



# Elektrik Üretiminde Yeni Teknoloji Arayışları

**C** OVID-19 pandemisi ile büyük bir sarsıntı geçiren dünya, yeniden “enerji” arıyor. Dünyanın belli başlı ekonomileri, pandemi sonrası yeniden toparlanmaya çalışırken, dünyanın acil meseleleri olan küresel iklim krizine de yanıt verecek politikalar benimsiyor. Avrupa Birliği (AB), Avrupa Yeşil Düzen rejimini benimsedi. ABD, Japonya, Güney Kore, İngiltere ve daha pek çok ülke “yeşil” ekonomik planlar açıkladı<sup>1</sup>. Söz konusu planların ortak noktası, küresel iklim değişikliğine yol açan sera gazlarının, özellikle de karbondioksit salımının azaltılmasının, bunlara yol açan sektörlerde köklü değişiklikler yaratacak yatırım ve teşvikleri içeriyor olması. Bunların başında da elektrik üretimi geliyor. Elektrik üretiminde fosil yakıtların sona erdirilmesi için yenilenebilir kaynaklara yüklü yatırımlar yapılması öngörülüyor. Ancak bunlar da yeterli değil. Çünkü elektrik üretiminin temiz kaynaklar üzerine kurulu olmasının yanı sıra ucuz, güvenilir ve sürdürülebilir olması da gerekiyor.

Elektrik üretimi için fosil yakıtlara bağlı kalmaya gerek olmadığı daha baştan biliniyordu. İkinci sanayi devrimini başlatan elektriğin kitlelere mal olmasında büyük rolü olan Sırp bilim insanı Nicolas Tesla şöyle diyordu: “Elektrik gücü her yerde sınırsız miktarda mevcuttur ve kömür, petrol, gaz veya diğer yaygın yakıtlara ihtiyaç duymadan dünyanın makinelerini çalıştırabilir.”

Tesla’nın öngördüğü gibi sınırsız, sürdürülebilir, yeşil ve ucuz elektrik gücü sağlamak için çevreden doğal enerji toplamak yeterli olabilir. Bugün olan da budur. Temiz elektrik üretiminde hâlen rüzgâr ve güneş enerjisi yenilenebilir kaynaklar olarak ön plana çıkıyor. Ancak bu iki kaynağın da süreklilik sorunları bulunuyor: Rüzgâr kesilebilir, güneşin önü bulutlarla kapanabilir ve gece üretim yapılamaz... Bilim insanları bu nedenle üretilen elektriği talep yükseldiğinde kullanabilmek için depolama sistemleri geliştirmeye çalışıyor. Bunun için onlarca çözüm önerisi sunuldu<sup>2</sup>. Neyse ki doğal kaynaklar rüzgâr ve güneşle de sınırlı değil. Bilim, kimisi gerçeküstü gelebilecek kaynaklardan da elektrik üretimi konusunda hayli mesafe katetti.

## Deniz ve Okyanuslarda Elektrik Avı

Dünya yüzeyinin üçte ikisini kaplayan okyanuslar; elektrik üretimi için doğal, güvenli ve sınırsız enerji kaynağı arayan bilim insanlarının en çok üzerinde durduğu kaynaklardan biri. Dalgalar, akıntılar, gel-git olayları ve deniz suyundaki sıcaklık değişimleri elektrik üretimi için önemli alternatifler olarak beliriyor.

<sup>1</sup> <https://thinktech.stm.com.tr/tr/yeni-iklim-rejimine-dogru-avrupa-yesil-mutabakati-ve-turkiye-eterleri-uzerine-bir-inceleme>

<sup>2</sup> <https://thinktech.stm.com.tr/tr/enerji-depolama-teknolojilerindeki-son-gelistmeler>

Bunların başında dalga enerjisi geliyor. Rüzgâr ve sismik hareketlerden dolayı oluşan dalgaların sürekliliği ve enerjisinin elektrik üretiminde kullanılması, uzun süredir bilim insanlarının zihnini meşgul ediyor. Dalga enerjisi çalışmaları da belli bir olgunluk seviyesine ulaştı. Bugüne kadar dalga enerjisini önce mekanik enerjiye, ardından elektrik enerjisine çeviren çok sayıda sistem geliştirildi.

Yeni yatırımlarla dalga enerjisi ciddi bir alternatif olacak gibi görünüyor. Tahminlere göre, 2020 yılında küresel dalga enerjisi sektörü 542,8 milyon dolar büyüklüğe ulaştı ve 2027 yılında bu rakam 5,1 milyar dolara çıkabilir<sup>3</sup>. Dünya Enerji Konseyi ise dalga enerjisinin küresel elektrik talebinin yüzde 10'unu karşılayabileceğini belirtiyor<sup>4</sup>.

