

Nükleer Reaktör Yapımında Aşırı Gecikmelere ve Aşırı Maliyet Artışlarına Yakından Bir Bakış!

Olkiluoto-3, Flamanville-3, Akkuyu ve diğer Bazı Reaktör Yapımlarının Ayrıntılı Analizi ve Sonuçlar

Yüksel Atakan, Radyasyon Fizikçisi ybatakan4@gmail.com, 11.01.2026 /I/

Özet

Bu çalışmamız, son yirmi yılda büyük ölçekli (1000 MW üstü) nükleer enerji santrali projelerinde gözlenen aşırı gecikmelerin ve maliyet artışlarının nedenlerini kapsamlı biçimde ele almaktadır. Yazımızda, Finlandiya Olkiluoto-3, Fransa Flamanville-3 ve Türkiye Akkuyu Nükleer Güç Santrali (NGS) projeleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca son 20 yılda yapılan ya da yapılmakta olan diğer reaktörler de ayrıntılarıyla bir tabloda gösterilerek karşılaştırılmaları sağlanmıştır. Çalışmanın bulguları, modern nükleer santral projelerinde yaşanan gecikmelerin ve maliyet artışlarının tekil değil, genel bir sorun olduğunu ortaya koymaktadır.

1. Giriş

Nükleer enerji, çok düşük karbon salınması, yüksek taban elektrik yükü kapasitesi ve enerji sunum güvenliğine katkısı nedeniyle birçok ülkenin stratejik bir elektrik üretim seçeneğidir. Ancak özellikle 2000’li yıllardan sonra Avrupa ve Avrasya’da yapılan yeni kuşak nükleer reaktör projeleri, başlangıçta öngörülen süre ve maliyet hedeflerinden ciddi biçimde sapmışlardır. Bu durum, nükleer enerjinin yalnızca teknik değil; aynı zamanda ekonomik, kurumsal ve yönetsel boyutlarıyla da değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Finlandiya’daki Olkiluoto-3, Fransa’daki Flamanville-3 ve Türkiye’deki Akkuyu NGS projeleri, farklı siyasi ve kurumsal yapıları olan ülkelerde benzer sorunların tekrarlandığını göstermesi bakımından önemli örneklerdir. Bu analizimiz, söz konusu projeleri bir çerçevede ele alarak nükleer santral yatırımlarında gecikme ve maliyet artışlarının temel nedenlerini değerlendirmekte ve diğer reaktörlerle bir tabloda karşılaştırmaktadır.



Flamanville/Fransa (İşliyor), Olkiluoto-3 /Finlandiya(İşliyor), Akkuyu /Türkiye/Rosatom (yapılıyor 2026)

2.Nükleer Reaktör Yapımının Uzun Sürmesinin Ana Nedenleri

2.1. ‘ İlk uygulama’ /First-of-a-Kind (FOAK)/ Etkisi

Modern nükleer reaktör projelerinin büyük bir bölümü, ilgili ülke açısından “ilk uygulama” (First-of-a-Kind, FOAK) niteliği taşımaktadır. FOAK projelerde reaktör tasarımının ulusal

yönetmeliklere uyarlanması, düzenleyici kurumların teknik kapasite kazanması ve nükleer tedarik zincirinin yeniden oluşturulması gerekmektedir. Bu süreçler, özellikle tasarım ve yapım çalışmalarının eş zamanlı yürütüldüğü projelerde binlerce mühendislik düzeltimine yol açabilmektedir.

Olkiluoto-3 ve Flamanville-3, Avrupa’da EPR (European Pressurized Reactor) tasarımının ilk uygulamaları olurken; Akkuyu NGS, Türkiye’nin ilk nükleer santrali olması nedeniyle ülke açısından FOAK niteliği taşımaktadır. Bu durum, proje öncesi hazırlık süresinin uzamasını ve öğrenme eğrisinin dikleşmesini kaçınılmaz kılmıştır.

