

Yeni reaktör yapımında 10-15 yıl gecikmelere ve aşırı maliyetlere ragmen.. Dünya’da nükleer reaktör yapımı gitgide artıyor..

Yüksel Atakan, Dr., Radyasyon Fizikçisi, Almanya, ybatakan3@gmail.com

İklimi, havaya saldıkları sera gazlarıyla daha fazla bozmamak, sel ve orman yangınları gibi büyük yıkımları artırmamak için bugün bir çok ülke, kömür santrallerini kapatıp, bunların yerine, yok denecek kadar az sera gazları salan nükleer reaktörlerin yapımı hazırlığında. Ancak nükleer reaktörlerin yapımı, işletmeye açılması çok çeşitli radyasyon güvenlik önlemleriyle ilgili standartların, yaptırımların karşılanabilmesi sonucu artık çok uzun sürüyor ve maliyetleri de çok yükseldi. 2000’li yılların öncesinde 1000 MWe’lık bir nükleer reaktör 5-8 yılda, 5-6 milyar USD ‘ye yapılabilirken, bugün AB ve ABD’de işletmeye açılma süresinde 12-15 yıl gecikmeler görülüyor. Tek reaktör maliyetinin ise 10 -13 milyar USD’ye yükseldiği kestiriliyor. Nükleer reaktör yapımına devlet destekleriyle hız veren Rusya, Çin ve Hindistan’da ise pek sorun görünmüyor. Batı’da nükleer reaktörlerin yapımını hızlandırmak için çözümler aranıyor. Özellikle Fransa, güvenli nükleer reaktörlerin maliyetlerinin düşürülmesinin ve yapım sürelerinin kısaltılmasının araştırılması çabasında.

Bu yazımızda Finlandiya, Fransa ve ABD’deki yeni nükleer reaktörlerin yapımlarındaki, işletmeye açılmalarındaki gecikmelerle, maliyet artışlarının ayrıntılarına gireceğiz. Akkuyu Nükleer reaktörlerindeki duruma da değineceğiz /1-4/.

Yazımızın ikinci bölümünde ise Ocak 2022 sayılarıyla Dünya’daki reaktör yapımındaki artışla ilgili durumu açıklayacağız.

Şekil 1: Finlandiya Olkiluoto 3 nolu yeni nükleer reaktörü, solda, sağdaki bacalı binalar, eskiden beri işleyen reaktörler



Şekil 2: Fransa Flamanville 3 nolu reaktörü



Yeni nükleer reaktörlerin yapımında gecikmelere ve maliyet artışlarına örnekler

Çizelge 1: Avrupa ve ABD’de nükleer reaktör yapımında görülen artan süre ve maliyetler

Nükleer reaktörün adı	Yapımına başlama yılı, (Sözleşme yapım maliyeti)	İşletmeye açılması planlanan yıl	İşletilmeye başlama yılı (Tahmini son maliyeti)	İşletmeye açılmada geickme yılı (Toplam yapım yılı)	Kurulu Elektrik Gücü (MWe)
1.Finlandiya Olkiluoto 3	2005 (3,2 milyar Avro)	2009	2022 nü (10 milyar Avro ?)	13 (17)	1600
2.Fransa Flamanville3	2007 (3 milyar Avro)	2012	2023 ? (13 milyar Avro ?)	11 (16)	1570
3. Vogtle Nükleer reaktörleri (ABD Georgia’da 2 adet AP 1000 Westinghouse tipi reaktörleri) /6/	2008 (2 adet 14 milyar USD)	2012	2022 (2 adet için 27 milyar USD)	10 (14)	1117

