

Hollanda Thorizon Ergimiş Tuz Reaktörü (ETR) Projesi ve Dünya'daki ETR Teknolojisinin Bugünkü Durumu?

Yüksel Atakan, Dr., Radyasyon Fizikçisi ybatakan4@gmail.com, 08.01.2026 /I/

Özet

Ergimiş Tuz Reaktörleri (ETR), dördüncü nesil nükleer enerji sistemleri arasında yer almakta ve yakıt esnekliği, pasif güvenlik özellikleri ve yüksek sıcaklıkta ısı üretme kapasiteleri nedeniyle son yıllarda yeniden ilgi görmektedir. Bu çalışmada, Hollanda merkezli Thorizon şirketinin planladığı ergimiş tuz reaktörü projesi teknik ve bağlamsal olarak incelenmiş; küresel ölçekte ETR teknolojisinin mevcut olgunluk düzeyi analiz edilmiştir. Çalışma, Thorizon projesinin Avrupa'da ETR ticarileşmesi açısından önemli bir girişim olduğunu, ancak teknolojinin henüz ticari ölçekte kanıtlanmış olmadığını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, ETR'lerin orta ve uzun vadede enerji geçişine katkı sağlayabilecek potansiyele sahip olduğu, fakat kısa vadede basınçlı su reaktörleri (PWR) ve bazı küçük modüler reaktör (SMR) tasarımlarının daha olgun teknolojiler olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ergimiş Tuz Reaktörü, Thorizon, Dördüncü Nesil Nükleer, Toryum Döngüsü, SMR

1. Giriş

Nükleer enerjinin iklim değişikliğiyle savaşmada yeniden gündeme gelmesi, geleneksel reaktör tasarımlarına seçenek olabilecek yeni teknolojilere olan ilgiyi artırmıştır. Bu bağlamda **ergimiş tuz reaktörleri (ETR / MSR)**, 1960'lı yıllarda yapılan deneysel çalışmalardan sonra yeniden araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin odağına yerleşmiştir.



Hollanda Thorizon şirketiyle ilgili bilgi bu yazının en altında bulunuyor.

16 Aralık 2025 tarihinde *Golem.de*'de yayımlanan bir yazıda, Thorizon şirketinin Hollanda'da bir ETR kurmayı planladığı açıklanmıştır. Proje, ilk aşamada elektrik üretmek değil, **endüstriyel ısı sağlama** amacıyla tasarlanmıştır. Bu yönüyle Thorizon girişimi, ETR'lerin yalnızca elektrik üretimi değil, sanayi ve ısı piyasalarına entegrasyonu açısından da önemli bir örnek oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Thorizon projesini teknik özellikleriyle incelemek ve küresel ETR gelişmeleri bağlamında gerçekçi bir konuma yerleştirmektir.

2. Yöntem ve Kapsam

Bu çalışma, nitel bir teknoloji değerlendirmesi niteliğindedir. Yöntemsel olarak:

- Açık kaynaklı teknik dokümanlar,
- Uluslararası kuruluşların (IAEA, GIF) raporları,
- Akademik literatür ve sektör raporları,

incelenmiş; Thorizon ETR tasarımı, mevcut ETR ve alternatif reaktör teknolojileriyle karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Sayısal performans tahminlerinden ziyade **teknolojik olgunluk ve sistem düzeyi karşılaştırma** yaklaşımı benimsenmiştir.

3. Bulgular

3.1. Thorizon Ergimiş Tuz Reaktörünün Teknik Özellikleri

Thorizon'un geliştirdiği reaktör, yakıtın ergimiş florür tuzu içinde çözülmüş olduğu bir **sıvı yakıtlı ETR** tasarımıdır. Reaktör, atmosferik basınca yakın koşullarda çalışmakta; grafit moderatör aracılığıyla termal nötron spektrumunda fisyon reaksiyonu sürdürülmektedir.

İlk prototipin yaklaşık **550 °C** sıcaklıkta endüstriyel ısı enerjisi sağlaması hedeflenirken, ticari model olan **Thorizon-1 (~250 MWtermik)** için hem ısı hem de elektrik üretimi öngörülmektedir. Tasarımın en önemli tasarımları arasında:

- Pasif güvenlik,
- Yakıt esnekliği (toryum ve aktinitler),
- Hızlı yük izlenmesi,

yer almaktadır.

