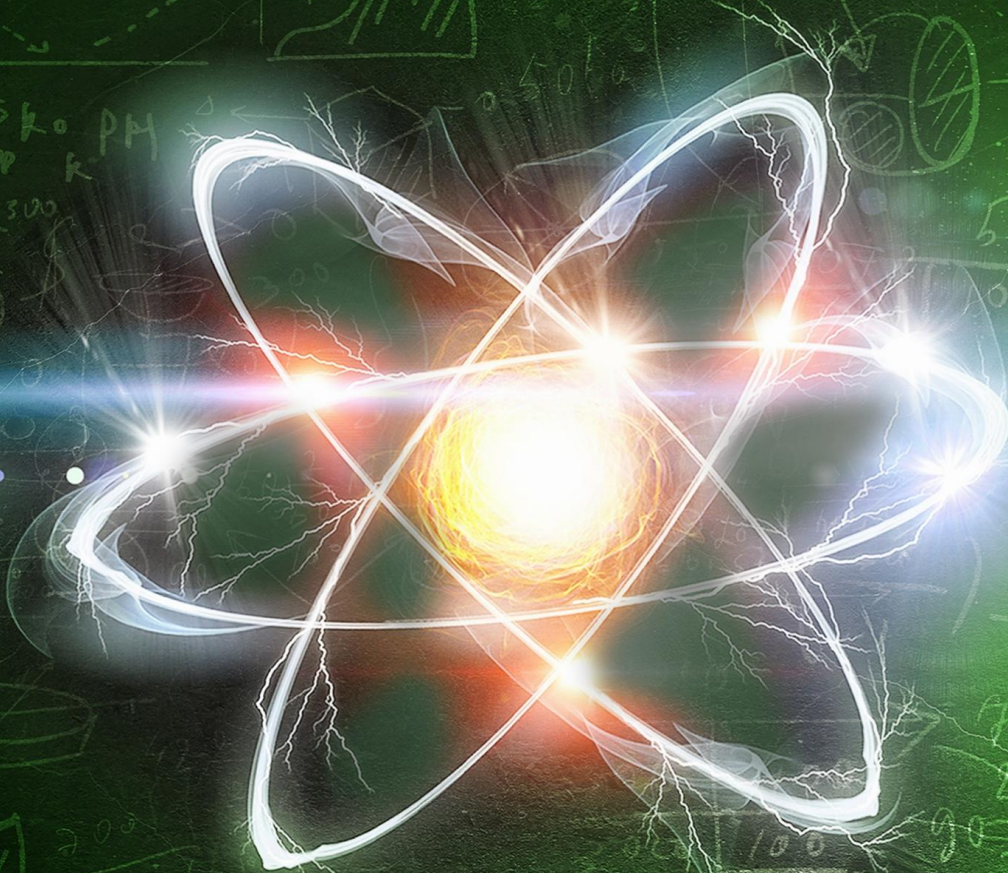




Güncel Durumda Küçük Modüler
Reaktörlerin (SMR)
Değerlendirilmesi Etkinliği



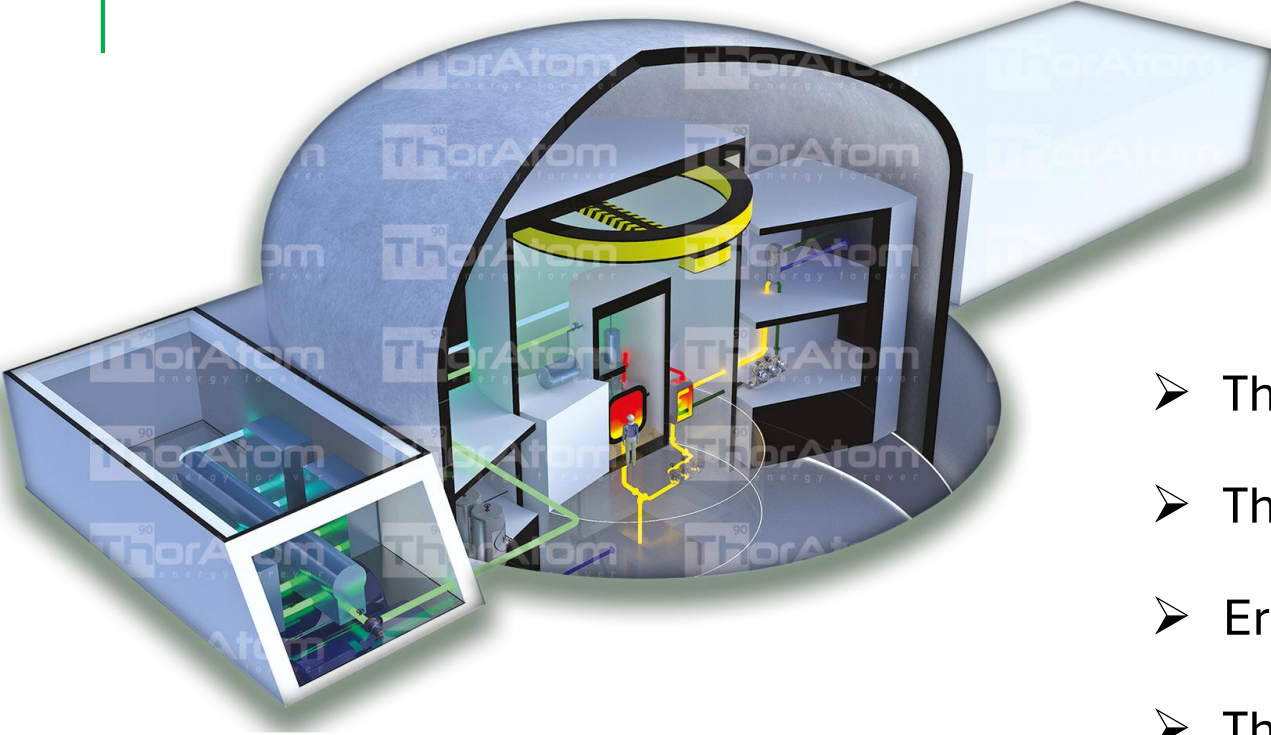
ThorAtom'un ETR Teknolojisi Geliştirme Faaliyetleri