Finlandiya’nın yeni nükleer reaktörü Olkiluoto 3

Finlandiya nükleer reaktörü bu yıl çalıştırıldığında Finlandiya’da 40 yıl sonra ve Avrupa’da da 15 yıl sonra ilk kez yeni bir nükleer reaktör devreye alınmış olacak. Alman Siemens ve Fransız Framatom şirketlerinin ‘Areva’ adlı ortaklığıyla 2003’de Finlandiya yetkili kurumu STUK ile bu santralin yapımı için kontrat imzalandı /1/. Daha önceki nükleer reaktörlere göre daha donanımlı ve uzmanlarca daha güvenli kabul edilen bu reaktör, 3.Kuşak Avrupa basınçlı su reaktörü (EPR) olarak adlandırılıyor. Bu reaktörün yapımı sırasında çeşitli teknik ve parasal sorunlar çıkmış, hatta ortaklar anlaşmazlık sonucu mahkemelik olmuşlar ve sonunda Siemens 548 milyon Avro ceza ödeyerek 2012de ortaklıktan çıkmıştı. 2021 yılında deneme (test) işletimine başlanan reaktörün Aralık 2021’de ilk kez nükleer olarak ‘kritik’ olduğu bildirildi. Ancak bu deneme döneminde reaktörün 14 Ocak 2022 ve 29 Ocak 2022 günlerinde işlerken birdebire otomatik durması sonucu, reaktörün elektrik ağına, şebekeye bağlanması Temmuz 2022’ye ertelendi. İlgili denetleme kurumu (STUK), reaktörün iyi çalıştığını bildirmesine rağmen, iki kez otomatik durmasının nedenlerini açıklamadı. Resim 1’deki Olkiluoto 3 reaktörü Finlandiya’nın güney batısında Helsinkiye 250 km uzaklıkta bulunuyor ve bundan 40 yıl önce yapılan eskiden beri işlemekte olan 4 reaktöre de komşu /1-3/.

Fransa Flamanville 3 nolu nükleer reaktörü

Bu reaktörün 11 yıl gecikmeyle 2012 yerine 2023’de devreye alınabileceği (Çizelgeye bkz) açıklanıyor. Yapım giderlerinin ilgili resmi kurumun kestirimine göre çizelgede verilen 13 milyar Avro’yu aşacağını ve 20 milyar Avro’yu bulacağını hesaplıyor. Bu reaktörle ilgili bilgiler için ayrıca Bkz. /4/

ABD Vogtle ikili nükleer reaktörleri: Georgia’da 2 adet AP 1000 Westinghouse reaktörünün yapımına 2008’de başlandı. Özellikle 2011 Fukushima kazasından alınan derslerin ışığındaki yaptırımlarla, ek güvenlik önlemlerinin karşılanabilmesi için gereken kredinin ve faizinin aşırı artımı sonucu, reaktörün maliyetinin 23

mililyar USD'ye çıkacağı hesaplanınca, Westinghouse şirketi 2017'de işi bıraktı. Daha sonra Vogtle firması işi üstlendi ve 2 reaktörden üretilecek elektriğin 2022 yılı içinde devreye alınacağı açıklandı. İki reaktörün toplam yapım maliyetinin 27 Milyar USD'yi bulacağı kestiriliyor /5,6/.

Bu tip Westinghouse reaktörlerinde en üst derecede güvenlik sistemleri bulunuyor. Örneğin reaktör binasının çatısında, reaktörü (yakıt elemanlarını) büyük bir kaza durumunda 2-3 gün, kendiliğinden akan suyla soğutabilecek havuz bulunuyor (dizelli su pompalarına ve elektriğe gerek kalmadan). Bu iki reaktör elektrik ürettiğinde, ABD'de 40 yıl sonra ilk kez yeni nükleer reaktörler devreye alınmış olacak /5/.



Şekil 3. ABD, Vogtle firmasının 2 Westinghous AP 1000 tipi nükleer reaktörlerinin soğutma suyu kuleleri

Dünya'da nükleer reaktör yapımı giderek artıyor..

