




OSMOTİK ENERJİ



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/ bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.

 STM ThinkTech

1. GİRİŞ

Dünya genelinde artan nüfus ve büyüyen endüstrilerle birlikte enerji ihtiyacı da sürekli artmaktadır. Hidroelektrik ve termik santrallerin, güneş panellerinin, rüzgâr türbinlerinin sayısı her geçen gün artarken yeni ve sürdürülebilir enerji kaynakları arayışı hız kesmeden devam etmektedir.

Artan enerji ihtiyacımızla birlikte çevreye verdiğimiz zarar da artış göstermektedir. Bilim insanları doğaya bakarak çeşitli yöntemlerle enerji ortaya çıkarmaya ve aynı şekilde bu enerjinin de temiz bir enerji olmasına özen gösteren metotlar geliştirmeye çalışmaktadır. Bu alternatif kaynaklar arasında diğerlerine oranla çok daha az kişinin bildiği, ancak temiz enerjide yeni bir seçenek olacak osmotik enerji öne çıkmaktadır.

Farklı yoğunluklara sahip suyun aynı yoğunluğa gelene kadar yarı geçirgen bir zar aracılığıyla, birbirleri arasındaki geçişine (difüzyonuna) osmoz denmektedir. Osmotik enerji ise bu doğal fenomenin kullanılmasıyla elde edilecek enerjiyi ifade etmektedir. Osmotik enerji doğaya zarar vermeden, sadece doğal yollarla üretilebilen bir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Osmotik enerjinin elde edilebileceği doğal alanların başında nehirlerin denize aktığı kıyı alanları gelmektedir. Farklı tuzluluğa sahip nehir ve deniz suyu arasındaki oluşan osmotik basınç değişiminin yarattığı potansiyel enerjinin türbinler yardımıyla elektrik enerjisine çevrildiği osmotik enerji santralleri ve teknolojsi hâlâ araştırma ve geliştirme aşamasındadır. Ancak, dünyadaki artan enerji ihtiyacı ve yenilenebilir enerji teknolojilerine duyulan ilgi, bu alternatif enerjinin de potansiyel olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır.

Bu raporda; gelecek vadeden bu enerjinin ne olduğuna ve nasıl çalıştığına değinilerek, yapılan son araştırmalar ışığında gelecekte sağlayacağı faydalar üzerinde durulacaktır.

2. OSMOTİK ENERJİ (MAVİ ENERJİ) NEDİR?

Osmotik enerji veya diğer adıyla “mavi enerji”, deniz suyu ve tatlı suların basınç ve tuzluluk farklarından faydalanılarak üretilen yenilenebilir temiz enerjiyi tanımlamaktadır. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha az oranda enerji üretimi sağlasa da stabil ve sürekli bir enerji kaynağı olması sebebiyle önem kazanmaktadır. Diğer yenilenebilir enerjiler hava durumu, zaman ve iklimden kaynaklı dalgalanmalar yaşarken özellikle akarsu ve denizlerin birleştiği noktalardan üretilebilen osmotik enerji yıl boyunca tatlı su kaynağının varlığı devam ettikçe stabil bir enerji üretimi sağlayabilmektedir. Enerji üretiminin tek atığı ise tatlı sudan tuzlu ama deniz suyundan daha az tuz oranına sahip “acımsı tuzlu su (Brakish Water)” olduğundan temiz bir enerji kaynağı özelliği kazanmaktadır^[1].

Varlığı ilk olarak 1954’te İngiliz mühendis R.E. Pattle tarafından keşfedilen osmotik enerji tuzluluk oranı düşük olan solüsyonların tuzluluk oranı yüksek olan solüsyonlara taşınması prensibiyle ortaya çıkmaktadır. Taşınma işlemi ağırlıklı olarak yarı geçirgen bir zarın tuzu engelleyerek sadece suyun geçişine izin vermesiyle gerçekleşir. Tuz konsantrasyonu yüksek ortamın basıncının artmasıyla çeşitli yöntemler aracılığıyla enerji üretilebilir.

Osmotik enerji ilk olarak 1954’te fark edilmiş olsa da kullanılan ilk yöntem 1970’lerde yarı geçirgen zarların suni olarak üretimiyle gerçek potansiyelini göstererek ticari kullanım için imkân bulmuştur. Zaman içinde osmotik enerjinin potansiyeli keşfedildikçe üretimi için farklı yöntemler de geliştirilmiştir^[2].

