

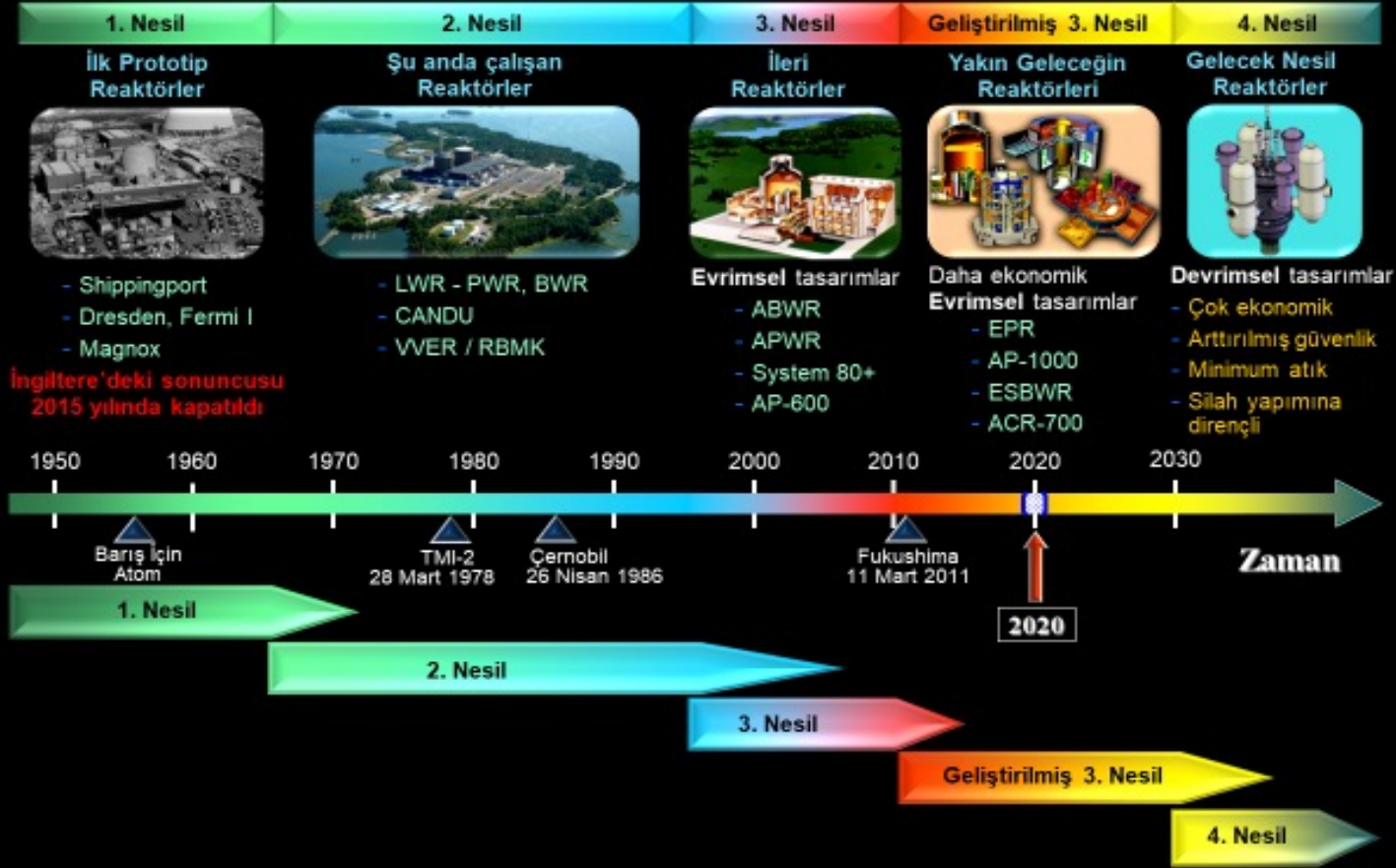
# ERGİMİŞ TUZ REAKTÖRLERİ

Toryum kullanımı için cazip bir seçenek

Dr. Reşat Uzman

**Toryum** - 5 Ekim 2021, TOBB ETÜ Enerji Uygulamaları ve Araştırmaları Merkezi

# NUKLEER GUCUN EVRIMI



## 4. NESİL REAKTÖRLERE OLAN İHTİYACI ÜÇ ANAHTAR ETMEN BELİRLİYOR:

- Dünya enerji talebi
- Enerji temini ve maliyeti
- Karbon salımının önlenmesi



## 4. NESİL NÜKLEER REAKTÖRLERİN GENEL İLKELERİ

- ▶ «**Dördüncü nesil nükleer enerji sistemlerinin geliştirilmesi**» olarak tanımlanan GIF'in temel amaçlarında yer alan kavramlar:
- ▶ **Nükleer güvenlik ve güvenilirlik** - Nükleer kaza risklerini en düşük düzeyde tutmalı, nükleer güvenlik ve güvenilirlik bakımından en üst düzeyde olmalı ve nükleer tesis çevresinde acil durum ihtimalini tamamen ortadan kaldırmalıdır.
- ▶ **Ekonomiklik** - En ön plana çıkmalı, diğer enerji sistemlerine göre ömür çevrimi maliyeti açık bir şekilde daha avantajlı olmalıdır. Bir başka deyişle gerek üretilen elektrik birim maliyeti gerekse kurulum güç maliyeti diğer enerji sistemleriyle rahat rekabet edebilecek düzeyde olmalıdır.
- ▶ **Sürdürülebilirlik** - Atmosfere zararlı maddeleri salmayan, dünyanın verimli yakıt kullanımı ile çok uzun süre kullanabileceği nükleer enerji sistemlerini sağlayan; halk sağlığını ve çevrenin korunmasını ileri derecede geliştirmiş, nükleer atık saklama yöntemlerini iyi kullanan, nükleer atık miktarlarını ve radyoaktif ömürlerini önemli ölçüde azaltan yeni nesil nükleer enerji sistemlerinin geliştirilmesidir.
- ▶ **Nükleer silâh yapımına uygun olmama ve yüksek fiziksel koruma** – Nükleer silâh malzemelerini kaçırıp bomba yapma yollarını teknik olarak imkânsız hale getirmeli ve herhangi bir terörist eyleme karşı tam korumalı olmalıdır.

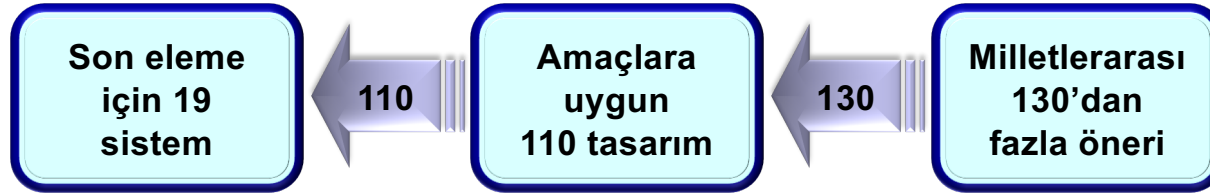
# 4. NESİL Uluslararası Forumu

Haziran, 2001



- Getirdiği uluslar arası görüş :
  - 4. nesil **teknoloji hedefleri**,
  - Sistemlerin değerlendirilmesi ve **araştırma konuları** belirlendi
- Desteklenen anahtar elemanlar :
  - Haziran 2002'de **6 adet 4. nesil sistem** seçildi
  - 4. nesil **güzergâhı** belirlendi
- Uluslar arası **ortak alanlar** ve **işbirliği ilkeleri** saptandı
- Yapılan gelişmelerle ilgili düzenli gözden geçirme **toplantıları** plânlandı
- Gözlemciler :
  - UAEA
  - OECD/Nükleer Enerji Ajansı
  - Avrupa Komisyonu
  - Nükleer Düzenleme Komisyonu
  - Ülke temsilcileri