Ancak dalga enerjisinin daha da gelişmesinin önünde bazı engeller bulunuyor. Bunun başında kapasite geliyor. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansının tahminlerine göre güneş enerjisinin 578,553 MW, rüzgâr enerjisinin 622,408 MW toplam kapasitesine kıyasla dalga enerjisinden elde edilebilecek elektrik kapasitesi sadece 531 MW. Üstelik dalga enerjisi santrallerinin büyük bölümü açık denizlerde kuruluyor ve üretilen elektriğin karaya ulaştırılması ek maliyet yaratıyor<sup>5</sup>. Bu nedenle son yıllarda kıyı dalga enerjisi santralleri üzerinde daha fazla duruluyor. Türkiye'de ise bilim insanları bir dalga enerjisi potansiyeli haritası hazırladı. Buna göre, özellikle kuzeyde Batı Karadeniz ve İstanbul Boğazı'nın kuzeyinde, güneyde ise Marmaris-Finike arasında dalga enerjisi potansiyeli hayli yüksek görünüyor<sup>6</sup>. Bu kapsamda, Karadeniz Teknik Üniversitesi tarafından bir proje başlatılmış olup deneme aşamasındadır<sup>7</sup>. Ancak henüz bu alanda bir yatırım projesi hayata geçmedi.

Deniz ve okyanuslarda giderek yaygınlık kazanan bir elektrik üretim yönteminde ise gelgit enerjisi kullanılıyor. Gelgit enerjisi teknolojisi de aslında yeni değil. Örneğin gelgit değirmenleri Avrupa'da 1700'lü yıllardan bu yana kullanılıyor. Modern gelgit enerjisi projeleri 1960'larda başladı, ancak çok azı fiilen çalışır durumda. En güçlü gelgit enerji santrali ise bir denizde veya okyanusta değil bir gölde bulunuyor. Güney Kore'deki Sihwa Gölü gelgit Enerji Santrali'nin kapasitesi 254 MW'ı buluyor. Fransa'nın Atlas Okyanusu kıyısındaki 240 MW kapasiteli La Rance Gelgit Enerji Santrali ise bir okyanus kıyısındaki en güçlü santral konumunda<sup>8</sup>. Ülkemizde ise gelgit olayları deniz seviyesinde en fazla 30 cm'lik fark yarattığı için elektrik enerjisi üretimine uygun değil.

Denizlerdeki düzenli akıntılardan yararlanmak üzere de türbinler geliştirildi. Denizaltına yerleştirilen rüzgâr türbinlerine benzeyen bu sistemler, sürekli akıntıyı elektrik enerjisine çeviriyor. Fransa ve İngiltere'de yapılan çalışmalar elektrik üretimi sağlamışsa da uygulanabilir alanların açık denizlerde olması, sistem parçalarının kısa sürede denizin tuzlu suyu ve deniz canlılarının etkisiyle kullanılamaz hâle gelmesi veya yüksek bakım maliyeti getirmesi gibi nedenlerle başarılı olmamıştır. Türkiye'de İstanbul ve Çanakkale boğazlarının düzenli yüzey ve yüzey altı akıntılarını kullanarak elektrik üretimi zaman zaman gündeme geliyor. Boğazlardan 5.000 MW elektrik üretilbileceği de ileri sürülüyor<sup>9</sup>. Ancak boğazların yoğun gemi trafiği ve uluslararası anlaşmalardan doğabilecek sorunlar nedeniyle söz konusu projeler henüz hayata geçirilemedi.

### **Nehirlerin Denize Dökülme Enerjisinden Elektrik Üretiliyor**

Elektrik üretiminde sınırsız ve doğal kaynak arayışında son yıllarda giderek daha fazla ilgi çeken bir yöntem "Mavi Enerji" olarak da bilinen "Osmotik Enerjidir". Osmotik enerji, farklı yoğunluklara sahip suyun aynı yoğunluğa gelene kadar yarı geçirgen bir zar aracılığıyla birbirleri arasındaki geçimden (osmoz) elektrik üretme işlemine deniliyor. Genellikle akarsuların denizlere döküldüğü noktalarda, tatlı su ile tuzlu deniz suyu birbirine

3 <https://www.businesswire.com/news/home/20210212005455/en/Global-Wave-and-Tidal-Energy-Industry-2020-to-2027---Market-Trajectory-Analytics---ResearchAndMarkets.com>

