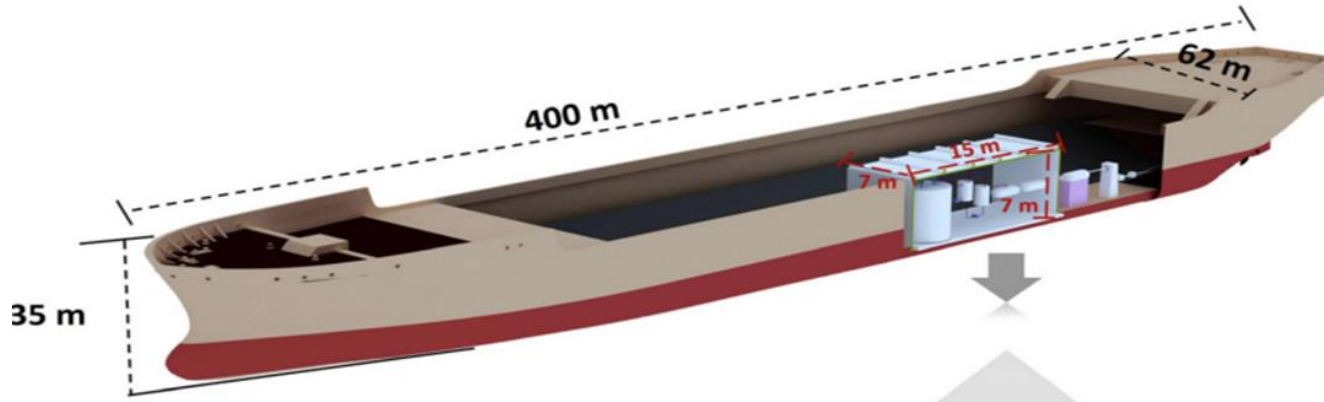




Dünyadaki Mevcut Sistemler: PWR nükleer itki sistemini

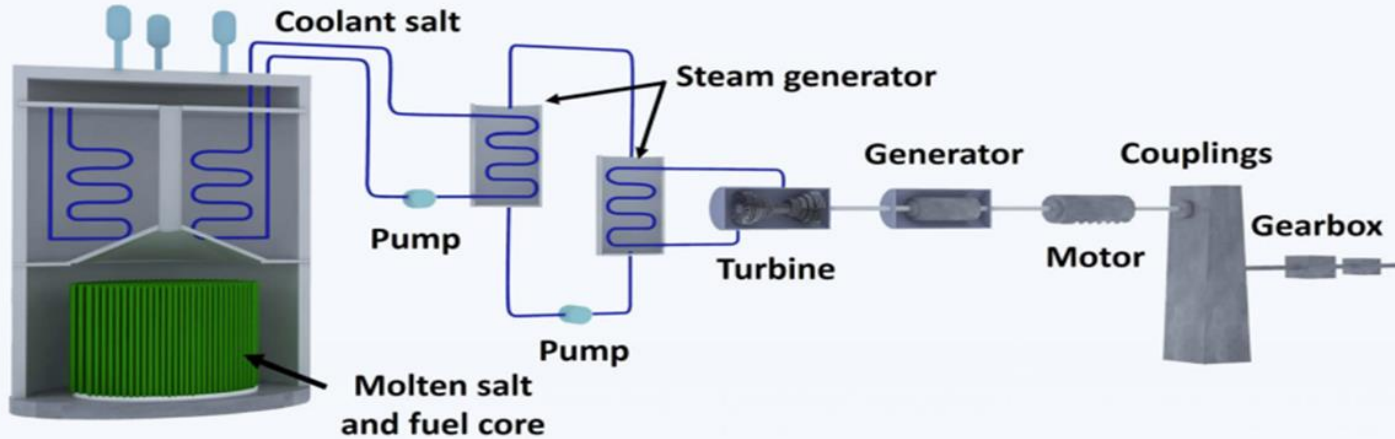


Bizim Önerimiz:
KÜÇÜK MODÜLER ERGİMiŞ TUZ REAKTÖRLERİ'nin
(KM-ETR_SM-MSR) Ticari Gemilerde İtki Sistemi
Haziran 2025



Molten salt reactor

Circulation motors

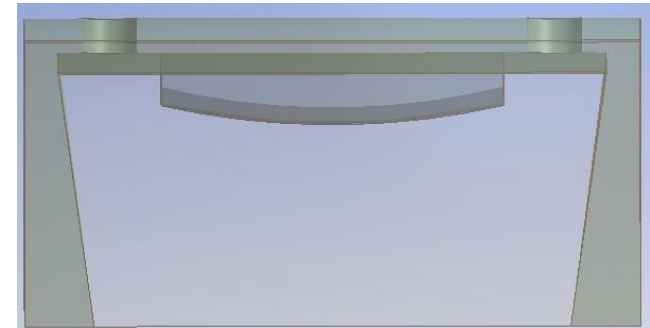
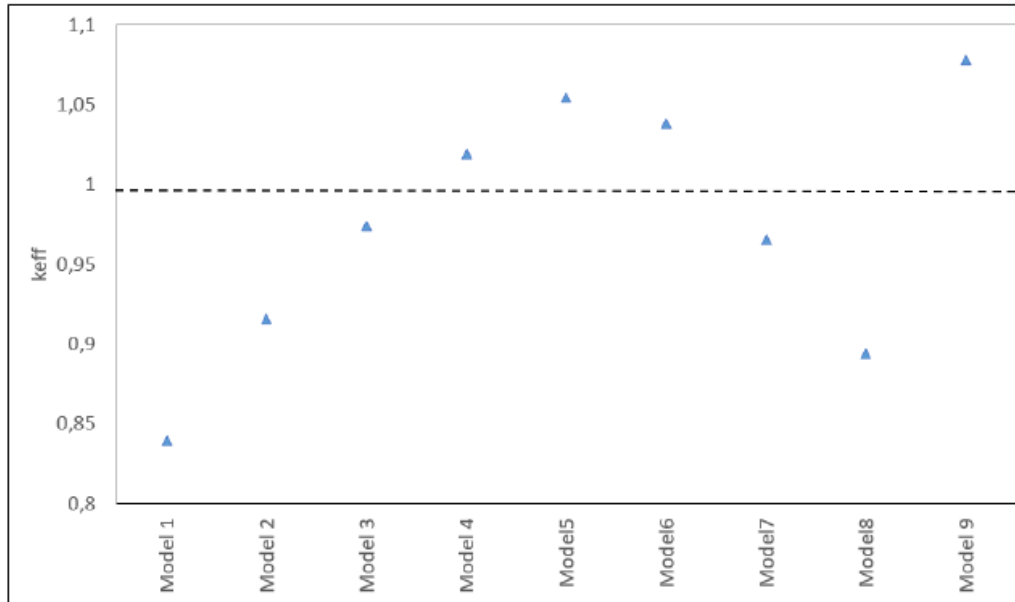
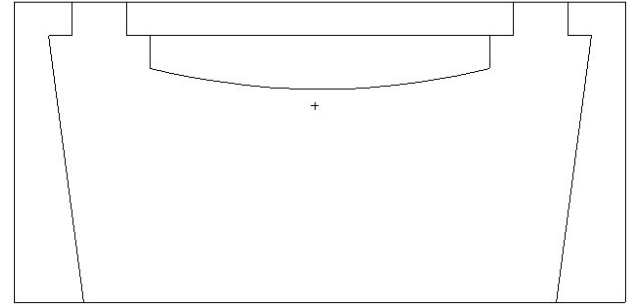
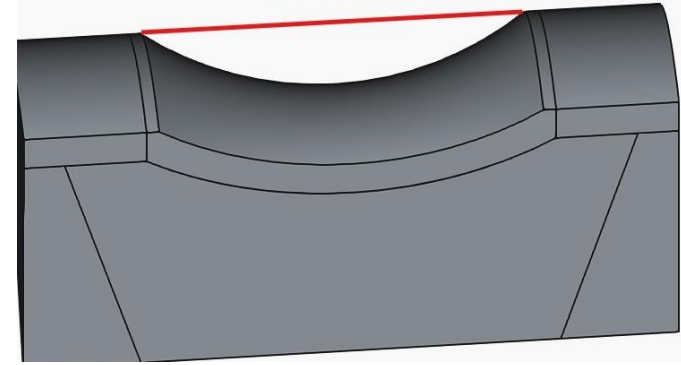