Dr. Hüseyin Ayhan

ThorAtom AŞ, Genel Müdür Yardımcısı

Kasım - 2024

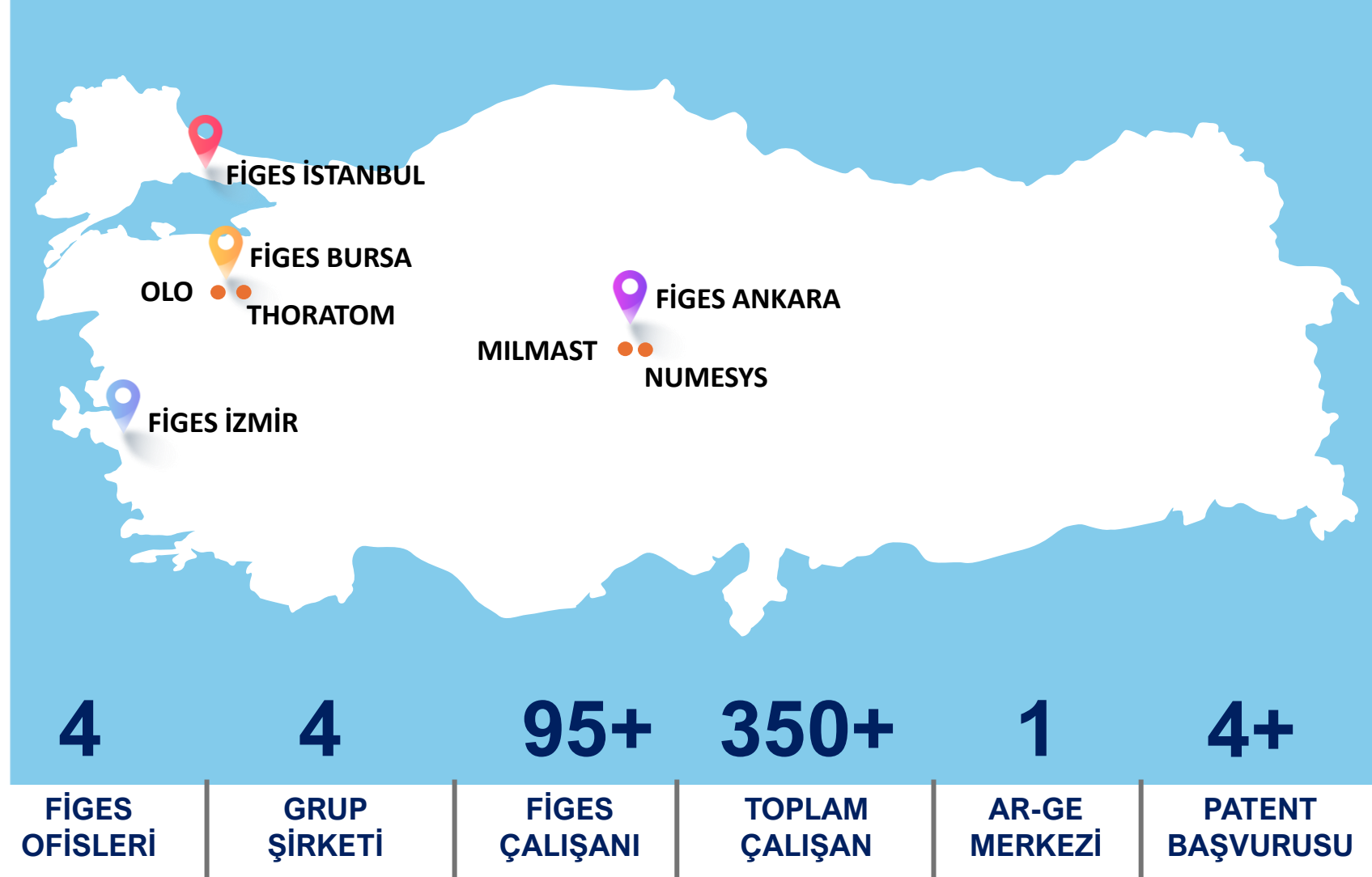
thoratom.com



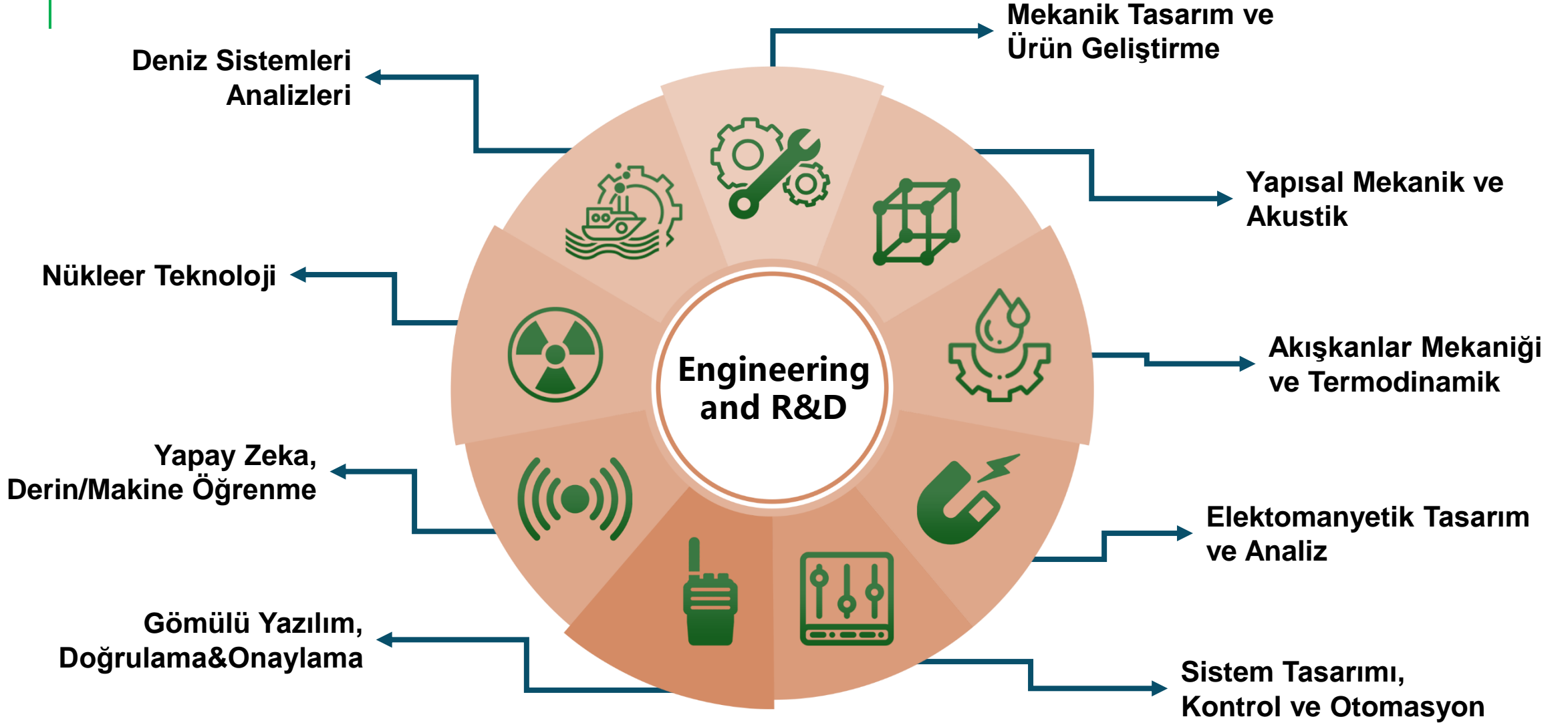
- ThorAtom'un Arkasındaki Destekçi: FIGES
- ThorAtom'un Kuruluş Süreci
- Erimiş Tuz Reaktörü Teknolojisi
- ThorAtom Konseptinin Seçimi
- Güncel Çalışmalar
- Planlanan Çalışmalar

