

Eski Nükleer Santraller ve Yeni Reaktörler: Nükleer Enerji Nasıl Geri Dönüyor?

MIT Technology Review Analizi Casey Crownhart (02.02.2025)

Eklmeler ve bazı düzeltmelerle Hazırlayan: Y.Atakan, Dr.Radyasyon Fizikçisi,
Almanya , ybatakan4@gmail.com 04.03.2025

Almanya nükleer enerjiden çıkmış olsa da, özellikle ABD'de, Çin ve Avrupa'da nükleer enerji bir rönesans yaşıyor. Nükleer enerjiye olan bu eğilim, küresel ölçekteki büyük değişimlerden kaynaklanıyor.

Nükleer reaktörler, dünyanın birçok ülkesinde 70 yılı aşkın süredir elektrik üretiyor. Şimdi ise bu teknoloji potansiyel olarak radikal bir dönüşümün eşiğinde. Enerji gereksiniminin küresel olarak artması – elektrikli araçlardan veri merkezlerine kadar – nükleer enerji kapasitesinin genişletilmesine olan ilgiyi yeniden alevlendiriyor. Bu, teknolojinin öldüğü ilan edilmiş olmasına ve Almanya gibi bir kaç ülkelerde nükleerden çıkılmış olmasının ilanına rağmen gerçekleşiyor. Bugün işleyen santrallerin yaşam sürelerinin uzatılması ve hatta kapatılmış santrallerin yeniden açılması da yoğun bir şekilde tartışılıyor. Ayrıca, reaktör tasarımlarını tümüyle yeniden düşünerek onları daha güvenli ve sürdürülebilir duruma getirme çabaları da giderek artıyor. 2025 yılı, bu alanda bir dönüm noktası olabilir çünkü "Gelişmiş Reaktörler" artık kağıt üzerindeki tasarımlardan yapım aşamasına geçiyor. Önümüzdeki 12 ayda bizi nelerin beklediğiyle ilgili bir genel bakış bu yazımızda sunuluyor..



Fosil Yakıtların Yerine: Nükleer Enerjinin Rönesansı

Son iki yılda, dünyanın birçok ülkesinde nükleer enerjiye yönelik yeni bir bağlılık gözlemlendi. Bunun bir parçası olarak, 31 ülke, fosil yakıt santrallerinin yerine, küresel nükleer enerji kapasitesini 2050 yılına kadar üç katına çıkarmayı hedefledi. Ancak nükleer endüstrinin geleceği her yerde aynı derecede parlak değil.

Nükleer Enerji ve Kömür: Temel Yük Santralleri Üzerine Bir Çalışma Ne Diyor?

MIT Technology Review Analizi

Bill Gates'in Terrapower Projesi: Yeni Nükleer Enerji Umudu mu, Yoksa Riskli Bir Deney mi?

ABD, bugün dünyada en çok sayıda nükleer reaktöre sahip ülke konumunda. Eğer bu kapasite üç katına çıkarsa, mevcut 100 gigavatlık kapasiteye ek olarak, yaklaşık 200 gigavatlık yeni nükleer enerji kapasitesi yapılması gerekecek – ve bu, eski bir santral parkından kaynaklanan beklenen kapatmaların yerini almanın ötesinde bir artış anlamına geliyor. Ancak sektör bir tür kış uykusunda. Georgia'daki Vogtle santralindeki yeni bir

reaktör, geçen yıl önemli gecikmeler ve maliyet aşımlarından sonra devreye alındı. Ancak şu anda ABD'de inşa edilen veya düzenleyici kurumlar tarafından incelenen büyük ölçekli yeni geleneksel reaktörler bulunmuyor.

Bir diğer belirsizlik faktörü ise yeni Trump yönetimi. Teknoloji genellikle hem Demokrat hem de Cumhuriyetçi partilerden geniş siyasi destek alsa da, yeni başkanın hazırladığı gümrük tarifelerinin bu genişlemeyi olumsuz etkilemesi olası. Good Energy Collective'in kurucu ortağı Jessica Lovering, inşaat malzemeleri maliyetlerinin patlayabileceğini söylüyor. Good Energy Collective, nükleer enerjinin daha fazla kullanılmasını savunan bir düşünce kuruluşu.

