

TERMAL ENERJİ DEPOLAMA İNOVASYON GÖRÜNÜMÜ RAPORU ÖZET *

Küresel enerji sisteminin Paris Anlaşması doğrultusunda dönüşümü, her türlü enerji kullanımında yenilenebilir enerji payının hızlı bir şekilde artırılmasını gerektiriyor. Termal enerji depolama (TED) teknolojileri, enerji üretimi, endüstri ve binalardaki yenilenebilir enerji kullanımının yüksek oranlarda gerçekleştirilmesine ve enerji sistemine entegrasyonuna yardımcı olabilir.

Termal Enerji Depolama, TED (Thermal Energy Storage, TES) depolanan enerjinin daha sonra kullanılabilmesi için, bir depolama ortamının ısıtılması veya soğutulmasıyla enerjinin geçici olarak depolanmasıdır. Bugün itibarıyla TED, şebeke ölçeğinde elektrik üretimi, endüstri, bölgesel ısıtma ve soğutma, binalar ve soğuk zincir lojistiği gibi çeşitli uygulamalarda test edilmiş ve uygulanmıştır.

Raporda enerji sistemlerine daha fazla VRE'nin (Değişken yenilenebilir enerji) entegre edilmesine yardımcı olabilecek gelecek vaat eden TED teknolojileri olarak 13 teknoloji seçildi. TDE dört gruba ayrılır:

1. Duyulur ısı depolaması

- depolama ortamı olarak su kullanan tank termal enerji depolama (TTED)
- katı hal termal depolama (örn. Seramik tuğlalar, kayalar, beton, dolgulu yataklar)
- erimiş tuzlar
- yer altı termal enerji depolama (YTED).

2. Gizli ısı depolama

- buz termal depolama
- sıfırın altındaki sıcaklıkta faz değiştiren maddeler (FDM'ler)
- düşük sıcaklıklı FDM'ler
- yüksek sıcaklıklı FDM'ler.

3. Termokimyasal ısı depolama

- kimyasal döngü (kalsiyum döngü)
- tuz hidrasyonu
- soğurma sistemleri(absorbsiyon)

* "Innovation Outlook Thermal Energy Storage", [IRENA](#)

4. Mekanik-termal bağlantılı sistemler

- basınçlı hava enerji depolama
- sıvı hava enerji depolaması

TED teknolojileri, ısıtma ve soğutma talebinin acil elektrik üretimi ve arz kullanılabilirliğinden ayrılmasına yardımcı olmak gibi benzersiz faydalar sunar. Ortaya çıkan esneklik, güneş ve rüzgâr enerjisi gibi değişken yenilenebilir kaynakların çok daha fazla kullanılmasını optimize eder. TED böylelikle yüksek maliyetli şebeke takviyeleri ihtiyacını azaltır, mevsimsel talebi dengelemeye yardımcı olur ve ağırlıklı olarak yenilenebilir tabanlı bir enerji sistemine geçişi destekler. ABD Enerji Bakanlığı'nın Küresel Enerji Depolama Veri tabanına göre, pompalı hidro depolama, dünyanın mevcut depolama kapasitesinin %96'sını oluştururken, geri kalanı termal depolamadan (%1,6), elektrokimyasal pillerden (%1,1) ve mekanik depolamadan (%0,9) gelir. Ancak, bu rakamların evsel sıcak su depoları veya bataryalar gibi dağıtılmış küçük ölçekli depolamayı içermediğine dikkat edilmelidir.

İletim ve dağıtım açısından TED, maliyetli elektrik şebekesi takviyesi ihtiyacını ertelemeye veya önlemeye yardımcı olabilir. Yük kaydırmayı etkinleştirerek, yenilenebilir enerjinin daha iyi kullanılmasını sağlar, şebeke tıkanıklığını azaltır.