TÜBİTAK-1001 proje kabulü Eylül 2025: Ticari Gemilerde İtki Sistemi Olarak Küçük Modüler Ergimis Tuz Reaktörlerinin Nötronik ve Akis Analizi

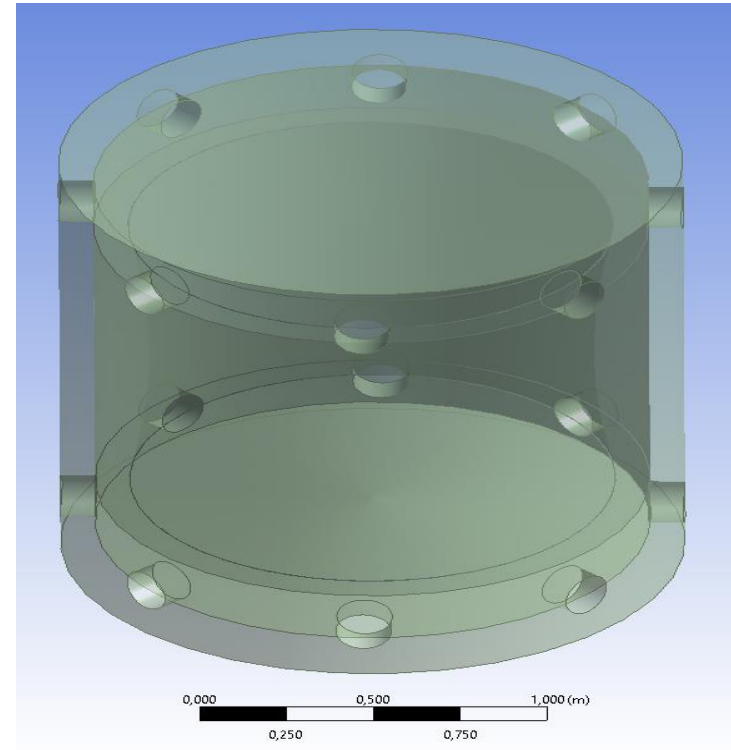
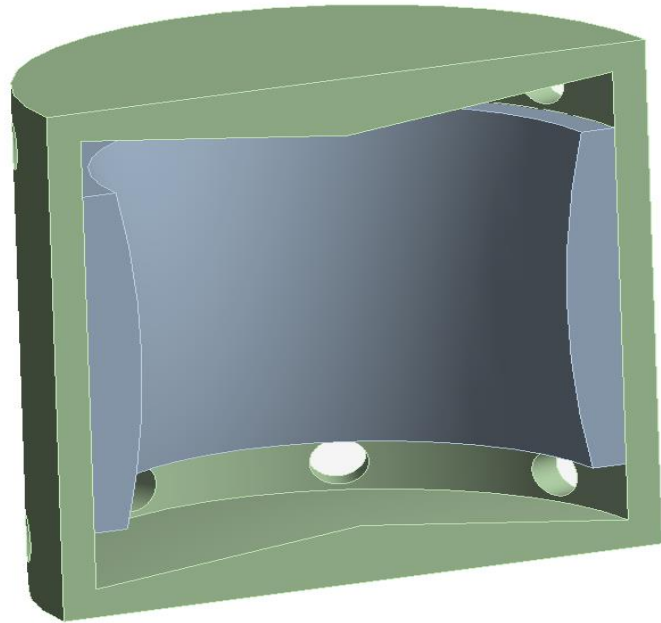
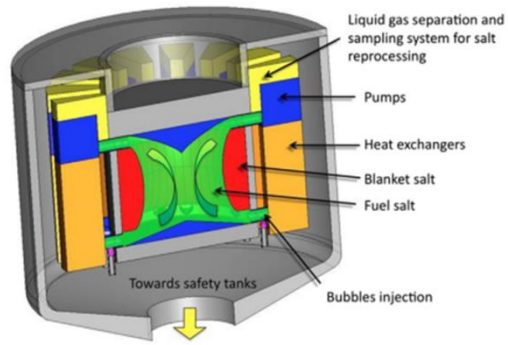
Proje kapsamında başlanan çalışmalar

