

OZMOTİK ENERJİNİN BUGÜNÜ VE GELECEĞİ?

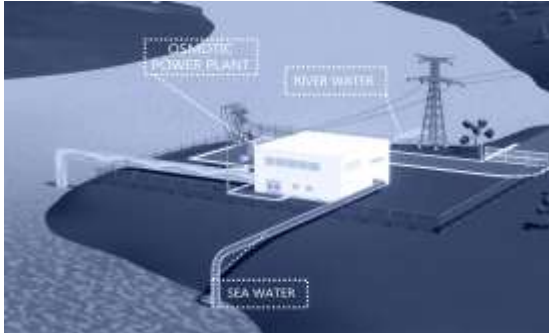
Hazırlayan : Yüksel Atakan Dr. Radyasyon Fizikçisi ybatakan4@gmail.com 15.06.2026 (YZ destekli bilgiler) 2/1/

Özet

Bu rapor, ozmotik enerjinin (mavi enerji) güncel kullanım durumunu ve ticari olgunluk düzeyini akademik bir perspektiften değerlendirmektedir. Başlıca bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- Teknolojik Olgunluk: PRO ve RED yöntemleri artık laboratuvar aşamasını aşmış; Fransa (Sweetech Energy / OsmoRhône) ve Japonya (Fukuoka) pilot tesisleri gerçek dünya uygulamalarını başarıyla sürdürmektedir.
- Membran Atılımı: INOD nanomembranları, enerji yoğunluğunu 1 W/m²'den 20–25 W/m²'ye taşıyarak onlarca yıllık verimlilik engelini kırmıştır.
- Küresel Potansiyel: Yılda 5.177 TWh üretim potansiyeliyle küresel elektrik talebinin ~%20'sini karşılayabilecek ölçekte bir kaynak mevcuttur.
- Temel Engeller: Membran kirlenme sorunu, pompalama kayıpları, ölçeklendirme maliyeti ve mevzuat belirsizliği hâlâ aşılması gereken başlıca güçlüklerdir.
- Politika Fırsatı: Deniz suyu arıtma tesislerine entegrasyon, en hızlı ticari yol haritasını sunmakta; 2030 itibarıyla 100 €/MWh maliyet hedefi rekabetçi görünmektedir.

Ozmotik enerji, tatlı su ile tuzlu su arasındaki tuzluluk gradyanından elektrik üretimini sağlayan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. "Mavi enerji" olarak da bilinen bu teknoloji, 1970'li yıllarda kavramsal olarak ortaya çıkmış; ancak yüksek maliyet ve düşük membran verimliliği nedeniyle yıllarca sınırlı kalmıştır. Son yıllarda nanoakışkanlık ve membran tasarımıındaki atılımlar teknolojinin ticarileşme ufkunu önemli ölçüde genişletmiştir. Fransa'daki Sweetech Energy ve Japonya'daki Fukuoka tesisi başta olmak üzere pilot projeler, ozmotik enerjinin kıyı bölgelerinde güvenilir, karbonsuz ve 7/24 elektrik üretme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Bu rapor, ozmotik enerjinin mevcut teknolojik durumunu, pilot projeleri, karbon ayak izi açısından sağladığı avantajları, çözülmesi gereken güçlükleri ve küresel enerji karışımındaki olası rolünü kapsamlı bir akademik perspektiften ele almaktadır.



1. Giriş

Fosil yakıtlardan kaynaklı iklim değişikliği, küresel enerji sistemini daha sürdürülebilir alternatiflere yönlendirme baskısını artırmaktadır. Güneş ve rüzgar enerjisi bu dönüşümde öncü rol üstlense de her ikisi de iklim koşullarına bağlı kesintili kaynaklar olmaya devam etmektedir. Bu bağlamda, ozmotik enerji — ya da mavi enerji — günışığına ya da rüzgâra bağımlı olmaksızın 7/24 üretim kapasitesi sunmasıyla dikkat çekici bir alternatif konumuna gelmektedir.

Tatlı suyun nehirlerden okyanusa karıştığı noktada açığa çıkan ve aksi hâlde dağılarak kaybolan bu enerji, yarı geçirgen membranlar aracılığıyla elektriğe dönüştürülebilmektedir. Dünya Ekonomik Forumu'nun 2025 yılında yayımladığı bir rapora göre ozmotik enerji, takip edilmesi

gereken 10 yükselen teknoloji arasında gösterilmektedir. Tahminler ise bu kaynağın yılda yaklaşık 5.177 terawatt-saat (TWh) elektrik üretme potansiyeline — yani küresel elektrik talebinin yaklaşık beşte birine — karşılık geldiğine işaret etmektedir [6].