2.1 Osmotik Enerji Hangi Yöntemlerle Nasıl Ortaya Çıkarılır?

Osmotik enerjinin ortaya çıkarılmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

Bu yöntemlerden ilki "Basınç Gecikmeli Osmosis (Pressure-Retarded Osmosis -PRO)", tuzlu su ve tatlı suyun ayrı iki tankta biriktirilerek aralarına uygulanan yarı geçirgen bir zar mekanizmasıyla çalışmaktadır. Zar mekanizması tuzlu suyu tutarak sadece tatlı suyun geçişine izin vermektedir. Bu yöntemle tuzlu su tankında su miktarının artışı basıncı yükselterek enerji üretilmesine imkân vermektedir^[1].

Osmotik enerjinin ortaya çıkarılmasında kullanılan diğer önemli yöntem ise Ters Elektrodializ (Reverse Elektrodialysis -RED) uygulamasıdır. Bu yöntem de PRO gibi zar mekanizması kullansa da farklı olarak tuz iyonlarını geçirme özelliğiyle çalışmaktadır. İki zarlı mekanizmanın ilk zar katmanı tuzlu suyun pozitif yüklü sodyum iyonlarını geçirirken, ikinci zar katmanı negatif yüklü klorür iyonlarını geçirmektedir. Bu ikili zar mekanizmalarıyla çok katmanlı bir yapı oluşturularak tatlı suyun sisteme eklenmesiyle zarlar arasında elektrik enerjisi üretilmektedir. Herhangi bir türbine ihtiyaç duyulmadan direkt olarak enerjinin açığa çıkarıldığı RED yönteminin çok daha efektif olduğu düşünülmektedir^[2].

Kapasitif Karıştırma (Capacitive Mixing -Capmix) ise bir diğer osmotik enerji üretim yöntemidir. Bu yöntemin elektrik üretimi, elektrotların şarj ve deşarj olma döngülerine dayanmaktadır. Capmix cihazı, içinde bulunan elektrotların sekanslı bir şekilde aralarında yüksek oranda tuzluluk farkı olan iki solüsyona maruz bırakılmasıyla çalışmaktadır^[4].

Capmix yöntemi daha yüksek voltaj imkânı sunmaktadır. İçlerinde Hollanda, İtalya, Polonya ve İspanya'nın bulunduğu bir Avrupa Konsorsiyumu 2.5 milyon avroluk bir bütçeyle bu alanda araştırmalar yapmaktadır. Yapılan çalışmalarda birçok yenilik ortaya çıkmaktadır. Bu yeniliklerden biri Utrecht Üniversitesi araştırmacılarından Prof. Rene van Roij tarafından keşfedilmiştir. Araştırmaya

göre; Capmix yönteminde kullanılan tatlı suyun ısıtılarak tuzlu suyla etkileşime sokulması enerji çıkışını iki katına çıkarmaktadır. Bu ısıtma aşaması için fosil yakıt kullanılmasına bile gerek olmadığı özellikle belirtilmektedir. Su soğutma sistemlerini kullanan veri merkezleri veya diğer enerji istasyonlarının sağladığı sıcak atık suların kullanılması da yeterli olabilmektedir. Danimarkalı bilim insanları bu teori üzerinde çalışırken İspanya'nın Granada Üniversitesinden bir grup araştırmacı ise tesadüfen bu teoriyi test etme imkânı bulmuştur^[2].

Capmix yönteminin kullanılması için gerekli cihazın yapımında üç farklı yöntem uygulanmaktadır^[5]. Bunlardan ilki "Kapasitif Çift Katmanlı Genişleme (Capacitive Double Layer Expansion -CDLE)"dir. Bu yöntemde elektrik üretimi için gözenekli karbon elektrotlarından faydalanılmaktadır.