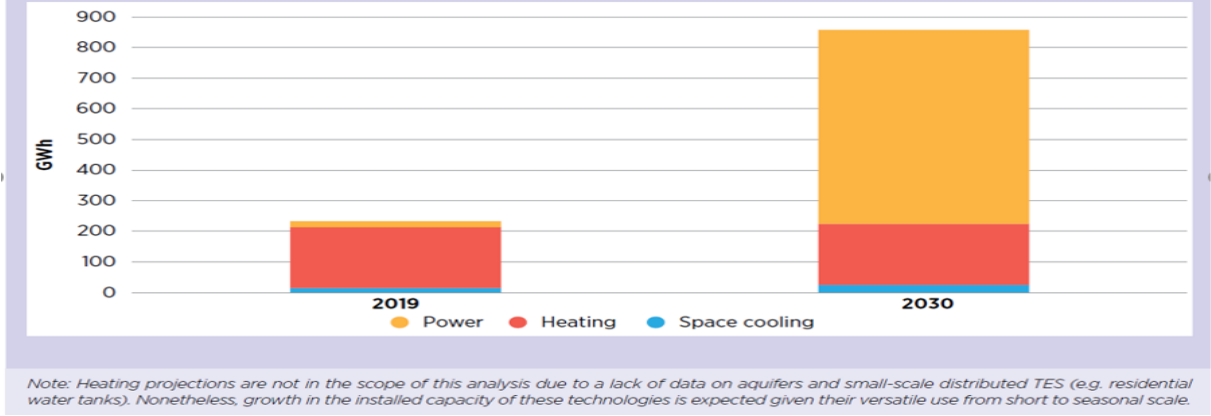
Enerji geçişinde, TED teknolojilerinin oynayacağı önemli roller vardır, ancak potansiyellerinden yararlanılmamıştır. TED teknolojilerinin ticarileşme hazırlığını artırmak için hala inovasyona ihtiyaç vardır.

TED beş ana sektörün karbonsuzlaştırılmasına katkıda bulunabilir: **enerji, sanayi, bölgesel ısıtma ve soğutma, soğuk zincir uygulamaları ve binalar.**

Küresel TED pazarı, 2030 yılına kadar üç katına çıkabilir. Bu, geçen yılki (2019) 234 gigawatt saat (GWh) kapasitenin on yıl içinde 800 GWh'nin üzerine çıkması anlamına gelir. Soğutma ve elektrik için TED uygulamalarına yönelik yatırımların aynı dönemde 13 milyar ABD Doları ile 28 milyar ABD Doları aralığına ulaşması bekleniyor. TED yatırımları, yenilenebilir enerji, verimlilik ve daha fazla elektrifikasyona geçişi destekleyerek uzun vadeli iklim ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olabilir.

* "Innovation Outlook Thermal Energy Storage", [IRENA](#)

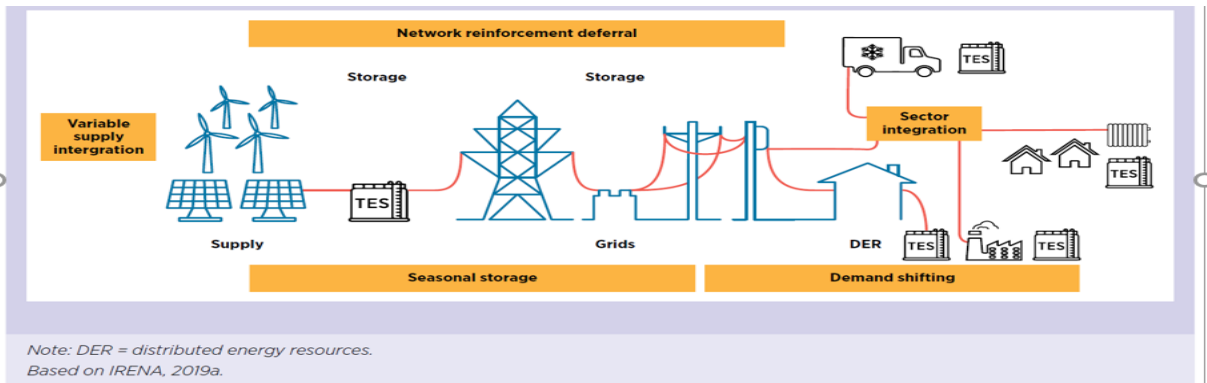
Şekil 1-IRENA'nın Paris Anlaşması ile Uyumlu Enerji Dönüşüm Senaryosuna Göre TED Kapasite Projeksiyonları



TED, COVID sonrası kurtarma için ülkelerce sunulan enerji geçişi yatırım paketlerinde önemli bir yer almaktadır. Yenilenebilir enerji, enerji verimliliği ve elektrifikasyonun yanı sıra TED'e yapılan yatırımlar, sağlık ve ekonomik altyapıyı güçlendirebilir, iyileşmeyi sağlayabilir ve enerji gelişimini küresel iklim ve sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu hale getirebilir.