4 <https://cpower.co/why-wave-energy/#:~:text=The%20World%20Energy%20Council%20estimates,100%20million%20homes%20each%20year>

5 <https://unfccc.int/blog/wave-of-the-future>

6 [https://www.emo.org.tr/ekler/20bb2d9a50d5ac1\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/20bb2d9a50d5ac1_ek.pdf)

7 <https://www.haber61.net/trabzon/trabzon-da-deniz-dalgalarindan-elektrik-uretilecek-h399112.html>

8 <https://www.power-technology.com/features/featuretidal-giants-the-worlds-five-biggest-tidal-power-plants-4211218/>

9 <https://www.gazetevatan.com/yazarlar/ercan-inan/siemens-istanbul-bogazi-5-bin-mw-elektrik-uretebilir-354436>

karışırken bu doğal fenomen gerçekleşiyor. Farklı tuzluluğa sahip nehir ve deniz suyu arasında oluşan osmotik basınç değişiminin yarattığı potansiyel enerjinin türbinler yardımıyla elektrik enerjisine çevrildiği osmotik enerji santrallerinin birkaç örneği var ama teknoloji hâlâ gelişme safhasında. 2000’li yılların başında Norveç’te açılan bir santral daha sonra elde edilen elektrik miktarının maliyetini karşılayamadığı gerekçesiyle kapatıldı<sup>10</sup>. Japonya ve Güney Kore’de inşa edilen osmotik santraller ise faaliyetini sürdürüyor. Kanada ve ABD’de de bu potansiyelin kullanılması için araştırmalar sürüyor. Türkiye’de yapılan bir araştırmayla akarsuların denizlere döküldüğü kıyılarda osmotik enerji üretimi kapasitesinin 25,45 MW olduğu tespit edildi ancak henüz bir proje hayata geçirilmedi<sup>10</sup>.

“Mavi Enerji” düşü, verimi ve kıyı ekosistemlerine olumsuz etkisi nedeniyle dünyada sıçrama kaydetmedi, ancak araştırmalar sürüyor. Osmoz etkisinin elde edilmesi için akarsuların enerjisine ihtiyaç olmadığı, gelişen membran malzemeleri sayesinde sadece tuzlu su ile tatlı suyun yan yana getirilmesinin osmotik enerji elde edilmesine yetebileceği belirtilmektedir<sup>11</sup>. Verimli sonuçların alınması için bir süre daha beklemek gerekecek.

### **Denizlerden Elektrik Hasat Ediliyor**

Denizlerin yüzeyleri ile derinlikleri arasındaki ısı farkı da elektrik üretimi için bir fırsat sunuyor. Bu işlemde, sıcaklık farkı enerji üretmek için kullanılıyor. Bu sistemlerde yüzeydeki ılık sular alınarak buharlaştırılıyor ve bir jeneratörü tahrik ederek elektrik üretiyor. Derinlerden alınan serin su ise bu buharı yeniden sıvılaştırıyor. Bu arada deniz suyunun tuzu da arındırılmış oluyor. Bu açıdan bakıldığında sistemlerden sadece elektrik değil temiz su da elde edilebilir. Bu su özellikle adalarda tarımsal sulama ihtiyacını karşılayabilir. ABD’nin Hawaii eyaletinde bu yöntemle 100 MW, bir başka deyişle 120.000 evin ihtiyacını karşılayacak kadar elektrik üretiliyor<sup>12</sup>, arıtılan sular ise adalarda çeşitli amaçlarla kullanılıyor.

Bu yöntem son derece faydalı görünüyor. Ancak bir sorun var: Bu tür sistemler yüzey suları ile derin sulardaki ısı farkının yüksek olduğu Oğlak ve Akrep dönenceleri arasındaki tropikal kuşakta mevcut ve Türkiye bu bölgenin dışında kalıyor<sup>13</sup>.

### **Isı Üreten Her Şeyden Elektrik Üretilir**

Bilim insanları elektrik üretimi için yeni yöntemler geliştirmeden önce enerjinin kullanıldığı alanlarda “atık enerjinin” peşine düştü. “Atık enerji hasadı” yapan elektrik jeneratörleri ya da termoelektrik jeneratörler gelecekte ciddi bir alternatif olabilir.

Bir elektrik santrali, bir otomobil, hatta bir mikroişlemciye sahip herhangi bir elektronik cihaz atık ısı üretiyor. Bu atık ısının yarattığı sıcaklık farkından elektrik üretilebileceği ise daha 19’uncu yüzyılda keşfedilmişti. Alman fizikçi Thomas Johann Seebeck, kendi adıyla da anılan termoelektrik etkiyi keşfetmişti. Bir ucu ısıtılan diğer ucu soğutulan metallerde elektrik akımları oluşuyordu.