FİGES AŞ

- ✓ 1990 Yılında kuruldu
- ✓ 4 şehirde bulunmakta
- ✓ Personelin %75'i Mühendis
- ✓ %10'u Doktora ve >%30'u Yüksek Lisans derecesine sahiptir.
- ✓ 1990'dan beri ANSYS Temsilcisi
- ✓ 2001'den beri MATWORKS Temsilcisi
- ✓ 2003'ten beri uluslararası kuruluşların onaylı analiz tedarikçisi
- ✓ MİLGEM Projesi'nde (Milli Gemi Projesi) yapısal mukavemet hesaplamaları yapılmıştır
- ✓ Biyonik el, haptik robot, teleskopik yükselme sistemleri ve lazer eritmeli 3B yazıcı sistemi gibi Ar-Ge projeleri yürütülmüştür.



Mühendislik Bölümleri



Faaliyet Alanlara

Mühendislerimiz

- Makine Mühendisi
- Uzay ve Havacılık Mühendisi
- Gemi İnşaatı Mühendisi
- Mekatronik Mühendisi
- Nükleer Enerji Mühendisi
- Kimya Mühendisi
- Elektrik Elektronik Mühendisi
- Bilgisayar Mühendisi
- Elektronik ve Haberleşme Mühendisi
- Otomotiv Mühendisi
- Fizik Mühendisi

Sektörler

- Havacılık & Savunma
- Otomotiv
- Denizcilik
- Finans
- Tıbbi
- Enerji
- Makine & Otomasyon
- Elektrik & Elektronik