## 4. NESİL REAKTÖRLERİN SEÇİMİ (Devrimsel Tasarımlar)



19

*güvenilir, ekonomik, sürdürülebilir ve silâha dirençli*

	Kısaltma	Spektrum	Yakıt Çevrimi
1. Gaz Soğutmalı Hızlı Reaktör	GFR	hızlı	kapalı
2. Kurşun Soğutmalı Hızlı Reaktör	LFR	hızlı	kapalı
3. Ergimiş Tuz Reaktörü	MSR	ısıüstü	kapalı
4. Sodyum Soğutmalı Hızlı Reaktör	SFR	hızlı	kapalı
5. Süper Kritik Su Soğutmalı Reaktör	SCWR	ısı ve hızlı	her ikisi
6. Çok Yüksek Sıcaklıklı Reaktör	VHTR	ısı	açık

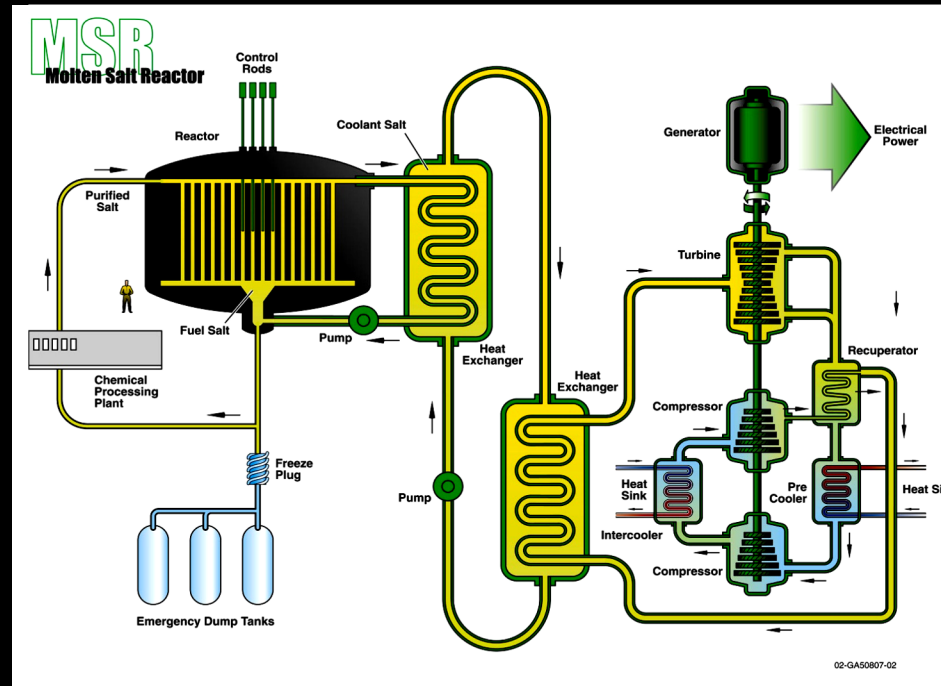
# Ergimiş Tuz Reaktörü ( ETR=MSR )

## Özellikleri :

- Yakıt : Th, U, MA ve Pu ile Li, Be, Zr flüorürleri
- 700-800°C çıkış sıcaklığı
- 1000 MW<sub>e</sub>
- Düşük basınç ( < 0,5 MPa )

## Avantajları :

- Atık minimizasyonu
- Yakıt imalatı kolay
- Bölünebilir malzeme azlığı sebebiyle silâh yapımına dirençli

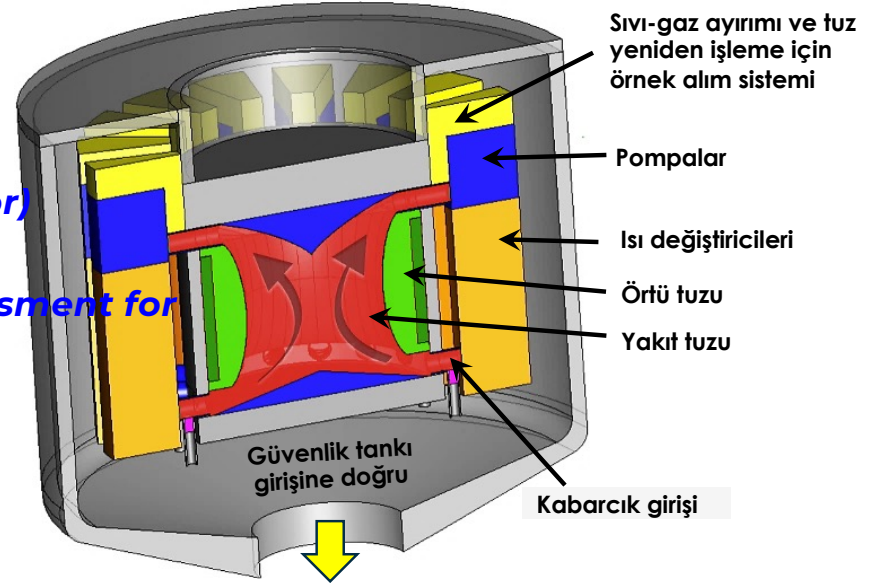


# Avrupa tasarımı: MSFR (Molten Salt Fast Reactor)

- Projeyi AB finanse ediyor
- 3-4 sene içinde 3 milyon Euro
- EVOL (2010-2013),  
SAMOFAR (2015-2019)  
(Safety Assessment of the Molten Salt Fast Reactor)
- SAMOSAFER 2019'da başladı  
(Severe Accident Modeling and Safety Assessment for Fluid-fuel Energy Reactor)
- Büyük yatırımcılar:  
Fransa, Hollanda
  - ✓ Milli program
- MSFR kavramı
  - ✓ Kapalı Toryum döngüsü
  - ✓ Hızlı spektrumlar, iki farklı akışkan
- Hedef: Güvenlik tanıtımı