2. Kuramsal Arka Plan

2.1 Osmoz Prensibi

Osmoz, bir çözücünün düşük çözünen konsantrasyonlu bölgeden yüksek çözünen konsantrasyonlu bölgeye yarı geçirgen bir membran üzerinden kendiliğinden geçişidir. Tuzlu su ile tatlı suyun buluştuğu noktalarda, iyonlar denge arayışıyla az tuzlu taraftan, tuzlu tarafa doğru göç eder; bu hareket, membran üzerinde bir basınç farkı oluşturur ve söz konusu fark türbinler aracılığıyla elektriğe dönüştürülebilir [1]. Süreç, "nehirler ile okyanusların buluştuğu noktada durmaksızın yaşanan sessiz bir yıldırım" olarak betimlenmiştir [10].

2.2 Başlıca Dönüştürme Teknolojileri

Ozmotik enerji üretiminde iki temel teknoloji öne çıkmaktadır:

- Basınç Gecikmeli Osmoz (PRO – Pressure Retarded Osmosis): Tatlı su, basınçlı tuzlu su akımı içine geçirilerek bir basınç artışı sağlanır; bu basınç farkı türbinle elektriğe dönüştürülür. Japonya'daki Fukuoka tesisi bu yöntemi kullanmaktadır [3, 12].
- Tersine Elektrodializ (RED – Reverse Electrodialysis): İyonik akım oluşturmak için çözeltileri birbirinden ayıran ardışık anyonik ve katyonik membranlar kullanılarak doğrudan elektrik üretimi sağlanır. Sweetch Energy'nin INOD teknolojisi bu prensibe dayanmaktadır [1, 11].

Tablo 2: PRO ve RED teknolojilerinin karşılaştırmalı analizi

Kriter	PRO (Basınç Gecikmeli Osmoz)	RED (Tersine Elektrodializ)
Çalışma Prensibi	Tatlı suyu basınçlı tuzlu su akımına geçirir; basınç farkı türbini döndürür.	İyon seçici membranlar üzerinden iyon akışı; doğrudan elektrik üretir.
Enerji Çıkışı	Yüksek debi gerektiren büyük ölçek için uygundur.	Orta-büyük ölçek; düşük debide de verimli çalışır.
Anahtar Girdi	Tatlı su + deniz suyu veya tuzlu salamura.	Her türlü tuzluluk farkı (jeotermal dahil).
Güncel Uygulama	Japonya – Fukuoka (2025)	Fransa – Sweetch Energy OPUS-1 (2024)
Başlıca Zorluk	Membran kirlenme ve yüksek pompalama kayıpları.	Yüksek membran maliyeti; nanoteknoloji ile hızla düşmekte.
Referans	[3, 4, 12]	[1, 10, 11]

Kaynak: Yazarların [3, 4, 10, 11, 12] temel alınarak derlemesi.

3. Tarihsel Gelişim ve Pilot Projeler

Ozmotik enerjinin ticari uygulamaya taşınması onlarca yıllık bir sürecin ürünüdür. Bu süreç, sınırlı başarıların yanı sıra bazı kritik aksaklıkları da barındırmaktadır:

Yıl	Gelişme	Açıklama	Kaynak
1970'ler	Kavramsal Başlangıç	Prof. Sidney Loeb, PRO kavramını ilk kez önerdi.	ScienceDirect [3]
2009	Statkraft Prototipi	Norveç, 2–4 kW kapasiteli bir prototip kurdu; enerji kayıplarını ölçerek belgeledi.	ScienceDirect [4, 12]
2013	Statkraft Durdu	Ekonomik fizibilite kaygıları ve düşük verimlilik gerekçesiyle yatırımlar askıya alındı.	Earth.Org [10]

Yıl	Gelişme	Açıklama	Kaynak
2014	Redstack Göstericisi	Hollanda'da bir set üzerinde küçük ölçekli bir gösterici kuruldu.	Earth.Org [10]
2024	OsmoRhône / OPUS-1	Sweetch Energy, Rhône Nehri ağzındaki pilot tesisi faaliyete geçirdi.	Earth.Org, WEF [10, 11]
Ağustos 2025	Japonya / Fukuoka	Asya'nın ilk ozmotik santrali faaliyete geçti; yıllık 880.000 kWh üretim hedefleniyor.	Earth.com [12]

Tablo 1: Ozmotik enerjinin tarihsel gelişim milatları.