Danışmanlık ve Proje Servisleri

Tasarım, Modelleme ve Optimizasyon

Araştırma & Geliştirme

Eğitim ve Destek Hizmetleri

FIGES'in Grup Firmaları

TECHNOLOGY FOR THE FUTURE

We exist to think the unthinkable, to see the invisible and to design the better

FIGES
applied physics & mathematics

MILMAST

olo
MOBILITY

numesys
NUMERICAL SYSTEMS

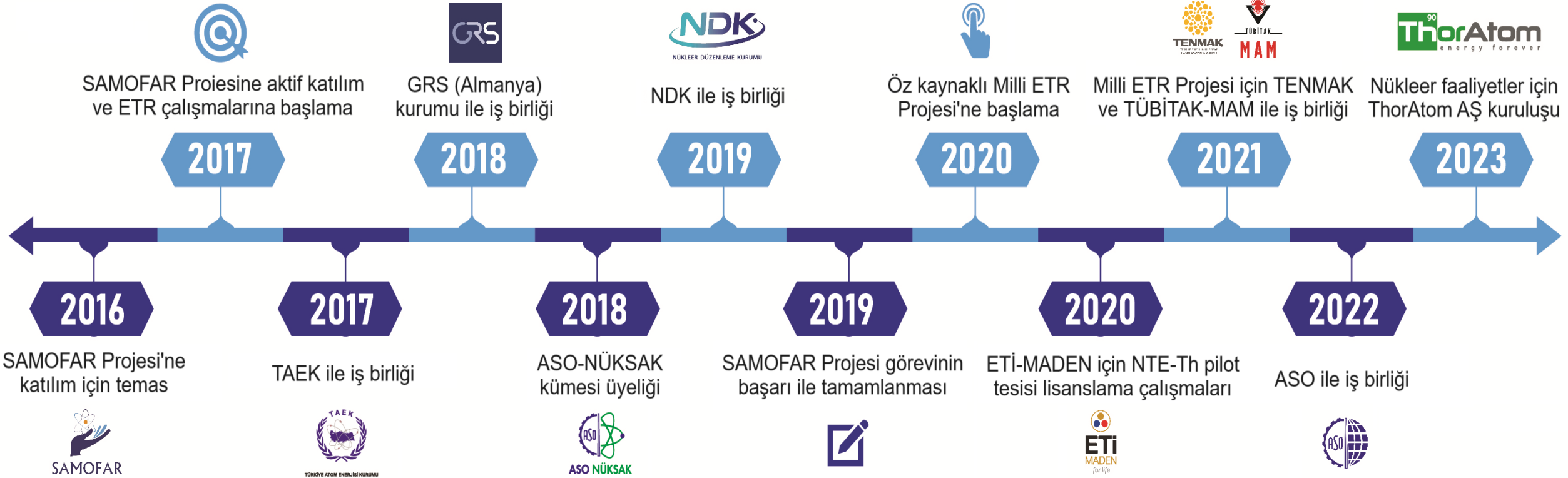
ThorAtom
energy forever

MathWorks | ANSYS

System Modeling
Control Engineering
Real-time Simulator Development
Machine Learning
Optimization
Structural Analyses
Design of Experiment
Acoustic Analyses
Nuclear Fuel Cycle
Thermal Hydraulics
Neutronics
Rare Earth Element Separation
Mechanical Design
Biological Dispersion Analyses
Software Development
Nuclear Safety Analyses
Additive Manufacturing
Computational Fluid Dynamics
Predictive Maintenance
olo MOBILITY
numesys
MathWorks | ANSYS
System Modeling
Structural Analyses
Thermal Hydraulics
Mechanical Design