Elektrik sektörü perspektifinden, başta güneş PV ve rüzgâr enerjisi olmak üzere değişken yenilenebilir enerjinin (VRE) daha yüksek payları her yıl elektrik sistemlerine giriyor. 2018'de küresel enerji sistemlerindeki elektriğin yaklaşık %10'u VRE üretimindendi. IRENA, Paris Anlaşmasındaki iklim hedeflerine uymak için, VRE'nin 2030 yılına kadar üç kat büyüme göreceğini, payını %35'e çıkaracağını ve 2050'ye kadar altı kat büyüyeceğini tahmin ediyor, böylece VRE küresel elektrik üretiminin %60'ından fazlasını sağlayacaktır. Bu kadar yüksek bir VRE payı ile, genel enerji sistemini çalıştırmak için esneklik çok önemli hale geliyor. Temel olarak, termal depolama, elektrik depolamayı ve talep tarafı önlemleri içeren daha geniş bir esneklik seçenekleri portföyünün bir parçasıdır. Termal enerji depolama (TED) teknolojilerinin entegrasyonu, bir dizi uygulama ve fayda getiren umut verici bir çözümdür.

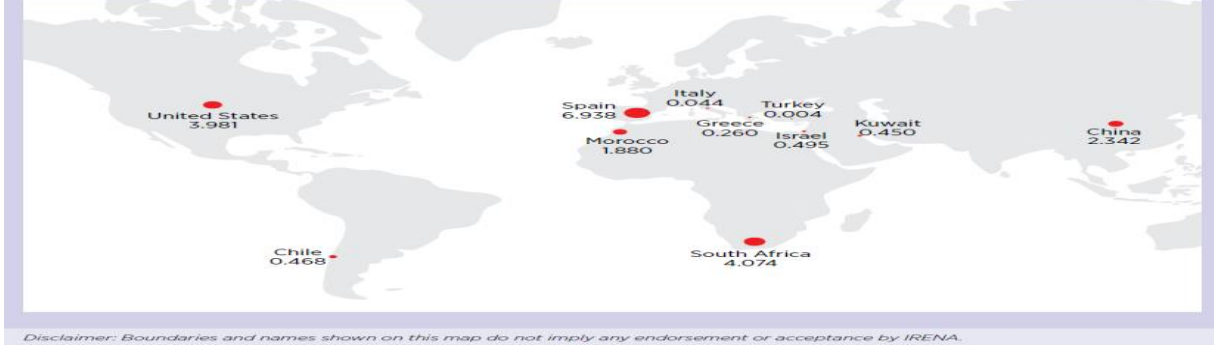
Şekil 2- TED'in (TES) Enerji Sektöründeki Temel Uygulamaları



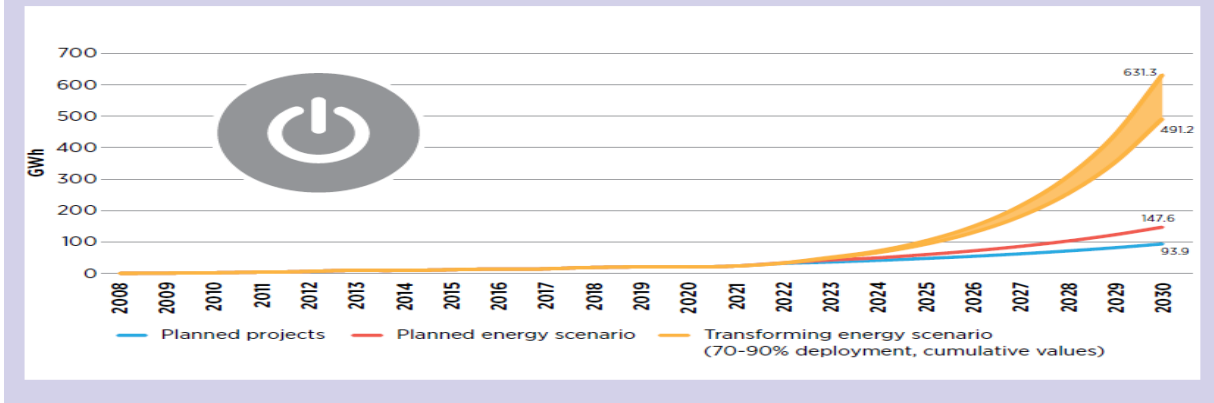
* "Innovation Outlook Thermal Energy Storage", [IRENA](#)