Nükleer Enerji: Çin Santral İnşasında Hızla İlerliyor

Dünya genelinde, yapım veya planlama aşamasında olan yeni reaktörlerin çoğu Asya'da bulunuyor – ve Çin'deki büyüme özellikle dikkat çekici. Ülkenin ilk nükleer santrali 1991 yılında devreye alındı. Sadece birkaç on yıl içinde Çin, Fransa ve ABD'nin ardından dünyanın en büyük üçüncü nükleer santral parkını kurdu. Çin'in, bu yıl içinde devreye alınması beklenen dört büyük yeni reaktörü var. 2026 yılında ise birkaç reaktör daha faaliyete geçecek. Ve bu durum devam ediyor: Bu yıl hem Bangladeş'in hem de Türkiye'nin, ilk nükleer reaktörlerinin işletmeye alınması bekleniyor. Afrika'dan da benzer haberler geliyor: Mısır'da da ilk nükleer santral inşa ediliyor, ancak devreye alınması birkaç yıl daha alacak.

Günümüzde Çalışmakta Olan Ticari Nükleer Reaktörler – ve Yapım Halindekiler – Nasıl Çalışıyor?

Günümüzde çalışmakta olan ticari nükleer reaktörler – ve yapım halindekilerin çoğu – genellikle benzer bir tasarımda: Reaktördeki yakıt, düşük oranda zenginleştirilmiş uranyumdur. Su, reaktörde hem reaktörü soğutucu olarak hem de sudan üretilen buharın türbinleri çevirmesiyle, jeneratörlerle elektrik enerjisi üretiminde aracı olarak kullanılıyor.

Yeni Nükleer Reaktörler Hangi Tasarımlara Göre Yapılıyor?

Ancak daha yeni ve gelişmiş reaktörler, ticari kullanıma yavaş yavaş yaklaşıyor. Bu reaktörler, kanıtlanmış olsa da spektaküler kazalarla lekelenmiş olan kaynar ve basınçlı su teknolojisinin birçok sorununu çözüyor gibi görünüyor. Dünya genelinde, güvenliği ve verimliliği artırmak amacıyla bugün işleyen reaktörlerden farklılaşan dördüncü nesil (Gen IV) reaktörler planlanıyor. Örneğin, ergimiş tuzlar veya kurşun gibi metaller soğutucu olarak kullanılıyor ve yakıt olarak daha yüksek oranda zenginleştirilmiş uranyum seçiliyor. Ayrıca, yakıt türü ve soğutma yöntemlerinde çeşitlilik içeren bir "mix-and-match" yaklaşımı da öneriliyor.

Önümüzdeki yıllar, yeni nükleer teknoloji için kritik öneme sahip olacak çünkü öneriler ve tasarımlar sonunda yapım aşamasına geçiyor. "Kağıt üzerindeki reaktörlerin gerçek reaktörlere dönüştüğünü görüyoruz," diyor Nuclear Innovation Alliance'ın araştırma direktörü Patrick White. Dördüncü nesil reaktörler alanındaki finansman ve endüstriyel faaliyetlerin büyük bir kısmı, teknolojilerini sergilemeye hazırlanan birkaç şirketin bulunduğu ABD'ye odaklanmış durumda.

En bilinen start-up'lardan biri olan Kairos Power, ergimiş tuzlarla soğutulan reaktörler inşa ediyor, özellikle de Flibe adı verilen flor içeren bir malzeme kullanıyor. Şirket, 2023 sonunda ABD Nükleer Düzenleme Komisyonu'ndan (NRC) ilk demonstrasyon reaktörü için yapım izni aldı ve 2024 sonunda ikinci bir tesis için de izin çıktı. Her iki sistemin inşası önümüzdeki yıllarda gerçekleşecek. İlk demonstrasyon tesisinin 2027 yılında tamamlanması planlanıyor.

Terrapower ve Taşınabilir Mikroreaktör

Terrapower, bir diğer ABD merkezli şirket olarak, dördüncü nesil (Gen-IV) reaktörler üzerinde çalışıyor. Bu reaktörlerin tasarımında sıvı sodyum, soğutucu olarak, kullanılıyor. Şirket, yapım sürecinde de rakiplerinden farklı bir yaklaşım benimsiyor: Nükleer ve nükleer olmayan tesis bölümlerini birbirinden ayırarak, Haziran 2024'te sahasının bir kısmında ilk kazmayı vurmayı başardı. Ancak, nükleer bölümde çalışmalara başlamak için ABD Nükleer Düzenleme Komisyonu'ndan (NRC) onay bekliyor. Şirket, bu onayın 2026 yılında alınmasını öngörüyor. Bu bilgiyi, yatırımcı Bill Gates paylaştı.