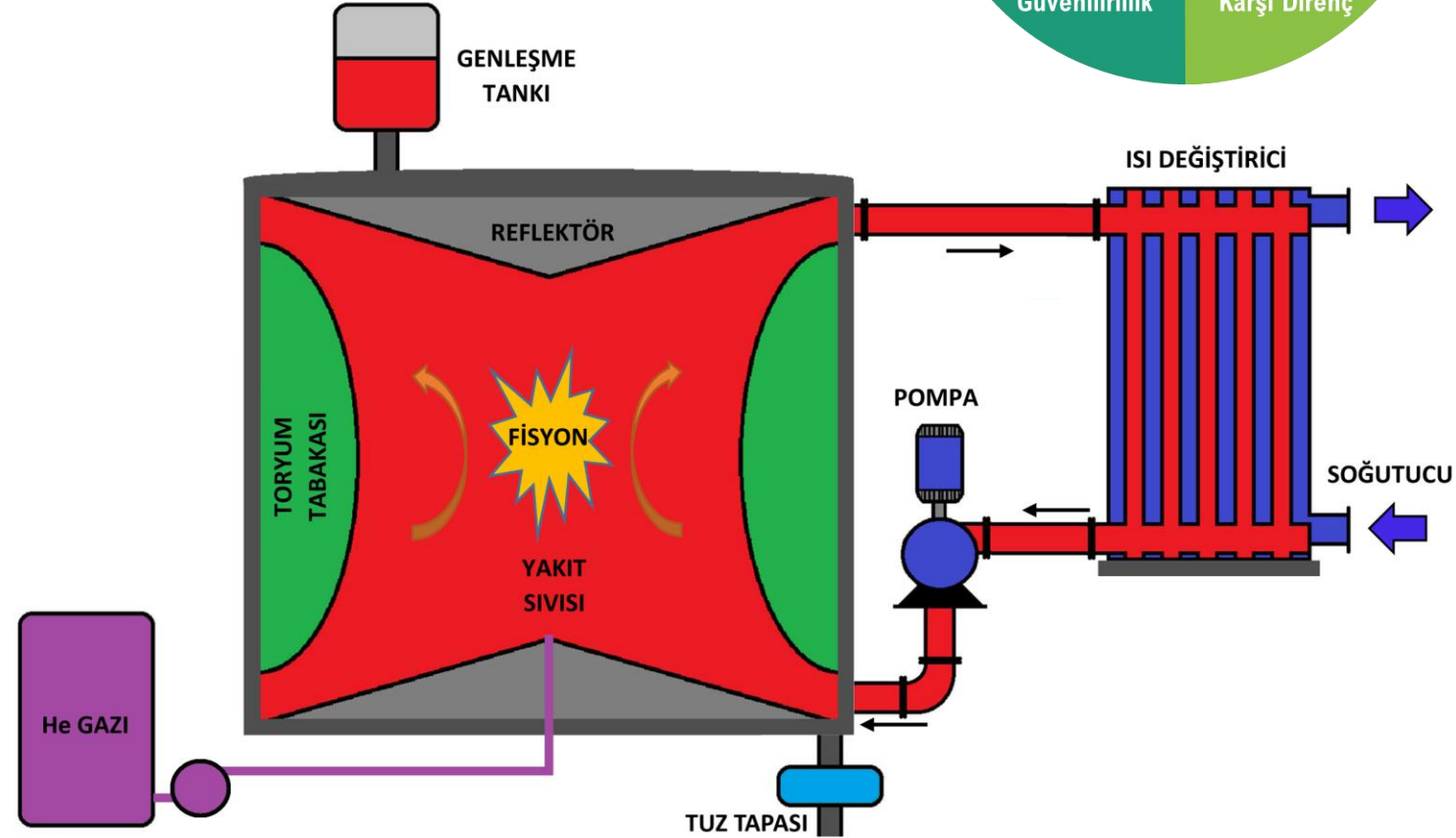
Nükleer Teknolojideki Kilometre Taşları



Ergimiş Tuz Reaktörü Teknolojisi

- ❑ Gen IV – Yeni Nesil – Gelişmiş Tasarım
- ❑ Ekonomik olarak rekabetçi
- ❑ Sürdürülebilir yakıt ve atık sunar
- ❑ Geleneksel reaktör atıklarını yakabilir
- ❑ Sıvı yakıtın kolay işlenmesi
- ❑ Doğal olarak güvenli (Pasif güvenlik)
 - ❑ Yakıtın genişmesi
 - ❑ Çekirdek (yakıt) pasif deşarjı
 - ❑ Çekirdek erimesi yok
- ❑ Fabrikasyon üretime uygunluk
- ❑ Kısa inşaat süresi
- ❑ LWR'lere kıyasla çok yüksek EROI.
- ❑ TWh başına çok düşük Malzeme Tüketimi

Gen-IV Kriterleri



ETR'ler Hakkında Özet Bilgiler

İşletme Sıcaklığı	Giriş: 600-650°C Çıkış: 700-750°C
İşletme Basıncı	1-3 bar
Güç Seviyesi	mMR (<20 MWe) SMR (<300 MWe) LSR (> 1GWe)
Yakıt Türü	LEU / HALEU (Zenginleştirilmiş U) Pu / MA (Kullanılmış Yakıt) Th-U ²³³
Nötron Spektrumu	Yavaş / Epitermal / Hızlı
Tuz Türü	Flor bazlı / Klor bazlı
İşletme Modu	Breeder / Burner / Breed-Burn



ETR'lerin Avantajları

- Düşük basınç → GÜVENLİ EKONOMİK
- Yüksek sıcaklıkta ısı üretimi / yüksek ısı verim → VERİMLİ FİZİBİL EKONOMİK
- Sıvı yakıt / efektif ısı taşınımı → VERİMLİ EKONOMİK
- Yakıt ergimesi kaza değil / donması ise problem değil → GÜVENLİ
- Atıkları gerçek atık, SNF değil / Waste → EKONOMİK FİZİBİL GÜVENLİ SÜRD.BİLİR
- Düşük radyotoksite / daha az atık → GÜVENLİ SÜRD.BİLİR
- Aktiften ziyade pasif güvenlik sistemleri mevcut → GÜVENLİ EKONOMİK
- Homojen kor / In Core Fuel Management kolaylığı → GÜVENLİ EKONOMİK FİZİBİL
- Yüksek kapasite faktörü (~%95) → VERİMLİ EKONOMİK
- Yakıt yapım ve kullanım kolaylığı → FİZİBİL EKONOMİK
- Çok amaçlı üretim çıktısı → FİZİBİL VERİMLİ
- Üretken reaktör tasarım avantajı → VERİMLİ EKONOMİK SÜRD.BİLİR

