

Yaz Sıcaklarının Nükleer ve Termik Santrallerin Soğutma Sularına Etkisi ve

Santrallerin Durdurulması

Fransa ve Diğer Örnekler - Akkuyu Reaktörleri İçin Sipahili Barajı Neden Uygun Değil?

Hazırlayan: Yüksel Atakan Dr.Radyasyon Fizikçisi, ybatakan4@gmail.com., 03.08.2026

Özet

Son yıllarda Dünya'da yaşanan aşırı sıcak hava dalgaları, elektrik üretim tesislerinin güvenilir işletilmesini zorlaştırmaktadır. Özellikle Fransa'da nehirlerden soğutma suyu alan nükleer santraller ile bazı kömür santralleri yaz aylarında üretimlerini azaltmak veya geçici olarak durdurmak zorunda kalmaktadır. **Bunun temel nedeni reaktör güvenliği değil, çevre flora ve fauna'yı korumak amacıyla su kaynaklarını doğal yapısını bozmamaktır.**

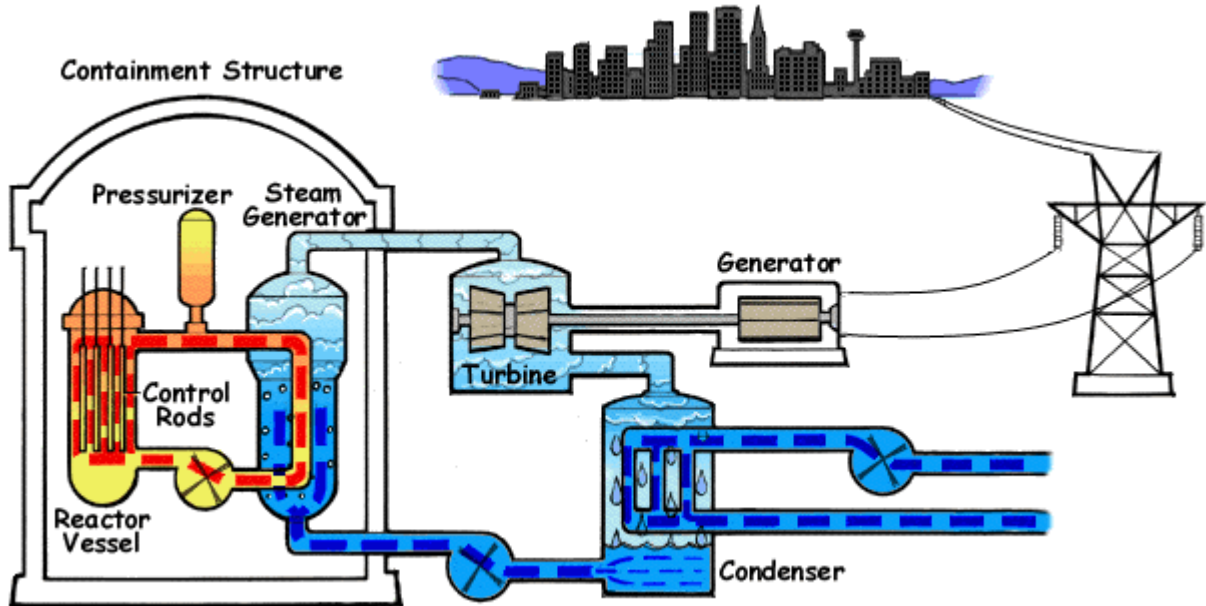
Bu yazımızda Fransa'daki uygulamalar incelenmiş, küçük baraj sularının alternatif soğutma kaynağı olup olamayacağı değerlendirilmiş; Akkuyu reaktörleri yakınındaki Sipahili Barajı özelinde kaba bir mühendislik hesabıyla bu seçeneğin neden yetersiz kalacağı gösterilmiştir. Deniz benzeri çok büyük barajlarda ise uygulanabildiği örnekleriyle listelenmiştir

1. Giriş

Bir nükleer santralde üretilen enerjinin yalnızca yaklaşık %33-37'si elektriğe dönüşür. Geri kalan %63-67'lik bölüm ise atık ısı enerjisi olarak çevreye verilmek zorundadır.