Bu keşif termoelektrik jeneratörlerin (Thermoelectric Generator -TEG) geliştirilmesi fikrini canlandırdı. Bir ısı ve soğuk kaynağı olduğu takdirde katı metallerle, kimyasal madde veya hareketli parça kullanmadan elektrik üretmek mümkün olabilirdi. Birçok deneme yapıldı. Hatta geliştirilen bir TEG, NASA’nın Curiosity aracıyla birlikte Mars’a bile gitti<sup>14</sup>. Ancak bu motor küçük bir radyoaktif izotoptan güç alıyordu ve Dünya’da bunu uygulamak riskliydi. Mevcut metal malzemelerle verim çok düşüktü. Şimdi o verim sağlanabiliyor, zira 21’inci yüzyılda termoelektrik jeneratörlerinin verimli çalışmasını sağlayabilecek çok çeşitli ve kullanışlı malzemeler geliştirildi. Artık sadece metallerden değil sikon, seramik ve polimerlerden de TEG üretiliyor ve bunlar sade film kalınlığında olabiliyor.

10 [https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1608993421\\_stm-osmotik-enerji.pdf](https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1608993421_stm-osmotik-enerji.pdf)

11 <https://www.popsi.com/environment/what-is-osmotic-power-blue-energy/>

12 <https://www.makai.com/ocean-thermal-energy-conversion/>

13 <https://www.elektrikport.com/makale-detay/yenilenebilir-enerjinin-gelecegi-okyanus-enerjisi/22139#ad-image-0>

14 [https://mars.nasa.gov/internal\\_resources/788/](https://mars.nasa.gov/internal_resources/788/)

Günümüzde TEG'ler yeni malzemeler ve minyatürleşme sayesinde yüksek verimli hâle getirilebiliyor ve istenilen boyutta ölçeklendirilebiliyor. Yani metrelerce uzunlukta sanayi tipi TEG'ler geliştirip kilovatlar düzeyinde elektrik üretmek de, balık pul büyüklüğünde üretip mikro cihazlara yeterli gelecek çok düşük miktarda elektriği elde etmek de mümkün. Örneğin ABD ordusunun yeni bir güdümlü füze sistemine 500 watt elektrik üretebilecek bir TEG üzerinde araştırma yaptığı belirtiliyor<sup>15</sup>. Buna karşılık, yapılan deneylerde film halinde TEG'lere sahip masaların bir kenarına konulacak sıcak tabakla, bir kablolu şarj özelliği olan telefonun bataryasını doldurmanın da mümkün olduğu kanıtlanmıştı<sup>16</sup>. Hatta TEG yerleştirilen yer kaplamaları ile evde yürürken elektrik üretmenin mümkün olduğu da kanıtlandı<sup>17</sup>.

TEG'ler pek çok avantaja da sahip: Kimyasal ürün içermedikleri için çevre dostudurlar, mekanik yapıları ve/veya hareketli parçaları olmadığı için sessiz çalışıyorlar, fazla parçaları olmadığı için bakım gerektirmiyorlar ve uzun bir çalışma ömrü sunuyorlar<sup>18</sup>.

Bu avantajları TEG'leri pek çok alanda kullanılabilir hâle getirdi. TEG'lerin ürettiği enerjinin yaklaşık yüzde 40'ı hiç kullanılmadan egzozdan uçup giden içten yanmalı otomotiv motorlarında da uzun süredir kullanılıyor ve performansları her geçen gün artıyor. Atık gazı elektriğe çevirip araçların motorunun, mekanik ve elektronik aksamının performansını artıran TEG'ler yaygın olarak kullanılıyor. Yamaha, Mart 2021'de, tek bir ünitesinin 143 watt'a kadar elektrik üretebilen bir TEG geliştirdiğini duyurdu. Şirket bunun o güne kadar otomotiv sektörü için geliştirilmiş en büyük ve en güçlü TEG olduğunu ileri sürdü<sup>19</sup>. Endüstriyel tesislerde daha büyük TEG'ler çok daha fazla elektrik üretebiliyor. Örneğin bir firma, yoğun biçimde enerji kullanılan çelik fabrikaları için 10 kW elektrik üretebilen bir TEG geliştirdi<sup>20</sup>. Elektronik cihazlar, nesnelerin interneti cihazları<sup>15</sup>, (vücut ısısını kullanarak elektrik üreten TEG'li) implantlar, sağlık izleme sistemleri ve hava araçları TEG kullanımının yoğun olduğu diğer alanlar.

