

Kum Bataryaları Nedir, Dünyada Durum, Türkiye Ne Yapabilir?

İki Finli mühendisin düşüncesinden bugünkü projelere ve lityum bataryayla karşılaştırmaya..

Saygın Kaynaklardan YZ Destekli Bir Araştırma: Hazırlayan: Y.Atakan, ybatakan4@gmail.com, 11.10.2026

Konunun Özeti

İki Finli Mühendisin Kum Kullanım Düşüncesi

İlginç yöntem, Tampere Teknoloji Üniversitesi'nde tanışan iki Finli mühendisin düşüncesiyle başlıyor: **Tommi Eronen** (bugün şirketin CEO'su) ve **Markku Ylönen** (CTO) [1]. İkisi de enerji alanında okuyordu (santral mühendisliği ve uygulamalı mekanik) ve bu düşünce 2011–12 dolayında ortaya çıktı [2]. Sorun şuydu: rüzgâr ve güneş bol olduğunda üretilen aşırı elektrik, kışın karanlık aylarında ısıtma için gerekirdi. İlk akla gelen çözüm büyük bir su tankıydı; sonunda ucuz ve her yerde bulunan **kumda** karar kıldılar [1][2].

İlk küçük denemeyi Eronen'in büyükanne ve büyükbabasının yazlığının bahçesinde yaptılar; işe yarayınca **2018'de Polar Night Energy** şirketini kurdular [1][2]. Şirket adı Finlandiya'nın güneşin hiç doğmadığı "kutup gecesi" döneminden gelir: kurucular, oradaki en karanlık kış için enerji üretilebiliyorsa başka yerlerde de üretilebileceğini düşündüler [1].

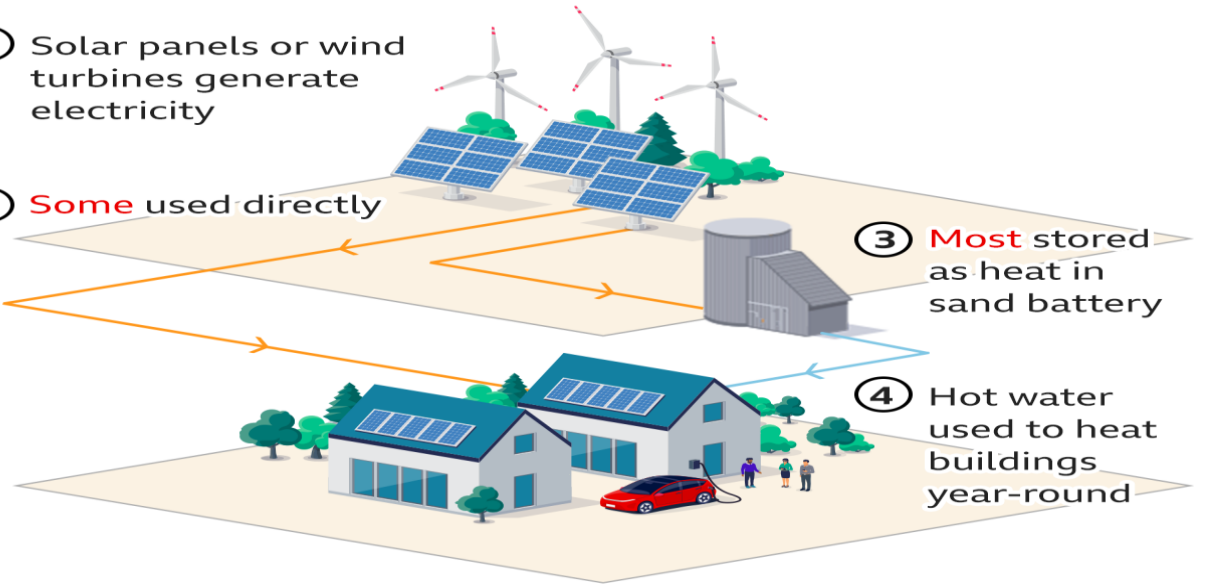
How sand batteries work

① Solar panels or wind turbines generate electricity

② Some used directly

③ Most stored as heat in sand battery

④ Hot water used to heat buildings year-round



B B C

Sand batteries are tall, windowless metal cylinders (often around 13 to 15 meters wide and 13 meters tall for large installations).

Yenilenebilir kaynakların payı arttıkça sorun, yeterince enerji üretmekten çok üretimi talebin zamanına kaydırmaktır. Elektrik depolamanın baskın yöntemi Li-iyon bataryalardır; ancak nihai enerji talebinin büyük bölümü elektrik değil ısıdır. Sanayi proses ısısı bu ısı talebinin önemli bir bölümünü oluşturmakta ve büyük ölçüde fosil yakıtla karşılanmaktadır. Isıyı doğrudan ısı olarak depolamak, elektrik–kimyasal–elektrik dönüşümlerini atlayarak daha ucuz bir yol sunabilir.