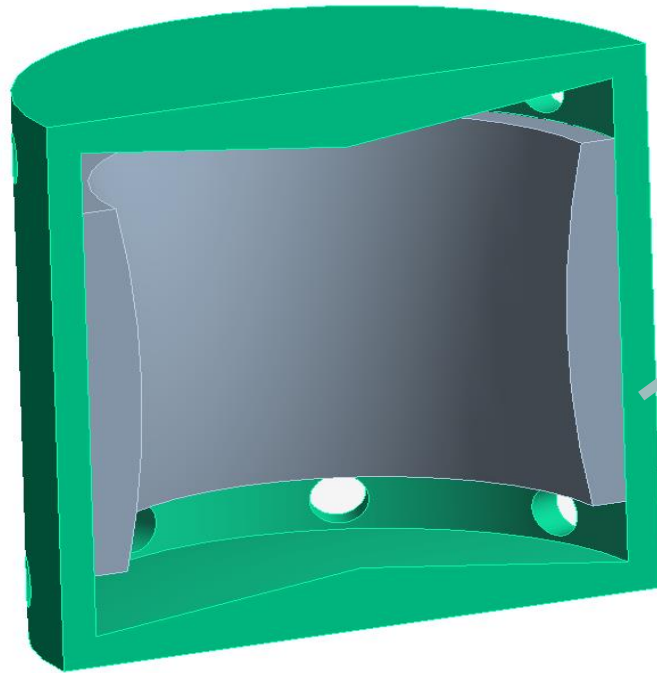
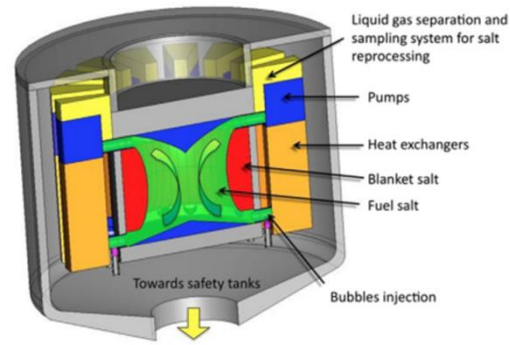
Tablo .Farklı tasarımlara ait geometrik ölçü ve k_{eff} değerleri

Model Adı	Silindirik Kor Yüksekliği (H) [cm]	Silindirik Kor Çapı (D) [cm]	Reaktör Kritiği Değeri (k_{eff})
Model 1	120	120	0,83926
Model 2	140	140	0,9156
Model 3	160	160	0,97385
Model 4	180	180	1,01898
Model 5	140	230	1,05429
Model 6	160	200	1,03784
Model 7	200	160	0,96526
Model 8	230	140	0,89359
Model 9	140	270	1,07834

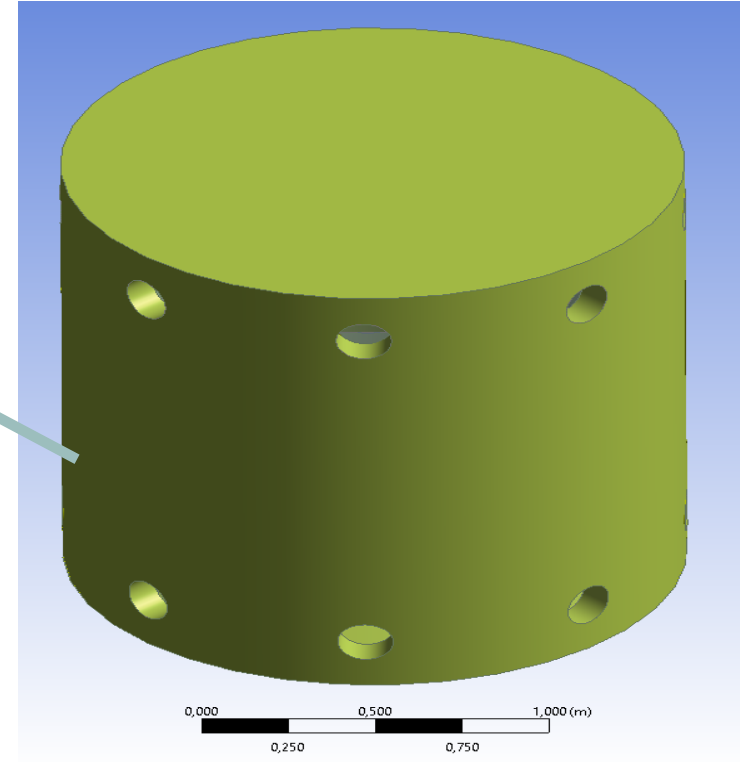


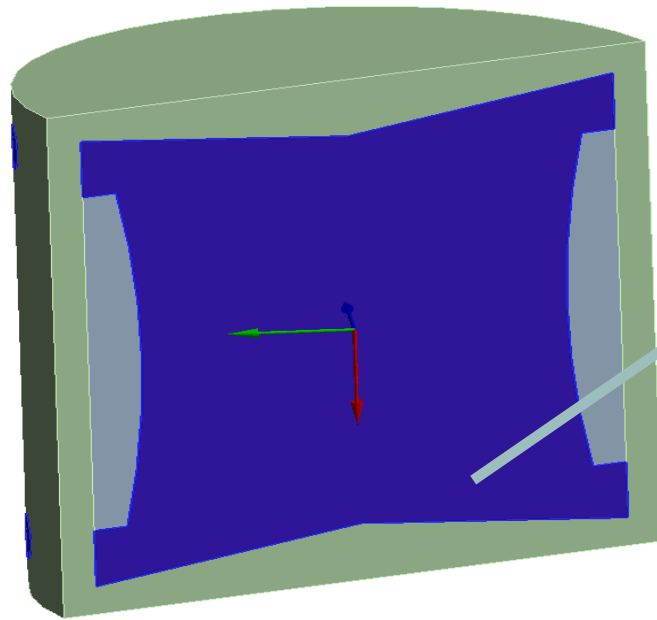
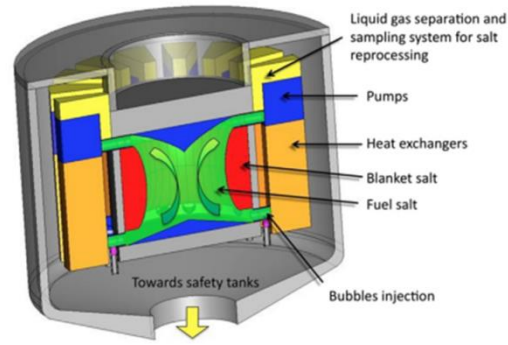
Şekil . Farklı geometrik tasarımlar için k_{eff} değerleri