Gelecekte TEG'lerin performansları da kullanıldıkları alanların sayısı da artacak gibi görünüyor. Çünkü bu alanda araştırmalara önemli miktarda kaynak ayrılıyor ve TEG pazarı istikrarlı biçimde büyüyor. Bir pazar araştırma raporuna göre 2021'de 406 milyon dolar alan küresel TEG pazarının büyüklüğünün, 2026 yılına kadar 635 milyona yükselmesi bekleniyor<sup>21</sup>. TEG'ler hakkında her yıl yaklaşık 500'den fazla bilimsel makale yayınlanıyor ve bunlar arasında Türk bilim insanları tarafından kaleme alınmış olanlar da var. Bunlar arasında çığır açıcı nitelikte olanlar var. Örneğin Tokyo Üniversitesinde yapılan bir araştırmada "Döndürme Seebeck Etkisi" keşfedildi. Burada, manyetik olmayan ve ferromanyetik malzeme arasındaki sıcaklık farkı bir dönüş akışı yaratıyor. Bu gelecekte güçlü TEG jeneratörlerinin geliştirilmesinin önünü açabilir<sup>22</sup>.

## Şehir İçme Suyu Şebekesinden Elektrik Üretilir

Elektrik üretiminde atık enerjinin kullanımının yanı sıra, enerji kullanılarak elde edilen akımlardan yararlanarak da elektrik üretilmesinin çareleri aranıyor. Örneğin ABD'li Lucid Energy, katmanlı imalat teknolojilerinden yararlanarak içme suyu şebeke boruları içindeki basınçlı suyun tahrik gücünü kullanan elektrik jeneratörleri tasarlamıştır<sup>23</sup>. Bu jeneratörlerde boruların içinden geçen suyun basıncı özel tasarım pervaneleri döndürmekte ve dönüş kuvveti boruya bağlı jeneratöre aktarılmaktadır. Firmaya göre, bu yolla 600 mm çapında borulardan 18 kW, 1.500 mm çapındaki borulardan ise 100 kW elektrik elde etmek mümkündür<sup>24</sup>. Lucid Energy, bu yolla

15 <https://www.onio.com/article/what-is-thermoelectric-harvesting.html>

16 <https://www.popularmechanics.com/technology/gadgets/a25480/side-table-that-can-charge-your-phone/>

17 [https://www.researchgate.net/profile/Talha-Ashraf/publication/338797132\\_Energy\\_Harvesting\\_through\\_Floor\\_Tiles/links/5e69d5ca458515c5de6288c9/Energy-Harvesting-through-Floor-Tiles.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Talha-Ashraf/publication/338797132_Energy_Harvesting_through_Floor_Tiles/links/5e69d5ca458515c5de6288c9/Energy-Harvesting-through-Floor-Tiles.pdf)

18 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719306997>

19 <https://www.businesswire.com/news/home/20210303005333/en/Yamaha-to-Begin-Offering-Samples-of-YGPX024-TEG-Module-for-Vehicle-Use>

20 <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2021.100063>

21 <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/thermoelectric-generators-market-91553904.html>

22 <https://www.nature.com/articles/nature07321>

23 <https://www.offgridenergyindependence.com/articles/15522/hydropower-from-drinking-water>

24 <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1162310>



su şebeke işletmelerinin sistemlerinin pompaları için gerekli elektriğin önemli bir bölümünün karşılanacağını ve verim sağlanacağını belirtiyor. Tasarım Türk araştırmacıların da ilgisini çekti. Hazırlanan bir projede, bu tür borular kullanılarak Türkiye’de büyük nehirlerin denize döküldüğü noktalarda, örneğin Karadeniz’e dökülmeden önce Sakarya Nehri’nin sularının yüksek bir mevkiye, düşük maliyetle pompalanıp hidroelektrik elde edilebileceği kaydedildi<sup>24</sup>.

### **Hidrojen Devrimi Yaklaşıyor**

Hiçbir enerji kaynağı hidrojen kadar her yerde ve bol miktarda bulunamaz. Çünkü bir proton ve bir elektrondan oluşan hidrojen atomu sadece Dünya’da değil tüm kainatta en basit ve en yaygın olarak bulunan elementtir. Ancak hidrojenin kararsız yapısından dolayı hiçbir yerde serbest halde bulunamaması sorun oluşturmaktadır. Örneğin iki hidrojen atomu oksijenle birleşip suyu oluşturuyor. Hidrojen elde etmek için ise ayrıştırılması, ayrıştırılması için ise enerji harcamak gerekiyor.