3.2. Küresel Ergimiş Tuz Reaktörü Teknolojisinin Bugünkü Durumu

ETR teknolojisinin tarihsel gelişimi, ABD'deki **Molten Salt Reactor Experiment (MSRE)**'dir. Günümüzde ise Çin, Kanada, İngiltere, Hollanda ve Danimarka başta olmak üzere çeşitli ülkelerde Ar-Ge faaliyetleri yürütülmektedir.

Çin'deki **TMSR-LF1** reaktörü, 2023'de kritikliğe ulaşmış olup, dünyada aktif durumda olan tek ETR'dir. Ancak bu, **deneysel bir araştırma reaktörüdür** ve ticari enerji üretimi yapmıyor.

Bu durum, ETR teknolojisinin bugün **Teknoloji Hazırlık Düzeyi (TRL) 4–6** aralığında olduğunu göstermektedir /Bkz Not 1/. **Bu derecelendirme, ETR'lerin henüz yaygınlaşmadığını göstermektedir.**

Thorizon ETR projesi, Avrupa'da ETR'lerin ticarileşmesi yönünde önemli bir adım olarak değerlendirilebilir. Ancak proje, teknik risklerin yanı sıra **lisanslama belirsizlikleri** ile de karşı karşıyadır. Avrupa nükleer düzenleyici çerçevesi, büyük ölçüde PWR (Basınçlı Su Reaktörü) ve BWR (Kaynamalı Su Reaktörü) gibi su soğutmalı reaktörlere göre şekillenmiştir.

ETR'lerin sağladığı avantajlar, özellikle uzun sürede nükleer atık yönetimi ve sanayiye düşük karbonlu ısı enerjisi sağlanması açısından önemlidir. Buna karşın, kısa ve orta sürelerde enerji sunum güvenliği açısından **olgun teknolojilerin** (PWR ve bazı SMR'Küçük Modüler Reaktörler'in) daha uygulanabilir olduğu görülmektedir.

4. Reaktör Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Ayrıntıları

Tablo 1. ETR, SMR ve Geleneksel PWR Reaktörlerinin Karşılaştırılması

Özellik	Ergimiş Tuz Reaktörü (ETR)	Küçük Modüler Reaktör (SMR)	Basınçlı Su Reaktörü (PWR)
Teknoloji Olgunluğu	Düşük–Orta (Ar-Ge / Prototip)	Orta–Yüksek (Bazı tasarımlar lisanslı)	Yüksek (Ticari olarak kanıtlanmış)
Yakıt Formu	Ergimiş tuz içinde çözünmüş	Katı yakıt çubukları	Katı yakıt çubukları
Çalışma Basıncı	Düşük ($\approx$ atmosferik)	Yüksek	Çok yüksek
Çıkış Sıcaklığı	Yüksek (500–700 °C)	Orta ($\approx$ 300 °C)	Orta ($\approx$ 300 °C)
Endüstriyel Isı Uygunluğu	Çok yüksek	Sınırlı	Düşük
Atık Yakma Potansiyeli	Yüksek	Düşük–Orta	Düşük
Lisanslama Deneyimi	Çok sınırlı	Artmakta	Çok yüksek
Kısa Vadeli Uygulanabilirlik	Düşük	Orta	Yüksek

5. Sonuç

Bu çalışma, Thorizon'un Hollanda'daki ETR projesinin teknik açıdan yenilikçi ve stratejik açıdan önemli olduğunu, ancak küresel ETR teknolojisinin henüz ticari olgunluğa ulaşmadığını göstermektedir. ETR'ler, özellikle sanayiye düşük karbonlu ısı enerjisi sağlanması ve uzun sürede nükleer atık yönetimi açısından büyük potansiyele sahiptir.

Bununla birlikte, kısa sürelerde enerji sunumu ve iklim hedefleri açısından **bugünkü kanıtlanmış reaktör teknolojilerinin** daha belirleyici olmaya devam

edeceği açıktır. Thorizon projesi, bu bağlamda bir “öncü pilot girişim” olarak değerlendirilebilir.

Not 1: Teknoloji Hazırlık Düzeyi (TRL, Technology Readiness Level) Nedir?