ABD Savunma Bakanlığı'nın bir projesi olan **Project Pele**, dördüncü nesil reaktörler arasında elektrik üreten ilk örnek olabilir, ancak küçük ölçekli. BWXT Advanced Technologies tarafından geliştirilen bu taşınabilir mikroreaktörün montajına bu yıl başlanması planlanıyor. Reaktörün, Idaho Ulusal Laboratuvarı'ndaki nihai konumuna 2026 yılında taşınması öngörülüyor.

Yeni Reaktör Tasarımları Sadece ABD ile Sınırlı Değil

Çin, geleneksel reaktörleri hızla inşa ederken, aynı zamanda bir dizi ileri teknoloji alanında da öne çıkmaya başlıyor. Illinois Üniversitesi Urbana-Champaign'den Yardımcı Doçent Lorenzo Vergari, Çin'in özellikle gaz soğutmalı yüksek sıcaklık reaktörlerine odaklandığını belirtiyor. Bu reaktörler, soğutucu olarak helyum gazı kullanıyor ve 1.500 derece Celsius'un üzerinde sıcaklıklara ulaşıyor, bu da geleneksel tasarımlara kıyasla çok daha yüksek bir düzey.

Çin'in bu türdeki ilk ticari demonstrasyon reaktörü, 2023 sonunda devreye alındı. Bu teknolojiyi kullanan daha büyük reaktörlerin bir kısmı ise ya planlama aşamasında ya da yapılmakta.

Eski Nükleer Santralleri Olan Ülkelerdeki Strateji: İşletme Sürelerini Uzatmak

Yeni kuşak reaktörlerin büyük ölçekli elektrik üretimine geçmesi yıllar, hatta on yıllar alabilir. Geleneksel santrallerin yapımı da zaman gerektiriyor. Artan küresel enerji talebi ve iklim değişikliği göz önüne alındığında, işleyen nükleer santrallerden olduğunca fazla enerji elde etmek yeniden ilgi çekiyor.

Eski nükleer santralleri olan ülkelerde gözlemlenen bir eğilim (trend), işletme sürelerinin uzatılması. Bu, bir zamanlar Almanya'nın da planladığı bir şeydi, ancak nükleerden çıkış kararı alındı. 20. yüzyılda yapılan birçok santral, başlangıçta 40 yıllık bir ömür için onaylanmıştı. Ancak uzmanlara göre, bu santrallerin birçoğu düzgün bakım ve modernizasyonla daha uzun süre çalışabilirler.

ABD'de düzenleyici kurumlar, birçok santralin işletilmesini 20 yıl daha uzatarak toplam süreyi 60 yıla çıkardı. Hatta birkaç reaktör için lisanslar, şaşırtıcı bir şekilde 80 yıla kadar uzatıldı. Fransa ve İspanya gibi ülkeler de son zamanlarda reaktörlerin işletilmesini 40 yılın ötesine taşıyan kararlar aldı. Bu eğilimin sürmesi bekleniyor: Önümüzdeki birkaç yıl içinde daha fazla reaktör, 80 yıllık bir işletme süresi için yeniden onaylanabilir.

ABD'deki Palisades Nükleer Santrali Planı: Yeniden Açılış

Ayrıca, kapatılmış santrallerin yeniden açılmasına yönelik bir ilgi de var – özellikle de ekonomik nedenlerle kısa süre önce kapatılanlar. Bu eğilim, özellikle ABD'de belirgin. Michigan'daki **Palisades Nükleer Santrali**, bu tür bir girişimin hedefi. Proje, yeniden açılış maliyetlerini karşılamak için ABD Enerji Bakanlığı'ndan 1,52 milyar dolarlık bir kredi aldı.

Santralin sahibi ve işletmecisi Holtec, tesisin 2025 yılında yeniden faaliyete geçmesini hedefliyor. Ancak NRC, santralin bazı bölümlerinde, özellikle buhar jeneratörlerinde olası hasarlar tespit etti. Gerekli onarımların kapsamına bağlı olarak, ek maliyetler yeniden açılışı ekonomik olarak zor hale getirebilir.