Mevcut küresel 234 gigawatt saatten (GWh) fazla termal enerji depolaması, arzdan talebe kadar enerji zinciri spektrumunda bir esneklik kaynağı görevi görür. Şekil 2, TED'in enerji sistemlerindeki temel uygulamalarını göstermektedir. Olgunlaşmış bir TED teknolojisinin örneği, konsantre güneş enerjisi santrallerinde erimiş tuz depolamadır.

Şekil 3- Küresel Olarak Kurulu Erimiş Tuz TED Kapasitesi (gigawatt saat)



Şekil 4- Irena Senaryolarına Göre Erimiş Tuz TED Kapasitesi Projeksiyonları



Erimiş tuz depolaması genellikle elektrik sektöründe kullanılmaktadır. Bunun nedeni, gelişmiş teknolojik hazırlığı ve konsantre güneş enerjisi (CSP) santralleri ile uygulanmasıdır. 2030'a kadar, 491 GWh ile 631 GWh arasında kurulu erimiş tuz kapasitesinin devreye girmesi bekleniyor. Yakın vadede, CSP, güneş fotovoltaikleri (PV) ve rüzgârdan elde edilen fazla enerjiyi depolayan katı hal ve sıvı hava varyantları dahil olmak üzere diğer TED teknolojilerinin ticari olarak uygulanabilir hale gelmesi muhtemeldir.

Enerji sektörü, CSP tesislerinde kullanılan erimiş tuz depolamalı ticari ölçekte TED'i benimsemiştir. Gelecek yıllarda katı hal ve sıvı hava gibi diğer TED teknolojileri, CSP, solar PV ve rüzgârdan elde edilen fazla enerjiyi depolayarak ticari seviyelere yaklaşabilir.

Erimiş tuzlar, CSP tesislerinin gündüz şarj ederek ve gece deşarj ederek sürekli olarak güç üretmesini sağlamak için bugün zaten kullanılıyor. Beton kullanan katı hal termal depolama gibi diğer TED teknolojileri de deniyor.

Erimiş tuz depolama, CSP tesisleriyle bağlantısı nedeniyle şu anda enerji sektöründeki kurulu TED kapasitesinin çoğunu oluşturmaktadır. Şu anda, dünya çapında 21 GWh'in * "Innovation Outlook Thermal Energy Storage", [IRENA](#)

üzerinde erimiş tuz depolama kapasitesi kurulmuştur. 2019'un sonunda en yüksek kurulu kapasiteye sahip üç ülke İspanya, Amerika Birleşik Devletleri ve Güney Afrika'dır.

TED kullanan CSP tesislerinin yüzdesi, depolama kapasitesiyle birlikte artmaya devam ettiğinden, erimiş tuz depolamasının daha fazla CSP kurulumuyla birlikte daha hızlı büyümesi bekleniyor. 2014'ten bu yana, çoğu CSP kurulumunda TED bulunmaktadır.

Önümüzdeki beş yıl içinde, yeni nesil erimiş tuzlar, çalışma sıcaklığı aralıklarını 700 °C'ye kadar artırabilir ve performansı iyileştirebilir, bu da CSP tesislerinin gidiş-dönüş verimliliğini %92'nin üzerine çıkarabilir.