<<https://www.youtube.com/watch?v=5WXALiUE0S0>>

<<https://www.youtube.com/watch?v=C3vHKzDL5O0>>

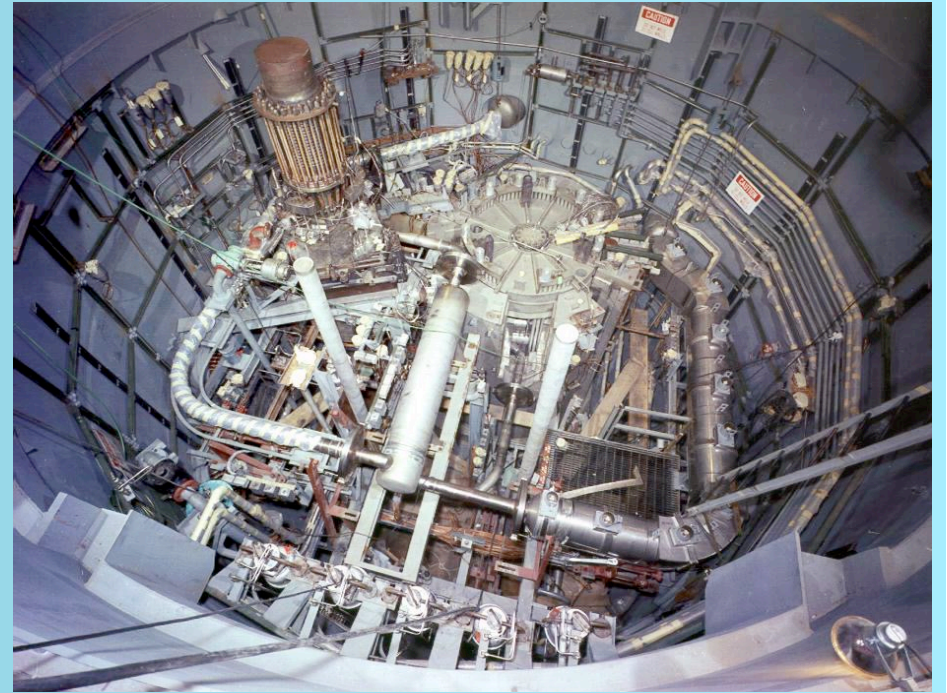


**Bu reaktörün ısı  
değiştiricisinin tasarımı Türk  
şirketi FIGES tarafından  
yapılmıştır**



# TORYUM YAKIT ÇEVİRİMİ KULLANAN İLK ERGİMİŞ TUZ REAKTÖRÜ

- ▶ **Oak Ridge National Laboratory**'de program başlatıldı
- ▶ **1950-1952 Uçak Nükleer İtme (ANP)** programında **ETR'ler en iyi teknoloji** olarak ortaya çıktı
- ▶ **1958 Sivil Ergimiş Tuz Güç Reaktörü Programı** başladı
- ▶ **1960-1964** Reaktör tasarımında öncelikle **ETR deneyi (MSRE)** ele alındı
- ▶ **1965 – 1969 İşletme deneyi: toryum kullanan MSRE** en ileri derecede başarılı kanıtama deneyi oldu
- ▶ **Fikir babası Dr. Alvin M. Weinberg**