Three Mile Island eski nükleer santralindeki bir reaktör de benzer bir hedef. Bu yer, bir nükleer kaza ile ünlü olsa da, kazaya uğramayan 2.reaktör uzun süre çalışmaya devam etti. Sahibi, reaktörün 2028 yılına kadar yeniden faaliyete geçmesini planlıyor, ancak santralin şebekeye bağlanması konusunda önceden tartışmalar yaşanabilir. Ayrıca, Iowa'daki **Duane Arnold Enerji Merkezi**'nin sahipleri, 2020'de kapatılan santralin yeniden açılmasını değerlendiriyor.

Yapay Zeka (AI) Nükleer Enerjiye mi İhtiyaç Duyuyor?

Nükleer enerjiye olan ilginin artmasının nedenlerinden biri de, aşırı miktarda enerji tüketen veri merkezlerine dayanan yapay zekanın (YZ) hızlı büyümesi. Geçen yıl, teknoloji devleri, YZ'nın enerji krizine potansiyel bir çözüm olarak nükleer enerjiye yönelik yeni bir ilgi gösterdi. Microsoft, Three Mile Island'daki reaktörün yeniden açılması planlarında önemli bir rol oynadı. Şirket, 2024 yılında santral yeniden açılırsa buradan elektrik satın almak için bir anlaşma imzaladı. Ve bu sadece bir başlangıç.

Google, Ekim 2024'te Kairos Power ile bir anlaşma imzaladı. Bu anlaşmaya göre, Kairos Power 2035 yılına kadar 500 megavat kapasiteli santraller inşa edecek ve Google bu enerjinin tamamını satın alacak. Amazon ise bir adım öteye giderek, küçük modüler reaktörler geliştiren X-energy şirketine doğrudan yatırım yaptı. Bu yatırım, Washington'daki bir pilot projenin geliştirilmesi, lisanslanması ve inşası için kullanılacak.

Büyük teknoloji şirketlerinin finansal desteği, mevcut reaktörlerin çalışmaya devam etmesini sağlamak ve dördüncü nesil projeleri hayata geçirmek için büyük bir destek olabilir. Ancak Good Energy Collective'ten Jessica Lovering, bu taahhütlerin çoğunun şu ana kadar belirsiz olduğunu söylüyor. 2025 yılında dikkat edilmesi gereken önemli kilometre taşları arasında büyük finansal taahhütler, imzalanmış sözleşmeler ve düzenleyici kurumlara sunulan başvurular yer alıyor.

"Nükleer enerji, 2024 yılında harika bir yıl geçirdi, muhtemelen sektör için on yıllardır yaşanan en heyecan verici yıl oldu," diyor uluslararası bir danışmanlık şirketi olan Quantified Carbon'ın CEO'su ve nükleer mühendis Staffan Qvist. Ancak, iklim hedeflerine ulaşmak için gereken ölçekte nükleer enerji sağlamak büyük bir zorluk olacak. Dünya, enerjiye açık durumda. Ancak, nükleer atık sorunu göz önüne alındığında, bu eğilimin iklim koruma açısından ne kadar olumlu olduğu tartışmalı.

Eklmeler (Y.Atakan)

Mart 2025 itibarıyla, Avrupa'da çeşitli ülkeler yeni nükleer reaktörler inşa etmektedir. Aşağıdaki tabloda bu projeler, reaktör tipleri ve elektrik kapasiteleri megavat (MW) cinsinden özetlenmiştir:

Ülke	Reaktör Tipi	Reaktör Sayısı	Reaktör Başına Kapasite (MW)	Toplam Kapasite (MW)	Beklenen Tamamlanma
Birleşik Krallık	EPR (Avrupa Basınçlı Reaktörü)	2	1.630	3.260	2029-2031

Ülke	Reaktör Tipi	Reaktör Sayısı	Reaktör Başına Kapasite (MW)	Toplam Kapasite (MW)	Beklenen Tamamlanma
Slovakya	VVER-440/213	1	440	440	2025
Polonya	AP1000	3	1.200	3.600	Belirsiz
Bulgaristan	AP1000	2	1.200	2.400	Belirsiz
İsveç	SEALER-55 (Kurşun Soğutmalı Hızlı Reaktör)	1 (prototip)	55	55	2026