Yukarıda ayrıntılarıyla açıkladığımız gibi nükleer reaktör yapımının çok uzun sürmesine, maliyetinin de aşırı artmasına rağmen, reaktörlerin % 80' den fazla yüksek elektrik üretim verimleri, bunlara ilginin artmasının temel nedeni. Dünya'da elektriğin büyük bölümü (%37) günümüzde kömür santrallerinden elde ediliyor. Kömür santrallerinin ise saldıkları yoğun sera gazlarıyla iklimi bozdukları biliniyor ve bunların kapatılmaları gereği, Dünya iklim sözleşmelerinde de yer alıyor. Son yıllarda dünya elektrik üretimine katkısı gitgide artırılan yenilenebilir enerjilerin ise düşük verimleri nedeniyle, ileride ortaya çıkacak elektrik açığını kapatamayacakları açık. Bu nedenlerle bugün Dünya'da elektrik üretmekte olan 437 reaktöre ek olarak 57 nükleer reaktör de yapım aşamasında. Ayrıca 97 nükleer reaktör planlanıyor ve 325 reaktör de öneriliyor. Çin önümüzdeki 15 yılda 145 , Rusya 80, Fransa da 15 yeni nükleer reaktör yapımını planlıyor. Türkiye'de ise yapılmakta olan 4 reaktörlü Akkuyu nükleer santralinden başka, Sinop ve Trakya'da her biri 4 reaktörlü nükleer santraller planlanmasına rağmen, henüz kesinleşmiş bir sözleşme yok. Ana neden, nükleer santrallerin aşırı maliyetleri ve yapımı için gerekli döviz sorunu /6,7/.

Dünya nüfusundaki süregelen aşırı artışa, gitgide artan konforlu ve savurgan yaşam da eklenince, bunlarla doğrudan ilişkili olarak daha fazla elektrik gerekeceği açık. Artan elektrik üretilirken özellikle kömür santrallerinden havaya salınan CO₂ miktarı da, aşırı miktarda artıyor (Bkz Şekil 1). CO₂ başta olmak üzere sera gazlarının, iklimi olumsuz etkilediği son yıllarda birçok ülkedeki yıkımlarda görülüyor (Örneğin 2021 Ağustos’unda sel baskınlarında Kastomonu ve Almanya’da yerleşim yerleri yerle bir oldu her birinde 100’den fazla insan öldü). 2015 Paris iklim sözleşmesinde ve 2021 Glasgow iklim andlaşmasında Dünya ortalama sıcaklığında (+14 C derece), 2050 yılında 1,5 C derecelik artımın aşılması karara bağlandı. Öte yandan artan enerji sorununu karşılamak ve havaya salınan CO₂ miktarını azaltmak amacıyla son 10 yıldır yenilenebilir enerjilere (YE) özellikle rüzgar ve güneş enerjisi üretimlerine tüm dünyada hız verildiği biliniyor. Ancak YE’den elektrik üretilirken veriminin sadece %10-18 kadar düşük olması ve diğer sorunlar nedeniyle, bunlar fosil yakıtlı santrallerden elde edilen elektriği karşılayamıyorlar. Bu nedenle, yok denecek kadar az CO₂ salan ve verimleri % 80 ile % 95 arasında yüksek olan nükleer reaktörlere ilgi gitgide artıyor. Geçen ay AB ilgili Kurulu bu nedenlerle, Avusturya ve Almanya’nın karşı oylarına rağmen, Doğal Gaz ve Nükleer Enerjiyi ‘Yeşil Enerji’olarak nitelendirdi. Batıdaki ülkeler şimdi nükleer reaktör yapımına hız vermeyi planlıyorlar ama bunların yapım sürelerini kısaltmak ve fiyatlarını da düşürmek gerekiyor. Sorunlara çözümler aranıyor. Bunun nasıl sağlanabileceğiyle ilgili bilimsel, teknolojik çalışmalar yapılıyor ve raporlar yazılıyor. Özellikle Fransa yeni, daha ekonomik ve güvenli nükleer reaktörlerin yapımını hızlandırma çabasında. Buna rağmen, Fransa, nükleer reaktörlerin 15 yıl kadar uzun süren yapımları boyunca, boşluğu doldurabilmeleri için 50 adet rüzgar santralini denizde (offshore) kurmayı planlıyor.