Örneğin 1200 MW elektrik üreten bir reaktör yaklaşık 3200-3400 MW termal (ısı) güç gösterir. Yaklaşık 2000 MW ısı ise sürekli olarak soğutma sistemi tarafından uzaklaştırılır.

Bu nedenle güvenilir bir soğutma sistemi, nükleer santralin en önemli yardımcı sistemlerinden biridir.



Reaktör kabında Uranyum 235 çekirdeğinin bölünmesiyle ortaya çıkan ve birincil devreye (kırmızı) aktarılan ısı enerjisi, buhar üreticindeki 2.devre suyunu buharlaştırıp türbin ve üreteçle (jeneratörle) elektrik ürettikten sonra, 2. devrede artı kalan ısı enerjisi 3.devre suyuna aktarılır (en sağdaki yoğunlaştırıcı deki mavı renkle gösterilen 3.su devresi) . 3. devre suyu ise, ya doğrudan deniz

suyuyla soğutulur (Akkuyu) ya da su kuleleri (Fransa örneğiyle) yoluyla havayla soğutulup nehirlerle verilir. Böylelikle çevredeki suların sıcaklığı önemli miktarda artmaz ve doğası bozulmaz.

2. Fransa'da Yaz Aylarında Güç Azaltımının Nedenleri?

Fransa elektrik şirketi EDF'in işlettiği çok sayıda reaktör Rhône, Loire, Garonne ve Meuse nehirlerinden soğutma suyu almaktadır.

Yaz aylarında:

- hava sıcaklığı 35-45 °C,
- nehir debileri düşük,
- su sıcaklığı 26-30 °C

olabilmektedir. Bu durumda; yoğunlaştırıcı verimi azalır, türbin verimi düşer, çevreye verilen suyun sıcaklığı izin verilen sınırı aşabilir. Bu nedenle bazı reaktörlerde güç azaltılır, gerekirse reaktör bir süre durdurulur.

Önemli nokta şudur: bu uygulama reaktörün güvenli olmadığı anlamına gelmez. Amaç, nehir ekosistemini korumaktır.

3. Fosil Yakıtlı Santrallerde de Aynı Sorun

Kömür santralleri gibi fosil yakıtlı santrallerde de büyük miktarda soğutma suyuna gereksinim duyulur. Benzer şekilde Almanya, Fransa ve Polonya gibi ülkelerde bazı santraller yazın güç (MW) azaltmaktadır; çünkü Rankine çevriminde yoğunlaştırıcı sıcaklığı yükseldikçe verim düşmektedir.

Rankine çevrimi: *Isıl enerjiyi mekanik ve elektrik enerjisine çeviren su gibi bir akışkanın faz değiştirdiği ideal bir termodinamik güç çevrimidir. Temel bileşenleri pompa, kazan, buharlaştırıcı ve türbinden oluşuyor.*

4. Küçük Baraj Gölleri Neden Çözüm Değil?

İlk bakışta bir baraj yeterli görünmektedir. Ancak durum daha karmaşıktır.

4.1 Su Sıcaklığı

Barajların yüzey sıcaklığı yazın 25-30 °C olabilmektedir. Derin tabakalarda sıcaklık 10-18 °C olabilir. Fakat sürekli dipten su çekmek oksijen dağılımını, flora ve fauna (balık) yaşamını ve su kalitesini olumsuz etkileyebilir.

4.2 Su Kullanımı

Kurak yıllarda aynı baraj; sulama, içme suyu ve hidroelektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Santraller küçük göl için ek yük oluşturabilir.

4.3 Su Miktarı

1200 MW sınıfındaki bir reaktör, açık çevrim soğutmada yaklaşık olarak saniyede 60-80 m³ soğutma suyu kullanabilir. Bu, günde yaklaşık 5-7 milyon m³ suya karşılık gelir. Dört reaktörlü büyük bir santral için bu miktarın 4 katıdır.

5. Deniz'in Avantajları

Deniz suyu; geniş denizde sürekli karışım vardır, debi sorunu bulunmaz, kuraklıktan fazla etkilenmez.

Akdeniz yazın 28-30 °C olmasına rağmen, ısı enerjisi çok geniş hacme yayıldığından çevresel etki sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle Japonya, Güney Kore, Çin, ABD, İspanya ve Fransa gibi ülkelerde reaktörlerin çoğu deniz kıyısındadır ve deniz suyu kullanmaktadır.