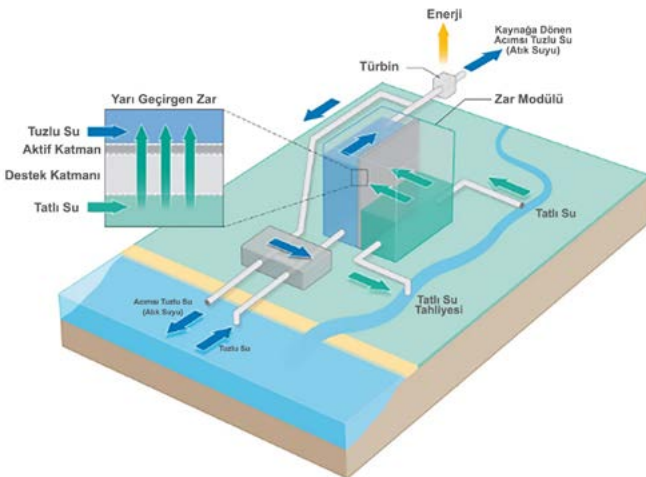
İkinci yöntem olan Donnan Gerilimine Dayanan Kapasitif Enerji Çıkarma (Capacitive Energy Extraction Based on the Donnan Potential -CDP) işlemi ise elektrotların üzerine iyon değişimli polimer bir kaplama uygulanarak gerilim üretilmektedir. Bu sayede yüksek tuz konsantrasyonlu solüsyon zarında şarj işlemi yapılırken düşük konsantrasyonlu solüsyon zarında ise deşarj işlemi gerçekleştirilmektedir.

CDLE ve CDP yöntemleri elektrotların veya zarın üzerinde farklı materyallerin kullanımına dayanmaktadır. Üçüncü yöntem olan Entropi Batarya Karışımı (Mixing Entropy Battery -MEB) ise oksidasyon/redüksiyon reaksiyonlarını kullanarak elektrotlar üzerinden gerilim sağlamaktadır.

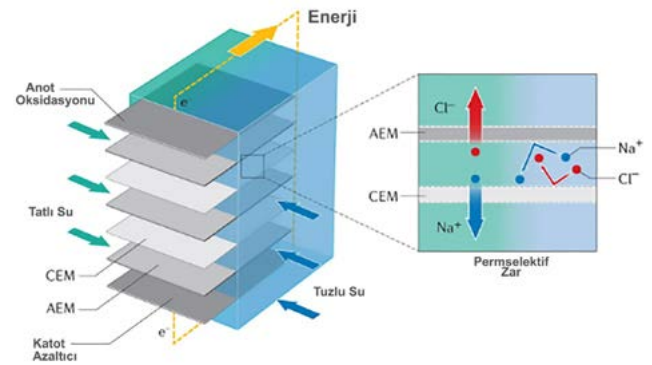
Capmix uygulamaları süper kapasitörler veya pillerden esinlenilerek tasarlanmıştır. Son altı yıldır kullanılan bu uygulamaların daha fazla gelişim alanı olduğu düşünülmektedir.

2.2 Bu Yöntemlerle Ne Kadar Enerji Üretiliyor?

İlk Basınç Gecikmeli Osmosis enerji santrali, Norveç'te Oslo kentinin hemen dışındaki Tofte köyünde 2009 yılında Statkraft şirketi tarafından faaliyete geçirilmiştir. Tesis



Şekil 1: Basınç Gecikmeli Osmosis (PRO) Enerji Santrali Çalışma Şeması^[3]



Şekil 2: Ters Elektrodializ (RED) Enerji Santrali Çalışma Şeması^[3]

açıldığı dönemde 4kW enerji üretebilmiştir. Nükleer santrallerin 5000kW enerji ürettiği günümüzde Osmotik Enerji Santralini düşük enerji üretimi inşaat, işletme ve bakım masraflarını karşılamadığından 2013 yılında kapatılmıştır. Ancak Statkraft'ın gelecek teknolojilerle enerji üretimini daha efektif hale getirmek için yaptığı çalışmalar devam etmektedir^[2].

Ters Elektrodializ (RED) yöntemi için REAPower İtalya'da bir prototip enerji santrali çalışması yapmıştır. Tesiste tek bir zar mekanizmasıyla doğal solüsyonlar kullanılarak 40 W enerji üretilmiştir. Beş aylık çalışma süresinde herhangi bir enerji kaybı gözlemlenmediğinden bu yöntemin sabit enerji üretiminde güven verdiği düşünülmektedir. Doğal solüsyonların dışında suni solüsyonlar kullanıldığında üretimde yüzde 60'lık bir artış gözlemlenmiştir. Pilot projede gelecekte kurulacak iki yeni RED sistemi ile 1 kW enerji üretimi planlanmaktadır^[5].