IRENA, erimiş tuz TED için mevcut kurulum maliyetlerinin 26,1 USD / kWh ile 40 USD / kWh arasında değişeceğini tahmin ediyor. TED için 8-11 saatlik bir nominal işletme kapasitesi varsayıldığında, CSP kapasitesine (IRENA'nın Enerji Dönüşüm Senaryosuna göre) uyması için önümüzdeki 10 yıl içinde erimiş tuz TED'e ihtiyaç duyulan kümülatif yatırım, 12,3 milyar ila 24,4 milyar ABD doları arasındadır. Bununla birlikte, 2030 yılına kadar 21,8-25,8 ABD Doları / kWh maliyet varsayıldığında, depolama teknolojileri için maliyetler düşmeye devam ederse, ihtiyaç duyulan yatırım miktarı 10,2-15,7 milyar ABD Dolarına düşebilir.

2030'da beklenen soğutma talebini karşılamak için soğutma ihtiyacına dair küresel TED kapasitesinin iki katına çıkması bekleniyor. Faz değiştiren madde (FDM) ve diğer TED teknolojileri, soğuk zincir uygulamalarını tamamlayarak üretim, depolama ve nakliye için soğutma yüklerinde esneklik sağlar.

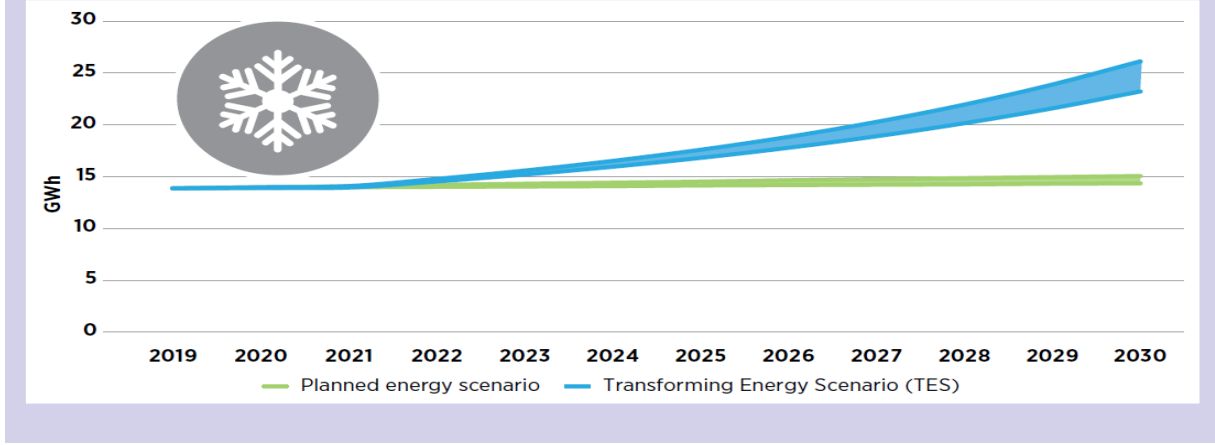
Halihazırda IRENA tarafından 2019 sonunda belirlenen toplam 400 TED projesinden, 13,9 GWh kurulu TED kapasitesine karşılık gelen yaklaşık 160 proje, binalarda ve bölgesel soğutma sistemlerinde soğutma için kullanılıyor. Önümüzdeki yıllarda, özellikle sıcaklıkların aşırı seviyelere ulaştığı ve daha da gelişmiş ve büyük ölçekli soğutma teknolojilerinin benimsendiği bazı gelişmekte olan ekonomilerde bu sayı hızla artabilir.

2030'da soğutma talebini karşılamak için soğutma TED'in küresel dağıtımında tahmini iki katına çıkması gerekiyor ve önümüzdeki on yılda yaklaşık 560 milyon ABD Doları ile 2,82 milyar ABD Doları arasında gerekli yatırım gerekiyor.

Bölgesel ısıtma ve soğutmada TED kullanımı, talebi arzdan etkin bir şekilde ayırarak enerjinin mevsimsel olarak depolanmasına olanak tanır. Bölgesel ısıtma, halihazırda tank TED (veya TTED) ve yer altı TED (veya YTED) gibi duyulur ısı teknolojilerini içermektedir.