Nükleer reaktörlerin yapımına devlet destekleriyle hız veren Rusya, Çin ve Hindistan’da ise bir sorun görünmüyor.

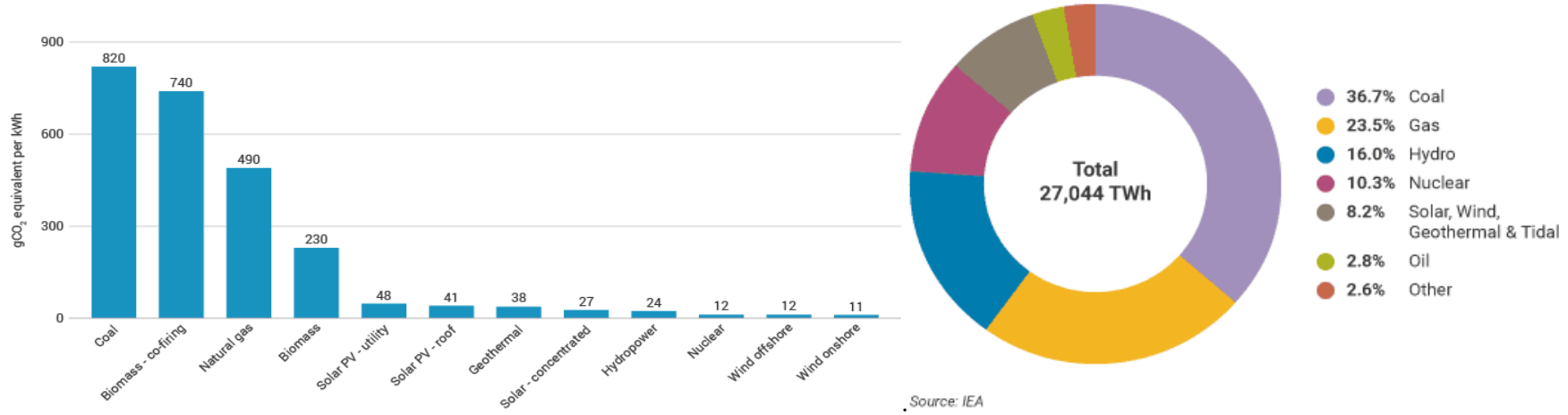
Çin 2060 yılına kadar 2990 adet kömür santralini kapatmayı, elektrik enerjisini YE’den ve çok daha verimli nükleer enerjilerden sağlamayı planlıyor/1-10/ .

Dünya’da bugün kaç nükleer reaktör çalışmakta?

İlk ticari nükleer reaktörün işletmeye açılması 1950 yıllarda oldu. Bugün Dünya’da yaklaşık olarak 440 adet nükleer reaktör çalışıyor. Dünya toplam elektrik enerjisinin % 10 kadarı nükleer enerjiden karşılanıyor. 50’den fazla ülkede 220 kadar araştırma reaktörü bulunuyor. Bunlar tıp ve sanayi için gereken radyoizotopları üretmede ve eğitimde yararlı olmaktadır. Dünya’da nükleer santraller yoluyla, 2019 yılında yaklaşık olarak 33 milyar ton CO₂ daha az havaya salındı.