4. Teknolojik Atılım: INOD Membranları

Sweetch Energy'nin kurucuları Bruno Mottet ve Lydéric Bocquet, Paris'teki École Normale Supérieure fizik laboratuvarındaki nanoakışkanlık araştırmalarından ilham almıştır. Ekibin temel bulgusu, yalnızca membran malzemesine odaklanmak yerine nanoakış mekanizmasını optimize etmenin mümkün olduğunu göstermiştir [11].

Bu yaklaşımla geliştirilen İyonik Nano Ozmotik Difüzyon (INOD) membranları, yaklaşık 10 nanometre çapında gözenekler içermektedir. Sektörde yaygın kullanılan doğal kökenli biyomalzemelerden üretilen bu membranlar, yüksek iyon seçicilik özelliği ile yüksek iyon iletkenliğini bir arada sunar. Earth.Org'un aktardığına göre Sweetch Energy'nin teknolojisi 20–25 W/m² enerji yoğunluğu sağlama kapasitesine sahipken önceki membranlar yalnızca 1 W/m² üretebilmekteydi [10]. WEF'e göre ise gözenekler daha büyük olduğundan iyonlar çok daha hızlı hareket edebilmekte, bu da sistemi ölçeklendirmeyi mümkün kılmaktadır [11].

Malzeme maliyeti açısından da önemli bir fark söz konusudur: Sweetch Energy, mevcut membranlarla kıyaslandığında malzeme maliyetini onda birine düşürmeyi öngörmektedir [10].

5. Güncel Pilot Projeler

5.1 Fransa – OsmoRhône / OPUS-1 (Sweetch Energy)

Sweetch Energy'nin pilot tesisi, Rhône Nehri'nin Akdeniz'e döküldüğü noktada 2024 sonunda faaliyete geçmiştir. Rhône; yüksek ozmotik enerji potansiyeli taşıması ve Akdeniz'in belirgin tuzluluk değeri nedeniyle bu proje için ideal bir konum oluşturmaktadır. Tesisin uzun vadede 500 MW kapasiteye ulaşması hedeflenmektedir; bu üretim düzeyi, Barselona veya Amsterdam büyüklüğündeki bir kentin 1,5 milyonu aşan hanesini karşılayabilir [10]. WEF'in aktardığına göre Sweetch Energy, 2030'a kadar MWh başına 100 € maliyeti hedeflemektedir; bu düzey nükleer, kömür ve gaz gibi temel enerji kaynaklarıyla rekabet edebilirlik eşiğinin altına işaret etmektedir [11].

5.2 Japonya – Fukuoka Ozmotik Santrali

Asya'nın ilk ozmotik santrali olan Fukuoka tesisi, Ağustos 2025'te Fukuoka Bölge Su Dairesi tarafından işletmeye alınmıştır. Tesis PRO yöntemini kullanmakta; net çıkış gücü yaklaşık 110 kilowatt, yıllık üretim ise 880.000 kWh olarak raporlanmaktadır. Üretilen elektriğin büyük bölümü bünyesindeki deniz suyu arıtma tesisine aktarılmakta, fazla üretim birkaç yüz hanenin enerji talebini karşılayabilmektedir [12].

Melbourne Üniversitesi'nden Prof. Sandra Kentish, arıtma işleminden kaynaklanan yoğun tuzlu salamuranın, standart deniz suyuna kıyasla çok daha yüksek tuzluluk gradyanı sunduğunu ve bunun enerji üretim potansiyelini belirgin biçimde artırdığını vurgulamaktadır [12].

5.3 Danimarka – SaltPower

AB finansmanı ile desteklenen Danimarkalı firma SaltPower, 2015 yılında kurulmuş olup jeotermal kaynakların ürettiği yüksek konsantrasyonlu tuzlu çözeltilerden elektrik üretimi üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu yaklaşım, tuzluluk gradyanı teknolojisinin yenilenebilir enerji kaynaklarının çok daha geniş bir yelpazesine uygulanabileceğini ortaya koymaktadır [11].

