

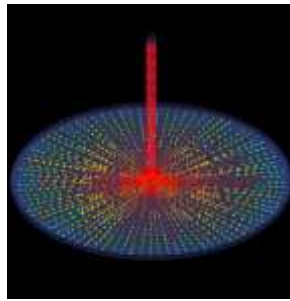
Yaz Çevre Sıcaklığının Depolanması?

Hazırlayan : Yüksel Atakan Dr. Radyasyon Fizikçisi ybatakan4@gmail.com 18.06.2026 (YZ destekli) /I/

Bir yaz günü Güneş altında yürürken ya da deniz kıyısında sıcaktan terlerken aklımıza gelebilir: Bu aşırı Sıcaklık ya da Isı Enerjisi neden depolanıp soğuk günlerde evlerimizde kullanılmıyor da, bir dizi enerji santralleri kuruyor ve evlerimizi ısıtmak için, gereğinden fazla, para harcıyoruz? Örnek olarak, Türkiye coğrafyasına düşen ısı enerjisi, ancak 1000 MW'lık 357 nükleer reaktörün üretebileceği enerjiye eşdeğer kadar büyüktür (300 Akkuyu reaktörü!). Bu konuda bilim ve teknik ARGE çözümler üretiyor mu ve çevre ısı enerjisi depolayan tesisler hangi ülkelerde var? bu kapsamlı yazımın konusu.

Özet

Yaz aylarında güneşten gelen enerji nedeniyle ülkelerin atmosferi ve yüzeyleri önemli miktarda ısı enerjisi depolar. Bu çalışmada Almanya ve Türkiye için yaz mevsiminde oluşan ilave atmosferik ısı enerjisinin büyüklüğü yaklaşık olarak hesaplanmış ve 1000 MW gücündeki bir nükleer reaktörün yıllık enerji üretimi ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu enerjinin depolanarak kış aylarında kullanılmasına yönelik güncel teknolojiler kısaca incelenmiştir.



Hesaplama Yöntemi

Atmosferin yer yüzeyine yakın ilk 1000 metresi dikkate alınmıştır. Isı enerjisi aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Burada;

- Q = Isı enerjisi (J)
- m = Hava kütlesi (kg)
- c_p = Havanın özgül ısısı ($\approx 1000 \text{ J/kgK}$)
- ΔT = Yaz aylarındaki ortalama sıcaklık artışı (K)

Sonuçlar

Tablo 1. Yazın oluştuğu ilave ısı enerjisi

Ülke	Yaklaşık Isı Enerjisi (TWh)	1000 MW Reaktör Eşdeğeri*
Almanya	1.190	136
Türkiye	3.130	357

*1000 MW gücündeki bir nükleer reaktör yılda yaklaşık 8,76 TWh elektrik enerjisi üretmektedir.

Tablo 2. Karşılaştırmalı değerlendirme

Parametre	Almanya	Türkiye
Yüzölçümü (km ²)	357.000	783.562
Yaz sıcaklık artışı (°C)	≈10	≈12
Atmosferik ilave enerji (TWh)	1.190	3.130
Reaktör-yıl eşdeğeri	136	357

Isı Enerjisinin Depolanması

Yazın oluşan ısının tamamının depolanması günümüz teknolojileriyle ekonomik değildir. Buna rağmen birçok ülkede "Mevsimsel Isı Depolanması" (Seasonal Thermal Energy Storage - STES) teknolojileri geliştirilmektedir.

Başlıca yöntemler:

1. Yeraltı kayaç depolaması (BTES)
2. Yeraltı akifer depolaması (ATES)
3. Büyük sıcak su depoları (PTES)
4. Jeotermal ve bölgesel ısıtma sistemleriyle bütünleşik depolama

Bu sistemlerde yazın depolanan ısı, kışın binaların ve şehirlerin ısıtılmasında kullanılabilir.