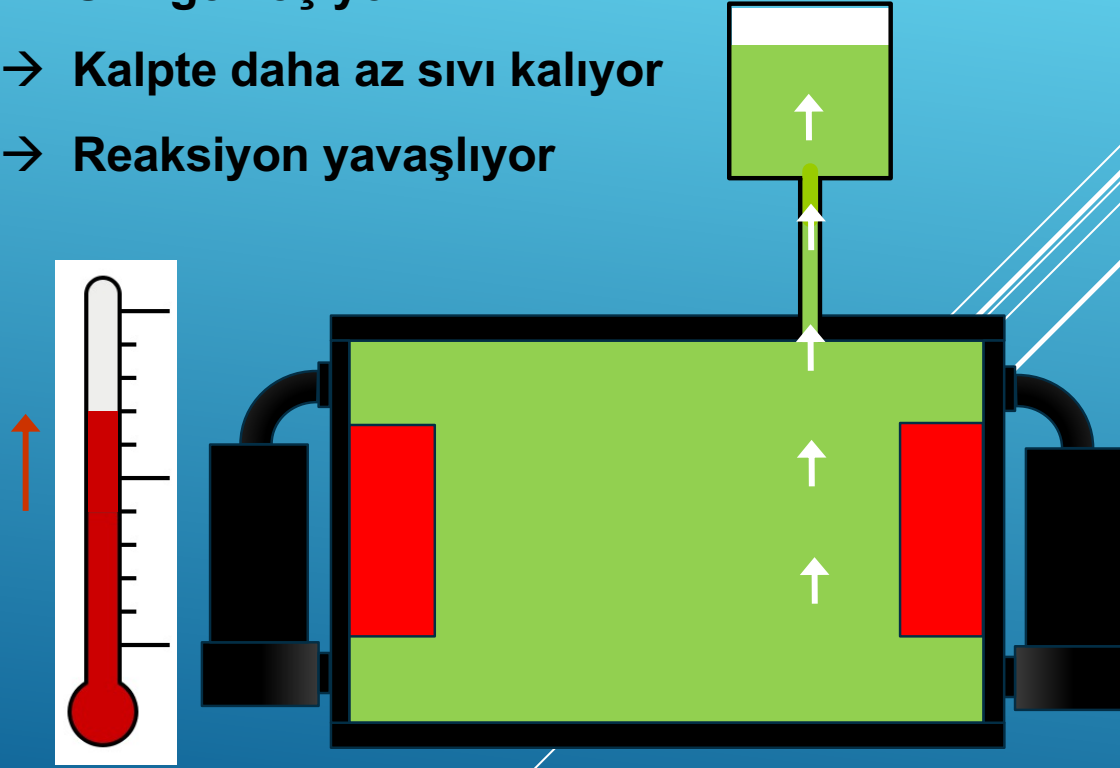


<https://www.youtube.com/watch?v=knofNX7HCbg>

<https://www.youtube.com/watch?v=tyDbq5HRs0o&t=619s>

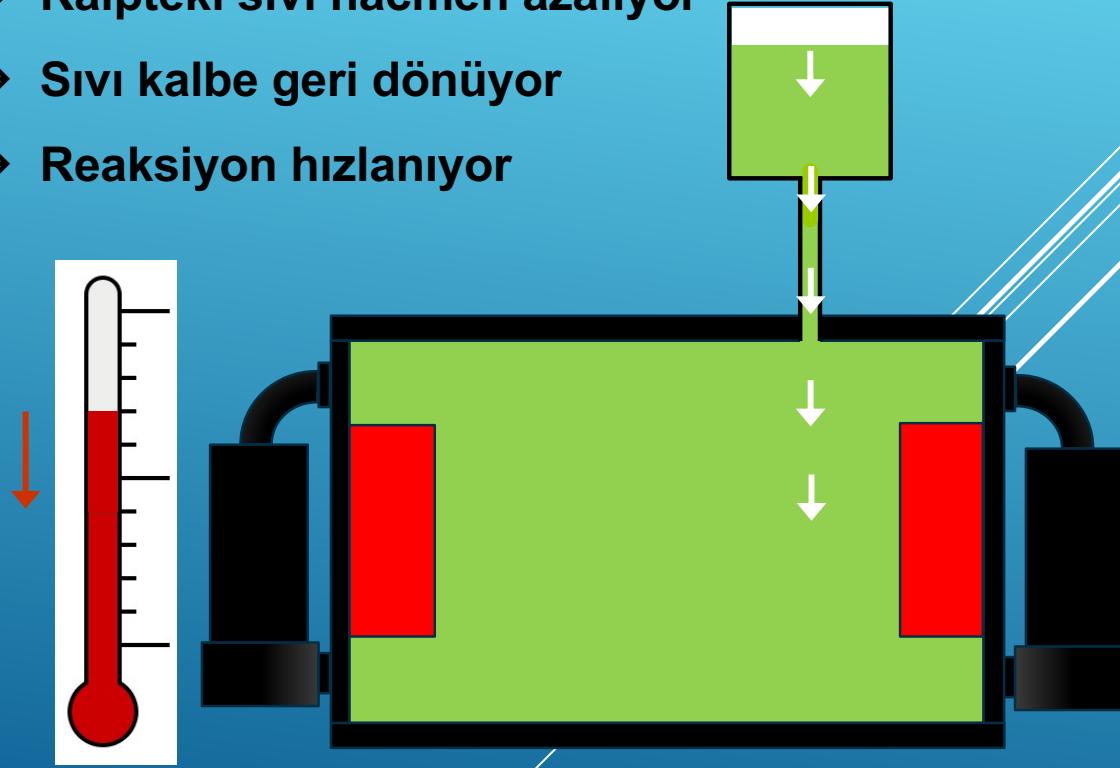
**Sistemin sıcaklığı artınca:**

- Sıvı genleşiyor
- Kalpte daha az sıvı kalıyor
- Reaksiyon yavaşlıyor



## Sistemin sıcaklığı azalınca:

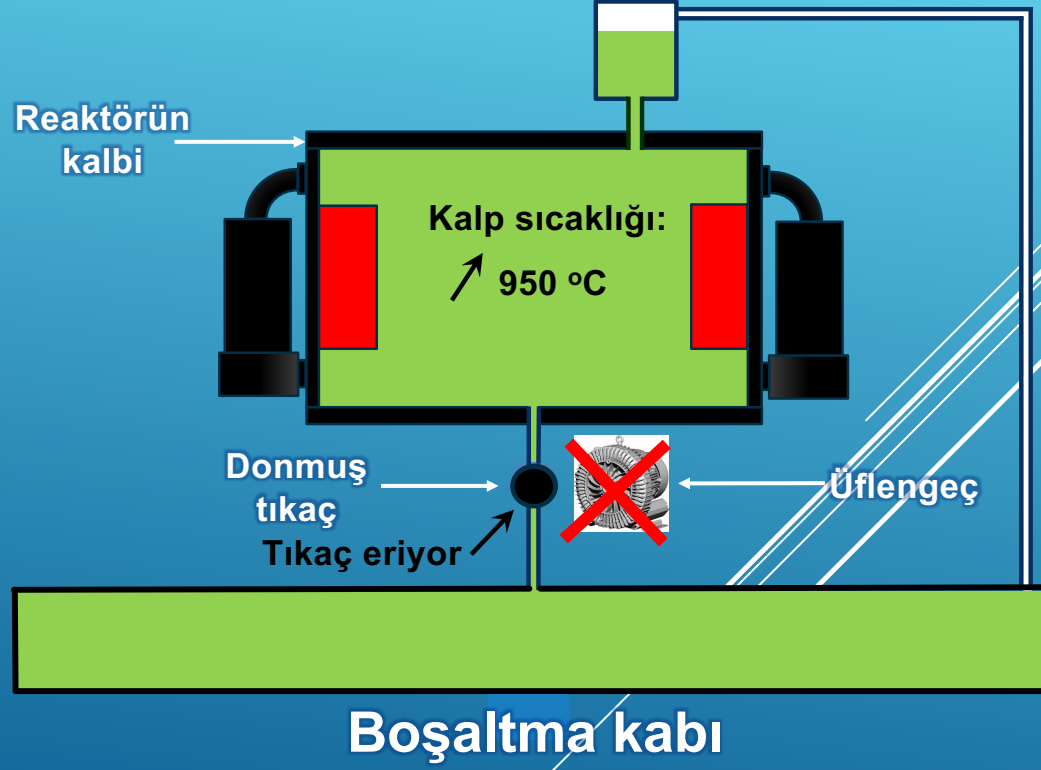
- Kalpteki sıvı hacmen azalıyor
- Sıvı kalbe geri dönüyor
- Reaksiyon hızlanıyor