6. Ozmotik Enerjinin Avantajları

Ozmotik enerji, diğer yenilenebilir kaynaklara kıyasla pek çok önemli avantaj sunmaktadır:

- **7/24 Yenilenebilirlik:** Güneş ve rüzgarın aksine, nehirlerin denize karışması sürekli bir doğal süreçtir. Bu özellik, hava koşullarına bağımlı olmayan kesintisiz bir enerji üretimini mümkün kılar [5, 10].
- **Sıfır Karbondioksit Salınımı:** Yakılacak bir kazan bulunmadığından tesis, doğrudan CO₂ salınımı olmaksızın çalışmaktadır [5, 9].
- **Düşük Ekolojik Etki:** Su, ozmoz sürecinin ardından minimum ekolojik izle doğal ortamına geri döner; bu etki geleneksel hidroelektrik ve fosil yakıt santrallerinin çok altında kalır [10].
- **Temel Yük Kapasitesi:** ENGIE Araştırma ve İnovasyon birimi, tuzluluk gradyanı teknolojisinin güneş, rüzgar ve dalga gibi değişken kaynakları tamamlayan güvenilir bir baz yük sunduğunu belirtmektedir [5].
- **Su Yönetimi Entegrasyonu:** Arıtma tesislerine entegre edildiğinde tuzlu salamura atık akımları üretken biçimde değerlendirilebilmektedir; Fukuoka uygulaması bu yaklaşımın işlerliğini fiilen kanıtlamaktadır [12].
- **Çoğaltma Etkisi:** Dubai Gelecek Vakfı'na göre ozmotik sistemler, enerji üretiminin yanı sıra arıtma süreçleri sırasında lityum gibi kritik minerallerin geri kazanımını da sağlayabilir [6].

7. Zorluklar ve Sınırlılıklar

Umut verici gelişmelere karşın, geniş ölçekli ticari uygulamaların önünde hâlâ önemli engeller bulunmaktadır:

- **Membran Performansı:** Nanoölçekli birikim (kirlenme), yüzey kapanmalarına yol açarak sistemin enerji verimini düşürmekte ve uzun vadeli işletme maliyetlerini artırmaktadır [12].
- **Enerji Kayıpları:** Su pompaları, boru hattı direnci ve iç sürtünme yoluyla önemli enerji kayıpları yaşanmakta; bu durum net enerji kazanımını azaltmaktadır. 2022'de yayımlanan kapsamlı bir derleme bu kayıpların prototiplerini nasıl olumsuz etkilediğini belgelemiştir [12].
- **Ölçeklendirme ve Altyapı:** Mevcut pilot projeler henüz çok küçük kapasitelerde çalışmaktadır. **Sanayi ölçeğine geçiş; boru hatları, membran modülleri ve basınç değiştiricilerinden oluşan büyük yatırımlar gerektirmektedir.**
- **Ekonomik Fizibilite:** Statkraft'ın 2013'teki çekilmesi bu zorlukları açıkça ortaya koymuştur. Maliyet rekabetini sağlamak, teknoloji geliştirme ve ölçek ekonomisi elde etme açısından hâlâ temel öncelik konumundadır [10, 12].
- **Uzun Vadeli Çevresel Değerlendirme:** Deşarj suyunun kıyı ekosistemlerine olası tuzluluk etkileri konusunda kapsamlı uzun vadeli araştırmaların sürdürülmesi büyük önem taşımaktadır [10].
- **Mevzuat Çerçevesi:** Finansman engelini aşmanın ardından lisanslama süreçleri ve çevresel etki değerlendirmeleri tamamlanması gereken kritik bürokratik adımlar olarak öne çıkmaktadır [11].

8. Küresel Potansiyel

Ozmotik enerjinin coğrafi kapsamı beklentilerin çok ötesine geçmektedir. Sweetch Energy'nin verilerine göre her yıl nehir deltalarında ve haliçlerde 30.000 TWh'ı aşkın ozmotik enerji açığa çıkmakta; bu devasa potansiyelin büyük çoğunluğu ise henüz değerlendirilememektedir [11]. Dubai Gelecek Vakfı'nın tahminleri, ozmotik sistemlerin küresel elektrik üretiminin yaklaşık beşte birini karşılayabileceğine işaret etmektedir [6].