Değerlendirme

Hesaplamalar, yalnızca Almanya ve Türkiye üzerinde yazın biriken atmosferik ısı enerjisinin yüzlerce büyük nükleer reaktörün yıllık üretimine eşdeğer büyüklükte olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte bu enerji çok düşük yoğunluklu ve geniş alanlara yayılmış olduğundan tamamının toplanması ve depolanması mümkün değildir. Buna rağmen mevsimsel ısı depolama teknolojileri enerji dönüşümünün önemli bileşenlerinden biri olarak görülmektedir.

Kaynaklar

1. International Energy Agency (IEA), Thermal Energy Storage Reports.
2. IEA Energy Storage Programme (ECES).
3. Lund, H. et al., Smart Energy Systems and Seasonal Heat Storage.
4. Bloemendal, M. ve Hartog, N., Aquifer Thermal Energy Storage Technologies.
5. Drake Landing Solar Community Technical Reports, Canada.

DAHA AYRINTILI BİLGİLER

YAZ AYLARINDA BİRİKEN ISI ENERJİSİNİN BÜYÜKLÜĞÜ, DEPOLANMASI VE ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

Özet

Yaz aylarında güneş ışınımı nedeniyle atmosferde, toprakta, su kütlelerinde ve şehirlerde büyük miktarda ısı enerjisi birikir. Bu çalışmada Almanya ve Türkiye üzerinde yaz aylarında oluşan ilave ısı enerjisinin yaklaşık büyüklüğü hesaplanmış, bu enerjinin nükleer santral eşdeğeri değerlendirilmiş ve depolanarak elektrik üretiminde kullanılabilecek olanakları incelenmiştir.

1. Isı Enerjisinin Hesaplanması

Atmosferde depolanan ısı enerjisi aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Burada:

- Q : Isı enerjisi (J)
- m : Hava kütlesi (kg)
- c_p : Havanın özgül ısısı (≈ 1000 J/kgK)
- ΔT : Sıcaklık artışı (K)

Havanın özgül ısısı yaklaşık 1000 J/kgK'dir. Bu değer, 1 kg havanın sıcaklığını 1 °C artırmak için yaklaşık 1000 Joule enerji gerektiğini ifade eder.

Örnek

10.000 kg havanın sıcaklığı 10 °C arttığında:

$$Q = 10.000 \times 1000 \times 10$$

$$Q = 100.000.000 \text{ J}$$

$$= 100 \text{ MJ}$$

2. Almanya ve Türkiye İçin Yaklaşık Sonuçlar

Atmosferin ilk 1000 metrelik tabakası esas alınarak yapılan hesaplamalar aşağıdaki sonuçları vermektedir.

Tablo 1. Yazın oluşan ilave atmosferik enerji

Ülke	Isı Enerjisi (TWh)	1000 MW Reaktör-Yıl Eşdeğeri
Almanya	1.190	136
Türkiye	3.130	357

Karşılaştırma için, 1000 MW gücündeki bir nükleer reaktör yılda yaklaşık 8,76 TWh elektrik enerjisi üretmektedir.

Bu sonuçlar yaz aylarında ülkeler üzerinde biriken enerjinin son derece büyük olduğunu göstermektedir.

3. Bu Enerji Depolanabilir mi?

Teorik olarak evet.

Bu amaçla geliştirilen teknolojiye:

Mevsimsel Isı Depolaması (Seasonal Thermal Energy Storage – STES)

adı verilmektedir.

Başlıca yöntemler:

Teknoloji	Açıklama
BTES	Yeraltı kayalarında depolama
ATES	Yeraltı akiferlerinde depolama
PTES	Büyük sıcak su havuzlarında depolama
Erimiş Tuz Depoları	Yüksek sıcaklıklı termal depolama

Bu sistemlerde yazın depolanan enerji kışın binaların veya şehirlerin ısıtılmasında kullanılabilir.

4. Çevresel Isıdan Elektrik Üretimi Mümkün müdür?

Fiziksel olarak mümkündür.