Finlandiyalı Polar Night Energy'nin geliştirdiği kum bataryası bu yaklaşımın en görünür örneğidir: rüzgâr ve güneşin bol olduğu saatlerde ucuz elektrik dirençlerle ısıya çevrilir, yalıtımlı bir silodaki kum veya benzeri katı ortamda depolanır ve gerektiğinde bölgesel ısıtma suyuna aktarılır (Şekil 1). Bu yazımız, konuyu güncel ve saygın kaynaklarla değerlendirip Türkiye için çıkarımlar üretmektedir.

Önemli tarihler:

2011–12 Düşünce doğuyor	2018 Şirket kuruluyor	2022 İlk ticari kum bataryası (Kankaanpää)	2025 En büyük tesis (Pornainen)
--------------------------------	---------------------------------	--	---

Kum bataryası nasıl çalışır?

Fazla ve ucuz elektrik, dirençlerle/rezistanslarla (büyük bir ısıtıcı gibi) kapalı havayı ısıtır. Sıcak hava, yalıtımlı bir silodaki kumdan geçerek onu **500–600 °C**'ye kadar ısıtır [2]. Isı günlerce, hatta haftalarca saklanır; gerektiğinde bir ısı değiştiriciyle (eşanjörle) bölgesel ısıtma suyuna veya sanayi buharına aktarılır. Kısaca, kum bataryası **elektrik değil, ısı depolar** (Şekil 1).



Şekil 1. Kum bataryasının çalışma zinciri.

İşin temeli ve kapsamı

Rüzgâr ve güneşin değişken üretimi, depolamayı enerji dönüşümünün merkezî sorunlarından biri hâline getirmiştir. Bu yazımız, fazla elektriği kum, kaya veya tuğlada yüksek sıcaklıklı ısı olarak depolayan “kum bataryası” teknolojisini; fiziksel temelleri, Li-iyon bataryalar ve nükleer enerjiyle ilişkisi, ülkelerdeki kurulu ve planlanan projeler (MW ve MWh) ile Türkiye için uygulanabilir önerilerle incelemektedir. Yazımız, sanayi proses ısısı ve jeotermal bölgesel ısıtmada pilot uygulamalar ile düzenleyici ve Ar-Ge adımlarını önermektedir.

Anahtar sözcükler: termal enerji depolama, kum bataryası, bölgesel ısıtma, proses ısısı, yenilenebilir enerji, Türkiye

TEMEL BULGULAR

1

Isıyı dönüştürür

Teknoloji elektrik depolamadan çok ısı sektörünü (bölgesel ısıtma, sanayi buharı) dönüştürmeye uygundur.

2

Ölçek hâlâ küçük

Tek bir tesisin depolama enerjisi 100–130 MWh düzeyindedir; 250 MWh'lik tesis inşa halindedir.

3

Türkiye'de boşluk var

Depolama politikası fiilen elektrikli bataryaya dayanmakta, ısı depolama için ayrı bir çerçeve bulunmamaktadır.

1. Giriş

Yenilenebilir kaynakların payı arttıkça sorun, yeterince enerji üretmekten çok üretimi talebin zamanına kaydırmaktır. Elektrik depolamanın baskın yöntemi Li-iyon bataryalardır; ancak nihai enerji talebinin büyük bölümü elektrik değil ısı enerjisidir. Sanayi proses ısısı bu ısı talebinin önemli bir bölümünü oluşturmakta ve büyük ölçüde fosil yakıtla karşılanmaktadır. **Isıyı doğrudan ısı olarak depolamak, elektrik–kimyasal–elektrik dönüşümlerini atlayarak daha ucuz bir yol sunabilir.**

Finlandiyalı Polar Night Energy'nin geliştirdiği kum bataryası bu yaklaşımın en görünür örneğidir: rüzgâr ve güneşin bol olduğu saatlerde ucuz elektrik dirençlerle ısıya çevrilir, yalıtımlı bir silodaki kum veya benzeri katı ortamda depolanır ve gerektiğinde bölgesel ısıtma suyuna aktarılır (Şekil 1). Bu yazımız, konuyu güncel ve saygın kaynaklarla değerlendirip Türkiye için çıkarımlar üretmektedir.

Kum bataryasının çalışma zinciri



Şekil 1. Kum bataryasının şematik çalışma zinciri: ucuz elektrik ısıya çevrilir, yalıtımlı silodaki katı ortamda depolanır ve eşanjörle bölgesel ısıtmaya veya sanayi buharına aktarılır.