Ayrıntılar:

- **Birleşik Krallık:** İngiltere, Hinkley Point C sahasında iki EPR reaktörü inşa etmektedir. Her biri 1.630 MW kapasiteye sahip olup toplamda 3.260 MW güç üretmesi planlanmaktadır. Projenin başlangıçta 2025'te tamamlanması öngörülmüyordu, ancak gecikmeler nedeniyle yeni tahminler 2029-2031 arasını işaret etmektedir.
- **Slovakya:** Slovakya, Mochovce Nükleer Santrali'nin 3. ve 4. ünitelerini tamamlamaktadır. Ünite 3, Ocak 2023'te devreye alındı ve Ünite 4'ün 2025'te tamamlanması bekleniyor.
- **Polonya:** Polonya, Baltık Denizi kıyısındaki Choczewo bölgesinde üç adet AP1000 reaktörü inşa etmeyi planlamaktadır. Her reaktör 1.200 MW kapasiteye sahip olacak ve toplamda 3.600 MW üretim kapasitesine ulaşacaktır. Ancak, kesin tamamlanma tarihleri henüz açıklanmamıştır.
- **Bulgaristan:** Bulgaristan, Kozloduy Nükleer Santrali'nde iki AP1000 reaktörü inşa etmeyi planlamaktadır. Her reaktörün kapasitesi 1.200 MW olup toplamda 2.400 MW güç üretmesi beklenmektedir. Ancak, proje henüz erken aşamadır ve kesin tamamlanma tarihleri bilinmemektedir.
- **İsveç:** İsveç, SEALER-55 adı verilen kurşun soğutmalı hızlı reaktör teknolojisini geliştirmektedir. 55 MW kapasiteli prototip reaktörün 2026'ya kadar inşa edilmesi planlanmaktadır. Ticari versiyonunun (SEALER-One) ise 2029'da faaliyete geçmesi beklenmektedir.

Not: Bu projeler farklı aşamalarda olup, düzenleyici onaylar, finansman ve inşaat süreçlerindeki olası zorluklar nedeniyle zaman çizelgeleri değişebilir.

Dünya genelinde 2023 yılında yeni nükleer santrallerin inşa edildiği yerler ve güç kapasiteleri hakkında güncel bilgileri içeren bir tablo aşağıda bulunuyor.

Ülke	Santral Adı	Güç (MW)	Durum	Kaynak
Çin	Zhangzhou 1 & 2	1,200 (her biri)	Yapım aşamasında	WNA - China
Çin	Taipingling 1 & 2	1,200 (her biri)	Yapım aşamasında	WNA - China
Hindistan	Kudankulam 3 & 4	1,000 (her biri)	Yapım aşamasında	WNA - India

Ülke	Santral Adı	Güç (MW)	Durum	Kaynak
Rusya	Kursk II-1 & II-2	1,255 (her biri)	Yapım aşamasında	WNA - Russia
Birleşik Arap Emirlikleri	Barakah 3 & 4	1,400 (her biri)	Yapım aşamasında (Barakah 3 işletmede)	WNA - UAE
Birleşik Krallık	Hinkley Point C	3,200 (toplam)	Yapım aşamasında	WNA - UK
Fransa	Flamanville 3	1,650	Yapım aşamasında	WNA - France
ABD	Vogtle 3 & 4	1,117 (her biri)	Yapım aşamasında (Vogtle 3 işletmede)	WNA - USA
Güney Kore	Shin Hanul 3 & 4	1,400 (her biri)	Yapım aşamasında	WNA - South Korea
Türkiye	Akkuyu 1, 2, 3, 4	1,200 (her biri)	Yapım aşamasında	WNA - Turkey

Kaynaklar:

1. **Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA):** [IAEA Power Reactor Information System \(PRIS\)](#)
2. **Dünya Nükleer Birliği (WNA):** [World Nuclear Association](#)
3. **Ülke bazlı nükleer enerji raporları:** İlgili ülkelerin enerji bakanlıkları ve nükleer düzenleme kurumları.

Bu tablo, 2023 yılındaki durumu yansıtmaktadır. Nükleer santrallerin yapım süreçleri ve güç kapasiteleri zaman içinde değişiklik gösterebilir. Daha ayrıntılı ve güncel bilgiler için kaynaklara başvurulması gerekir.