Ancak termodinamiğin ikinci yasası gereği elektrik üretmek için sıcaklık farkı gerekir.

Maksimum teorik verim Carnot bağıntısı ile belirlenir:

$$\eta = (T_h - T_c)/T_h$$

Örneğin:

- Yaz sıcaklığı = 35 °C
- Yeraltı sıcaklığı = 15 °C

olduğunda teorik verim yalnızca yaklaşık %6,5 olmaktadır.

Bu nedenle çevresel ısıdan elektrik üretmek mümkündür ancak verim sınırlıdır.

5. Güneş Isı Kuleleri

Güneş kuleleri çevredeki sıcaklığı değil, güneş ışınımını kullanır.

Binlerce hareketli ayna güneş ışığını kule tepesindeki alıcıya odaklar.

Sistemin çalışma şekli sırayla:

Güneş Işığı

↓

Heliostat Aynalar

(Heliostat, gün boyunca güneşin hareketini iki eksenle takip ederek, güneş ışınlarını sabit bir noktaya veya hedefe sürekli olarak yansıtan bilgisayar kontrollü akıllı ayna sistemidir)

↓

Merkezi Alıcı

↓

Ergimiş Tuz

↓

Türbin

↓

Elektrik



Bu yöntemle 500–1000 °C sıcaklıklara ulaşılabilir ve enerji saatlerce depolanabilir.

6. Çevresel Isıdan Elektrik Üretme Teknolojileri

Tablo 2. Başlıca teknolojiler

Teknoloji	Prensip	Verim (%)
Termoelektrik Jeneratör	Sıcaklık farkından doğrudan elektrik	3–8
Organik Rankine Çevrimi	Düşük sıcaklıklı buhar türbini	10–25
Stirling Motoru	Sıcak-soğuk gaz çevrimi	20–40
OTEC	Deniz yüzeyi–derin deniz sıcaklık farkı	2–5
Termofotovoltaik Sistem	Isı ışınımından elektrik üretimi	20–50*

*Geliştirme aşamasındaki sistemler.

Uygulama Alanları

- Sıcak asfaltlar
- Şehirlerin ısı adaları
- Güneş kolektörleri
- Veri merkezlerinin atık ısısı
- Endüstriyel atık ısı
- Jeotermal kaynaklar
- Deniz ve göller

7. Gelecekteki Yaklaşım

Araştırmaların önemli bölümü, yazın toplanan enerjinin önce depolanması ve daha sonra kullanılmasına yönelmiştir.

Özellikle:

- kayaç depoları,
- sıcak su depoları,
- ergimiş tuz sistemleri,
- termal bataryalar

geleceğin enerji sistemlerinde önemli görülmektedir.

Enerji mühendisliği açısından çoğu durumda en verimli çözüm, yazın depolanan enerjiyi elektriğe çevirmek yerine doğrudan ısı olarak kullanmaktır. Çünkü ısıdan elektriğe dönüşüm sırasında önemli kayıplar meydana gelmektedir.

Sonuç

Almanya ve Türkiye üzerinde yaz aylarında biriken atmosferik enerji, yüzlerce büyük nükleer reaktörün yıllık üretimine eşdeğer büyüklüktedir. Ancak bu enerji düşük sıcaklıklı ve geniş alanlara yayılmış olduğundan doğrudan elektrik üretiminde kullanılması sınırlıdır. Günümüzde en umut verici yaklaşım, bu enerjinin mevsimsel termal depolama sistemlerinde saklanması ve daha sonra ısıtma veya kısmen elektrik üretimi amacıyla değerlendirilmesidir.

Bu açıklamalardan görüleceği gibi, özellikle “yazın biriken ısıyı kışın kullanma” yaklaşımında en mantıklı çözüm çoğu zaman elektriğe dönüştürmek değil, doğrudan ısı olarak depolayıp bölgesel ısıtma sistemlerinde kullanmaktır. Çünkü ısı → elektrik dönüşümünde genellikle enerjinin %60–90’ı kaybedilebilirken, ısıyı doğrudan depolayıp kullanmak çok daha yüksek toplam verim sağlayabilir. Bu nedenle Almanya, Danimarka ve Hollanda’daki mevsimsel depolama projelerinin çoğu elektrik değil, doğrudan ısı temellidir.