REAPower aynı zamanda RED yöntemiyle farklı solüsyonlarla da çalışmalar yapmaktadır. Yapılan çalışmalar osmosis yönteminin kullanılan sulardaki tuzluluk oranına dayanması nedeniyle farklı solüsyonlarla da çalışabildiğini göstermektedir. Yeni çalışmalarda deniz suyunun tuzlulukta düşük konsantrasyonlu olarak kullanılması ve salamura'nın tuzlulukta yüksek konsantrasyonlu olarak kullanılmasıyla teoride 450 kW'a kadar enerji üretebileceğini göstermektedir.

İsviçre'de bulunan École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) araştırmacıları ise osmotik enerji üretiminde iyonların kullanımı yöntemi için geliştirdikleri yeni bir zar çok daha yüksek verimde elektrik üretebileceği üzerine çalışmaktadırlar. Molibden Disülfid'ten üretilen zarın pozitif yüklü iyonları geçirmesi ve negatif yüklü iyonları engellemesi özelliği ile yüksek verimde enerji üretebilecektir. Çalışmanın odaklandığı zorluk geçirgen alanların büyüklüğüdür. Geçirgen alan çok büyük olursa geçmesi istenmeyen negatif iyonlar da geçebileceğinden voltaj düşecektir. Geçirgen alan çok küçük olursa pozitif iyonlar geçmekte zorlanacağından akım zayıflayacaktır. Ancak geçirgen alanlar doğru büyüklüklerde uygulandığında ve

1 metre kare büyüklüğünde bir zarın üzerinde toplamda yüzde 30 oranında nano geçirgen yüzey sağlandığında 1 MW elektrik üretebileceği öngörülmektedir^[7].

2.3 Faydaları ve Dezavantajları nelerdir?

Osmotik enerji; saat, hava durumu veya mevsimsel değişikliklerden etkilenmediğinden sürekli ve stabil bir temiz enerji kaynağı olarak görülmektedir. Oldukça zararsız atık ürünü olan acımsı tatlı su, su kaynaklarının tuzluluk oranlarını değiştirebileceğinden deniz canlıları için nasıl bir risk yaratacağının bilinmemesi bir dezavantaj olarak görülmektedir^[8].

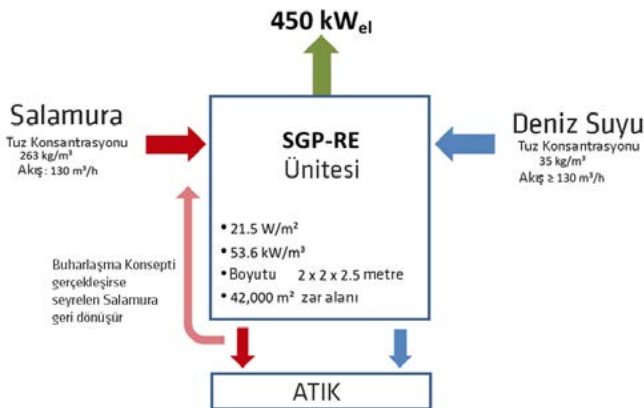
Osmotik enerjide en çok tercih edilen yöntemlerden biri olan PRO uygulamalarında kullanılan yarı geçirgen zarların üretim ve bakım maliyetlerinin yüksek olması üretilen enerji ile kıyaslandığında bir dezavantaj yaratmaktadır. Ancak bu alanda yapılan yeni araştırmalar daha ekonomik ve dayanıklı zarların üretilmesine imkân vererek bu dezavantajı ortadan kaldırma potansiyeli göstermektedir^[9].

2.4 Osmotik Enerjiyi Artırmak için Yapılan Son Çalışmalar

Osmotik enerjinin ortaya çıkarılmasında kullanılan zar mekanizmalarının zaman içinde zayıflaması üretilen enerjide bir kayba neden olabilmektedir. Bu nedenle zar mekanizmalarının çok sağlam yapıda olması önemlidir. Ancak sağlamlık artıca iyon geçirgenliği de zorlaşmaktadır.