2. Teknolojik Temelin Ayrıntıları

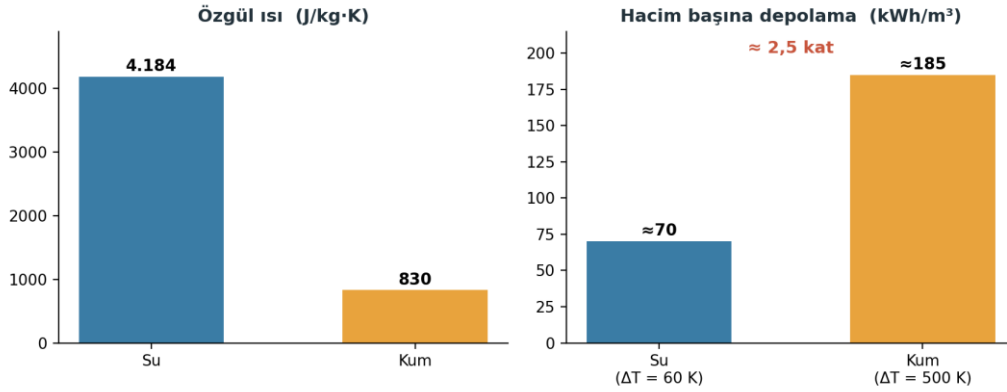
2.1 Özgül ısı ve enerji yoğunluğu

Özgül ısı (ısıtma ısısı), 1 kg maddenin sıcaklığını 1 K (1 °C) artırmak için gereken ısıdır; birimi J/(kg·K)'dir. Depolanan enerji aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır:

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

Burada Q: alınan ya da verilen ısı enerjisi miktarı (Joule), m: maddenin toplam kütlesi (kg) veya gram, c: özgül ısı miktarı (J/Kg °C, ΔT sıcaklık farkı

Suyun özgül ısı yaklaşık 4184, kumun yaklaşık 830 J/(kg·K)'dir; yani kütle başına su, kumdan yaklaşık beş kat fazla ısı tutar. Kumun üstünlüğü, 100 °C'de kaynayan ve basınçlanan suyun aksine 500–1000 °C'ye kadar ısıtılabilmesinde yatar. Örnek hesap (kum yığını yoğunluğu 1600 kg/m³ varsayımıyla): 500 K'lık sıcaklık farkında 1 ton kum yaklaşık 115 kWh, 1 m³ kum yaklaşık 185 kWh enerji depolar; 60 K'lık farkla çalışan 1 m³ su ise yaklaşık 70 kWh depolar. **Hacim bazında kum bu nedenle yaklaşık 2,5 kat avantajlıdır** (Şekil 2). Gerçek tesislerde değer daha düşüktür: Pornainen'de yaklaşık 2000 ton ezilmiş sabuntaşı 100 MWh depolamaktadır [1], yani yaklaşık 50 kWh/ton.



Şekil 2. Su ve kumun karşılaştırılması: kütle başına su daha fazla ısı tutar, ancak kum çok yüksek sıcaklığa çıkabildiği için hacim başına yaklaşık 2,5 kat daha fazla enerji depolar.

2.2 Isı kaybı ve “mevsimsel” depolama

Silonun ısı kaybı dış yüzeyle, depolanan ısı ise hacimle orantılıdır. Boyutlar 10 kat büyürse yüzey/hacim oranı 10 kat düşer; bu nedenle büyük tesisler küçüklerden görece olarak çok daha az ısı kaybeder. Kum tanelerinin arasındaki hava boşlukları kumu zayıf bir iletken yapar; dış çeper ayrıca taş yünü, seramik elyaf veya aerojel gibi yalıtımlarla kaplanır. Bekleme döneminde akışkan dolaşımının durdurulması konveksiyon kaybını sınırlar.

Önemli nüans: bugün işletmedeki en büyük tesis olan Pornainen, yaz aylarında yaklaşık bir aylık, kışın yaklaşık bir haftalık ısı talebini karşılayacak büyüklüktedir ve tam şarjı yaklaşık 100 saat sürmektedir; ısıdan ısıya çevrim verimi %80–90 aralığında bildirilmiştir [1][2]. Bu, “hafta–ay ölçeğinde” depolamadır. Yazdan kışa gerçek mevsimsel depolama bugün esas olarak Danimarka'daki su havuzlu sistemlerle yapılmaktadır (Bölüm 4); kum bataryası için mevsimsel kullanım bir tasarım hedefidir, kanıtlanmış ticari uygulama değildir.

3. Karşılaştırmalı Değerlendirme

3.1 Li-iyon bataryalarıyla karşılaştırma

İki teknoloji rakip değil, farklı işlerin aracıdır. Li-iyon, saniyelerden birkaç saate kadar elektrik hizmetlerinde ve ulaşımında üstündür. Kum bataryası ise elektriği ısı olarak depolar ve ısıyı ısı olarak teslim eder; elektriğe geri dönüşüm verimi düşüktür. Siemens Gamesa'nın Hamburg pilotunda ısıdan elektriğe dönüşüm verimi %45 olarak öngörülmüştür [3]. Dolayısıyla “kWh başına maliyet” karşılaştırması yalnızca aynı hizmet için anlamlıdır. Ayrıca Li-iyon fiyatları hızla düşmüştür: BloombergNEF'e göre 2025'te ortalama batarya paketi fiyatı 108 \$/kWh, sabit depolama paketi 70 \$/kWh, anahtar teslim sistem fiyatı küresel ortalamada 117

\$/kWh'dir (Çin'de 73, Avrupa'da 177, ABD'de 219 \$/kWh) [4]. Kum bataryası için sektörde dolaşan 2–15 \$/kWh değerleri şirket beyanıdır ve bu çalışmada bağımsız olarak doğrulanamamıştır.