* "Innovation Outlook Thermal Energy Storage", [IRENA](#)

Şekil 5- Planlanan ve Enerji Dönüşüm Senaryosuna Göre Küresel Düzeyde Alan Soğutma için Kurulu ve Öngörülen TED Kapasitesi



Şekil 5 soğutma uygulamaları için TED'in küresel büyümesine ilişkin iki senaryoyu incelemektedir. Biri mevcut bir politika senaryosu olan Planlanan Enerji Senaryosu; diğeri ise büyük ölçüde yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği teknolojilerine dayanan Enerji Dönüşüm Senaryosu'dur.

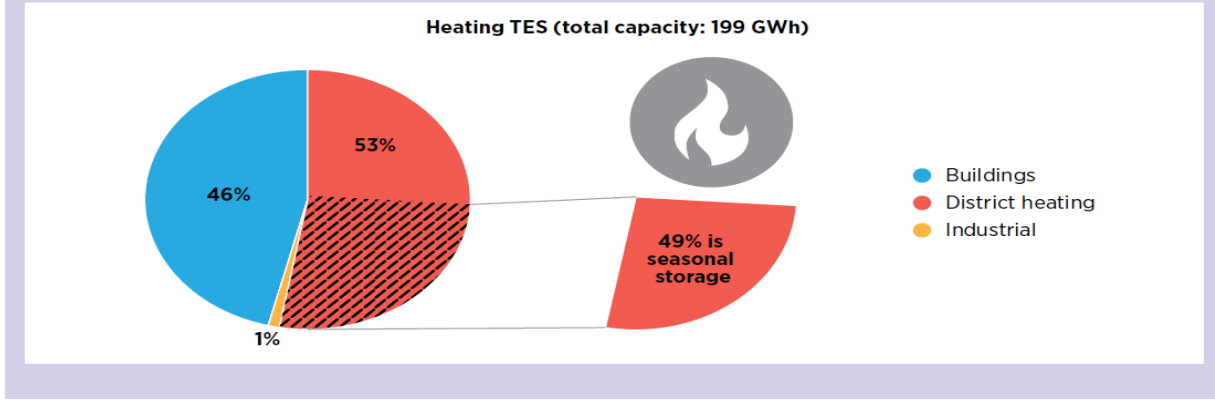
IRENA'nın analizine göre, alan soğutma için enerji talebi 2016'da 8,1 exajoule'a (EJ) ulaştı ve istikrarlı bir şekilde artarak 2030'da neredeyse 11,3 EJ'ye ulaşacağı tahmin ediliyor. IRENA, enerji verimliliği önlemleri (örneğin, binaların yalıtımı ve güçlendirilmesi) ve yenilenebilir teknolojilere göre, Dönüşüm Enerji Senaryosu altında artış hızı 2030'da 9,3 EJ'ye ulaşacak şekilde yavaşlayabilir. Bununla birlikte, talepteki bu artış, daha fazla esneklik ve talep kaydırmayı sağlamak için soğutma için TED'in daha fazla konuşlandırılmasını gerektirir. Bu, daha düşük genel sistem maliyetleriyle soğutma talebini karşılamaya yardımcı olabilir. Bu tür teknolojiler arasında tank termal enerji depolaması (TTED), yer altı termal enerji depolaması (YTED) ve FDM bulunur.

Su deposu TED, küresel olarak binalarda zaten kullanılmaktadır. Daha az ölçüde, yer altı TED, daha küçük ölçekli kurulumlarda da kullanılmaktadır. Buz ve katı hal termal bataryalar bu uygulama için erken geliştirme aşamasındadır. Duyulur, gizli ve termokimyasal TED için yenilikçi teknolojiler de yüksek dereceli ısıyı depolamak için denemelerden geçiyor.