Avustralya'da bulunan Deakin Üniversitesi İleri Materyal Enstitüsü araştırmacıları bu sorunu, kurşun geçirmez zırhlarda kullanılan aramid nanofiberlerle boron nitratı karıştırarak büyük ölçüde aşmış durumdadır. 18 Aralık 2019'da yayınlanan araştırmaya göre; canlı dokuların zar yapıları örnek alınarak tasarlanan suni zar kemik kadar sağlam ve kırık kadar iyi iyon geçirgenliğine sahiptir. Araştırmacılar yeni zar tasarımının 0 ile 95 santigrat dereceleri arasında 2.8 ile 10.8 pH değerlerine dayanıklı olduğunu belirtmişlerdir. Kullanılan materyallerin ekonomik oluşu ise osmotik enerji teknolojisinin düşük maliyetle daha efektif kullanımına imkân vermektedir^[10].

ABD'de bulunan Stanford Üniversitesi araştırmacıları ise bilinen yöntemlerden farklı olarak tasarladıkları bir pil mekanizmasıyla osmotik enerjinin üretebileceğini açıklamışlardır. Araştırmaya göre; yeni pil tasarımıyla kıyı atık su arıtma tesislerinin kendi elektriğini üretmek için şebekeden bağımsız çalışması mümkün görülmektedir. Hâlihazırda arıtma sistemleriyle tatlı suyu deniz suyuyla buluşturan kıyı atık arıtma tesisleri ABD'de genel elektrik yükünün yüzde 3'ünü oluşturmaktadır. Doğal kaynakların yanında arıtma tesislerinde kurulabilecek pil uygulamalarıyla, tuzlu suyla karışan her 1 metreküp tatlı su 0.65 kW/h enerji üretebilmektedir. Bu değer ABD'de standart bir evin 30 dakikalık enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Küresel ölçekte teorik olarak değerlendirildiğinde kıyı atık su arıtma tesislerinin tamamında osmotik enerji pil mekanizması uygulanırsa yaklaşık üretilen 18 GW enerjiyle 15 milyondan fazla evin kesintisiz elektrik ihtiyacı karşılanabilir.



Şekil 3: RED Yöntemi Salamura Uygulaması Teorisi^[6].

Pil mekanizması, elektrotlar üzerinde yüklü sodyum ve klor iyonlarını karışım solüsyona salarak bir elektrottan diğerine akım elde edilmesini sağlamaktadır. Daha sonra atık su sisteminden gelen tatlı suyla deniz suyunun hızlı karışımı sodyum ve klor iyonlarının geri kazandırılmasını sağlayarak mevcut akımı tersine çevirir. Bu sayede enerji şarj işlemine ihtiyaç duyulmadan geri kazanılır. Bu yeni tasarımın en büyük özelliği dışarıdan bir enerji girişine ihtiyaç duymadan sürekli şarj-deşarj yapmasıyla enerji depolanmasıdır^[11].

3. OSMOTİK ENERJİYİ KULLANAN ÜLKELER

Osmotik enerjinin üretilmesinde özellikle zar mekanizmalarının sorunlarının aşılması konusunda Norveç ve Hollanda aktif araştırma yapan ülkelerin başında gelmektedir. Statkraft ile Norveç PRO enerji üretim metodunda ilk pilot enerji istasyonunu uygulayan ülke olmuştur^[12].

Statkraft'ın ilk PRO pilot uygulamasını başlatmasından sonra PRO Hibrid Enerji Santrallerinin pilot uygulamaları da önem kazanarak ortaya çıkmaya başlamıştır. RO-PRO (Reverse Osmosis-Pressure Retarded Osmosis) hibrid enerji santrali pilot uygulaması Japonya'da bulunan bir mega-ton su projesiyle inşa edilmiştir. RO-MD-PRO (Reverse Osmosis-Membrane Distillation-Pressure Retarded Osmosis) hibrid enerji santrali ise Küresel MVP projesi altında Kore'de hayata geçmiştir.

Kanada kıyı şeridinde özellikle merkezilere uzak yerleşimlerin enerji ihtiyacı için PRO uygulamalarını araştırırken; İran, Bahmanshir nehri ile Basra Körfezi'nin bulunduğu yerde 25 MW'lık bir PRO Enerji santrali inşası üzerine araştırma yapmaktadır.