Bazı bölgeler özellikle yüksek potansiyel barındırmaktadır:

- Avustralya ve Orta Doğu: Yoğun tuzlu sulara erişimin geniş olduğu bu bölgeler, söz konusu avantajı enerji üretimine dönüştürebilir. Prof. Katherine Daniell, bu sistemlerin temel yük enerjisi ve temiz su üretimi açısından sunduğu devasa potansiyeli özellikle vurgulamaktadır [11].
- **Grönland: İklim değişikliğinin paradoksal bir boyutu olarak, eriyen buzullardan kaynaklanan artan tatlı su akışı ozmotik üretim için gereken gradyanı güçlendirebilir.** Bu, teknolojinin bizzat iklim değişikliğiyle mücadelede kullanılması anlamına gelmektedir [10].
- Deniz Suyu Arıtma Tesisleri: Tuzlu salamura akımlarının hâlihazırda mevcut olduğu bu tesisler, sınırlı ek altyapıyla entegrasyona olanak tanır. Kuzey Amerika, Japonya, İspanya ve Avustralya bu ölçekte öne çıkan bölgelerdir [11, 12].

9. Politika Önerileri

Ozmotik enerjinin küresel enerji karışımında anlamlı bir yer edinebilmesi için teknik ilerlemenin yanında güçlü bir politika çerçevesine ihtiyaç duyulmaktadır. Aşağıdaki tablo, bu doğrultuda hayata geçirilmesi önerilen somut adımları özetlemektedir:

Öneri Alanı	Somut Adım	Hedef Paydaş
Ar-Ge Finansmanı	Membran ömrü ve kirlenme direnci için ulusal fonlar tahsis edilmeli.	Hükümetler, AB
Lisans Hızlandırma	Kıyı tesisleri için standartlaştırılmış çevresel etki değerlendirme çerçevesi oluşturulmalı.	Düzenleyici kurumlar
Entegrasyon Teşviki	Yeni deniz suyu arıtma tesisleri için ozmotik üniteler zorunlu veya teşvikli kılınmalı.	Su idareleri, belediyeler
Uluslararası İşbirliği	IEA çatısı altında ortak pilot veri havuzu kurulmalı; maliyet verileri şeffaf paylaşılmalı.	IEA, IRENA, ülkeler
Yatırımcı Çekimi	Yeşil tahvil çerçevesine ozmotik proje kategorisi eklenmeli; vergi muafiyeti sunulmalı.	Maliye bakanlıkları

Tablo 3: Ozmotik enerji için önerilen politika eylemleri ve hedef paydaşlar.

Tuzdan arındırma tesislerine entegrasyon, en az ek altyapı gerektirdiğinden en hızlı dönüş sağlayacak yol haritası olarak öne çıkmaktadır. Hükümetlerin bu projeleri yeşil tahvil çerçevesine dahil etmesi, özel sermayenin sektöre çekilmesini hızlandıracaktır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) çatısı altında ortak bir pilot veri tabanı oluşturulması ise öğrenme eğrisini tüm paydaşların yararına kısaltabilir.

10. Gelecek Görünümü

2025 yılında yayımlanan kapsamlı bir derleme, membran malzemeleri ve modül tasarımındaki ilerlemenin belirgin biçimde hızlandığına dikkat çekmektedir [12]. Kısa vadede en iyi sonuçların, büyük hacimli tuzlu salamurayı hâlihazırda işleten deniz suyu arıtma tesislerinden elde edilmesi beklenmektedir. Uzun vadede ise karma yenilenebilir sistemlerin çözüm üreteceği öngörülmektedir; bu kapsamda ozmotik enerji, güneş, rüzgar ve hidroelektrikle entegre edilerek yerel enerji dayanıklılığı güçlendirilebilir [11].

Dünya Ekonomik Forumu'nun 2025'in 10 Öne Çıkan Teknolojisi arasında gösterdiği ozmotik güç, Global Gelecek Konseyi'nin Enerji Teknolojisi Sınırları gündeminde de önemli bir yer tutmaktadır. Sweetch Energy bünyesindeki bilim insanları bu teknolojinin potansiyelini şöyle ifade etmektedir: "Ozmotik güç; temiz, tamamen doğal, tüm kıyı bölgelerinde günde 24 saat kullanılabilir, neredeyse anında devreye alınabilir ve son derece kolay işletilebilir bir kaynaktır." [11]