2.2. Nükleer Projelerde Maliyet Artışlarının Temel Nedenleri

Güvenlik Yaptırımları ve Lisanslama Süreçleri

Nükleer reaktörler, diğer enerji yatırımlarıyla karşılaştırıldıklarında son derece sıkı güvenlik yaptırımlarına uymak zorundalar. Yapım sürecinin her aşaması Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), ulusal ve diğer standartlara göre ayrıntılı kalite kontrollerinden ve teknik denetimlerden geçmekte, küçük teknik sapmalar dahi sökülme ve yeniden yapımı zorunlu kılabilir.

Örneğin bir pompanın, su tankının modelinin ve yerlerinin değiştirilmesi dahi ilgili sistemdeki değişiklikten başka, yan ve bağlantılı sistemlerde de değişiklik gerektiriyor ve ilgili sökülme ve yer değiştirmelere neden olabiliyor. Tüm değişiklikler yeni projelendirme ve onaylamalara yol açarak ek zaman ve parya yol açabiliyor.

Bizim de yıllar önce çalıştığımız Almanya Nükleer proje ve yapım şirketinde olduğu gibi, şirkette değişiklikleri kovuşturan 8-10 kişilik özel bölümler bulunuyor ve her değişiklik yazılı olarak tüm diğer bölümlere duyuruluyor, onları etkileme durumu yazılı olarak alınıyor, değişikliğin nedeni araştırılıp, ilgili maliyeti, yapan şirketin mi yoksa işverenin mi üstleneceği görüşmelerle belirleniyor ve sonunda ilgili değişiklik zorunlu ise yapılıyor. Tüm bunların ve benzerlerin, sistemin bütünüyle yapım süresini ve fiyatını artırdığı gibi diğer bazı sistemlere zincirleme etkisi de olabiliyor. Örneğin yetkili kurumdan gelen, ‘yangından koruma ara duvarın’ kalınlaştırma yaptırımı, o duvarda takılı onlarca aletin, kablo ve boruların sökülüp yeniden takılmasıyla sonuçlanabiliyor.

Kalite kontrol, yeniden yapım zorunlulukları ve finansman maliyetleri, uzayan yapım süreleriyle birlikte toplam proje maliyetlerini katlayıcı etkiyle artırmaktadır.

2.3. Hızla Gelişen Yüksek Teknoloji ve Düzenleyici Yaptırımların Sistemik Etkisi

Küresel ölçekte yüksek teknolojinin çok hızlı gelişmesi, nükleer ve radyasyon güvenlik yaptırımlarının da sürekli olarak güncellenmesine yol açmaktadır. Her yıl yeni dijital kontrol sistemleri, sensör teknolojileri, yazılım tabanlı güvenlik mimarileri ve siber güvenlik tehditleri ortaya çıkmakta; bu gelişmeler, ulusal ve uluslararası resmi otoriteleri ek güvenlik yaptırımları ve yeni düzenlemeler getirmeye zorlamaktadır.

Bu düzenleyici güncellemeler, çoğu zaman halihazırda tasarlanmış veya yapılmakta olan sistemlerde değişiklik yapılmasını gerektirmektedir. Nükleer tesislerde sistemler arası yüksek entegrasyon düzeyi nedeniyle, bir güvenlik sisteminde yapılan teknik bir revizyon, komşu ve bağlantılı sistemleri de doğrudan etkileyebilmektedir. Sonuç olarak tasarım zincirleme

biçimde yeniden ele alınmakta; mühendislik, tedarik ve montaj aşamalarında tekrarlar yaşanmaktadır.

Bu sistemik etki, yalnızca teknik karmaşıklığı artırmakla kalmamakta; aynı zamanda proje sürelerinin uzamasına, iş programlarının bozulmasına ve maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Sürekli değişen düzenleyici çerçeve, nükleer projelerde “tasarımın donması” (design freeze) aşamasını geciktirmekte; bu durum hem yükleniciler hem de düzenleyici otoriteler açısından kaçınılmaz bir belirsizlik alanı yaratmaktadır. İncelenen tüm uluslararası projelerde, hızlı teknolojik gelişme ile artan güvenlik beklentileri arasındaki bu dinamik etkileşim, gecikme ve maliyet artışlarının temel yapısal nedenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

3.Karşılaştırmalı Uluslararası Proje İncelemeleri

Olkiluoto-3 ve Flamanville-3 projeleri, teknolojik ve düzenleyici değişimlerin sanayi deneyimi yüksek ülkelerde dahi ciddi gecikmelere yol açabildiğini göstermektedir.