Serbest hidrojen atomlarından elektrik üretilmesi uzun süredir bilim insanları ve mühendislerin kafasını meşgul ediyor. Bu kapsamda, sayıca az da olsa bazı çalışmalar bulunuyor. Örneğin Batı Afrika ülkesi Mali’de Hydroma adındaki şirket, yüzde 98 saflıkta hidrojen kullanarak, CO<sub>2</sub> emisyonu oluşturmadan bir köyün ihtiyacını karşılayacak kadar elektrik üretmeyi başarmıştı<sup>25</sup>. Ancak bunun için hidrojen üretiminin enerji yoğun olmaktan çıkması gerekiyor. Günümüzde hidrojenin neredeyse tamamı doğalgaz gibi fosil kaynaklardan metan ile hidrojenin ayrıştırılması ile elde ediliyor. Alternatif yöntemler de geliştirildi. Ancak bu alternatif yöntemler henüz yüksek maliyetli oldukları için yaygın olarak kullanılmıyor<sup>26</sup>. Bu yönde çalışmalar sürerken hibrid çözümler de geliştirildi. Örneğin Avustralya’nın Yeni Güney Galler eyaletindeki Tallawarra B elektrik santralinde hem doğalgaz hem de hidrojen yakarak elektrik üreten türbinler kullanılmaya başlandı<sup>27</sup>. Söz konusu türbinler elektrik tüketiminin zirveye ulaştığı zamanlarda aynı anda devreye girerek talebi karşılıyor.

Gelecekte ise başlıca hidrojen kaynağı, nükleer santraller olabilir. Mevcut nükleer santraller, doğal gaz kazanlarından daha düşük maliyetlerle yüksek kaliteli buhar üretebilir ve buhar reformasyonu dahil birçok endüstriyel işlemden kullanılabilir. Bununla birlikte, bu yüksek kaliteli buhar elektrolize edildiğinde ve saf hidrojen ile oksijene ayrıştırıldığında yüksek verimde hidrojen elde etmek mümkün olabiliyor. Hesaplamalara göre 1.000 MW’lık bir nükleer reaktörden yılda 150.000 ton hidrojen üretimi mümkün<sup>28</sup>. ABD Hükümeti bu potansiyelin değerlendirilmesi için bir araştırma programı başlattı<sup>29</sup>.

Ülkemizde ise plazma üzerinde araştırma ve geliştirme çalışmaları olmakla beraber füzyon enerjisi ile araştırma ve geliştirmeler üniversite ortamındaki laboratuvarlarda yapılıyor. İTÜ (İstanbul Teknik Üniversitesi) TRIGA mark 2 reaktörü üzerinde 16 yıldır çalışılıyor. Marmara Üniversitesinde ise Plazma Fiziği ile çeşitli araştırmalar ve geliştirmeler yapıldı<sup>30</sup>.

### **Dünya Füzyon Enerjisine Geçişte Son Düzlükte Olabilir**

Sürekli ve güvenilir bir enerji kaynağı arayışındaki bilim insanları uzun yıllardır nükleer füzyon enerjisi üzerinde duruyor. Hidrojen (H1), dötron (H2) ve trityum (H3) gibi hafif elementlerin atom çekirdeklerinin, çok yüksek basınç ve sıcaklıkta birbirleriyle kaynaşmasıyla, yeni bir atom çekirdeğinin (örneğin helyum) oluşmasına “nükleer füzyon” deniyor ki, bu, milyarlarca yıldır güneşte olagelen bir nükleer tepkimedir. Güneş’te doğal olarak gelişen bu tepkimeyi Dünya’da geliştirmek ise çok zor çünkü füzyon reaksiyonu 150 milyon°C’de gerçekleşiyor<sup>30</sup>. Füzyon enerjisi sistemi de son derece karmaşık ve pahalı bir süreç: Sudan saf hidrojen elde

25 <https://www.industrie-techno.com/article/l-hydrogene-naturel-l-energie-renouvelable-de-demain.65484>

26 <https://thinktech.stm.com.tr/tr/kuresel-iklim-degisikligi-ile-mucadelede-yeni-nesil-teknolojiler>

27 <https://www.ge.com/gas-power/resources/case-studies/australias-first-dual-fuel-hydrogen-plant>

28 <https://www.energy.gov/ne/articles/could-hydrogen-help-save-nuclear>

29 <https://www.fchea.org/in-transition/2020/5/11/using-nuclear-power-to-produce-green-hydrogen>

30 <https://www.electricityturkey.com/fuzyon-fusion-enerjisinin-incelenmesi-ve-dunyadaki-ve-turkiyedeki-yeri/>

edilmesi, sonra bu hidrojenin çok yüksek sıcaklıkta plazma hâline getirilmesi; plazmaların ise birleşerek daha ağır bir atom hâline getirilirken muazzam miktarda ısı ortaya çıkması ve bunun elektrik üretiminde kullanılması gerekiyor. Belirtildiği üzere, işlem son derece karmaşık ve yüksek enerji harcanmasını gerektiriyor ama alınacak verim de o kadar yüksek oluyor. Bilim insanları 50 MW enerji harcayarak 500 MW elektrik elde edilebileceğini söylüyor<sup>31</sup>.