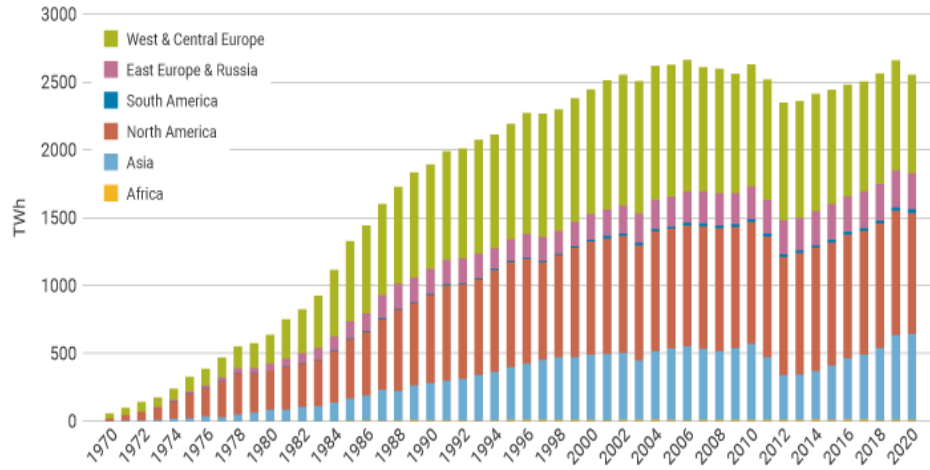
Şekil 4’de (aşağıda solda) çeşitli kaynaklardan kWh başına havaya salınan sera gazlarının CO₂ eşdeğer miktarları gram olarak yer alıyor. Görüldüğü gibi kWh başına kömür santralleri havaya 820 gram CO₂ salarlarken, rüzgar ve nükleer santraller havaya sadece 12 gram CO₂ salıyorlar;

Şekil 5: (aşağıda sağda) Dünya’da üretilen elektrik enerjisi TeraWattSaat (TWh) olarak ve buna katkıda bulunan enerji kaynakları

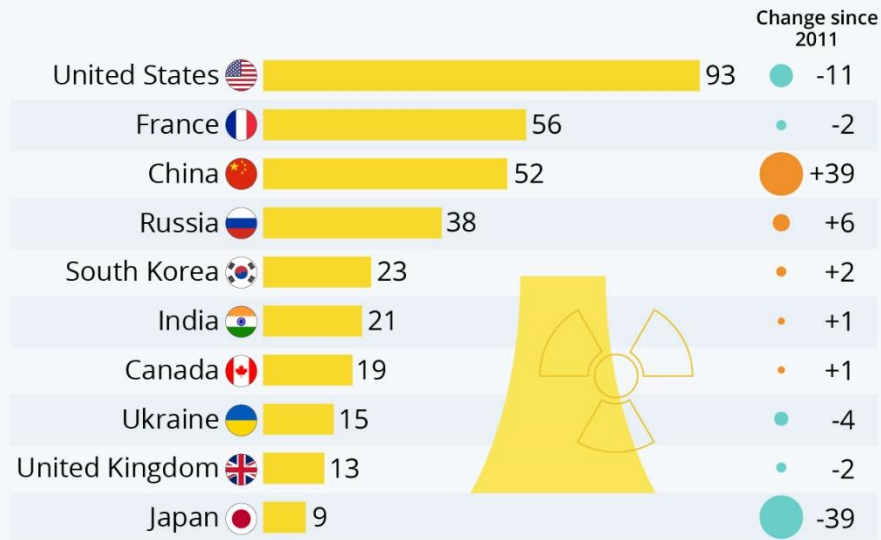


Şekil 6: Dünya'daki nükleer reaktörlerin bölgelere ve yıllara göre ürettikleri elektrik miktarları (TWh);

Şekil 7: Çin Dayawan Nükleer reaktöründeki kullanılmış uranyum yakıt elemanları havuzu (2019), Kaynak: Xinhua/Getty



Şekil 8: Dünya’da en çok, işlemekte olan nükleer reaktör sayılarına göre ülkeler ve Fukuşima kazasının olduğu 2011 yılına göre reaktör sayılarındaki + ve – değişimleri (2021) /Statistika