3.1 Olkiluoto-3 (Finlandiya)

Olkiluoto-3 nükleer santrali 2005 yılında inşa edilmeye başlanmış ve 2009 yılında işletmeye alınması planlanmıştır. Ancak proje; tasarımın yeterince olgunlaşmamış olması, düzenleyici uyumsuzluklar, kalite sorunları ve güvenlik gerekliliklerinde zaman içinde yapılan revizyonlar nedeniyle ancak 2023 yılında ticari işletmeye geçebilmiştir.

Başlangıçta yaklaşık **3 milyar avro** olarak öngörülen projenin maliyeti, doğrudan mühendislik ve inşaat harcamaları açısından **11–12 milyar avro** seviyesine ulaşmıştır. Gecikmelerden kaynaklanan finansman giderleri, hukuki uyuşmazlıklar, faiz yükü ve uzun süren test/devreye alma süreçleri de dikkate alındığında, Olkiluoto-3’ün toplam ekonomik maliyetinin çeşitli resmî raporlar ve medya kaynaklarına göre **15–17 milyar avro** aralığında gerçekleştiği kestirilmektedir.

3.2 Flamanville-3 (Fransa)

Flamanville-3 projesi de benzer biçimde uzun gecikmeler ve maliyet artışlarıyla karşı karşıya kalmış; bu durum, yüksek teknolojiye dayalı nükleer projelerde sistemik risklerin ülke deneyiminden bağımsız olarak ortaya çıkabildiğini göstermiştir.

3.3. Akkuyu Nükleer Güç Santrali (Türkiye)

Akkuyu reaktörlerinin yapımının başlaması neden 8 yıl sürdü?

Akkuyu NGS, Türkiye’nin ilk nükleer santrali olması nedeniyle uzun bir ön hazırlık ve teknik uyum sürecinden geçmiştir. 4 reaktörlü Akkuyu Nükleer Santral (NGS) kurulması için Türkiye Cumhuriyeti ile Rusya Federasyonu arasında Hükümetler arası anlaşma 2010 yılında TBMM’den geçerek imzalanmış ve reaktörleri Rusya / Rosatom devlet şirketinin kendi finansmanı ile yapıp, 60 yıl işleteceği ve Türkiye’ye belirli fiyatla elektrik satacağı anlaşmada yer almaktadır. Bu anlaşma, Dünya’da ‘Yasa’ olarak yayınlanan ilk reaktör sözleşmesidir.

“İlk beton atılması” olarak tanımlanan aşamaya ancak 2018 yılında (sözleşmeden 8 yıl sonra) geçilebilmiştir.

Bu dönemde gecikmeye yol açan temel etkenler şu şekilde özetlenebilir:

- Türkiye’de modern ve bağımsız bir nükleer düzenleyici endüstri altyapısının bulunmaması,
- Uzun ve karmaşık Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) süreci,
- Akkuyu alan onayı (lisansı), sismik ve jeoteknik incelemelerin yapılmasının zaman alması,

Bu süreçte nükleer yönetmelikler sıfırdan oluşturulmuş, kurumsal kapasite geliştirilmiş ve Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK) 2018 yılında işe başlamıştır. Yapım izninin hukuken verilebilmesi ancak bu kurumsal altyapıyla olmuştur.

Akkuyu ÇED, Alan Lisansı ve Teknik Uyum Süreçleri

Akkuyu NGS için hazırlanan ÇED raporu yaklaşık 3.500 sayfadan oluşmakta; deniz ekosistemi, sismisite, radyasyon senaryoları ve acil durum planlarını kapsamaktadır. 2011–2014 yılları arasında yürütülen süreç, kamuoyu itirazları ve hukuki başvurular nedeniyle uzamış; sonunda ÇED onayı ancak 2014 yılında alınabilmiştir.