Geleceğe Bakış ve Dünyadaki Büyük Ölçekli Isı Depolama Sistemleri

1. Almanya ve Türkiye İçin Kuramsal Elektrik Üretim Potansiyeli

Önceki hesaplarda yaz aylarında oluşan ilave atmosferik enerji:

Ülke	Isı Enerjisi (TWh)
Almanya	1.190
Türkiye	3.130

olarak bulunmuştu.

Ancak çevresel sıcaklıklardan elektrik üretiminde verim düşüktür. Gerçekçi bir sistem verimi olarak %5 kabul edilirse:

Ülke	Isı Enerjisi (TWh)	Kuramsal Elektrik Potansiyeli (%5)
Almanya	1.190	≈ 60 TWh
	3.130	≈ 157 TWh

Bu değerler bile birçok ülkenin yıllık elektrik tüketiminin önemli bir bölümüne karşılık gelmektedir. Ancak bu enerji günümüzde ekonomik olarak toplanabilir durumda değildir; rakamlar yalnızca kuramsal potansiyeli göstermektedir.

2. Kentlerin Depoladığı Isı (Urban Heat Island)

Büyük kentlerde:

- asfalt yollar,
- beton yapılar,
- çatılar,
- otoparklar,

güneş enerjisini emerek çevre kırsal alanlardan birkaç derece daha sıcak hale gelir.

Bu olaya **Urban Heat Island (Kentsel Isı Adası Etkisi)** denir.

Araştırmalar, büyük kentlerde depolanan enerjinin önemli bir kısmının gece boyunca atmosfere geri verildiğini göstermektedir. Bu nedenle:

- sıcak asfaltlardan enerji toplama,
- yol altı ısı eşanjörleri,
- bina cephelerinden ısı geri kazanımı

üzerine çalışmalar yürütülmektedir.

3. Yapay Zekâ ve Veri Merkezlerinin Atık Isısı

Modern veri merkezlerinde kullanılan elektriğin büyük kısmı sonunda ısıya dönüşür.

Örneğin:

- 100 MW'lık bir veri merkezi,
- yaklaşık 100 MW'lık sürekli ısı kaynağı gibi davranır.

Günümüzde özellikle:

- Danimarka
- İsveç
- Finlandiya

gibi ülkelerde veri merkezi atık ısısının bölgesel ısıtma sistemlerine verilmesi yaygınlaşmaktadır.

Bu yaklaşım, gelecekte yapay zekâ veri merkezlerinin **enerji verimliliğini** önemli ölçüde artırabilir.

4. Isı Depolama mı, Hidrojen mi, Batarya mı?

Enerji depolama teknolojilerinin karşılaştırılması:

Teknoloji	Güçlü Yönü	Zayıf Yönü
Lityum Batarya	Yüksek verim (%85–95)	Uzun süreli depolama pahalı
Hidrojen	Mevsimsel depolama mümkün	Düşük çevrim verimi
Termal Depolama	Çok düşük maliyetli büyük hacimler	Elektriğe dönüşüm verimi düşük
Pompalı Hidroelektrik	Büyük ölçekli depolama	Coğrafi sınırlamalar

Birçok enerji uzmanı gelecekte bu teknolojilerin birbirini tamamlayacağını düşünmektedir.

5. Dünyadaki Önemli Mevsimsel Isı Depolama Tesisleri

Kanada – Drake Landing

Kanada'daki Drake Landing Solar Community projesinde yazın güneş kolektörlerinden elde edilen ısı yeraltındaki 144 sondaj kuyusunda depolanmaktadır. Sistem 52 konutun ısıtma ihtiyacının %90'dan fazlasını güneş enerjisiyle karşılayabilmektedir.