Avustralya ise PRO işlemlerinde farklı solüsyonlarla daha iyi enerji elde edilmesiyle ilgili araştırmalarla yeni zar modelleri ve prosesler geliştirmektedir^[13].

ABD'de Stanford Üniversitesinde yapılan çalışmalarla kıyı şeridinde faaliyet gösteren atık su arıtma tesislerini kapsayan projeleriyle osmotik enerjiye ilgi gösteren ülkeler arasına girmiştir^[11].

3.1 Osmotik Enerji Türkiye'de Kullanılıyor mu?

Türkiye ağırlıklı enerji kaynağı olarak petrol ve doğalgazı kullanmakta ve bunları ithal etmektedir. Ülke genelinin enerji ihtiyacının ancak yüzde 26'sı yerel kaynaklardan sağlanabilmektedir. Türkiye, OECD ülkeleri arasında son 15 yılda enerji ihtiyacının en hızlı büyüdüğü ülke olmuştur.

2018 yılında İTÜ, MEM-TEK ve İSKİ ortaklığıyla İstanbul'da yapılan bir araştırmaya göre; zengin akarsu kaynaklarının tuzlu suyla bulunduğu konumlara uygulanacak PRO tip osmotik enerji santralleriyle minimumda 25.45 MW elektrik üretilmesi mümkün görülmektedir. Araştırmada seçilmiş akarsu yataklarının akış hızının

yüzde 20'si kullanıldığında ise 101.8 MW elektrik enerjisi üretilbileceği belirlenmiştir^[14].

Osmotik enerjinin Türkiye nehirleri için potansiyeli bulunmaktadır. Ancak henüz uzun süreli işletilen herhangi bir santralin olmaması, olası olumsuz etkilerinin değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır.

Ülkemiz sınırları içinde denize dökülen sekiz büyük nehir için yapılan değerlendirmede yıllık kapasitenin yaklaşık 1000 MW olduğu hesaplanmıştır. Ancak bu kapasitenin fiziksel şartlara oldukça bağımlı olduğu bir gerçektir. Özellikle ülkemizde nehir debilerinin mevsimsel değişimlerden etkilenerek durma noktasına geldiği durumlar bu konuda bir limit olarak ön plana çıkmaktadır.

Benzer bir etkileşim deniz-nehir tuzluluk oran farklılıklarında kendini göstermektedir. Nehir debisinin mevsimsel değişimlerden en az etkilenbilmesi nehir akışının kontrol edilmesiyle mümkündür. Bu durum nehirler üzerinde kurulu olan baraj ve diğer kontrol yapılarının kıyıda bulunacak osmotik enerji santralleriyle uyumlu olarak planlanmasını gerektirecektir. Bu tip bir planlama ise suyun diğer kullanımları (tarım, sanayi vb.) da göz önüne alınarak yapılmalıdır^[15].

4. SONUÇ

Dünyada artan enerji ihtiyacı ve yenilenebilir enerji teknolojilerine duyulan ihtiyaç, osmotik enerjiyi en umut verici yenilenebilir enerji kaynaklarından biri haline getirmektedir. Osmotik enerji konusunda yapılan araştırmalar arttıkça bu enerji daha da kullanışlı hale gelecektir.

Geleceğin en temiz enerji kaynaklarından biri olma potansiyeli olan osmotik enerji, kaynağını akarsu ve denizlerden aldığından çok büyük bir potansiyele sahiptir. Güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi gibi diğer temiz enerji kaynakları gün ışığı ve hava durumuyla sınırlıyken osmotik enerji farklı tuz konsantrasyonlarında iki solüsyonla ortaya çıkarılabildiğinden çok daha stabil ve yaygın kullanım alanı bulabilir^[7].

Bazı çevreler osmotik enerjiyi sınırsız bir potansiyel sunduğu gerekçesiyle överken, kimileri de maliyetin, hedeflerin önüne geçeceği görüşündedir.

Osmotik enerjide henüz verimliliğin enerji maliyetlerini karşılayamaması alternatif geliştirme çabalarını beraberinde getirmektedir. Bu enerjiden en iyi şekilde yararlanmak için süreç çok iyi optimize edilmelidir. İleride bu sorunların ticari engeller haline gelmesini önlemek için kamu ve özel araştırmalarla ortak bir kalkınma zemini oluşturulmalıdır^[16].