Tablo 1. Kum / katı ortamlı ısı bataryası ile Li-iyon bataryanın karşılaştırması

Ölçüt	Kum / katı ortamlı ısı bataryası	Li-iyon (LFP) batarya
Depolanan form	Yüksek sıcaklıklı ısı	Elektrik (kimyasal)
Tipik süre	Saat–hafta (ay hedefi)	Saniye–birkaç saat
Çıktı	Isı, buhar; elektrik düşük verimle	Elektrik
Verim	Isı→ısı %80–90 (Pornainen) [2]; Rondo tuğla sistemi %97'nin üzerinde (üretici beyanı) [5]	Yüksek çevrim verimi, çıktı elektrik
2025 fiyat referansı	Bağımsız doğrulanmış açık veri sınırlı	70–117 \$/kWh (paket–sistem) [4]
Yaşlanma	Fiziksel prensip; uzun ömür beklentisi, uzun vadeli saha verisi sınırlı	Çevrimle kapasite kaybı

3.2 Nükleer enerjiyle ilişki

Nükleer santral kesintisiz baz yük elektrik üretir; kum bataryası elektrik üretmez, şebekedeki ucuz fazla elektriği ısıya çevirerek talebi esnekleştirir. Bu nedenle ilişki rekabet değil **tamamlayıcılıktır**: elektriği doğrudan ısıya çeviren yük, baz yük ve değişken yenilenebilirlerle uyumlu çalışabilir. Pornainen tesisi, Fingrid'in rezerv piyasası sinyallerine ve elektrik fiyatlarına göre şarj olabilmekte, yani şebekeye esneklik sağlamaktadır [1].

4. Dünyadaki Benzer Çalışmalar ve Patent Durumu

4.1 İki Finli mühendisin katkısı

Tampere Teknoloji Üniversitesi'nde tanışan **Tommi Eronen** ve **Markku Ylönen**, kum bataryası düşüncesini ticari bir ürüne dönüştüren iki Finli mühendistir [1][2]. **Katkıları, kumun ısıyı tutabildiğini ilk fark etmek değil; elektrik direnciyle ısıtılan, yalıtımlı bir silodaki katı ortamı kapalı bir gaz döngüsüyle şarj ve deşarj eden, bölgesel ısıtmaya bağlanabilen bir sistemi tasarlayıp ticarileştirmeleridir.** İlk ticari ünite 2022'de Kankaanpää'da, bugüne kadarki en büyük tesis ise 2025'te Pornainen'de devreye alınmıştır [1][2].

4.2 Yöntem dünyada ilk değildir

Katı ortamda ısı depolama kavramı yeni değildir: ısıyı taş, tuğla veya seramik gibi katı maddelerde tutmak, yüksek fırın hava ısıtıcılarından (rejeneratörler) elektrikli gece ısıtıcılarına uzanan uzun bir mühendislik geçmişine sahiptir. Yakın tarihli örnekler de Finlandiya'dan önce veya paralel olarak ortaya çıkmıştır: **Siemens Gamesa**, 2019'da Hamburg-Altenwerder'de yaklaşık 1.000 ton volkanik kayada 130 MWh ısı enerjisi depolayan ETES pilotunu işletmeye almıştır [3]; ABD'de **Rondo Energy** refrakter tuğla tabanlı ısı bataryasını sanayi ölçeğinde çalıştırmaktadır [5]. **Dolayısıyla kum bataryasının özgünlüğü “katıda ısı depolamak” değil, kum gibi ucuz ve bol bir ortamın direnç ısıtıcıları ve kapalı gaz döngüsüyle birleştirilerek bölgesel ısıtmaya uygun, ölçeklenebilir bir sistem hâline getirilmesindedir.**

4.3 Patent sahipleri kimler?

İki Finli mühendisin patenti var mı? Evet. Ancak patent, bu iki kişinin şahsı adına değil, birlikte kurdukları **Polar Night Energy Oy** şirketi adına kayıtlıdır; Eronen ve Ylönen buluş yapan (inventor) olarak yer almaktadır. Finlandiya patenti (FI 128161 B, “Isıyı depolamak ve aktarmak için bir sistem ve yöntem”) 12 Mart 2019’da başvurulmuş ve 29 Kasım 2019’da verilmiştir; aynı aile için Avrupa (EP 3938726), Kanada (CA 3132793) ve Çin (CN 113557406) başvuruları yapılmış, ABD patenti (US 12,104,855 B2) 1 Ekim 2024’te verilmiştir [6]. Korumanın merkezinde elektrik direnci, katı depolama modülü ve kapalı gaz döngüsü ya da termosifon tipi ısı aktarım mekanizması bulunur; depolama ortamı olarak kum, ana kaya ve çakıl gibi malzemeler sayılmıştır [6]. **Yani patent “kumun kendisini” değil, ısıyı depoya taşıyan ve depodan çıkaran sistemi korumaktadır.**

Aynı alanda başka patent sahipleri de vardır (Tablo 2): ABD’de refrakter tuğla yaklaşımı için Rondo Energy, kayada depolayıp elektriğe dönüştüren ETES yaklaşımı için Siemens Gamesa. Patentler ülke bazlıdır; Polar Night Energy ailesinin Türkiye’deki durumu (özellikle EP başvurusunun Türkiye’de geçerli kılınıp kılınmadığı) TÜRKPATENT kayıtlarından ayrıca kontrol edilmelidir.