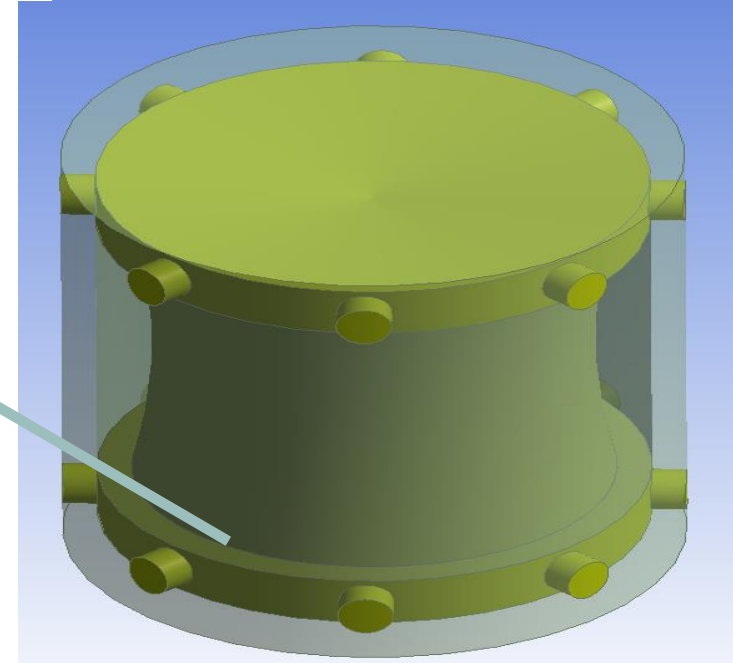


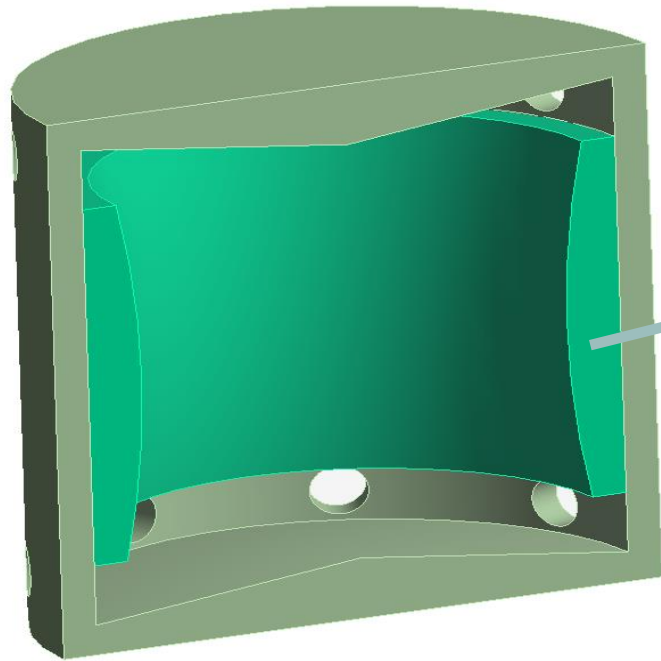
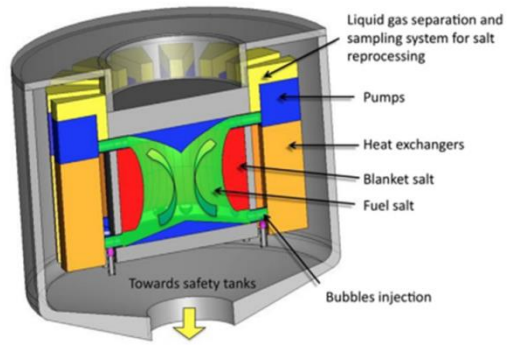
Çelik
Hastelloy