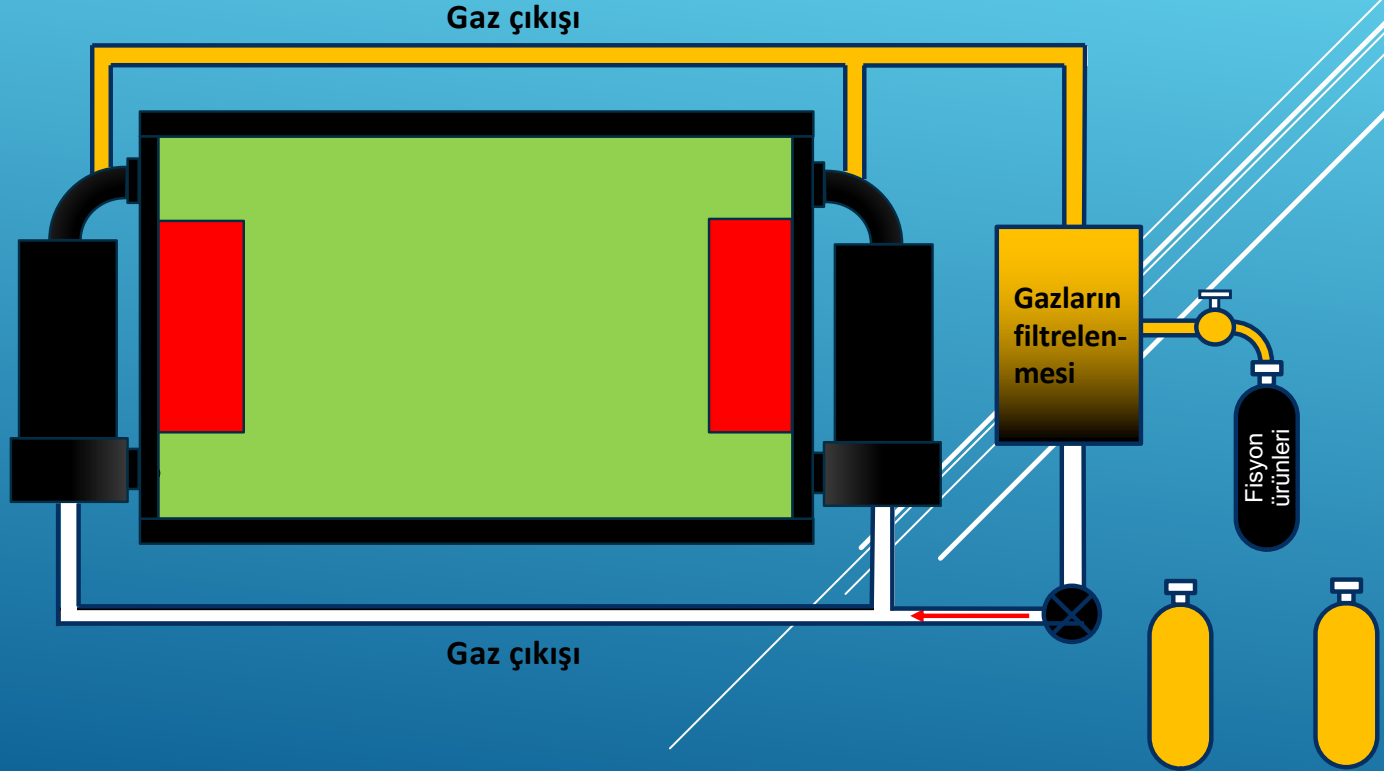
Kalp sıcaklığı: 650 – 750 °C

**Elektrikler kesilirse**

## Dış koruma kabuğu

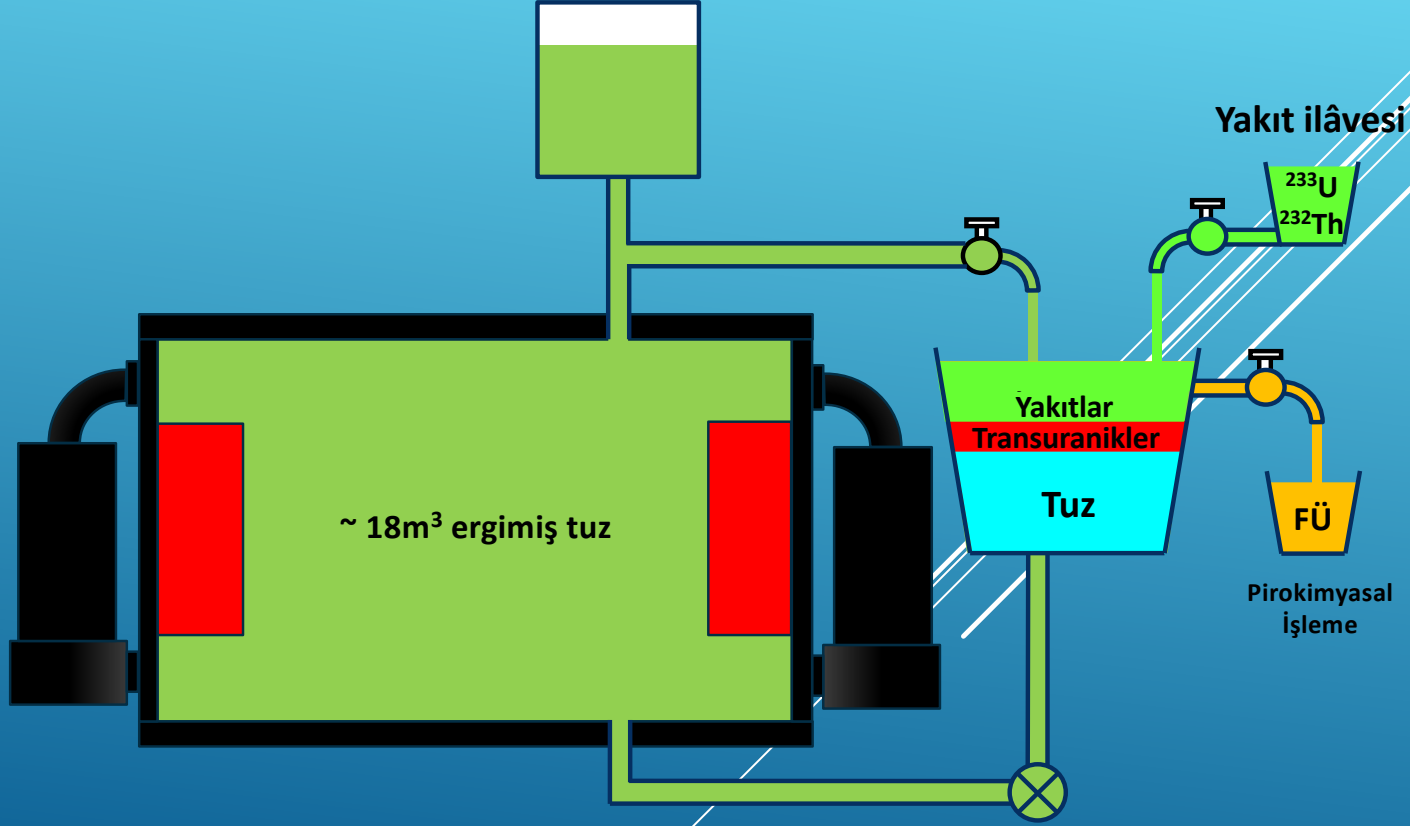


# Gaz kabarcıkları ile gaz Fisyon ürünlerinin Th-ETR'den uzaklaştırılması

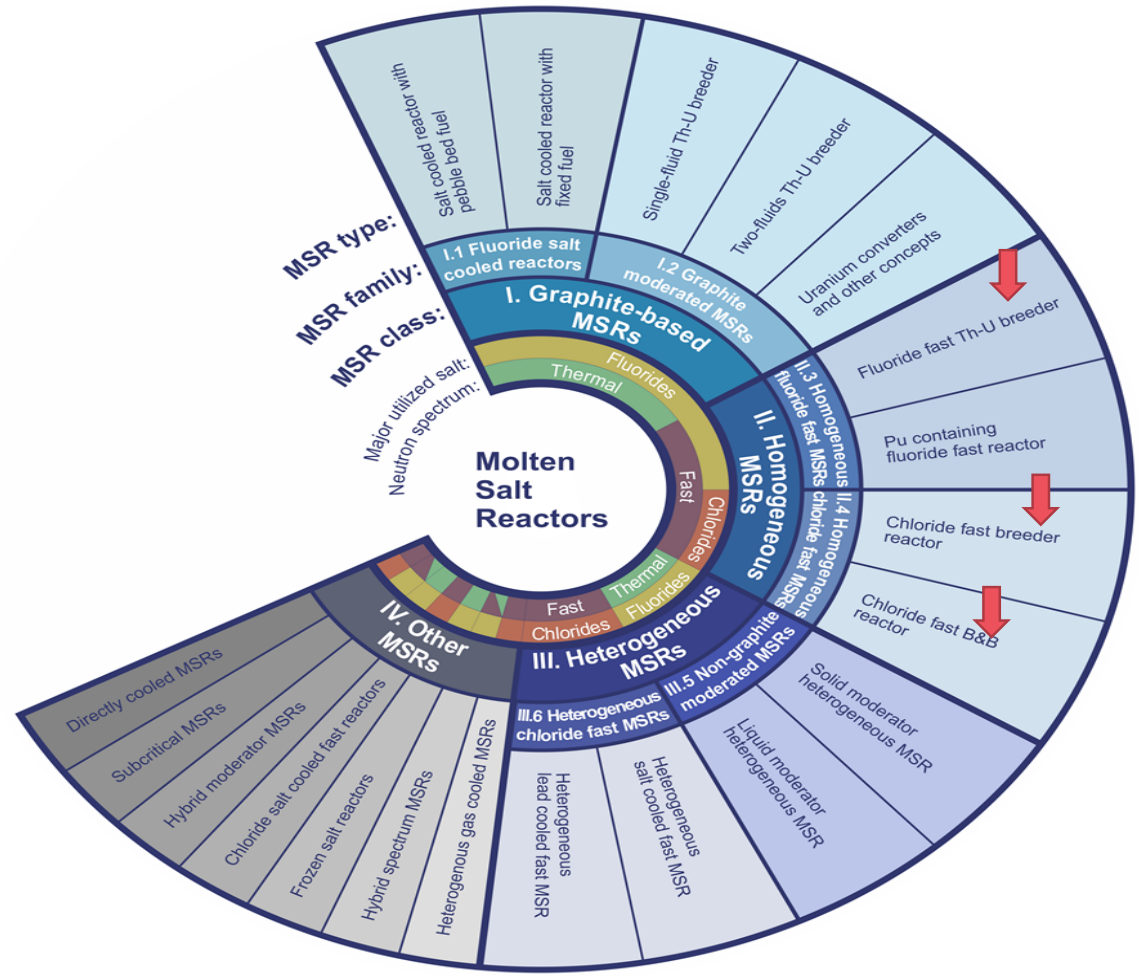


Günde 1 tüp. 2 litre @ 100 bar

# Th-ETR'de ergimiş tuzun işlenmesi



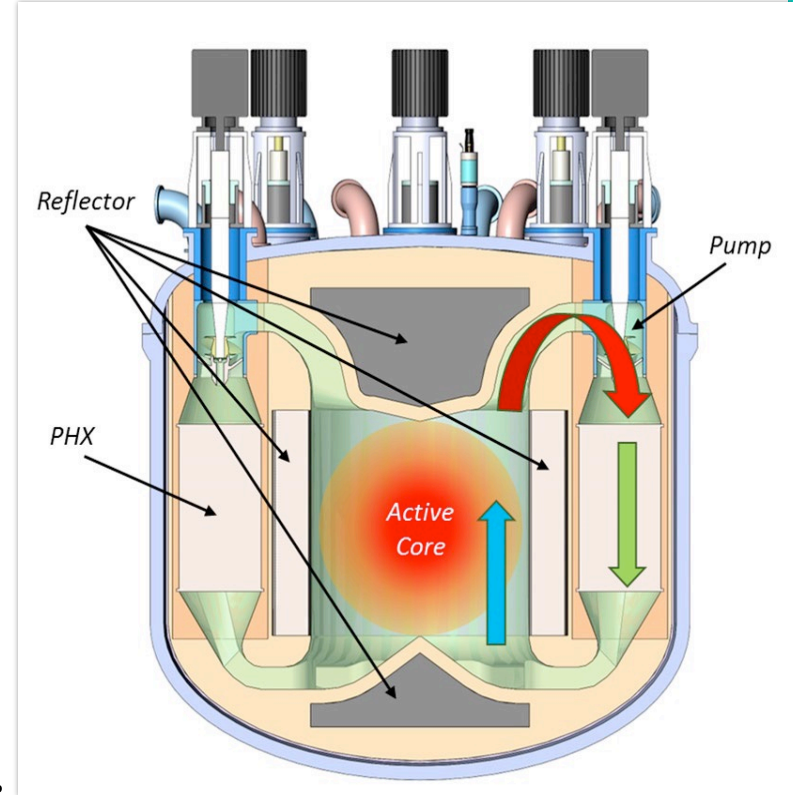
○ ETR SINIFLAMASI  
 (IAEA Technical  
 Report Series No. 489  
 2021 preprint)