Source: World Nuclear Industry Status Report 2021



statista

Şekil 9: Karaçi Kanupp3 yeni nükleer reaktörün Mayıs 2021’deki durumu



<<<<

Çizelge 2: Dünya’da bugün yapılmakta olan nükleer reaktörler, adları, modelleri ve brüt MWe kurulu güçleri

Start †		Reactor	Model	Gross MWe
2022	Belarus, BNPP	Ostrovets 2	VVER-1200	1194
2022	China, CGN	Fangchenggang 3	Hualong One	1180
2022	China, CGN	Fangchenggang 4	Hualong One	1180
2022	China, CGN	Hongyanhe 6	ACPR-1000	1119
2022	Finland, TVO	Olkiluoto 3	EPR	1720
2022	India, NPCIL	Kakrapar 4	PHWR-700	700
2022	India, NPCIL	Kalpakkam PFBR	FBR	500
2022	India, NPCIL	Rajasthan 7	PHWR-700	700
2022	Korea, KHNP	Shin Hanul 1	APR1400	1400
2022	Pakistan	Karachi/KANUPP 3	ACP1000	1161
2022	Russia, Rosenergoatom	Kursk II-1	VVER-TOI	1255
2022	Slovakia, SE	Mochovce 3	VVER-440	471
2022	USA, Southern	Vogtle 3	AP1000	1250
2023	Argentina, CNEA	Carem	Carem25	29
2023	Bangladesh	Rooppur 1	VVER-1200	1200
2023	China, CNNC	Xiapu 1	CFR600	600
2023	France, EDF	Flamanville 3	EPR	1650
2023	India, NPCIL	Kudankulam 3	VVER-1000	1000
2023	India, NPCIL	Kudankulam 4	VVER-1000	1000
2023	India, NPCIL	Rajasthan 8	PHWR-700	700
2023	Korea, KHNP	Shin Hanul 2	APR1400	1400
2023	Korea, KHNP	Shin Kori 5	APR1400	1400
2023	Russia, Rosenergoatom	Kursk II-2	VVER-TOI	1255
2023	Slovakia, SE	Mochovce 4	VVER-440	471
2023	Turkey	Akkuyu 1	VVER-1200	1200
2023	UAE, ENEC	Barakah 3	APR1400	1400
2023	UAE, ENEC	Barakah 4	APR1400	1400
2023	USA, Southern	Vogtle 4	AP1000	1250
2024	Bangladesh	Rooppur 2	VVER-1200	1200
2024	China, SPIC & Huaneng	Shidaowan 1	CAP1400	1500
2024	China, Guodian & CNNC	Zhangzhou 1	Hualong One	1212

2024	Iran	Bushehr 2	VVER-1000	1057
2024	Korea, KHNP	Shin Kori 6	APR1400	1400
2024	Turkey	Akkuyu 2	VVER-1200	1200
2025	China, SPIC & Huaneng	Shidaowan 2	CAP1400	1500
2025	China, CGN	Taipingling 1	Hualong One	1200
2025	China, Guodian & CNNC	Zhangzhou 2	Hualong One	1212
2025	Turkey	Akkuyu 3	VVER-1200	1200
2026	China, CGN	Cangnan/San'ao 1	Hualong One	1150
2026	China, Huaneng & CNNC	Changjiang 3	Hualong One	1200
2026	China, CNNC	Changjiang SMR 1	ACP100	125
2026	China, CGN	Taipingling 2	Hualong One	1202
2026	China, CNNC	Xiapu 2	CFR600	600
2026	India, NPCIL	Kudankulam 5	VVER-1000	1000
2026	Russia, Rosatom	BREST-OD-300	BREST-300	300
2026	UK, EDF	Hinkley Point C1	EPR	1720
2027	China, CGN	Cangnan/San'ao 2	Hualong One	1150
2027	China, CNNC	Tianwan 7	VVER-1200	1200
2027	China, CNNC & Datang	Xudabao 3	VVER-1200	1200
2027	China, Huaneng & CNNC	Changjiang 4	Hualong One	1200
2027	India, NPCIL	Kudankulam 6	VVER-1000	1000
2027	UK, EDF	Hinkley Point C2	EPR	1720