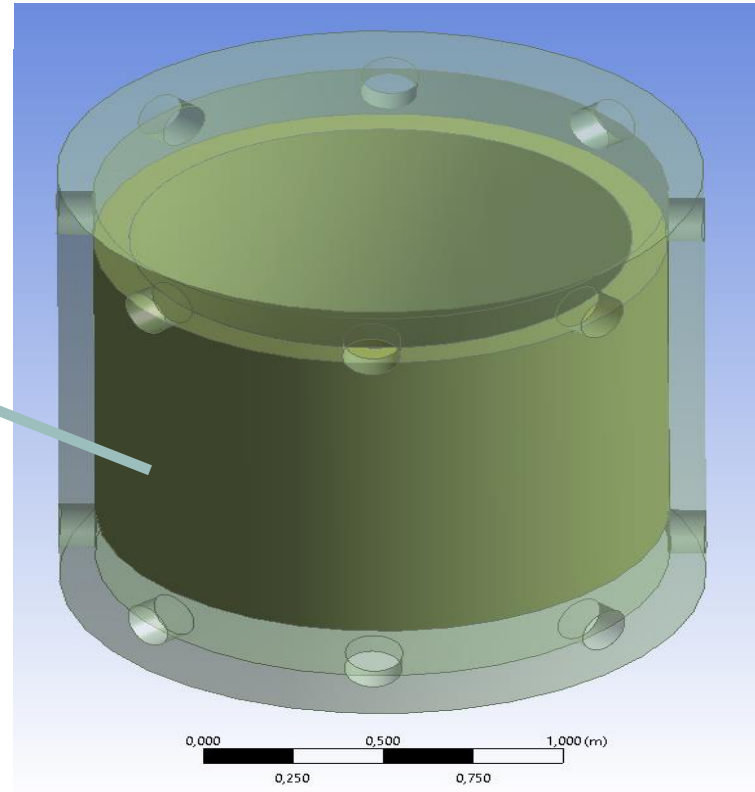


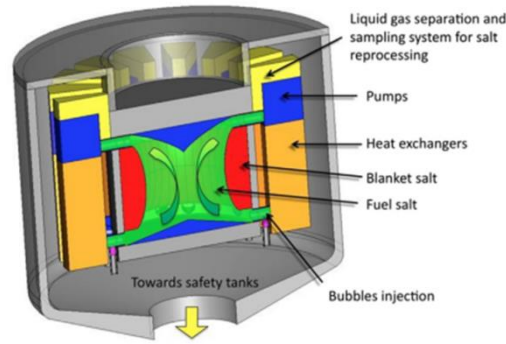
Yakıt Ergimiş Tuz



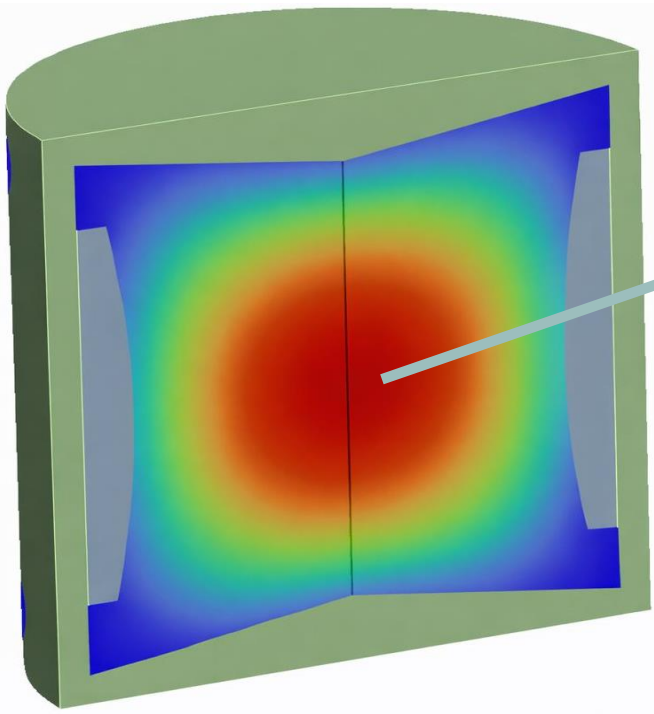
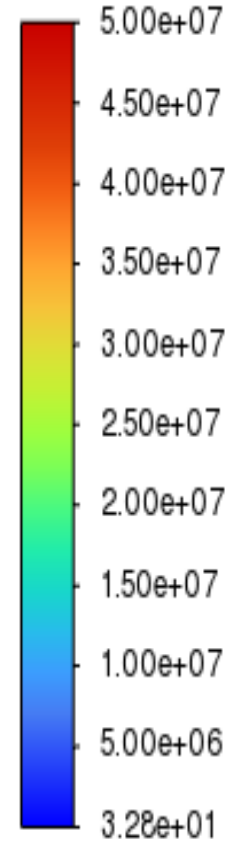


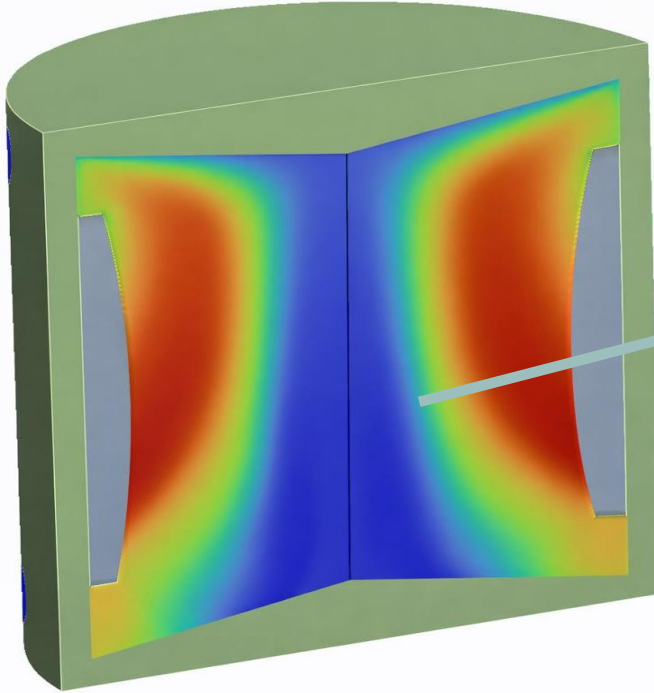
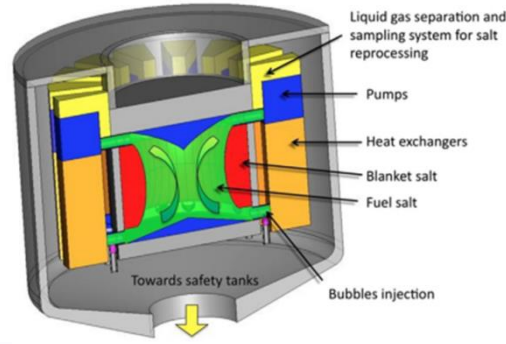
B₄C





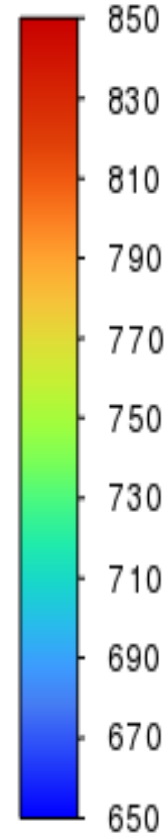
Isı Üretimi

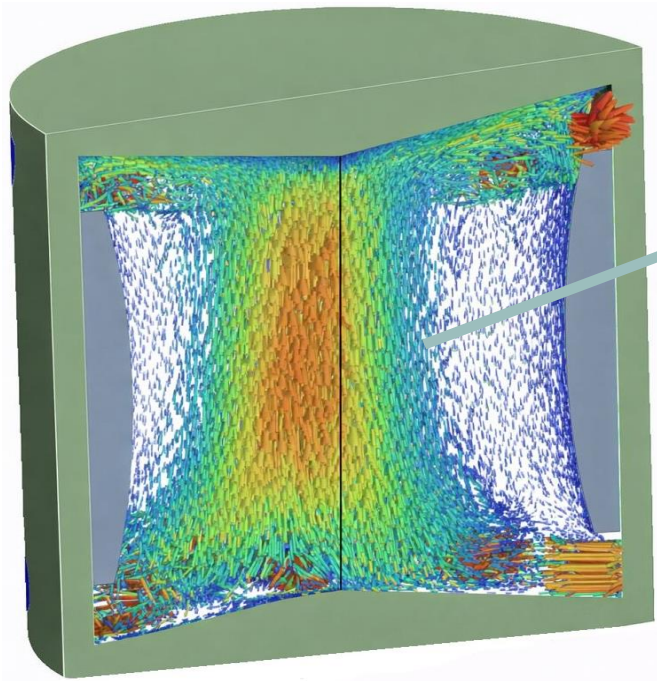
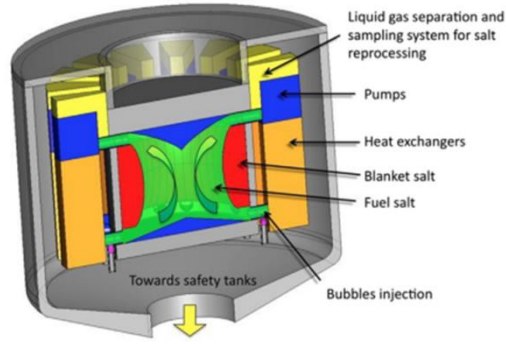




Sıcaklık Dağılımı

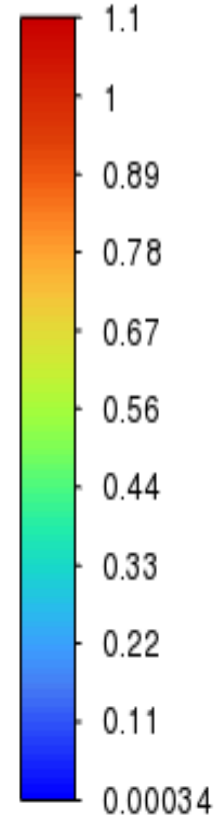
Static Temperature [C]