Tablo 2. Kum, tuğla ve kaya tabanlı ısı bataryalarında başlıca patent / teknoloji sahipleri

Patent / teknoloji sahibi	Ülke	Teknoloji	Patent durumu
Polar Night Energy Oy (mucitler: Tommi Eronen, Markku Ylönen)	Finlandiya	Kum veya benzeri katı ortam; elektrik direnci; kapalı gaz döngüsü veya termosifon ile ısı aktarımı	FI 128161 B (başvuru 12.03.2019, verildi 29.11.2019); US 12,104,855 B2 (verildi 01.10.2024); EP 3938726, CA 3132793 ve CN 113557406 başvuruları [6]
Rondo Energy, Inc.	ABD	Refrakter tuğla ısı bataryası; sanayi buharı ve ısıdan elektrik [5]	Şirket adına çok sayıda ABD patenti (ör. US 11,603,776 B2; US 12,291,982 B2; US 12,435,648 B1) [6]
Siemens Gamesa Renewable Energy	İspanya / Almanya	ETES: volkanik kaya, ısıdan elektriğe dönüşüm [3]	Katı dolgulu (taş/çakıl) ısı depoları için Siemens grubu adına Avrupa ve ABD patent aileleri vardır; belirli numaraların hak sahibi bu çalışmada ayrıca doğrulanmamıştır

Not: Tablo, kum, tuğla ve kaya tabanlı ana örnekleri kapsar; tuz, karbon bloğu veya beton gibi diğer ortamlar için çalışan şirketlerin patent portföyleri dışarıda bırakılmıştır. Patent numaraları ve hak sahipliği, ticari kullanım veya yerli üretim kararından önce Espacenet, Google Patents ve TÜRKPATENT’te yeniden doğrulanmalıdır.

4.4 Ükelere göre başlıca projeler

Tablo 3, kum, kaya, tuğla ve su gibi ortamlarda işletmedeki ve planlanan başlıca yüksek sıcaklıklı veya büyük ölçekli ısı depolama projelerini ülkelere göre göstermektedir. Burada **MW**, tesisin anlık ısı çıkış **gücünü** (ne kadar hızlı ısı verebildiğini); **MWh** ise depolanan toplam ısı **enerjiyi** (ne kadar ısı tutabildiğini) gösterir. MWh bir üretim değil, depo büyüklüğüdür. İkisinin oranı ($MWh \div MW$) tesisin tam güçte çalışabileceği süreyi (saat) verir.

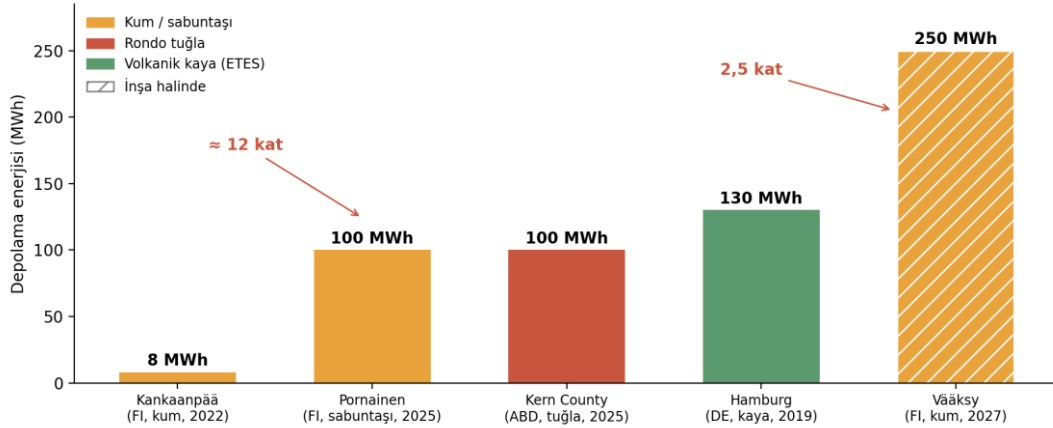
Tablo 3. Ükelere göre başlıca termal depolama projeleri

Ülke	Proje / teknoloji	Güç (MW)	Depolanabilecek maks. Enerji (MWh)	Süre (saat)†	Durum
Finlandiya	Kankaanpää – kum [1]	0,1	8	≈80	İşletmede (2022)
Finlandiya	Pornainen – ezilmiş sabuntaşı [1]	1	100	≈100	İşletmede (2025)