6. Akkuyu NGS İçin bir Değerlendirme

Akkuyu Nükleer Güç Santrali yaklaşık 4×1200 MWe kurulu gücündedir. Toplam termal güç ise $4 \times 3200 = 12.800$ MW(th) kadardır. Bu büyüklükteki bir santral için yakınındaki Akdeniz en uygun soğutma suyu kaynağıdır.

6.1. Sipahili Barajı Neden Uygun Değil?

Sipahili Barajı, Mersin'in Gülnar/Silifke ilçe sınırında Küre Deresi üzerinde, Akkuyu'ya yaklaşık 7 km uzaklıkta olup DSİ tarafından planlanan; sulama ve içme suyu sağlama amaçlı bir barajdır. **Projenin kendi tanımına göre amacı, Silifke ve Gülnar'a bağlı bazı yerleşimlerin sulanması ve Büyükeceli tünel çıkışından Akkuyu NGS'ye kullanma suyu sağlanmasıdır — yani baraj tasarım olarak santralin ana yoğunlaştırıcı soğutma suyu kaynağı olarak değil, yardımcı/kullanım suyu kaynağı olarak planlanmıştır.**

6.2 Akkuyu'ya Uzaklık

Sipahili (Babadıl) yerleşim merkezi ile Akkuyu NGS alanı arasındaki kuş uçuşu uzaklık koordinatlardan ($36,167^\circ\text{K } 33,467^\circ\text{D} - 36,144^\circ\text{K } 33,541^\circ\text{D}$) hesaplandığında yaklaşık 7 km'dir. Barajın gövdesi yerleşim merkezinin biraz kuzeyinde, Küre Deresi üzerinde yer aldığından ve arazi engebeli olduğundan, Akkuyu için düşünülürse, **gerçek isale/boru hattı güzergâhı bundan daha uzun, kabaca 10-15 km kadar olacaktır.**

Not: Barajın gövde eksenine ait resmî koordinatlar kamuya açık kaynaklarda ayrıntılı verilmediğinden, bu rakam yerleşim merkezine göre hesaplanmış yaklaşık bir değerdir.

6.3 Kaba Hesap: Neden Yetersiz Kalır?

Aşağıdaki hesap, ilgili verilerle **(tek 1200 MWe ünite için ~2000 MW atık ısı, 60-80 m³/s açık çevrim debisi) için yapılmış**, kaba (order-of-magnitude) düzeyde bir değerlendirmedir; amaç kesin bir mühendislik projesi değil, ölçek karşılaştırmasıdır.

a) Debi karşılaştırması

70 m³/s'lik (60-80 aralığının ortası) bir su akımı, **günde yaklaşık 6 milyon m³ (6 hm³= hektometro³) suya karşılık gelir.** Bölgedeki benzer ölçekli sulama barajlarının toplam aktif göl hacmi tipik olarak 20-40 hm³ civarındadır (ör. Seferihisar Barajı 29,1 hm³, Bursa Nilüfer Barajı 43,3 hm³). Bu ölçekte bir baraj varsayıldığında, günde 6 hm³ su çekilmesi gölün toplam hacminin %15-30'unun HER GÜN çekilmesi anlamına gelir. **Küçük bir dağ deresinin (Küre Deresi) doğal beslemesi bu miktarı karşılayamayacağından, baraj birkaç gün içinde boşalır!. Santralden geri gelen sui se sıcaktır gölü ısıtır tekrar çekimde soğutma suyu olarak kullanılamaz, işe yaramaz.**

b) Sıcaklık artışı (iyimser/kapalı-devre senaryo)

Deniz gibi pratikte sınırsız bir hacim olmadığından, gerçekçi bir baraj uygulamasında çekilen su ısıtıldıktan sonra tekrar aynı göle geri verilmek zorundadır. Bu durumda, ısıнын atmosfere kaybı ve gölün yeni su ile beslenmesi ihmal edilerek :