Hız Dağılımı

[Velocity Magnitude
m/s]

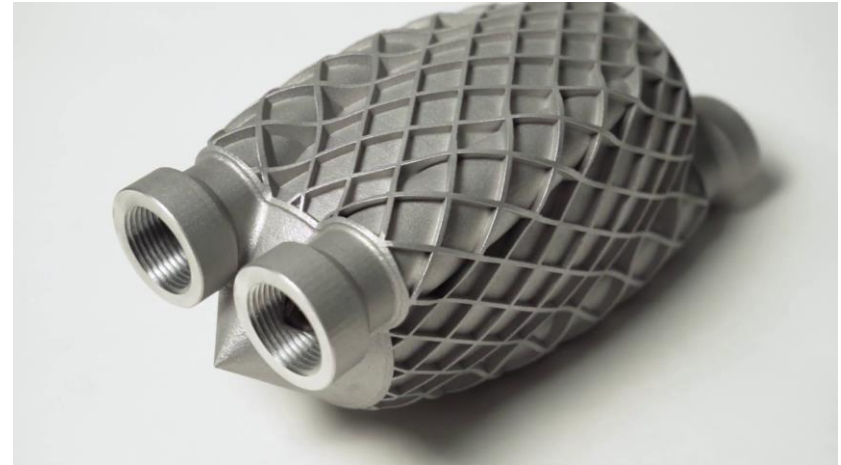
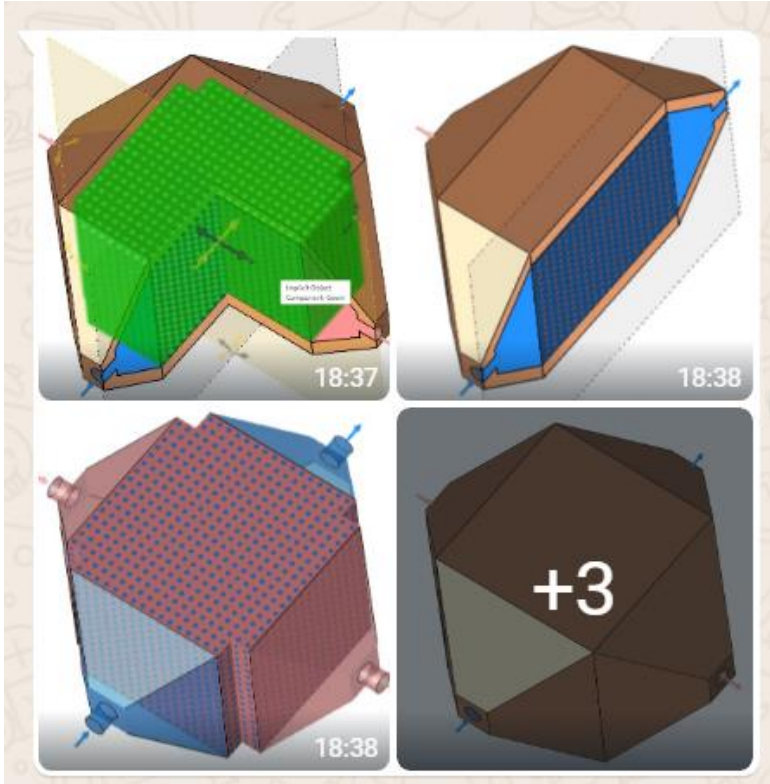