Bu işlem nükleer santrallerde radyoaktif elementlerle yapılan “füzyon” işleminden tamamen farklı ve radyoaktif sızıntı riski bulunmuyor. Bu nedenle füzyon reaktörleri, dünyanın giderek artan enerji ihtiyacının karşılanması için çevreci ve etkili bir seçenek sunuyor. Bu yüzden aralarında ABD, Rusya, AB, Çin ve Hindistan’ın da bulunduğu 35 ülke el ele verip ITER adı verilen bir füzyon reaktörü geliştirmek için birlik oluşturdu. Ama aradan 36 yıl geçmesine rağmen<sup>32</sup> Fransa’da inşa edilen bu reaktör bir türlü faaliyete geçmedi. Şimdiye kadar 30 milyar dolardan fazla harcama yapılan projenin 10 yıl içinde sonuca ulaşabileceği belirtiliyor<sup>31</sup>.

Öte yandan 35 ülkenin birlikte başaramadığını özel şirketler daha kısa sürede başarabilir. Katmanlı imalat, malzeme bilimindeki ilerlemeler, süper bilgisayarlar ve minyatürleştirme teknolojileri sayesinde özel şirketler füzyon enerjisine daha fazla ilgi duyuyor. Sadece ABD’de son beş yılda 100’den fazla füzyon enerjisi şirketi kuruldu ve bunların kurduğu derneğe göre şirketlerin hedefi 2030 yılına kadar füzyon reaktörlerine sahip olmak<sup>33</sup>. Bunlardan biri olan ve bir süre önce 500 milyon dolardan fazla yatırım çeken Helion Energy’nin hedefi ise 2024 yılında santralini kurmuş olmak<sup>34</sup>.

### Güneş Bacaları Büyük Potansiyel Vadediyor

Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli ve kalıcı bir yer edindi. Ancak son yıllarda önemli ölçüde gerileme kaydetmiş olsa da güneş enerjisi santrali kurma ve işletme maliyeti hayli yüksek olmayı sürdürüyor. Bilim insanları şimdi yine güneş enerjisinden yararlanarak işletilmesi çok daha düşük maliyetli olan “güneş bacaları” üzerinde duruyor.

Fizikteki “ısıyan hava yükselir” prensibinden hareket eden güneş bacaları, cam veya şeffaf plastik tüneller (kolektör) içinde güneş enerjisiyle ısıyan havayı bir tüp yoluyla daha soğuk olan güneş bacasının içine hareketlendiriyor. Hava yükselirken, rüzgâr türbinlerinde olduğu gibi pervaneleri hareket ettiriyor ve havanın hareketini mekanik harekete dönüştürüp jeneratörün milinin dönmesini sağlıyor. Tünellerin tabanında su kanalları bulunuyor. Gündüz havayla birlikte ısıyan su, daha geç soğuduğu için gece de tünel içindeki havayı ısıtmaya devam ediyor. Böylece güneş bacalarında gece elektrik üretmek de mümkün oluyor<sup>35</sup>. Ancak güneş bacalarının kurulum maliyeti şimdilik çok yüksek. Avustralya’da bir kalay madeninin ihtiyacı olan elektriği üretmek için inşa edilen 200 MW gücünde bir güneş bacasının maliyeti 1,67 milyar doları buldu. Çünkü bu elektrik kapasitesine ulaşmak için yaklaşık 1 km yüksekliğinde beton bir baca ve yaklaşık 10 km çapında kolektör inşa etmek gerekiyordu<sup>36</sup>. Ayrıca güneş bacaları, kurulmaları için en uygun yerler olan çöl ve kurak arazilerde sıkça yaşanan kum fırtınaları ve diğer olumsuz hava şartlarından olumsuz etkilenebiliyor ve elektrik üretimini sekteye uğratabiliyor.