Ülke	Proje / teknoloji	Güç (MW)	Depolanabilecek maks. Enerji (MWh)	Süre (saat)†	Durum
Finlandiya	Vääksy (Asikkala) – kum [2]	2	250	≈125	İnşaatta; 2027 yazı
ABD	Kern County – Rondo tuğla bataryası [5]	7	100	≈14	İşletmede (2025)
Almanya	Hamburg-Altenwerder – Siemens Gamesa ETES, volkanik kaya [3]	1,4 (elektrik)	130	–	Pilot (2019)
Danimarka	Vojens, Gram, Dronninglund – su havuzlu mevsimsel depo [7]	–	≈4.000–14.000*	–	İşletmede
İspanya	CSP erimiş tuz depoları [8]	–	≈7.000	–	İşletmede (2019 verisi)
ABD	CSP erimiş tuz depoları [8]	–	≈4.000	–	İşletmede (2019 verisi)
Güney Afrika	CSP erimiş tuz depoları [8]	–	≈4.000	–	İşletmede (2019 verisi)

*Danimarka için kaynaklar hacim verir (60.000–200.000 m³) [7]; MWh değeri, yaklaşık 60 K sıcaklık farkı varsayımıyla yazarın hesapladığı tahmindir. †Süre = MWh ÷ MW olarak hesaplanmıştır (tam güçte boşalma süresi); Hamburg'da çıkış gücü elektriktir ve ısı gücü verilmediği için süre hesaplanmamıştır.

Finlandiya'nın işletmedeki toplamı yaklaşık 1,1 MW güç ve 108 MWh depolama enerjisidir; Vääksy tamamlandığında yaklaşık 3,1 MW ve 358 MWh'e çıkacaktır. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'na (IRENA) göre 2019'da dünyadaki işletmedeki toplam termal depolama enerjisi yaklaşık 234 GWh'dir: 198 GWh ısıtma, 14 GWh soğutma, 21 GWh elektrik üretimi (CSP) uygulamalarında; 2030'da 800 GWh'in üzerine çıkması beklenmektedir [8]. Bu karşılaştırmada Finlandiya'daki kum bataryalarının toplamı (0,108 GWh) 2019 tabanının yaklaşık on binde beşidir: **kum bataryası bugün umut vadeden ama çok küçük bir segmenttir**. Referans olarak, küresel batarya depolama 267 GW güce ve 610 GWh enerjiye ulaşmıştır [9].



Şekil 3. Tek tesis ölçeğinde depolama enerjisi (MWh). Kankaanpää'dan Pornainen'e yaklaşık 12 kat, Pornainen'den Vääksy'ye 2,5 kat büyüme vardır.

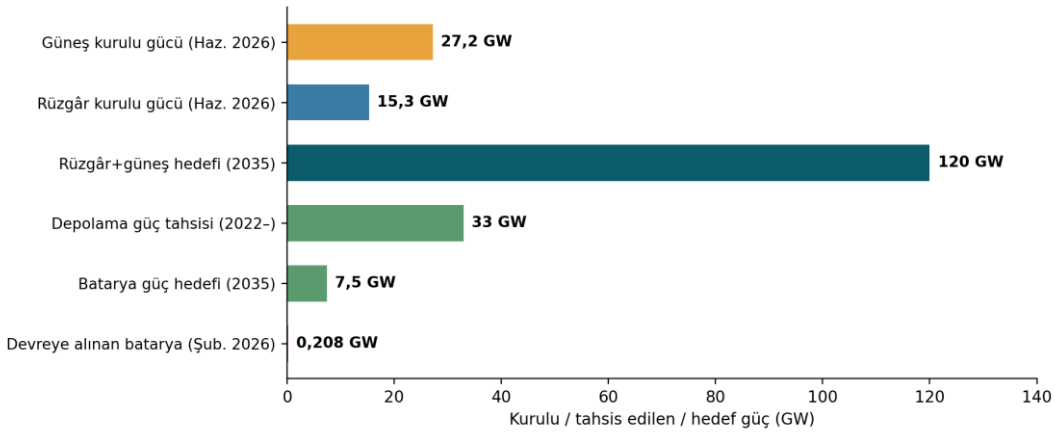
Ülke katkıları açısından tablo şöyle özetlenebilir: kum bataryasında öncü **Finlandiya**; yüksek sıcaklıklı sanayi ısı bataryasında **ABD**; kayada depolayıp elektrığe dönüştürme pilotunda **Almanya**; mevsimsel su havuzlarında **Danimarka**; erimiş tuzda ise **İspanya, ABD ve Güney Afrika**'dır.

5. Türkiye İçin Neler Yapılabilir?

5.1 Mevcut durum

Haziran 2026 itibarıyla Türkiye'nin hidroelektrik kurulu gücü 32,3 GW, güneş 27,2 GW ve rüzgâr 15,3 GW'tır [10]. Rüzgâr ve güneşin elektrik üretimindeki payı 2025'te yaklaşık %22'ye ulaşmış, 2035 için bu iki kaynakta toplam 120 GW hedeflenmiştir; bu da yılda yaklaşık 8 GW yeni kurulum demektir [9]. 2022'den itibaren depolamalı rüzgâr ve güneş santrallerine tahsis edilen batarya gücü 33 GW'a (toplam 37 GWh enerji) ulaşmıştır; ancak Şubat 2026'da devreye alınan yalnızca 0,208 MW güçtür, yatırımcılar bir saatlik depolamayı tercih etmekte, 2035 hedefi ise iki saat süreli 7,5 GW güçtür (yaklaşık 15 GWh enerjiye karşılık gelir); en önemli engel izin süreçleridir [9].