11. Sonuç

Ozmotik enerji, 1970'lerde ortaya atılan bir kavramsal öneri olmaktan çıkarak bugün gerçek dünya uygulamalarıyla kanıtlanmış, giderek artan bir kabul gören bir teknolojiye dönüşmüştür. Japonya'nın Fukuoka tesisi ve Fransa'daki OsmoRhône, ozmotik sistemlerin sahada işletilebileceğini fiilen ortaya koymaktadır. Sweetch Energy'nin INOD membranları ise enerji yoğunluğunda çarpıcı bir atılımı temsil etmekte; onlarca yıldır teknolojinin önünde duran membran verimliliği engelini aşmaya doğru kararlı adımlar atmaktadır.

Bununla birlikte kritik güçlükler varlığını korumaktadır: Ölçeklendirme maliyetleri, enerji kayıpları ve uzun vadeli çevresel etkiler kapsamlı araştırma ve yatırım gerektirmektedir. **Ancak mevcut ilerleme hızı göz önünde bulundurulduğunda, ozmotik enerji 2030 sonrasında diğer yenilenebilir enerji teknolojileriyle gerçek anlamda rekabet edecek konuma gelmek için gerekli adımları atmaya hazır görünmektedir.**

Sonuç olarak, güvenilir bir baz yük kaynağı sunan ozmotik enerji, gelecekteki küresel yenilenebilir enerji portföyünde önemli ve tamamlayıcı bir rol üstlenecek potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin hayata geçirilmesi; bilim insanları, mühendisler, politika yapımcılar, su idareleri ve yatırımcılar arasında koordineli ve sürdürülebilir bir iş birliğini zorunlu kılmaktadır.

Kaynaklar //

- [1] Blin Domínguez, F. (2025, 27 Mart). Osmotic Power: The Next Wave of Renewable Energy. Earth.Org. <https://earth.org/osmotic-power-the-next-wave-of-renewable-energy/>
- [2] Wikipedia. (t.y.). Osmotic power. https://en.wikipedia.org/wiki/Osmotic_power
- [3] Skilhagen, S. E., Dugstad, J. E., & Aaberg, R. J. (2008). Osmotic power — power production based on the osmotic pressure difference between waters with varying salt gradients. *Desalination*, 220(1–3), 476–482. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.045>
- [4] Loeb, S. (2002). Large-scale power production by pressure-retarded osmosis, using river water and sea water passing through spiral wound modules. *Desalination*, 143(2), 115–122. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00233-3](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00233-3)
- [5] ENGIE Research & Innovation. (2024, 24 Haziran). Osmotic Power: Using the salinity of the oceans to produce sustainable & clean electricity. <https://innovation.engie.com/en/news/interview/emerging-sustainable-technologies/osmotic-power-using-the-salinity-of-the-oceans-to-produce-sustainable-clean-electricity/29527>
- [6] Schenker, J. (2025, 16 Eylül). How osmotic energy could generate 20% of global energy needs. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/stories/2025/09/what-is-osmotic-energy-and-how-could-it-generate-one-fifth-of-the-world-s-energy-needs/>
- [7] The Earthbound Report. (2026, 5 Mart). Osmosis, the other other renewable energy. <https://earthbound.report/2026/03/05/osmosis-the-other-other-renewable-energy/>
- [8] Post, J. W., Hamelers, H. V. M., & Buisman, C. J. N. (2008). Energy recovery from controlled mixing salt and fresh water with a reverse electrodialysis system. *Environmental Science & Technology*, 42(15), 5785–5790. <https://doi.org/10.1021/es8004317>
- [9] Renewable Energy Institute. (2025). Japan's first osmotic power plant – what it means for clean energy. <https://www.renewableinstitute.org/japans-first-osmotic-power-plant-what-it-means-for-clean-energy/>
- [10] Earth.Org. (2025). Osmotic Power: The Next Wave of Renewable Energy. <https://earth.org/osmotic-power-the-next-wave-of-renewable-energy/> (Kaynak [1] ile aynı)
- [11] Schenker, J. (2025). How osmotic energy could generate 20% of global energy needs. WEF. (Kaynak [6] ile aynı)
- [12] Joseph, J. (2025, 20 Kasım). Asia's first 'osmotic power plant' generates electricity using only water, 24 hours a day. Earth.com. <https://www.earth.com/news/japan-asias-first-osmotic-power-plant-generates-electricity-with-water/>