- Günlük atılan ısı : $Q = 2000 \text{ MW} \times 86.400 \text{ s} \approx 1,73 \times 10^{14} \text{ J}$ (Tek Akkuyu reaktörü için)
- Varsayılan göl hacmi: 25 hm³ ($25 \times 10^6 \text{ m}^3$) → kütle $\approx 2,5 \times 10^{10} \text{ kg}$
- Su özgül ısısı: $c_p = 4186 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

- Günlük ortalama sıcaklık artışı: $\Delta T \approx Q / (m \cdot c_p) = 1,73 \times 10^{14} / (2,5 \times 10^{10} \times 4186) \approx 1,7$ °C/gün

Sadece tek bir 1200 MW'lık reaktörün atık ısı enerjisi, orta ölçekli bir baraj gölünün ortalama sıcaklığını günde yaklaşık 1,5-2 °C artırır. **Akkuyu'nun 4 reaktörü aynı anda Sipahili barajını kullanırsa, bu değer ~4 katına, yani günde 6-8 °C'ye çıkar; birkaç gün içinde göl suyu, ekosistemin ve santral tasarımının kaldıramayacağı sıcaklıklara ulaşır.** Gerçekte bir miktar ısı buharlaşma ve yüzeyden ısıtım yoluyla atmosfere kaçarak bu artışı yavaşlatır, ancak bu kayıp mekanizmaları böylesine yoğun ve sürekli bir ısı yükünü dengelemeye yetmez.

Buna karşın deniz, hacmi pratik olarak sınırsız ve sürekli akıntı/karışım sayesinde aynı ısı yükünü çok daha geniş bir alana yayabildiğinden, santral çıkışında birkaç °C'lik, uzaklaştıkça hızla sönümlenen yerel bir sıcaklık artışına yol açar.

Sonuç:

Hem debi (baraj birkaç günde boşalır) hem de sıcaklık (baraj günde 1,5-2 °C'den fazla ısınır ve bu sürdürülemez) açısından, Sipahili Barajı Akkuyu NGS'nin ana yoğunlaştırıcı soğutması için uygun değildir. Barajın teknik olarak anlamlı kullanım alanları:

- yardımcı sistem suyu,
- acil durum su deposu,
- yangın söndürme,
- servis kullanım suyu / içme suyu (projenin zaten öngördüğü amaç)

ile sınırlı kalmaktadır. Başlıca kısıtlar: su hacminin sınırlı olması, kuraklık riski, sulama gereksinimi, çevresel etkiler ve yukarıda gösterilen uzun süreli/hızlı ısınmadır.

7. Soğutma Kaynaklarının Karşılaştırılması

Özellik	Nehir	Baraj	Deniz
Su miktarı	Orta	Orta	Çok yüksek
Yazın sıcaklık artışı	Yüksek	Orta-Yüksek	Düşük-Orta
Kuraklıktan etkilenme	Çok yüksek	Yüksek	Çok düşük
Çevresel kısıtlama	Yüksek	Yüksek	Görece düşük
Büyük NGS için uygunluk	Orta	Sınırlı	Çok yüksek

8. Dünyadaki Büyük Baraj/rezervuar suyuyla (yapay soğutma gölleri dahil) soğutulan santraller var mıdır?

Dünya'da çok sayıda nükleer ve termik santral büyük göl ve rezervuar suları ile soğutuluyor. ABD ve eski Sovyet coğrafyasında bu, büyük göl ya da rezervuar yakınlarındaki santraller için yaygın bir çözüm. Bilinen başlıca örnekler aşağıdaki listede bulunuyor. Yapay göllerin çoğu ise (Lake Keowee, Squaw Creek, Callaway, Coffey County, Beloyarsk gibi) santral için özel olarak yapılmış, sadece bu amaca hizmet eden büyük rezervuarlardır — genellikle 30-70 km² yüzey alanına ve yüzlerce milyon m³ hacme sahiptirler. **Bunlar Sipahili gibi küçük-orta ölçekli sulama barajlarıyla karşılaştırılmazlar; özellikle bu iş için tasarlanmış, çok daha büyük hacimli göllerdir.**