Dikkat çekici nokta: bu çerçevenin tamamı elektrikli bataryaya dayanmaktadır; ısı depolamaya yönelik benzer bir teşvik veya kapasite tahsisi mekanizması bu çalışmada tespit edilmemiştir.



Şekil 4. Türkiye'de rüzgâr ve güneş kurulu gücü, depolama güç tahsisi, 2035 hedefi ve devreye alınan batarya gücü (tümü GW cinsinden güç). Tahsis ile devreye alma arasındaki açık, izin ve yatırım süreçlerinin darboğaz olduğunu göstermektedir.

5.2 Öneriler

1

Sanayide proses ısısı pilotu (öncelikli)

ABD'deki 100 MWh enerjili (7 MW güçlü) Rondo sistemi, 20 MW'lık bir güneş sahasıyla şarj olarak doğalgaz kazanının buharını ikame etmektedir [5]. **Türkiye'de gıda, tekstil, kâğıt ve seramik gibi buhar ve sıcak hava kullanan organize sanayi bölgelerinde, güneş santraliyle eşleştirilmiş 1–5 MW ve 20–100 MWh ölçekli bir ısı bataryası pilotu önerilir.** Ember, 28 Şubat 2026'da başlayan küresel fosil yakıt krizinin doğalgaz fiyatlarını yükselttiğini belirtmektedir [9]; bu, gaz ikamesinin ekonomisini güçlendirir.

2

Düzenleyici çerçeve

Depolama için kapasite ayrılması, izin ve teşvik mekanizmalarının ısı depolamayı (elektrikten ısıya çeviren ve şebeke esnekliği sağlayan sistemler dâhil) kapsayacak biçimde genişletilmesi değerlendirilmelidir. İzin süreçleri depolamalı projelerin başlıca darboğazı olduğundan [9], ısı depolama için sadeleştirilmiş bir izin yolu ve ölçüm esaslı bir çevrim verimi tanımı yararlı olacaktır.

3	Jeotermal bölgesel ısıtma ile ısı depolama Türkiye'nin jeotermal bölgesel ısıtmada önemli bir deneyimi vardır. Bu sistemlere eklenecek tank veya havuz tipi depolar zirve talebi karşılayıp yedek gaz kazanı ihtiyacını azaltabilir. Danimarka deneyiminde büyük ölçekli havuz depolamanın birim maliyeti yaklaşık 30–38 €/m³ ölçeğindedir ve işletme verimi %90'ın üzerine çıkabilmiştir [7]. Fazla güneş elektriğiyle çalışan elektrikli ısıtıcılar bu depolara destek olabilir.
4	Yerel ve atık malzemelerin kullanımı Pornainen'de ısı deposu ortamı olarak yerel bir sanayinin yan ürünü olan sabuntaşı kullanılmıştır [1]. Türkiye'nin taş ocağı, mermer işleme ve bazalt kaynaklı atıkları ile silis kumu, benzer biçimde aday depolama ortamıdır; ısı çevrim dayanımı, ısı iletkenliği ve toz oluşumu bakımından laboratuvar testleri yapılmalıdır (araştırma önerisi).
5	Şebeke esnekliği için talep tarafı depolama Rüzgâr ve güneş payı arttıkça gün ortası fazlası ve fiyat dalgalanması büyüyecektir. Elektrikli kazan ve ısı bataryaları, fiyat veya dengeleme sinyaline göre şarj olan esnek yük olarak kullanılabilir; Pornainen örneği bunun rezerv piyasasında mümkün olduğunu göstermektedir [1]. Türkiye'de kırılma ve negatif/düşük fiyat saatlerine ilişkin sistem işletmecisi verileriyle, hangi bölgelerde ısı yükün en çok değer yaratacağı belirlenmelidir.
6	Ar-Ge, standartlaşma ve insan kaynağı Üniversitelerin ve TÜBİTAK'ın güneş ve ısı enerji araştırma altyapıları, 1 MWh–10 MWh ölçekli test sahalarına dönüştürülebilir. Ortak bir ölçüm protokolü (çevrim verimi, bekleme kaybı, binlerce çevrim sonrası performans) hem yatırımcı güvenini artırır hem de uzun dönem saha verisi eksikliğini giderir.