TRL, ilk olarak NASA geliştirmiş, daha sonra Avrupa Birliği, IAEA ve OECD/NEA tarafından benimsenmiştir. Ölçek 1'den 9'a kadardır. “**Basınçlı su reaktörleri**, uzun süredir küresel ölçekte ticari işletmede olmaları nedeniyle **TRL 9** düzeyindedir.

Küçük modüler reaktörler, lisanslama ve ilk ticari uygulamalar aşamasında olmaları sonucu **TRL 7–8** aralığında değerlendiriliyor.

Hızlı reaktörler, geçmişte işletilmiş deneysel ve yarı-ticari örneklerle rağmen sınırlı yaygınlıkları nedeniyle **TRL 6–7** düzeyinde kalmaktadır.

Ergimiş tuz reaktörleri ise laboratuvar ve araştırma reaktörü ölçeğinde doğrulanmış olmakla birlikte, ticari ölçekte operasyonel örneklerinin bulunmaması nedeniyle **TRL 4–6** aralığında yer almaktadır.”

Not 2: Thorizon şirketi ana sayfasından tanıtım:

Thorizon, Lucas Pool ve Sander de Groot tarafından Hollanda'nın ulusal nükleer araştırma enstitüsü NRG'den bir yan kuruluş olarak kuruldu. Teknolojimiz burada yıllar boyunca özelde geliştirildi. 2022 yazında, ilk reaktörümüz Thorizon One'ın kavramsal tasarımını geliştirmek için **12,5 milyon Euro fon** sağladık. O zamandan beri, nükleer sektörde derin deneyime sahip, Amsterdam merkezli iddialı bir derin teknoloji şirketine hızla dönüştük. Enerji dönüşümüne olabildiğince hızlı katkıda bulunma arzusuyla hareket ediyoruz. **2023'te, Fransa'daki güçlü nükleer teknoloji topluluğunun bir parçası olmak için Lyon'da ikinci ofisimizi açtık.**

"Karbon ayak izimizi azaltmak için acilen yeni nükleer enerji teknolojilerine gereksinimimiz var. Thorizon teknolojisinin ve ekibinin, gelecek kuşaklar için temel bir etki yaratmanın anahtarı olduğuna kesinlikle inanıyoruz. Bugün içinde yer alınacak en heyecan verici ve anlamlı çalışma alanı burası."

Kaynakça/I/

- **Golem.de Haberi:** Kempkens, W. (16 Aralık 2025). "Thorizon plant Schmelzsaltreaktor in den Niederlanden." Erişim: <https://www.golem.de/news/thorizon-plant-schmelzsaltreaktor-in-den-niederlanden-2512-123456.html>
- **Thorizon Resmi Sitesi:** Teknik bilgiler ve proje güncellemeleri. Erişim: <https://thorizon.com>
- **Teknoloji Geliştiricileri:**
 - Terrestrial Energy: <https://www.terrestrialenergy.com>
 - Moltex Energy: <https://www.moltexenergy.com>
 - Seaborg Technologies: <https://www.seaborg.com>
 - Çin TMSR Projesi (SINAP): <http://english.sinap.cas.cn>
- **Kurumsal ve Akademik Kaynaklar:**
 - **IAEA (Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı):** Molten Salt Reactors teknoloji sayfası. Erişim: <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors/resources/molten-salt-reactors>
 - **Generation IV International Forum (GIF):** MSR Sisteminin resmi tanımı ve yol haritası. Erişim: https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_42150/molten-salt-reactor-msr
 - **World Nuclear Association:** Molten Salt Reactors bilgi sayfası. Erişim: <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/molten-salt-reactors.aspx>
 - **ORNL MSRE Arşivi:** Tarihsel referans. Erişim: <https://www.ornl.gov/content/molten-salt-reactor-experiment>
- **Altyapı Tesisleri:**
 - **Orano La Hague:** Yeniden işleme tesisi bilgisi. Erişim: <https://www.orano.group/tr/universe/rotterdamdan-la-haguea-kadar-kullanilmis-yakitlarin-geri-donusumu>
 - **UK Sellafield/THORP:** İngiltere Nükleer Düzenleme Ofisi bilgilendirmesi. Erişim: <https://www.gov.uk/government/news/sellafield-thorp-reprocessing-plant-completes-final-batch-of-used-fuel>
- Bu yazımız YZ ile yazışmalarla güncellenmiştir.