ETR Teknolojisinin Üstünlükleri

ETR'ler ile Klasik reaktörler arasındaki bazı karşılaştırma detayları:

	Konvansiyonel Reaktörler	Ergimiş Tuz Reaktörleri
Basınç	70-150 bar	1-3 bar
Sıcaklık	<320°C	>700°C
Isıl-Elektrik Verimi	<40%	>45%
Güvenlik Sistemleri	Daha çok aktif	Daha çok pasif
Kor-İçi Yakıt Yönetimi	1 ton fisil için 25 ton HM gereksinimi	Çevrimiçi yakıt işleme
Yakıt Kullanımı	Düşük Burnup + SNF	Yüksek Burnup + Toryum Opsiyonu
CAPEX (1000 MWe başına)	>5 Milyar USD	~2 Milyar USD
OPEX	Yakıt yapımı, SNF depolama, bakım vb.	Azaltılmış işletme maliyeti
Atık	Büyük kısmı atık değil	Düşük miktar ve radyotoksisite
Kurulum Süresi	7-10 yıl	3 yıl civarı
EROI	~75 (GES&RES<20, Kömür~30, HES~50)	1000-2000
Doğal Kaynak Kullanımı (TWh başına)	~1kt (GES~16kt, HES~14kt, RES~10kt)	0,1kt

Tasarım Türleri & ThorAtom'un Tür Seçimi

ETR teknolojisi üzerinde çalışan bazı şirket veya kurumlar:

	YAVAŞ		HIZLI	
	Flor Bazlı	Klor Bazlı	Flor Bazlı	Klor Bazlı
Toryum (+)	SİNAP (TMSR-LF) Thorcon (TMSR) Copenhagen Atomics (CA-WB) Flibe Energy (LFTR) Moltex Energy (SSR-Th) Thorizon Alpha Tech ThorAtom-MSTR		EU Project (MSFR)	Germany (DFR)
Toryum (-)	Terrestrial Energy (IMSR) Moltex Energy (SSR-U) Seaborg Tech. (CMSR)		Kurchatov Inst (MOSART) ThorAtom-MSFR	Moltex Energy (SSR-W) Terrapower (MCFR) Exodys Energy (FC-MSR) Core Power Naarea (XAMR) Stellaria (MSR)