Buna paralel olarak Akkuyu alanında Akdeniz kıyısına özgü sismik analizler, tsunami ve deniz düzeyi senaryoları ile zemin ve kaya mekaniği testleri gerçekleştirilmiş; bu çalışmalar ancak 2011–2017 yılları arasında bölüm, bölüm yapılabilmektedir.

Akkuyu Modeli ve diğer Faktörler

Akkuyu NGS’nin, dünyada pek örneği bulunmayan ‘Reaktörü yap, Sahibi ol, İşlet ve bize elektrik sat’ modeliyle kurulması sürmektedir (2026). Bu modelde finansman yükünü ve sistemlerin ve tüm teknik parçaların (components) kalitelerinin ilgili standartlara göre kaliteli yapımını tümüyle yüklenici şirket olan (Rosatom) üstlenmektedir. Tüm sistemlerin kalite kontrollerinin onayı ise Türkiye’ye aittir. Bunların nasıl ve ne derece IAEA standartlarına göre yapıldığı bilinmiyor. Ancak gecikmeler bunlardan da kaynaklanabilir. Ayrıca küresel ekonomik dalgalanmalar, pandemi süreci ve jeopolitik gelişmeler de projenin ilerleme hızını dolaylı olarak etkilemiş olabilir.

Uluslararası karşılaştırma yapıldığında, anlaşma ile ilk beton arasındaki sürelerin Olkiluoto-3 için yaklaşık 6–7 yıl, Flamanville-3 için 5–6 yıl ve Akkuyu NGS için yaklaşık 8 yıl olduğu görülmektedir.

4. Aşağıdaki tablo, yaklaşık son 20 yılda dünyada yapılmış ya da yapımı süren veya yeni devreye alınmış önemli ticari nükleer reaktörleri; ülke, kurulu güç (MW), yapım süresi ve maliyet boyutlarıyla karşılaştırmalı olarak özetlemektedir.

Tablo, Avrupa, ABD, Çin, Rusya ve yeni nükleer ülke örneklerini tek bir çerçevede birleştirmeyi amaçlamakla birlikte tüm ülkeleri kapsamıyor.

Proje / Reaktör	Ülke	Reaktör Tipi	Kurulu Güç (MW)	Yapım Başlangıcı → İşletme / Plan	Yapım Süresi (yıl)	Başlangıç Kestirim, Maliyet	Gerçekleşen Maliyet
Olkiluoto-3	Finlandiya	EPR	1 600	2005 → 2023	~18	~3 milyar €	~11–12 milyar € (toplam ekonomik yük ~15–17 milyar €)
Flamanville-3	Fransa	EPR	1 630	2007 → 2024/25	~17+	~3,3 milyar €	~13–23+ milyar €
Hinkley Point C (2 ünite)	Birleşik Krallık	EPR	3 260	2016 → 2029–31	~13–15	~18 milyar £	~31–35+ milyar £
Vogtle-3 & 4	ABD	AP1000	2 234	2009/10 → 2022/23	~12–14	~14 milyar USD	~27 milyar USD
Akkuyu NGS (4 ünite)	Türkiye	VVER-1200	4 800	2018 → 2025–28	~8–11+	~20 milyar USD	~24–25 milyar USD (projeksiyon)
Barakah (4 ünite)	BAE	APR-1400	5 240	2012 → 2022	~8–10	~20 milyar USD	~24 milyar USD
Fangjiashan (2 ünite)	Çin	CPR-1000	2 024	2008 → 2014	~6	~3,8 milyar USD	~3,8 milyar USD
Taishan-1 & 2	Çin	EPR	3 320	2009 → 2018/19	~9–10	~8–9 milyar €	~8–9 milyar €
Sanmen-1 & 2	Çin	AP1000	2 250	2009 → 2018/21	~9–12	~7–8 milyar USD	~7–9 milyar USD
Rooppur (2 ünite)	Bangladeş	VVER-1200	2 400	2015 → 2024/25	~9–10	~12,6 milyar USD	~13+ milyar USD
Leningrad II (2 ünite)	Rusya	VVER-1200	2 400	2008 → 2018/21	~10–13	~7–8 milyar USD	~8–9 milyar USD

5.Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bu yazımızda sunulan karşılaştırmalı tablo ve proje örnekleri, son 20 yılda nükleer reaktör yapımlarının ülkeler ve bölgeler arasında belirgin biçimde ayrıştığını göstermektedir.