Binalar gibi son kullanım sektörlerindeki enerji talebi, mevsimsellikten büyük ölçüde etkilenmektedir. Termal depolama, enerjiyi saatler, günler, haftalar ve hatta aylarca depolayabilir ve arz ve talepte mevsimsel değişkenliği gidermeye yardımcı olur. Termal tanklar (su kullanarak), katı hal (kayalar, beton ve seramik tuğlalar gibi depolama ortamlarını kullanarak) ve yer altı TED (YTED) gibi TED teknolojileri, yaz aylarında fazla enerji üretimini depolayabilir ve daha sonra soğuk mevsimlerde yeniden ısıtma sağlayabilir. Ayrıca, su tankları ve YTED, bölgesel soğutma sağlamak için mevsimsel olarak kullanılabilir. Bu, tüketicilerin en fazla ısıtma veya soğutmaya ihtiyaç duyduğunda elektrik talebinin pik ihtiyacını karşılamaya yardımcı olur.

* "Innovation Outlook Thermal Energy Storage", [IRENA](#)

Şekil 6- Isıtma Uygulamaları İçin Kurulu TED Kapasitesi



CSP ile harmanlanan güneş enerjisi, güneş enerjisinin daha sonra kimyasal bir reaksiyon yoluyla serbest bırakılmak üzere depolandığı termokimyasal döngü sistemi aracılığıyla kimyasal enerji olarak da depolanabilir.

2030 yılına kadar sıvı hava enerji depolamasında, adyabatik basınçlı hava enerji depolamada ve katı hal sistemlerinde verimliliklerin artması ve rüzgâr ve güneş PV üretiminde TED'in daha fazla kullanılmasını sağlaması ve ayrıca potansiyel olarak hizmet vermesi beklenmektedir.

2050 yılına kadar termokimyasal sistemler, özellikle birleşik soğutma ve elektrik uygulamalarında, bölgesel ısıtma ve soğutmada yenilenebilir enerji dağıtımına yönelik fırsatları artırmak için 10 ABD Doları / kWh kadar düşük fiyatlar seviyesine gelebilir.

Endüstride ısı üretimi, kullanılan enerjinin önemli paylarını tüketerek büyük bir dekarbonizasyon ihtiyacı yaratır. TED, elektrikle çalışan ısı pompaları veya yerinde güneş enerjisi santralleri tarafından üretilen düşük sıcaklıktaki ısıyı depolamak için halihazırda kullanılabilir. Isı kullanımının üretimden ayrılması esnekliğe ve akıllı enerji kullanımı ve sürekli talebin aralıklı yenilenebilir üretim tarafından karşılanmasına izin verecektir.

Ağırlıklı olarak madencilik, gıda ve tekstil alt sektörlerinde, düşük sıcaklıkta ısı üretimi ve depolama için güneş enerjisi santralleri ile birlikte su deposu termal enerji depolama kullanımının gelişmekte olan ve artmakta olan bir kullanımı söz konusudur. Kilit pazarlar Avusturya, Çin, Fransa, Almanya, Hindistan, Meksika ve İspanya'dır.

2030 yılına kadar TTED'i de içeren teknoloji maliyetlerinin yaklaşık %30 oranında 35 ABD Doları / kWh'den 25 ABD Doları / kWh'ye düşmesi bekleniyor. Mevcut TTED'in entegrasyonu, yönetimi ve kontrolüne yönelik geliştirmelerle birlikte, bu, düşük sıcaklık gerektiren süreçler için güneş enerjisi üretiminin daha fazla konuşlandırılmasını teşvik edebilir. Önümüzdeki on yılda katı hal teknolojileri, sınırlı sektörlerde hem elektrik hem de ısı sağlamak için düşük maliyetli bir depolama biçimi sunabilir.

2030'a kadar yüksek enerji yoğunluklu FDM'ler ve tuz hidrasyon depolama çözümleri, TED sistemlerinin uzamsal ayak izini azaltmaya yardımcı olabilir ve potansiyel olarak

* "Innovation Outlook Thermal Energy Storage", [IRENA](#)

uygulama alanlarını genişletebilir. Uzun vadede, kimyasalların potansiyelini anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Buz ve diğer FDM'ler gibi TED teknolojileri bugün ticari olarak mevcuttur ve soğutulmuş araçlarda ve soğuk zincir boyunca statik soğutucularda kullanılmaktadır. Soğuk zincir, düşük sıcaklıklarda depolanması gereken ürünleri üreticisinden tüketim noktasına getirmek için gereken kesintisiz tedarik zincirini ifade eder.