Araştırmacılara göre, "mavi enerji" o kadar büyük bir kaynaktır ki tüm enerji ihtiyacımızı karşılayabilir. Sadece ona dokunmanın etkili bir yolunu bulmak gereklidir. Bu sayede mavi enerjinin geleceğin yeni yeşil enerjisi olabilmesi mümkündür^[2].

KAYNAKÇA

- [1] Davis, Matt; (2019), “New membrane enables us to harvest ‘osmotic’ energy from water”, *Big Think*, (30 Aralık 2019), <https://bigthink.com/technology-innovation/membrane-osmotic-energy?rebellitem=1#rebellitem1>. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [2] Ball, Philip; (2015), “Blue energy: How mixing water can create electricity”, *BBC*, (10 Haziran 2015), <https://www.bbc.com/future/article/20150610-blue-energy-how-mixing-water-can-create-electricity>. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [3] *Nature*, “Figure 1: Osmotic energy conversion power plant.”, <https://www.nature.com/articles/s41570-017-0091/figures/1>. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [4] Logan, Bruce; “Energy From Water”, *PennState*, <https://sites.psu.edu/energyfromwater/technologies/capmix/>. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [5] Tedesco, Michele; (2016), “Performance of the first Reverse Electrodialysis pilot plant for power production from saline waters and concentrated brines”, *Research Gate*, (Ocak 2016), https://www.researchgate.net/publication/283482583_Performance_of_the_first_Reverse_Electrodialysis_pilot_plant_for_power_production_from_saline_waters_and_concentrated_brines. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [6] *Reap Over*, “The Project”, <https://www.reapower.eu/project-scope/reverse-electrodialysis-technology.html?id=2.html>. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [7] Gorey, Colm; (2016), “Osmotic power breakthrough could be the next major renewable energy”, *Silicon Republic*, (14 Temmuz 2016), <https://www.siliconrepublic.com/machines/osmotic-power-renewable-energy>. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [8] Davies, Alexander; “How will hydro energy look in the future?”, *Howstuffworks*, <https://science.howstuffworks.com/environmental/energy/hydro-energy-future6.htm>. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [9] Borghino, Dario; (2014), “MIT study could slash the cost of renewable osmotic power”, *New Atlas*, (2 Ekim 2014), <https://newatlas.com/mit-osmotic-power/33464/>. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [10] *Science Daily*, (2019), “Membrane inspired by bone and cartilage efficiently produces electricity from saltwater”, (18 Aralık 2019), <https://www.sciencedaily.com/releases/2019/12/191218153539.htm>. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [11] Gordon, Philip; (2019), “Stanford researchers generate ‘blue energy’ by mixing sea and fresh water”, *Smart Energy International*, (16 Ağustos 2019), <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/new-technology/stanford-researchers-generate-blue-energy-by-mixing-sea-and-fresh-water/>. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [12] *Climate Technology Center & Network*, “Osmotic power”, <https://www.ctc-n.org/technologies/osmotic-power>. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [13] Kim, Jihye ; (2015), “Recent Advances in Osmotic Energy Generation via Pressure-Retarded Osmosis (PRO): A Review”, *Research Gate*, (Ekim 2015), <https://bit.ly/2UMq-NEZ>. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [14] Paşaoğlu, Mehmet Emin; (2018), “Applicability of pressure retarded osmosis power generation technology in Istanbul”, *International University of Sarajevo*, <http://pen.ius.edu.ba/index.php/pen/article/view/206>. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [15] Tarakçıoğlu, Gülizar Özyurt; Tiğrek, Şahnaz; Korkmaz, Ahmet Berkan; “Kıyılarda Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Osmotik Enerji: İklim Ve İnsan Etkisinin Türkiye’nin Potansiyeline Etkisi”, İnşaat Mühendisleri Odası, http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/18355_31_44.pdf. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)
- [16] Skråmestø, Øystein S.; Skilhagen, Stein Erik; Nielsen, Werner Kofod; “Power Production based on Osmotic Pressure.”, https://www.statkraft.com/globalassets/old-contains-the-old-folder-structure/documents/waterpower_xvi_-_power_production_based_on_osmotic_pressure_tcm21-4795.pdf. (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2020)



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