5.3 Önerilen yol haritası

Tablo 4. Önerilen aşamalı yol haritası

Dönem	Eylem	Çıktı
0–2 yıl	Malzeme testleri; 1 OSB'de fizibilite; izin ve tarife çerçevesi taslağı	Teknik-ekonomik fizibilite
2–5 yıl	1–5 MW / 20–100 MWh sanayi pilotu; 1 jeotermal ısıtma sahasında depo pilotu	Ölçülmüş verim ve maliyet verisi
5–10 yıl	Pilot sonuçlarına göre ölçeklendirme; yerli üretim ve mühendislik kapasitesi	Ticari ölçek ve ihracat potansiyeli

5.4 Riskler ve sınırlar

- **Verim sınırı:** Isıdan elektriğe dönüşümün verimi düşüktür; teknoloji elektrik şebekesi hizmetlerinde Li-iyonun yerine değil, ısı talebinin olduğu yerde onun yanında konumlanmalıdır.
- **Talep coğrafyası:** Isı talebinin coğrafyası ve zamanı (özellikle güney bölgelerdeki daha az mevsimsel talep) fizibiliteyi belirler.
- **Kanıt eksikliği:** Dünyadaki tek tesisin depolama enerjisi hâlâ 100–130 MWh düzeyinde olduğundan, maliyet ve ömür iddiaları Türkiye koşullarında pilotla doğrulanmalıdır.

- **Patent ve lisans:** Patentler ülke bazlıdır; Polar Night Energy ve Rondo Energy gibi hak sahipleri Türkiye’de pilot veya yerli üretim için lisans ya da ortaklık gerektirebilir. Uygulama öncesinde TÜRKPATENT ve Espacenet taraması ile serbest işletim (FTO) incelemesi yapılmalıdır.

6. Sonuç

Kum bataryası ve benzeri katı ortamlı ısı bataryaları, elektrik depolamanın değil ısıyı dekarbonize etmenin aracıdır. **Dünyada işletmedeki en büyük tesislerin depolama enerjisi 100–130 MWh ölçeğindedir ve bütün bir ülke ölçeğinde henüz küçük bir paya sahiptir;** buna karşın sanayi ısısı ve bölgesel ısıtma için maliyet düşürme potansiyeli yüksektir. Türkiye, hızla büyüyen güneş ve rüzgâr kapasitesi, jeotermal ısıtma tecrübesi ve gaz ithalatına duyarlılığıyla bu teknolojiyi denemek için elverişli bir konumdadır. Elektrikli batarya merkezli depolama politikasının ısı depolamayı da kapsayacak biçimde genişletilmesi ve pilot projelerle ölçülmüş veri üretilmesi, ilk adım olarak önerilir.

Kaynakça

- [1] pv magazine (11 Haz. 2025). *World's largest 1 MW/100 MWh sand battery commissioned in Finland*. <https://www.pv-magazine.com/2025/06/11/worlds-largest-1-mw-100-mwh-sand-battery-commissioned-in-finland/> ★ ana kaynak
- [2] bne IntelliNews (2026). *World's largest sand battery survives its worst winter, ready for roll out*. <https://www.intellinews.com/world-s-largest-sand-battery-survives-its-worst-winter-ready-for-roll-out-440627/>
- [3] NS Energy. *Hamburg-Altenwerder ETES demonstration project*. <https://www.nsenergybusiness.com/?p=226386>
- [4] BloombergNEF (Aralık 2025). *New Record Lows for Battery Prices*. <https://about.bnef.com/insights/clean-energy/new-record-lows-for-battery-prices/>
- [5] ESS News (20 Eki. 2025). *Rondo Energy's 100 MWh solar-powered heat battery now operational*. <https://www.ess-news.com/2025/10/20/rondo-energys-100-mwh-solar-powered-heat-battery-now-operational/>
- [6] Patent kayıtları. Polar Night Energy Oy: FI 128161 B (Google Patents) ve US 12,104,855 B2 (Justia); Rondo Energy, Inc.: US 11,603,776 B2 ile ilgili aile, US 12,435,648 B1 ve US 12,291,982 B2 (USPTO Official Gazette). <https://patents.google.com/patent/FI128161B/en> <https://patents.justia.com/assignee/polar-night-energy-oy> <https://patentsgazette.uspto.gov/week40/OG/html/1539-1/US12435648-20251007.html> <https://patentsgazette.uspto.gov/week18/OG/html/1534-1/US12291982-20250506.html>
- [7] Solar Thermal World. *Seasonal pit heat storage: Cost benchmark of 30 EUR/m³*. <https://www.solarthermalworld.org/news/seasonal-pit-heat-storage-cost-benchmark-30-eurm3>
- [8] IRENA (2020). *Innovation Outlook: Thermal Energy Storage*. <https://www.irena.org/Publications/2020/Nov/Innovation-outlook-Thermal-energy-storage> ★ ana kaynak
- [9] Ember (8 Nis. 2026). *Türkiye Elektrik Görünümü 2026* (Rüzgâr ve Güneş; Depolama; Politika Önerileri bölümleri). <https://ember-energy.org/tr/analizler/turkiye-elektrik-gorunumu-2026/>
- [10] Gazete (18 Ağu. 2026). *Türkiye'nin yeni enerji liderleri belli oldu* (Haziran 2026 kurulu güç verileri). <https://www.gzt.com/ekonomi/turkiyenin-yeni-enerji-liderleri-belli-oldu-gunes-ve-ruzgarin-gucu-ekonomiye-yansidi-4252382>