# A.B.D. tasarımı (**Bill Gates**)-TerraPower: MCFR

## (Molten Chloride Fast Reactor)

- Üretim: Üret ve yak üzerine (yüksek oranda yanma yapıyor)
- Hızlı spektrum, klorür tuz, fıçı içine entegre edilmiş
- 90-360 MWth elektrik üretimi; deniz araçları itki gücü; yüksek verimli hidrojen üretimi
  - 2015'te A.B.D. Enerji Bakanlığı'ndan **40 milyon dolar** teşvik almış
  - 2035'te 1800 MWth büyük güç reaktörleri
- 2030'da bir tanıtım yapılması düşünülüyor



<https://www.youtube.com/watch?v=hDvKJIm2WU8>

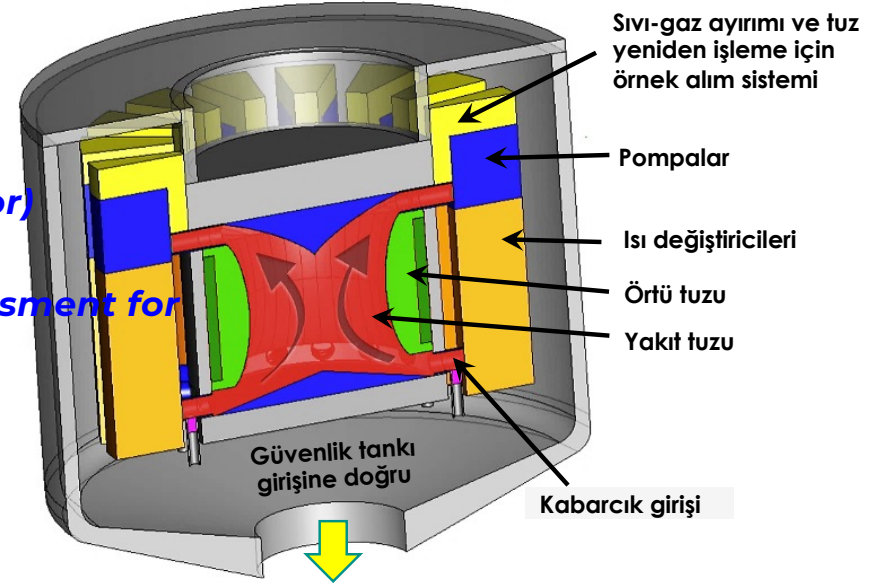


# Avrupa tasarımı: MSFR (Molten Salt Fast Reactor)

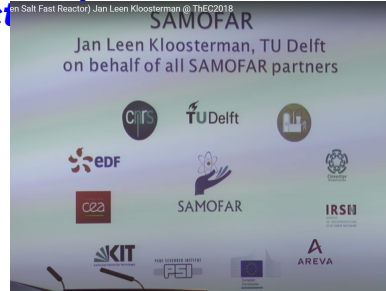
- Projeyi AB finanse ediyor
- 3-4 sene içinde 3 milyon Euro
- EVOL (2010-2013),  
SAMOFAR (2015-2019)  
(Safety Assessment of the Molten Salt Fast Reactor)
- SAMOSAFER hazırlık aşamasında  
(Severe Accident Modeling and Safety Assessment for  
Fluid-fuel Energy Reactor)
- Büyük yatırımcılar:  
Fransa, Hollanda
  - ✓ Milli program
- MSFR kavramı
  - ✓ Kapalı Toryum döngüsü
  - ✓ Hızlı spektrumlar, iki farklı akışkan
- Hedef: Güvenlik tanıtımı

<<https://www.youtube.com/watch?v=5WXALiUE0S0>>

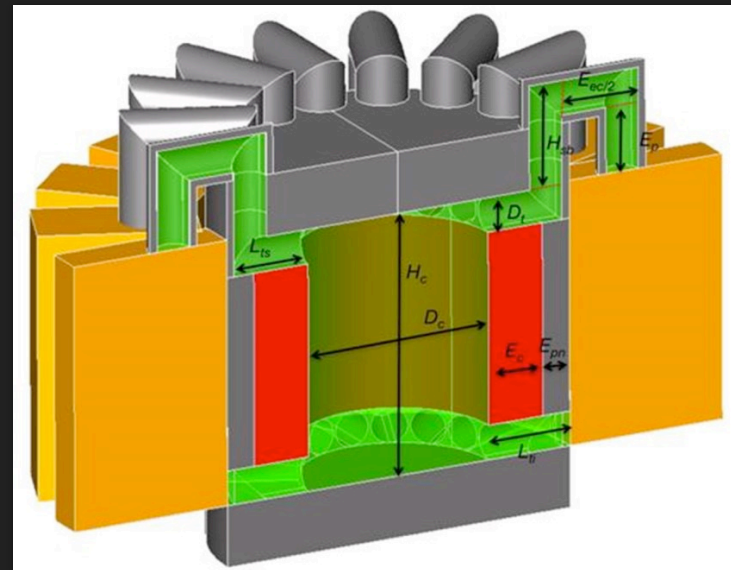
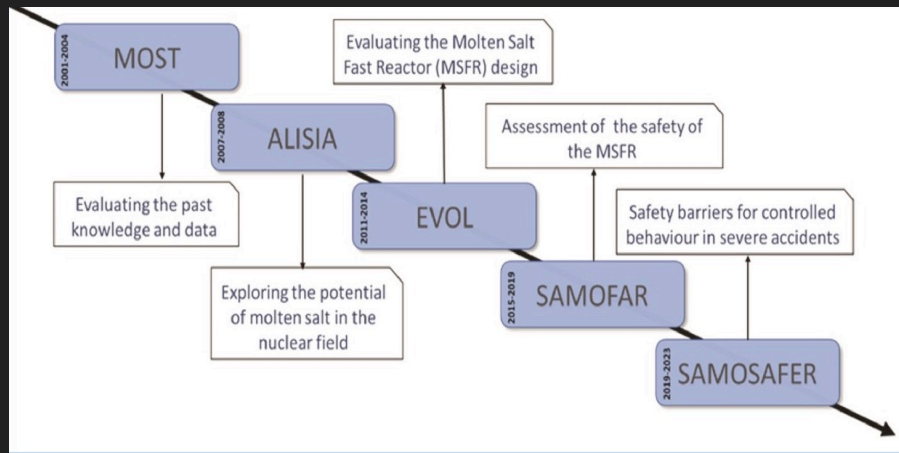
<<https://www.youtube.com/watch?v=C3vHKzDL5O0>>