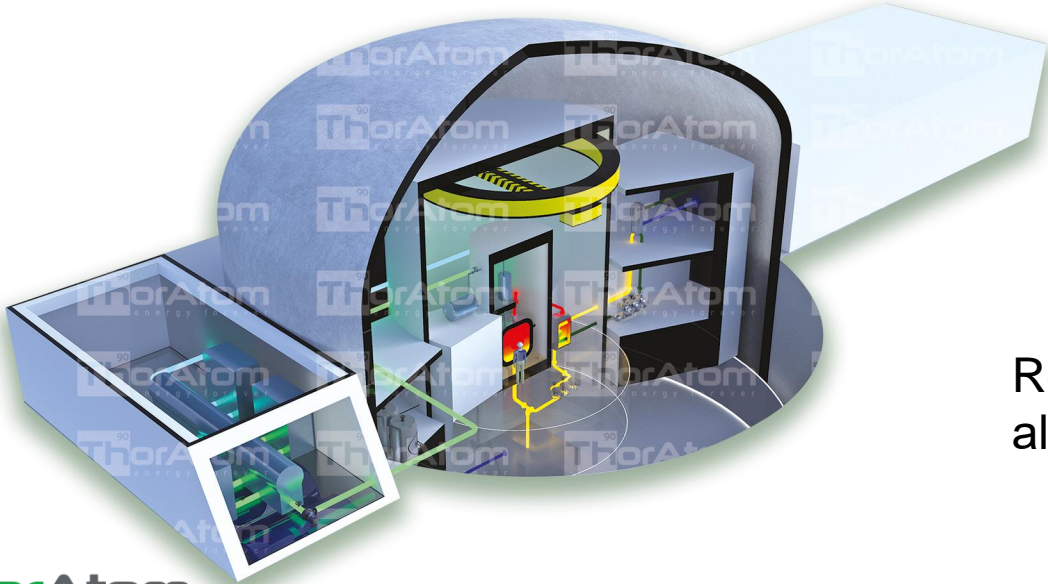
ThorAtom'un ETR Konsept Tasarımı

❑ Hızlı Spektrum

- ❖ HALEU yakıt
- ❖ FLiBe Tuzu ($LiF+BeF_2+UF_4$)
- ❖ 100 MW-elektrik
- ❖ Yılda bir yakıt işleme (Temizleme+Ekleme)
- ❖ Reaktivite kontrolü için He eklenme

❑ Yavaş Spektrum

- ❖ LEU yakıt + Toryum
- ❖ FLiBe Tuzu ($LiF+BeF_2+ThF_4+UF_4$)
- ❖ 30 MW-Isıl
- ❖ Çevrimiçi yakıt işleme (Temizleme+Ekleme)
- ❖ Reaktivite kontrolü için He eklenme
- ❖ Grafit moderatör
- ❖ Düşük yakıt maliyeti



Reflektör ve yapısal malzeme olarak nikel esaslı süper alaşımlar seçilmiştir.

FLiNaK Test Düzeneği

ETR İNCELEMESİ İÇİN DENEYSEL DÜZENEK

- Numerik modellerin doğrulanması
- ETR Güvenlik sistemlerinin testi
- Tuz ve malzeme özelliklerinin ölçümü

Yürütülecek Deneysel Çalışmalar

- "HAD çalışmalarını doğrulamak" için ısı-hidrolik deneyler
- "Isı eşanjörünün" performans testleri
- "Doğal sirkülasyon" deneyleri
- "Güvenlik tapası" erime davranışının araştırılması
- "Sistemdeki tuzun boşalma davranışının" incelenmesi
- Ani ısıtma ile "genleşme kabı" davranışının izlenmesi
- "Helyum ekleme" koşullarının incelenmesi
- "Helyum ayırma" testleri
- Yapısal malzemede "korozyon sürecinin" araştırılması
- "Redoks tepkimelerinin" incelenmesi



Planlanan Çalışmalar

- ❑ Kısa vadede deneysel düzenek kurulacak.
- ❑ Deneyler yapılacak ve simülasyon araçlarıyla yapılan modeller doğrulanacak.
- ❑ Hesaplama çalışmalarına deneysel çalışmalara paralel olarak devam edilecek.
- ❑ Hedefimiz ilk 3 yıl içerisinde tüm hesaplamaları tamamlamak.
- ❑ Sonraki 2 yıl içerisinde lisanslama çalışmaları yoğun bir şekilde yürütülecek.
- ❑ Bu süreçte yerli üretim için gerekli bağlantıları da kurmak istiyoruz.
- ❑ 2030 yılından sonra ticari ölçekli MSR'lerin inşasına başlamayı hedefliyoruz.

Küresel Isınmayı Engellemek İçin:
SIFIR KARBON



ThorAtom Tasarımı ETR'lerin Teknolojik Özellikleri

- ▶ Güç salınımlarını dengelemek için Genleşme Tankı
- ▶ Düşük basınçlı Kor Tankı
- ▶ Kısa Boru Sistemleri
- ▶ Yüksek Burnup için Filyon Ürünleri Ayırma Sistemi
- ▶ Reaktivite kontrolü için Soygaz Ekleme Sistemi
- ▶ Pasif kor boşaltımı için Acil Durum Tapası
- ▶ Kompakt Isı Değiştirici
- ▶ Ciddi kazalar için Acil Durum Boşaltma Tankı
- ▶ Gaz ürünlerinin pasif ayrıştırımı için Negatif Basınç Tankı
- ▶ Yedekli Pompa ve Isı Değiştirici Sistemleri



NuClear

Sürdürülebilir gelecek için Nükleer

⁹⁰ThorAtom
energy forever

TEŞEKKÜRLER

Detaylı Bilgi İçin:
huseyin.ayhan@thoratom.com

thoratom.com