Bu nedenlerle güneş bacaları dünya genelinde yeterince yaygınlık kazanmadı. Türkiye’de ise güneş bacası kurmak için yeterli güneş alan bölgelerin sayısı bir hayli fazla. Buna rağmen bugüne kadar sadece bir tane güneş bacası kuruldu. Türkiye’de bulunan tek güneş bacası 2014 yılında Greenway CSP tarafından kurulan Mersin Solar Kulesi’dir. Mersin Solar Kulesi 60 m yüksekliğinde ve 1 MW üretim kapasitesine sahiptir<sup>37</sup>.

31 <https://www.amerikaninsesi.com/a/evrenin-enerjisi-fuzyon-enerji-ihtiyacina-cozum-olacak/5131382.html>

32 <https://www.iter.org/proj/inafewlines>

33 <https://www.fusionindustryassociation.org/about-fusion-industry>

34 <https://time.com/6123622/nuclear-fusion-viability/>

35 [https://www.emo.org.tr/ekler/d7156b2c2f7038c\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/d7156b2c2f7038c_ek.pdf)

36 <https://www.nationalgeographic.com/history/article/140416-solar-updraft-towers-convert-hot-air-to-energy>

37 <https://t24.com.tr/haber/mersinde-turkiyenin-ilk-gunes-enerjisi-kulesi-kuruldu,228514>

## Wi-Fi Sinyalinden Elektrik Üretmek Mümkün

Elektriği kablolarla bağlı kalmadan havada serbestçe aktarmak, 19'uncu yüzyıl sonunda yaşayan mucit Nikola Tesla'nın en büyük düşlerinden biriydi. O hayal 21'inci yüzyılda gerçek olabilir. Radyo frekansı veya Wi-Fi gibi elektromanyetik dalgalarda elektrik üretilmesinde önemli aşama kaydedildi. Bu yönetime "elektromanyetik dalgalardan enerji hasadı" deniyor. Araştırmacılar tarafından 2012 yılında gündeme getirilen bu teknoloji ile birkaç mikrowatt seviyesinde güç elde edilebiliyordu. O tarihten bu yana yapılan çalışmalarla, değişik TV kanallarından, Wi-Fi bağlantılarından, mobil şebekelerden, el tipi elektronik cihazlardan bugün miliwat seviyesinde güç elde etme kabiliyetine ulaşılmış bulunuyor. Böylece, örneğin çok düşük enerji tüketimleri olan IoT (Internet of Things) cihazlarının, değişik uygulama platformları bulunan sensörlerin, ayrıca giyilebilir elektronik cihazların çalıştırılmasına yetecek elektrik üretiliyor. Ayrıca elektromanyetik dalgalardan enerji hasadında mesafeler de uzadı. Eskiden elektrik hasadı yapılabilmesi için enerji kaynağının en fazla birkaç yüz metre ötede olması gerekiyordu. Yapılan çalışmalarla bu mesafe, 10 km'den daha büyük uzaklıklara çıkmış durumda.

Bilim insanları elektromanyetik frekanslardan elektrik üretebilmek için bunların gücünü artırmak ve yönünü düzeltmek için de bir cihaz geliştirdi. Rektenna adı verilen bu cihazlar, elektromanyetik dalgalardan gelen enerjiyi elektriğe dönüştüren alıcı antenlerdir. Bu antenler Wi-Fi (2,4 GHz ve 5,9 GHz), küresel uydu konumlandırma (1,58 GHz ve 1,22 GHz), dördüncü nesil hücreli iletişim (4G) (1,7 GHz ve 1,9 GHz) ve Bluetooth'taki elektromanyetik radyasyonu kablosuz olarak toplayabiliyor ve enerjiyi alternatif akıma (AC) dönüştürüyor<sup>38</sup>. Ancak bunlardan elde edilebilecek elektrik miktarı çok düşük seviyede kalıyor ve bazı giyilebilir elektronik ürünler (akıllı saat, akıllı bilezik vb) ile bazı sağlık implantlarında kullanılabiliyor. Ancak gelecekte daha fazla araştırma ve yatırımla pahalı elektrik iletim hatlarına gerek kalmadan elektriğin taşınmasının sağlanması bile büyük ekonomik kazanç sağlayacağı öngörülmektedir.

Sonuç itibarıyla, elektrik üretiminde sınırsız ve güvenilir kaynaklar üzerinde çalışmalar büyük ivme kazanmış durumda. Hâlen yürütülen çalışmaların bazıları başarısız olabilir, beklenen sonucu vermeyebilir veya başka büyük sorunlara yol açtığı fark edilerek terk edilebilir. Ama şurası kesin: Küresel enerji üretimi sektörü, önümüzdeki 10 ila 20 yılda bugünkü görünümünden çok daha farklı olacak. 