**Bu reaktörün ısı  
değiştiricisinin tasarımı Türk  
şirketi FIGES tarafından  
yapılmıştır**



# AB-MSFR (Hızlı ETR) Son Tasarımı

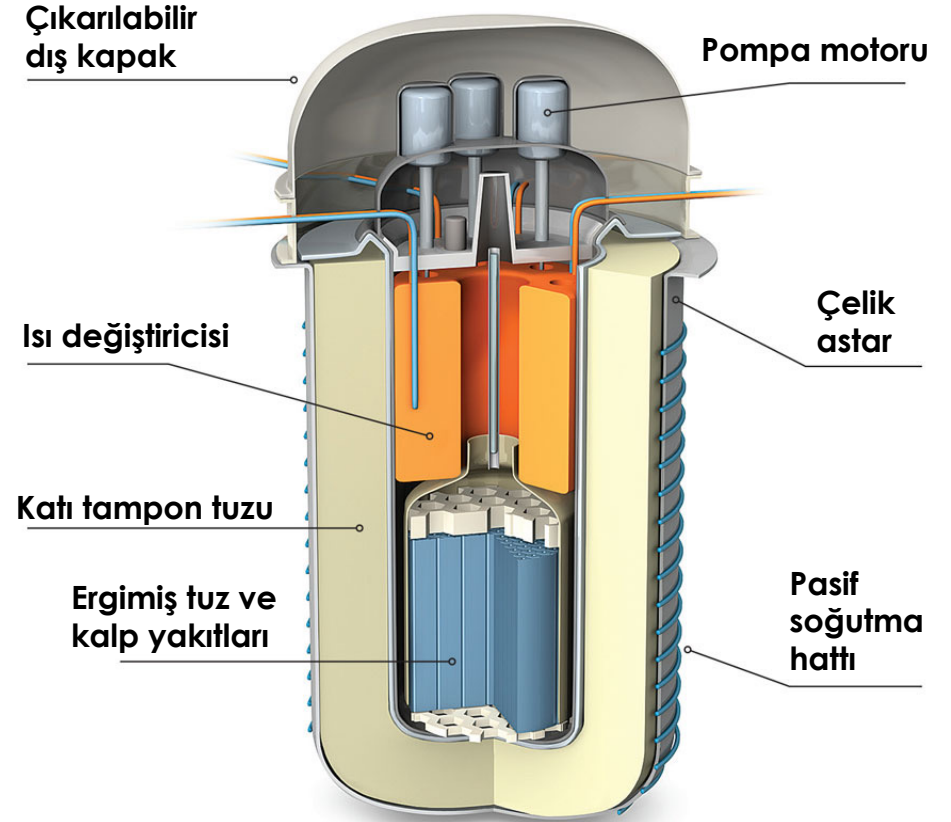


IAEA Technical Report series No.489 2021 Preprint †

Dr. Reşat UZMEN TORYUM 5 Ekim 2021 TOBB ETÜ Enerji Uygulamaları Merkezi

# Kanada tasarımı-Terrestrial Energy: IMSR (Integral Molten Salt Reactor)

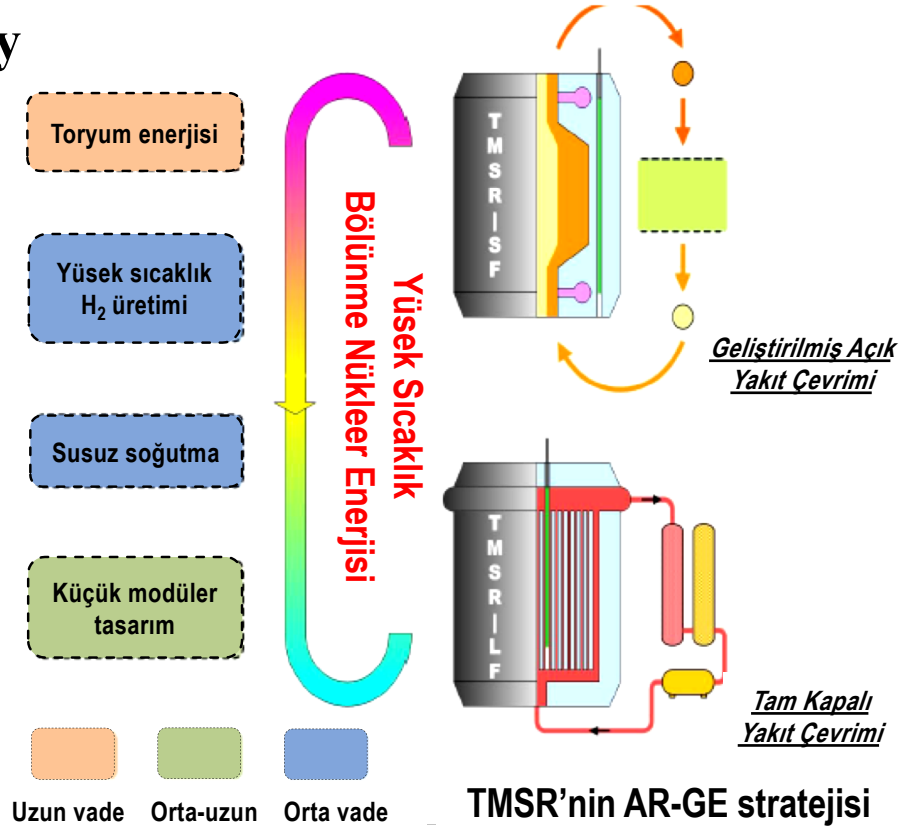
- Üretim için U çevrimi esas alınmış
- Termal spektrum (grafit)
- Reaktör çalışırken %5 zenginlikte U yüklemesi yapıyor
- Yaklaşık **17 Milyon Euro** yatırım yapılmış
- Güvenlik otoritesinin tasarımına göre 2. fazın başlangıcı olarak **Eylül 2028** düşünülüyor
- İlk IMSR'nin uygun yere kurulması CNL (Kanada) ve INL (A.B.D.) arasında görüşülüyor



<<https://www.youtube.com/watch?v=OgTgV3Kq49U>>

# Çin tasarımı: TMSR (Thorium Molten Salt Reactor)

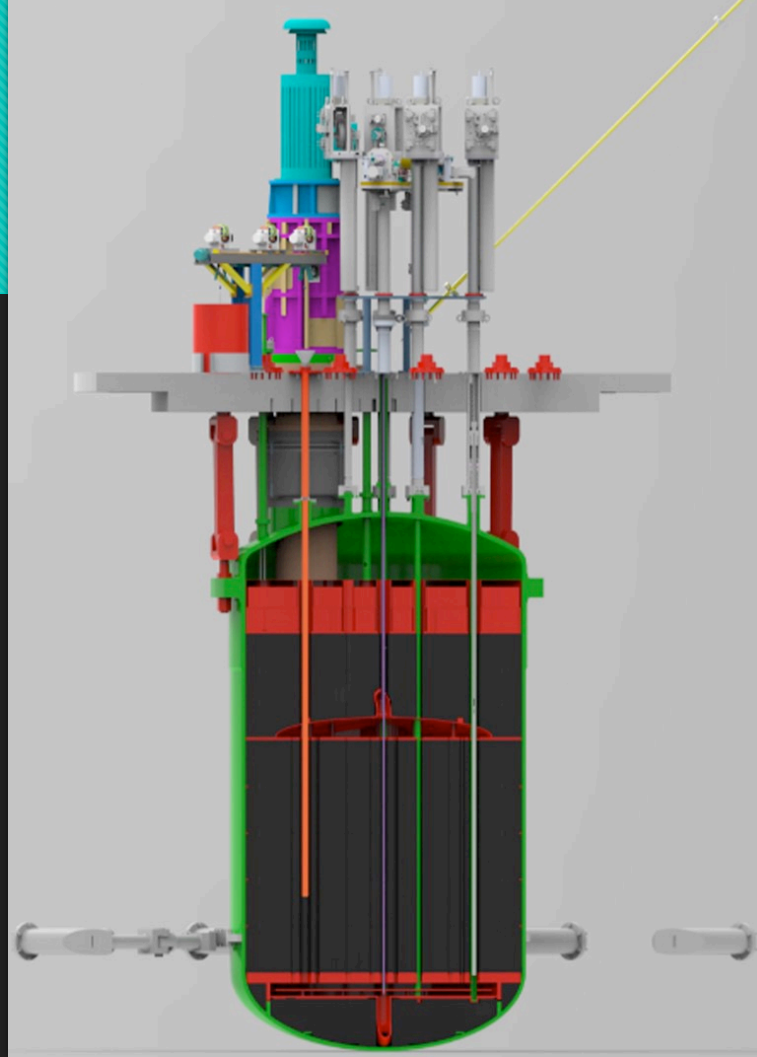
- Çin Bilim Akademisi (CAS) - Şanghai Uygulamalı Fizik Enstitüsü - SINAP
- 2011'de başlamış
- Şimdilik birkaç yüz milyon Euro harcanmış
  - ✓ Daha çok yatırım yapılacak
- Temel anlayış
  - ✓ Kapalı Toryum döngüsü
  - ✓ Termal spektrum (grafit)
- Başka tasarımlar üzerinde çalışılıyor. (hızlı MSFR ve MCFR gibi)
- Deney reaktörü yapım aşamasında