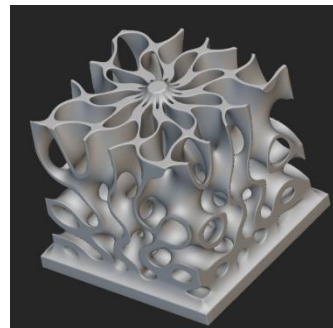
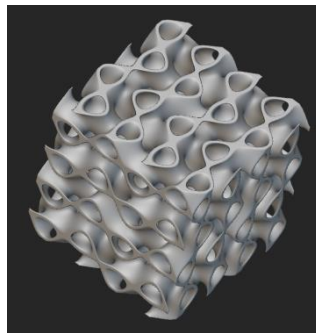
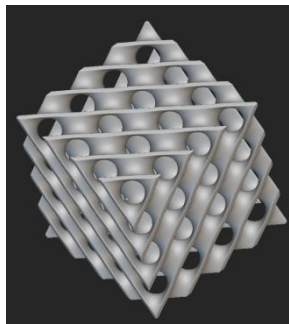
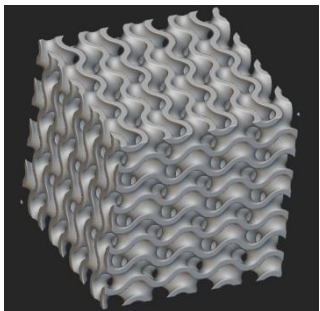
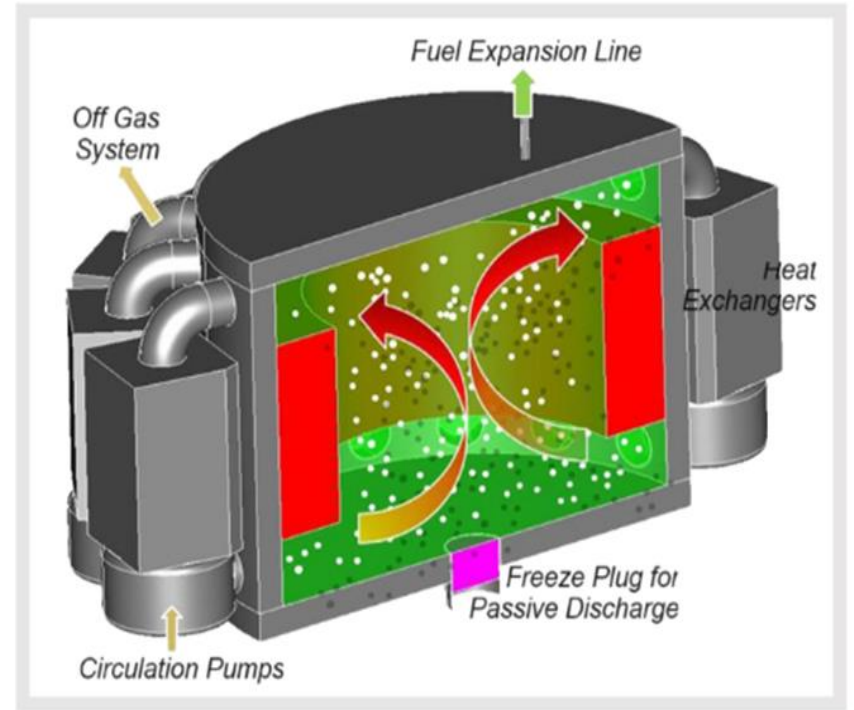
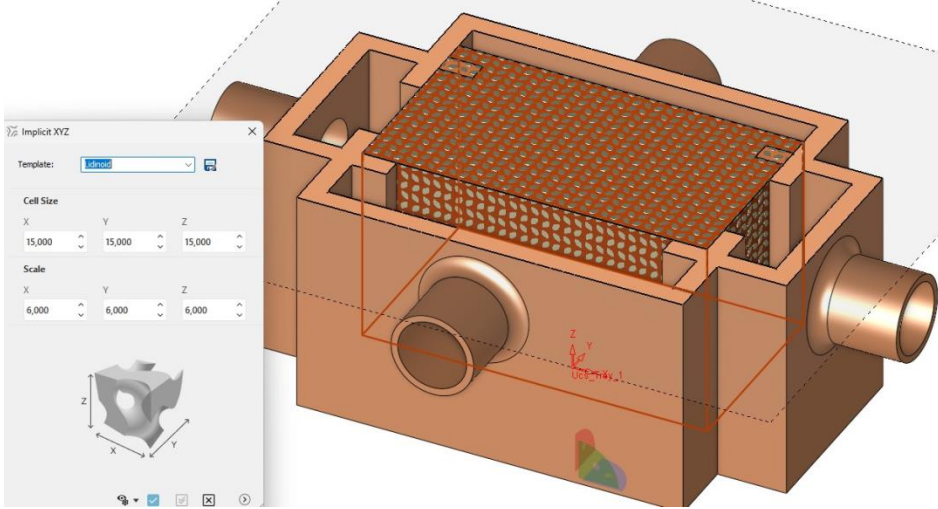
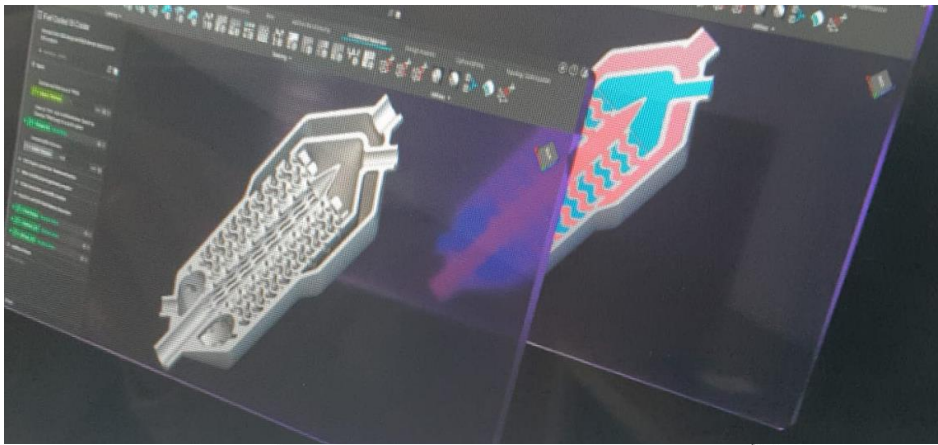
vector-1

Devam eden Ar-Ge Çalışmaları

- **Gazi BAP projesi:** Erimiş Tuz Sistemleri için Yeni Tip Isı Eşanjörü Geliştirilmesi, Tasarımı, Simülasyonu ve Deneysel Çalışma

Eklemeli imalat yöntemiyle Gyro yapılı ısı eşanjörü geliştirilmesi





Geleceğin Enerjisi: Ergimiş Tuz Hızlı Reaktörleri (MSFR)

Ergimiş Tuz Hızlı Reaktörü (MSFR), hem yakıt hem de soğutucu olarak sıvı ergimiş tuz kullanan bir 4. nesil nükleer reaktör konseptidir. Bu teknoloji, sürekli yakıt işleme, pasif güvenlik sistemleri ve yüksek verimlilik gibi geleneksel reaktörlere göre önemli avantajlar sunmaktadır.

MSFR Nedir ve Nasıl Çalışır?



Sıvı Yakıt Teknolojisi

Erimiş yakıt tuzu, hem yakıt hem de soğutucu olarak görev yapar.

Sürekli Çalışma ve Yerinde İşleme

Reaktör çalışırken yakıt çevrimiçi olarak işlenebilir ve yeniden yüklenebilir.

Gelişmiş Pasif Güvenlik

Çekirdekte kontrol çubukları yoktur; güvenlik pasif sistemlerle sağlanır.

Stratejik Avantajlar ve Potansiyel

Türkiye için Stratejik Önem

Milli denizaltı ve gemiler için gereken nükleer tahrik sistemlerini sağlayabilir.



Yüksek Verim ve Sürdürülebilirlik

Gelişmiş nötron ekonomisi ile daha uzun çalışma süreleri sunar.



Modüler ve Düşük Maliyetli

Daha düşük ilk yatırım maliyetleri ve hızlı saha inşaatı imkanı sağlar.



Malzeme Etkisi ve Yakıt Dönüşümü (10 Yıllık İşletme)

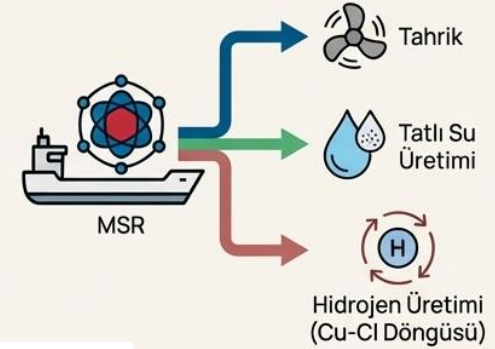
Üretilen ^{239}Pu Tüketilen ^{239}U

Malzeme	Üretilen ^{239}Pu (kg)	Tüketilen ^{239}U (kg)
Ni alaşımı (Model 1)	129.10	257.9
Grafit (Model 3)	122.95	259.4
Silisyum Karbür (Model 4)	128.66	257.9

Başlık: Türkiye İçin Stratejik Bir Fırsat: Denizcilikte Nükleer Güç

Metin: Nükleer enerji, yakıt ikmali yapmadan uzun süreler denizde kalması gereken gemiler ve denizaltılar için güçlü bir tahrik sistemi sağlamak amacıyla son derece uygundur.