Danimarka – Vojens

Vojens kentindeki mevsimsel ısı depolama tesisi yaklaşık **200.000 m³** hacmindeki dev sıcak su havuzu ile dünyanın en büyük pit thermal energy storage (PTES) sistemlerinden biridir. Güneş enerjisi destekli bölgesel ısıtma sistemine hizmet vermektedir.

Danimarka – Høje Taastrup

Buradaki PTES tesisi yaklaşık:

- 70.000 m³ su hacmi
- 3.300 MWh ısı depolama kapasitesi
- 30 MW şarj/deşarj gücü

ile çalışmaktadır.

Finlandiya – Varanto

Vantaa kentinde inşa edilen **Varanto** sistemi tamamlandığında:

- 1,1 milyon m³ kaya oyuk hacmi
- yaklaşık 90 GWh ısı depolama kapasitesi

ile dünyanın en büyük mevsimsel termal enerji depolarından biri olacaktır.

Almanya

Almanya'da çok sayıda BTES ve PTES sistemi bölgesel ısıtma ağlarıyla birlikte kullanılmaktadır. Son araştırmalar, bu depoların enerji sistem maliyetlerini düşürmede önemli rol oynayabileceğini göstermektedir.

6. Geleceğin Termal Bataryaları

Araştırmalar artık yalnızca sıcak su depolarına değil:

- ergimiş tuzlara,
- yüksek sıcaklıklı seramiklere,
- kayaç depolarına,
- kum bataryalarına,
- termofotovoltaik sistemlere

odaklanmaktadır.

Amaç:

Yazın veya yenilenebilir enerjinin bol olduğu dönemlerde depolanan enerjiyi aylar sonra kullanılabilir hale getirmektir.

Genel Sonuç

Bugün dünyanın en büyük enerji depolama sistemlerinden bazıları artık elektrik bataryaları değil, devasa **ısı depolama tesisleridir**. Özellikle Danimarka, Finlandiya, Almanya ve Kanada'daki projeler, yazın depolanan enerjinin kışın kullanılabileceğini göstermektedir. Her ne kadar çevresel ısıdan doğrudan elektrik üretiminin verimi düşük olsa da, termal depolama teknolojileri enerji dönüşümünün en umut verici alanlarından biri olarak kabul edilmektedir.

İlk sayfa, sağdaki şeklin açıklanması:

A Solar Updraft Tower Power Plant (SUTPP) generates electricity from low temperature solar heat.

Solar radiation heats the air beneath a radial canopy structure (collector), which surrounds the base of a chimney tower. The resulting convection causes a hot air updraft in the tower by thermal buoyancy. This updraft drives wind turbines near the base of the tower, to produce electricity.

Using high-resolution Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis, integrated with shape optimization algorithms, Novel Concepts, Inc. has developed a nine-percent (9%) net efficiency SUTPP design.

The 9% net efficiency SUTPP design depicted above, has an 840 m diameter canopy, and a 200 m high tower. With a peak solar power input of 555 MW, and a 45% efficient wind turbine generator, this SUTPP design generates 50 MW of electricity.

With the solar chimney depicted above, over 300 million cubic meters of air per day flows through the chimney. This enormous volume of air flow has many additional uses including, low level air pollution removal, and direct air capture (DAC), carbon (CO2) capture systems.

Kaynaklar

1. International Energy Agency (IEA), Thermal Energy Storage Reports.
2. IEA Energy Conservation through Energy Storage (ECES) Programme.
3. International Renewable Energy Agency (IRENA), Concentrating Solar Power Reports.
4. U.S. Department of Energy, Concentrating Solar Power Basics.
5. Duffie, J.A. & Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes.
6. Çengel, Y.A. & Boles, M.A., Thermodynamics: An Engineering Approach.
7. Kalogirou, S., Solar Energy Engineering: Processes and Systems.