† Son resmi açıklamaya göre elektrik ağına bağlanacakları yıllar (Güncelleme Şubat 2022)/7/

4 Reaktörlü Akkuyu nükeer santralinde durum

Bu santralin sözleşmesi 2010 yılında yapılmış olmasına karşın, ilk reaktörün yapımına ancak 10 yıl sonra başlanabildi. İlk reaktörün (ünitenin) 29 Ekim 2023'de 13 yıl sonra işletmeye açılacağı yetkililerce bildiriliyor. Ancak bu kısa sürede, nükleer ve radyasyon güvenliğiyle ilgili tüm sistemlerde ve bunların su tankları, pompalar, armatürler, filtreler, vanalar, borular, dübeller gibi parçalarında AB ve ABD'deki gibi Uluslararası Standartlarla uyumlu, farklı uzman dallarını ve yönetmeliklerini kapsayan, çok zaman alan kalite kontralları uzmanlarca yapılabilir ve olumlu sonuçlanabilir ve 2023 sonunda elektrik üretebilir mi bilinemez. Ayrıca reaktörün ticari işletme öncesi, en azından 6 aylık deneme (test) dönemini başarıyla geçmesi de gerekir.

Diğer 3 reaktörün ileride, 2030'dan önce işletmeye açılması planlanıyor.

Öte yandan reaktörlerin yapımı için Türkiye herhangi bir para ödemediğinden, gecikmeler olursa, ek bir ödeme yapması söz konusu değil. Tüm maliyet artımını Rus şirketi karşılamak durumunda.

Türkiye’de yapılmakta olan 4 reaktörlü Akkuyu nükleer santralinden başka, Sinop’ta 4 reaktörlü bir nükleer santral ile Trakya’da bir santral planlanmasına rağmen, bunlarla ilgili henüz kesinleşmiş bir sözleşme bulunmuyor. Ana neden, nükleer santrallerin aşırı yüksek maliyetleri ve buna ilişkin döviz sorunu /6-7/.

Not: Bu yazımız Herkese Bilim Teknoloji dergisi portalında Şubat 2022’de yayımlanmıştır.

Kaynaklar :

- /1/ [Commodities News](#) September 24, 2019 Nuclear energy too slow, too expensive to save climate: report by Marton Dunai, Geert De Clercq
- /2/ Radyasyon ve Sağlığımız kitabı Syf. 180, Y.Atakan, Nobel Yayınları, 2014
- /3/ www.radyasyonyatakan.com 4.Bölüm
- /4/ Fransa Flamanville Nükleer Reaktöründeki Patlama ‘Bir Nükleer Kaza Değil!’ – Fizik Y. Müh. Dr. Yüksel Atakan (radyasyonyatakan.com)
- /5/ <https://www.reuters.com/business/energy/us-nrc-launches-investigation-southern-georgia-vogtle-3-nuclear-unit-2021-06-21>
- /6/ AKKUYU REAKTÖRLERİNİN TOPLAM ELEKTRİK TÜKETİMİNE KATKISI BİLİM VE GELECEK – Fizik Y. Müh. Dr. Yüksel Atakan (radyasyonyatakan.com)
- /7/ <https://www.radyasyonyatakan.com/yazi/akkuyu-nukleer-santralini-kur-garantisi-vurmus>
- /8/ <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx> (Ocak 2022)
- /9/ World Nuclear Assosiation <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx>
- /10/ Nükleer reaktörlerin yapım giderlerinin azaltılmasıyla ilgili rapor:
https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_37787/reducing-the-costs-of-nuclear-power-on-the-path-towards-a-clean-energy-future