Çin ve Rusya gibi **standartlaştırılmış tasarım, güçlü devlet koordinasyonu ve seri üretim yaklaşımını** benimseyen ülkelerde reaktörler genellikle **6–10 yıl** aralığında bitirilmekte ve birim kurulu güç başına maliyetler görece daha düşük kalmaktadır.

Buna karşın Avrupa’da ve Kuzey Amerika’da gerçekleştirilen projelerde yapım süreleri **15 yıl ve üzerine** çıkmakta, maliyetler ise başlangıç kestirimlerinin birkaç katına ulaşabilmektedir. Bu farklılaşmanın temel nedenleri arasında First-of-a-Kind (FOAK) etkisi, alet, ağıt , malzeme sunum zinciri süreksizlikleri, finansman maliyetleri ve düzenleyici süreçlerin karmaşıklığı yer almaktadır.

Avrupa özelinde ek bir yapısal unsur olarak, nükleer santrallerdeki güvenlik sistemlerinin **IAEA Güvenlik Standartları** (özellikle SSR-2/1 ve ilgili güvenlik kılavuzları) temel alınarak, Avrupa Birliği düzenleyici çerçevesinde **önemle uygulanması** öne çıkmaktadır. Güvenlik açısından kritik sistem ve bileşenler için uygulanan yoğun kalite güvence, belgelendirme, izlenebilirlik ve yeniden doğrulama süreçleri; mühendislik iş yükünü artırmakta, tasarımın donması (design freeze) aşamasını geciktirmekte ve buna bağlı olarak proje süreleri ile maliyetlerin yükselmesine neden olmaktadır. Bu durum, Avrupa projelerinin görece daha pahalı ve uzun süreli olmasını açıklayan önemli ancak çoğu zaman göz ardı edilen bir faktördür.

Sonuç olarak, modern nükleer santral projelerinde gecikme ve maliyet artışları tekil proje hatalarından çok; **teknoloji düzeyi, düzenleyici yaklaşım, güvenlik felsefesi ve sanayi**

organizasyonu arasındaki yapısal etkileşimin bir sonucudur. İncelenen tüm örnekler birlikte değerlendirildiğinde, bu olgunun tekil değil, küresel ve öngörülmesi gereken bir gerçeklik olduğu ortaya çıkmaktadır.

Kaynakça /I/

IAEA (2016). *Safety of Nuclear Power Plants: Design (SSR-2/1 Rev.1)*. International Atomic Energy Agency, Vienna.
IAEA (2018). *Milestones in the Development of a National Nuclear Infrastructure*. IAEA Nuclear Energy Series.
World Nuclear Association (2023–2024). *World Nuclear Performance Report* ve ülke/proje bilgi notları.
OECD / NEA (2020). *The Costs of Decarbonisation: System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables*.
World Nuclear Industry Status Report (2023, 2024). *Global Nuclear Power Construction Data*.
EDF (2023–2024). *Flamanville-3 Project Updates*.
TVO (2023). *Olkiluoto-3 Project Status Reports*.
Rosatom (2022–2024). *VVER-1200 Project Documentation and Akkuyu NPP Information Notes*.
Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı — ÇED dosyaları, <https://ced.csb.gov.tr/> †
ÇED raporları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ÇED İnternet Sistemi üzerinden yayımlanmaktadır.
https://www.ttb.org.tr/kutuphane/ced_rpr.pdf
Bu analiz, YZ ile bir dizi yazışma ve YZ'yı düzelterek gerçekleştirilmiştir