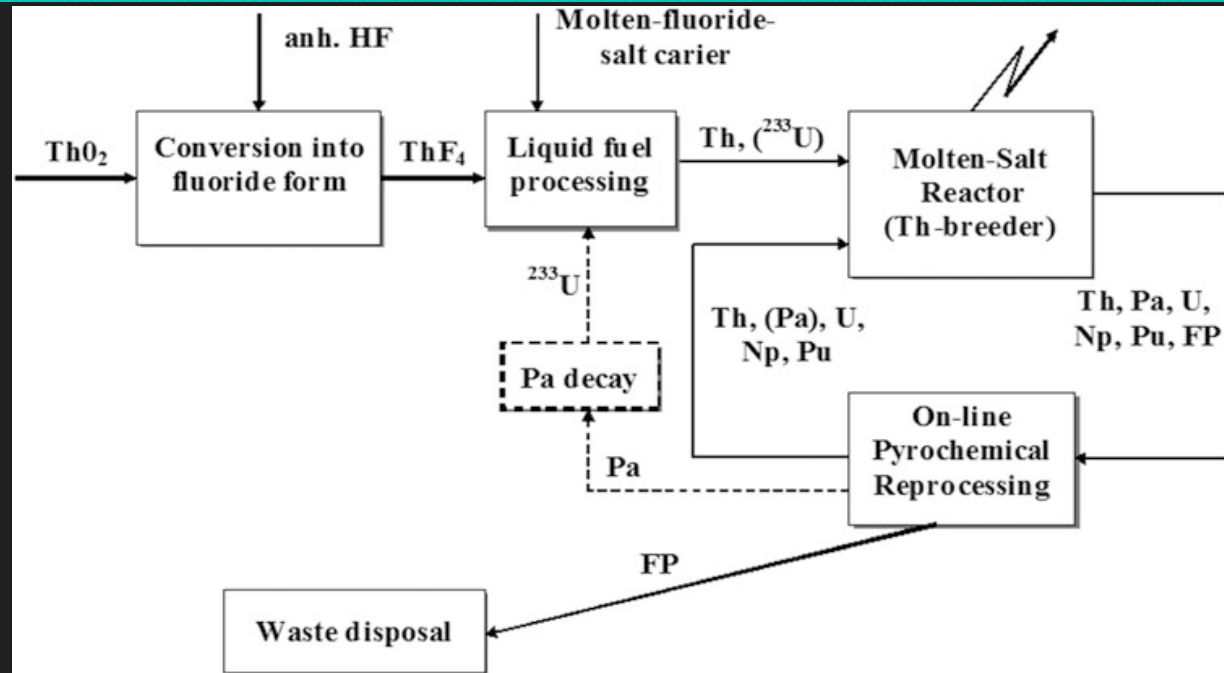
<<https://www.youtube.com/watch?v=5UT2yYs5YJs>>

<[https://www.youtube.com/watch?v=V6Dqh\\_heZ\\_k](https://www.youtube.com/watch?v=V6Dqh_heZ_k)>

Çin TMSR-LF1 Toryum  
çevrimli ergimiş tuz  
reaktörü prototip şeması

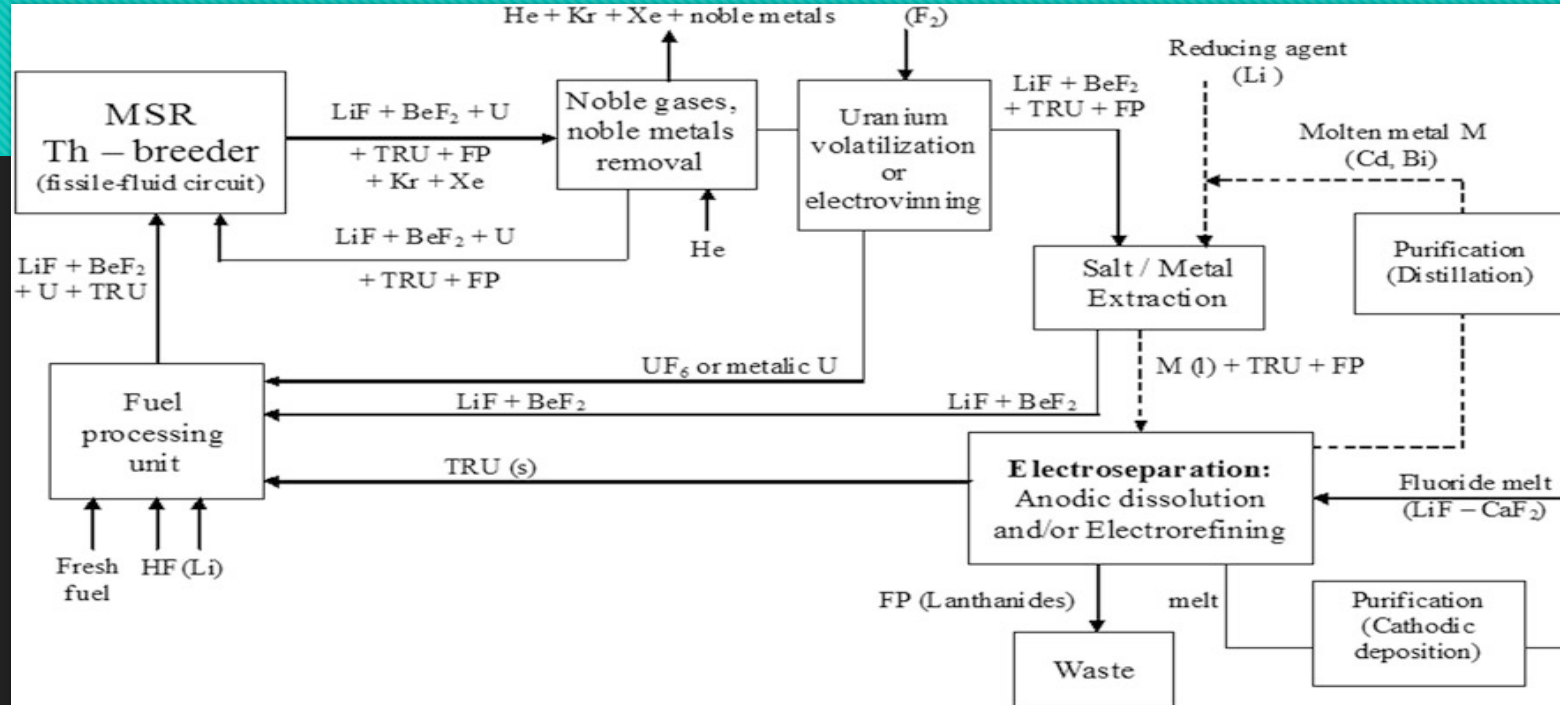


# ETR'de Toryum çevrimi 1



(J. Uhlir, Current Czech R&D in Thorium Molten Salt Reactor (MSR) Technology and Future Directions, 2016)

# ETR'de Toryum çevrimi 2



(J. Uhlir, Current Czech R&D in Thorium Molten Salt Reactor (MSR) Technology and Future Directions, 2016)

Dinlediđiniz için  
**TEŐEKKŐRLER...**

Reşat

***Reşat Uzman***