- **Stratejik Bağımsızlık:** Nükleer güçle çalışan denizaltıları ve su üstü gemileri (uçak gemisi gibi) yurtdışından tedarik etmek neredeyse imkansızdır. Bu nedenle, ulusal bir nükleer reaktör teknolojisinin geliştirilmesi stratejik bir zorunluluktur.
- **En Uygun Teknoloji:** IV. Nesil ETR teknolojisi, kompakt boyutu, yüksek güç yoğunluğu ve içsel güvenlik özellikleriyle bu tür denizcilik uygulamaları için en uygun teknolojidir.
- **Enerji Ekosistemi:** Gemi üzerindeki bir ETR, sadece tahrik sağlamakla kalmaz, aynı zamanda deniz suyundan tatlı su ve Cu-Cl termal prosesi ile hidrojen üretebilir. Bu hidrojen, amonyak ve metanol gibi sürdürülebilir yakıtların üretiminde kullanılabilir.



NotebookLM

Nuclear Power in Marine Vehicles

- Nuclear energy is highly suitable for providing powerful propulsion for ships or submarines that need to remain at sea for extended periods without refueling.
- The constraints on fossil fuel use in transportation will lead to a more widespread use of nuclear propulsion systems at sea.



- It is known that there are approximately 200 nuclear reactors at sea today, and over 700 nuclear reactors have been used at sea since the 1950s.
- **It is nearly impossible for Türkiye to procure the nuclear reactor required for nuclear-powered submarines and surface vessels (aircraft carrier) from abroad.**
- **For this reason, a national nuclear reactor needs to be developed. The most suitable technology for this is the fourth-generation MSR technology.**

Deniz Araçları İçin Nükleer Güç: Ulusal Stratejik Bir Gereklik

- Nükleer enerji, yakıt ikmali yapmadan uzun süre denizde kalması gereken gemiler veya denizaltılar için güçlü bir tahrik sağlamak amacıyla son derece uygundur.
- Ulaşımdaki fosil yakıt kısıtlamaları, denizlerde nükleer tahrik sistemlerinin daha yaygın kullanılmasına yol açacaktır.
- Günümüzde yaklaşık 200 nükleer reaktörün denizde görev yaptığı ve 1950'lerden bu yana 700'den fazla reaktörün kullanıldığı bilinmektedir.
- Türkiye'nin nükleer enerjili denizaltı ve su üstü gemileri (uçak gemisi) için gerekli nükleer reaktörü yurt dışından temin etmesi neredeyse imkansızdır.
- Bu nedenle, milli bir nükleer reaktör teknolojisinin geliştirilmesi gerekmektedir. **Bunun için en uygun teknoloji dördüncü nesil MSR teknolojisidir.**



Türkiye'nin Stratejik Geleceği: Ergimiş Tuz Hızlı Reaktörleri ile Yeni Bir Ufuk

MSFR Teknolojisi, Türkiye'nin Ulusal Hedefleriyle Mükemmel Uyum Sağlamaktadır



Enerji Arz Güvenliği

Yerli ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı ile dışa bağımlılığın azaltılması.

Karbonsuzlaşma Hedefleri

İklim değişikliğiyle mücadelede temiz ve güvenilir baz yük enerji çözümü.

İleri Mühendislik Yetkinlikleri

Ülke sanayisini ve bilimsel altyapısını bir üst lige taşıyacak teknolojik sıçrama.

© NotebookLM

Ulusal Bilgi Birikimini İnşa Edeceğimiz Temel Ar-Ge Alanları



Nötronik Tasarım

Reaktör kalbinin fiziksel ve nükleer performansının modellenmesi.



Termal-Hidrolik Analiz

Isı transferi ve akışkan dinamiği ile sistem verimliliğinin ve güvenliğinin sağlanması.



Yüksek Sıcaklık Malzemeleri

Aşırı koşullara dayanıklı, yenilikçi alaşımların ve malzemelerin geliştirilmesi.



Ergimiş Tuz Kimyası

Tuzların korozyon, saflık ve davranışlarının kontrolü ve yönetimi.



Yakıt Çevrimi Modellemesi

Yakıtın reaktör içindeki yaşam döngüsünün ve atık yönetiminin optimizasyonu.

© NotebookLM

Yaklaşımımız Net: Yetenek Geliştirme Sadece Barışçıl Amaçlar İçindir

HEDEF DEĞİL



Silahlanmaya yönelik teknoloji geliştirme

TEMEL AMAÇLARIMIZ



Enerji Üretimi: Ulusal refah için temiz ve güvenilir enerji.



Araştırma: Bilimsel sınırları zorlayan akademik ve endüstriyel Ar-Ge.



Teknoloji İhracı: Bölgesel ve küresel pazarlar için katma değerli sistemler.

© NotebookLM

Bu Stratejik Yolculukta Dünyanın En İyi Modellerinden Ders Alacağız

Başarıya ulaşmış üç farklı ülkenin izlediği yolu analiz ederek, Türkiye için en doğru ve özgün stratejiyi oluşturabiliriz. Her model, bize farklı ve değerli bir perspektif sunmaktadır.



© NotebookLM

SONUÇ

Türkiye gecikmeden **Nükleer Güç Santraller (NGS)** vasıtasıyla elektrik enerjisi üretmek suretiyle nükleer çağı yakalamalıdır. **Bununda en kısa yolu 4. Nesil ETR teknolojisidir.**

Ulusal Nükleer Enerji Programı

1. Kısa Vade: NGS enerji ihtiyacı için acilen kullanılmalı
2. Orta Vade: **Yerli NGS tasarımları yapılmalı**
3. Uzun Vade: **NGS ihracı yapmak ve nükleer teknolojilerde söz sahibi olmak**

Vizyonumuz: Türkiye'yi Barışçıl Nükleer Teknolojilerde Bölgesel Bir Ar-Ge ve İnovasyon Merkezi Yapmak



MSFR teknolojisi, bu vizyonu hayata geçirmek için ihtiyaç duyduğumuz güçlü zemini ve teknolojik kaldıracı sağlayacaktır.



Welcome 7th International Conference on Nuclear and Renewable Energy Resources website

Dedicated to the 100th Anniversary of Prof. Dr. T. Nejat Veziroğlu



- VII. NURER 10 Eylül 2026-Almatı, Kazakistan
- VI. NURER 2024-Antalya, Türkiye
- VI. NURER 2018-Jeju, G Korea
- V. NURER 2016-Hefei, China
- IV. NURER 2014-Antalya, Türkiye
- III. NURER 2012-Istanbul, Türkiye
- II. NURER 2010-Ankara, Türkiye
- I. NURER 2009-Ankara, Türkiye

TEŞEKKÜRLER