Dünya — Baraj/Rezervuar Gölü ile Soğutulan Belli Başlı Santraller Listesi

Ülke	Santral	Göl / Rezervuar	Kurulu Güç (~MW)
ABD	Oconee NGS	Lake Keowee (yapay göl)	2.500
ABD	Catawba NGS	Lake Wylie	2.260
ABD	McGuire NGS	Lake Norman	2.200
ABD	Comanche Peak NGS	Squaw Creek Rezervuarı (yapay göl)	2.400
ABD	South Texas Project	Main Cooling Reservoir (yapay göl)	2.500
ABD	Wolf Creek NGS	Coffey County Lake (yapay göl)	1.200
ABD	Callaway NGS	Callaway Rezervuarı (yapay göl)	1.190
ABD	V.C. Summer NGS	Monticello Gölü (yapay göl)	970
ABD	Shearon Harris NGS	Harris Gölü (yapay göl)	900
ABD	Robinson NGS	Robinson Gölü (yapay göl)	710
ABD (TVA)	Browns Ferry NGS	Wheeler Rezervuarı (Tennessee Nehri)	3.300
ABD (TVA)	Watts Bar / Sequoyah NGS	Watts Bar / Chickamauga Gölü	~2.300 / santral
Rusya	Kalinin NGS	Udomlya Gölü	4.000
Rusya	Balakovo NGS	Saratov Rezervuarı (Volga)	4.000
Rusya	Rostov (Volgodonsk) NGS	Tsimlyansk Rezervuarı	4.000
Rusya	Beloyarsk NGS	Beloyarsk Rezervuarı (yapay göl)	1.470
Ukrayna	Zaporijya NGS	Kahovka Rezervuarına bağlı soğutma havuzu	5.700 (6 ünite)
Ukrayna	Güney Ukrayna NGS	Yujnoukrainsk Rezervuarı	3.000
Hindistan	Rajasthan Atom Santrali	Rana Pratap Sagar Gölü (baraj gölü)	1.180
Hindistan	Kaiga Atom Santrali	Kadra Baraj Rezervuarı	880
Türkiye	Çayırhan Termik Santrali	Sarıyar Barajı (Sakarya Nehri)	620

Not: Bu tablodaki kurulu güç değerleri yaklaşık olup, yayın tarihine göre güncellenmemiş olabilir; kesin ve güncel değerler için IAEA-PRIS (Power Reactor Information System), World Nuclear Association ve ilgili işletmecilerin (TVA, Rosatom/Energoatom, NPCIL, Duke Energy vb.) resmi yayınlarından teyit edilmesi önerilir.

9. İklim Değişikliği ve Geleceğin Soğutma Sistemleri

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ile OECD-NEA son yıllarda yeni tasarımlarda aşağıdaki çözümleri önermektedir:

- Hibrit soğutma sistemleri
- Islak-kuru (Hybrid Wet-Dry) soğutma kuleleri
- Deniz + soğutma kuleleri birlikte kullanımı
- Büyük hacimli termal depolama havuzları
- Yapay zekâ destekli gerçek zamanlı soğutma optimizasyonu
- İklim değişikliğine uyumlu tasarım kriterleri
- Atık ısının bölgesel ısıtma veya endüstride değerlendirilmesi

Bu öneriler gerçekleşirse, gelecekte santrallerin sıcak hava dalgalarından daha az etkilenmesini sağlanacaktır.

10. Dünyada Baraj/Rezervuar Gölü ile Soğutulan Santraller

Yukarıdaki bölümlerde Sipahili Barajı özelinde gösterildiği gibi, baraj gölleriyle soğutma teorik olarak mümkündür; ancak dünya genelindeki başarılı örnekler incelendiğinde bunların, genellikle SADECE bu amaç için inşa edilmiş, çok büyük hacimli (yüzlerce milyon m³, genellikle 30-70 km² yüzey alanına sahip) özel soğutma gölleri olduğu görülür — sulama amaçlı küçük/orta ölçekli barajlarla karıştırılmamalıdır.

10.1 Türkiye

Türkiye'de nükleer santral henüz işletmede olmadığından (Akkuyu deniz suyu ile soğutulacaktır), baraj/rezervuar suyu ile soğutulan örnekler kömür/termik santrallerdedir:

- Çayırhan Termik Santrali (Ankara) — Sarıyar Barajı rezervuarından (Sakarya Nehri) soğutma suyu almaktadır. Kurulu güç ~620 MW.
- Yatağan Termik Santrali (Muğla) — Yatağan/Çine Çayı havzasındaki rezervuardan su almaktadır. Kurulu güç ~630 MW.