TED, özellikle soğuk zincirin üretim, depolama, nakliye ve perakende segmentlerini destekleyebilir; bu, TED'in güç, soğutma ve mobiliteyi birleştirebileceği anlamına gelir. Faydalanabilecek diğer bir segment, gıda ve ilacı geliştirmek için yenilenebilir şekilde tedarik edilen soğutmadır.

Önümüzdeki yıllarda, yenilenebilir termal enerji kaynaklarından (güneş ve biyokütle birlikte üretimi gibi) üretilen soğutma, TED, özellikle absorpsiyon sistemleri kullanılarak depolanabilir.

Termal enerji depolama, yenilenebilir enerji, soğutma ve mobiliteyi etkili bir şekilde birleştirebilir.

Enerji sektörünün karbondan arındırılması konusunda ilerleme sağlanmıştır, ancak ısıtma ve soğutmadaki dekarbonizasyon zorluklarını tam olarak ele almak ve özellikle bu son kullanım sektörlerinde daha fazla yenilenebilir enerji penetrasyonu sağlamak için daha fazla politika geliştirme çalışması gerekmektedir.

Isıtma sistemlerinin (alan ve su ısıtma) verimliliği son yıllarda hızla artmış ve ısıtma talebindeki küresel artışı yavaşlatmıştır. Küresel ısıtma talebi 2018'de 212 EJ'ye ulaştı. 2019'da IRENA, binalarda, bölgesel ısıtma ve endüstriyel süreçlerde ısıtma için küresel olarak kurulu 199 GWh'nin üzerinde orta ila büyük ölçekli TED kapasitesi belirledi. Bunlar TTED, YTED ve katı hal TED'i içerir.

Endüstriyel TED sistemlerinin payındaki artış, daha fazla yenilenebilir enerjiyi güç sistemine entegre etmeyi amaçlayan enerji sektörü düzenlemeleri ve politikaları tarafından teşvik edilecektir.

TED kullanımının artırılması için politika yapıcılar ve diğer kilit paydaşlar aşağıdaki eylemleri dikkate almalıdır:

- Sanayi için karbondan arındırma planlarına ve sıcak ve soğuk tedarikine daha fazla odaklanması. Daha yüksek sistem faydaları elde etmek için bunların entegre bir enerji politikasının parçası olarak geliştirilmesi.
- Uygun Maliyetli bir enerji geçişi sağlamanın anahtarı olan karbondan arındırma enerji sistemlerine bütün sistem yaklaşımının benimsenmesi. Karbondan arındırılmış bir enerji sistemine giden en uygun maliyetli yolu belirlemek için tüm esneklik teknolojilerinin göz önünde bulundurulması.
- Isı, elektrik ve soğutma sektörlerinin karbondan arındırılmasına yardımcı olmak için sahip oldukları benzersiz potansiyeli karşılamaya yetecek kadar TED teknolojilerinin

* "Innovation Outlook Thermal Energy Storage", [IRENA](#)

Ar-Ge'sine daha fazla yatırım yapılması. Pazar farkındalığı oluşturmaya, tüketici güvenini artırmaya ve elbette teknolojiye hazırlık düzeylerini ilerletmeye yardımcı olacak demonstrasyonlara fon sağlanması.

- Politika yapımcıların daha geniş enerji politikasına bakarak, fosil yakıt sübvansiyonlarını kaldırmayı ve karbon fiyatlandırılmasının düşünülmesi düşük karbonlu ısıtma sistemlerinin rekabet gücünü önemli ölçüde artıracaktır.
- Talep tarafı esnekliğini teşvik etmek ve tüketici faturalarını düşürmenin yanı sıra yenilenebilir enerji kullanımını artırmak için pazar mekanizmaların oluşturulması. Batarya depolama için tipik olarak görülen engellerin aşılmasına yardımcı olmak ve TED sahipleri / operatörleri için ek gelir akışları sağlamak için katılımın teknolojiden bağımsız olduğu yardımcı hizmetler için bir pazarın oluşturulması.

* "Innovation Outlook Thermal Energy Storage", [IRENA](#)