Not: Türkiye'deki termik santrallerin bir kısmı için kaynak suyu bilgileri (baraj/nehir/deniz ayrımı) kamuya açık kaynaklarda ayrıntılı yer almamaktadır; bu nedenle yalnızca iyi belgelenmiş iki örnek verilmiştir. Diğer santraller (Afşin-Elbistan, Soma, Kangal, Seyitömer, Tunçbilek vb.) çoğunlukla yakın nehir/yeraltı suyu veya kendi soğutma havuzlarını kullanmaktadır; kesinleştirilmesi için EÜAŞ/DSİ kaynaklarından doğrulama önerilir.

10.2 Fransa

Önemli bir açıklama: Fransa'nın nükleer filosu (58 reaktör) tipik olarak ABD/Rusya tarzı büyük yapay 'soğutma gölleri' ile değil, doğrudan NEHİR suyu (Loire, Rhône, Rhin, Meuse, Garonne) veya DENİZ suyu (Manş, Atlantik, Akdeniz kıyısındaki santraller) ile soğutulmaktadır; nehir üzerindeki tesislerin çoğunda kapalı çevrim soğutma kuleleri kullanılır. Fransa'da klasik anlamda 'baraj gölü ile soğutulan nükleer santral' örneği bulunmamaktadır; bu, raporun 2. bölümünde anlatılan yaz aylarındaki güç azaltmalarının da temel nedenidir (nehir debisi/sıcaklığı kaynaklı kısıt, göl kaynaklı değil).

Fransa'da nehir kaynaklı belli başlı nükleer santraller ve kurulu güçleri (kıyaslama amaçlı):

- Cattenom NGS (Moselle Nehri) — $4 \times 1300 \text{ MW} \approx 5.200 \text{ MW}$
- Bugey NGS (Rhône Nehri) — $\approx 3.580 \text{ MW}$

- Tricastin NGS (Rhône Nehri) — $4 \times 915 \text{ MW} \approx 3.660 \text{ MW}$
- Belleville NGS (Loire Nehri) — $2 \times 1310 \text{ MW} \approx 2.620 \text{ MW}$
- Chinon NGS (Loire Nehri) — $\approx 3.620 \text{ MW}$

11. Sonuç

- İklim değişikliği yalnızca yenilenebilir enerji kaynaklarını değil, nükleer ve fosil yakıtlı santralleri de etkilemektedir. Avrupa'da son yıllarda yaşanan sıcak hava dalgaları, soğutma sistemlerinin tasarımında iklim değişikliği senaryolarının dikkate alınmasının zorunlu olduğunu göstermektedir.
- **Türkiye'de Akkuyu NGS'nin deniz suyu ile soğutulacak olması önemli bir avantajdır. Ancak Doğu Akdeniz'de deniz suyu sıcaklıklarının gelecekte artması ihtimali göz önünde bulundurularak uzun dönemli izleme ve gerekli görülmesi hâlinde hibrit soğutma çözümlerinin değerlendirilmesi yararlı olacaktır.**

12. Kaynaklar

- IAEA — Power Reactor Information System (PRIS), reaktör bazında kurulu güç ve soğutma sistemi bilgileri
- World Nuclear Association — ülke bazlı nükleer program raporları
- EDF / RTE France — Fransız nükleer filosunun yıllık işletme ve üretim raporları
- DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) — Siphili Barajı ve bölgedeki diğer barajların proje/ÇED bilgileri
- EÜAŞ (Elektrik Üretim A.Ş.) — Türkiye'deki termik santrallerin teknik özellikleri
- TVA (Tennessee Valley Authority) — ABD'deki rezervuar soğutmalı nükleer santrallerin işletme verileri
- Rosatom / Energoatom — Rusya ve Ukrayna'daki nükleer santrallerin soğutma sistemi bilgileri
- NPCIL (Nuclear Power Corporation of India Limited) — Hindistan'daki nükleer santrallerin soğutma kaynağı bilgileri
- Termodinamik temel ilkeler (Rankine çevrimi, ısı dengesi hesapları) — genel mühendislik bilgisi