

Termal Enerji Depolama Sistemlerinin Uygulanabilirliğinin İncelenmesi

*¹Beytullah Eren ve ²Muammer Köksal

*¹Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, 54187, Sakarya, Türkiye

²Lisans, Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, 54187, Sakarya, Türkiye

Özet

Günümüzde tüketilen enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıt kullanılarak enerji üreten sistemlerden elde edilmektedir. Fosil yakıtların kullanımının artması sonucu atmosfere salınan CO₂ emisyonu artmakta bu da küresel ısınmaya dolayısı ile iklim değişikliklerine yol açmaktadır. Kaynaklarımızın sınırlı olduğu düşünüldüğünde enerji ihtiyacının karşılanması var olan kaynakların daha verimli olarak kullanılması gerektiği sonucunu doğurmaktadır. Enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynaklarından mevcut teknolojiyle ve elde edilebilir imkânlarla karşılamak ve var olan yaşam döngüsü kısa olan yenilenebilir enerji kaynaklarının da çevresel etkilerini en aza indirmek gerekir. Enerji gereksiniminin %60'dan fazlası ithal kaynaklardan sağlanan ülkemizde kendi doğal kaynaklarından yararlanmasına olanak veren termal enerji depolama sistemleriyle ülke ekonomisine önemli katkılar sağlanabilir. Ayrıca TED sistemleri ile ekonomikliğin yanı sıra enerji güvenirliliği ve sürekliliği noktasında da önemli katkılar sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler:Termal enerji depolama (TED), yenilenebilir enerji, tasarım, maliyet analizi

Abstract

Today, most of the energy consumed is obtained from the systems that produce energy by using fossil fuel. As a result of increasing use of fossil fuels, CO₂ emissions to the atmosphere increase and this leads to global warming and climate change. Considering that our resources are limited, meeting the energy demand shows that the existing resources should be used more efficiently. It is necessary to meet the energy need from renewable energy sources with available technology and available facilities and to minimize the environmental impact of renewable energy sources with short life cycles. In our country where more than 60% of the energy requirement is provided from imported sources, significant contributions can be made to the national economy with thermal energy storage systems that enable it to benefit from its own natural resources. In addition, it will make significant contributions to energy reliability and sustainability with TES systems.

Key words:Thermal Energy Storage (TES), renewable energy, design, cost analysis

1. Giriş

Günümüzde enerji, gerek elde etme yöntemi gerekse gittikçe artan maliyetlerle ulaşılmaması zor bir hal almıştır. Bu nedenle enerji elde etmede yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmanın artırılması ve daha verimli kullanılabilmesi olgusu üzerinde yapılan çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Dünya nüfusunun ve endüstrileşmeyi hızla artması enerji ihtiyacının da hızla artması anlamına gelmektedir. Günümüzde tüketilen enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıt kullanılarak enerji üreten sistemlerden elde edilmektedir. Fosil yakıtların kullanımının artması sonucu atmosfere salınan CO₂ emisyonu artmakta bu da küresel ısınmaya dolayısı ile iklim değişikliklerine yol açmaktadır. Kaynaklarımızın sınırlı olduğu düşünüldüğünde enerji ihtiyacının karşılanması var olan kaynakların daha verimli olarak kullanılması gerektiği sonucunu doğurmaktadır. Enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynaklarından mevcut teknolojiyle ve elde edilebilir imkânlarla karşılamak ve var olan yaşam döngüsü kısa olan yenilenebilir enerji kaynaklarının da çevresel etkilerini en aza indirmek gerekir. Bu nedenle verimi düşük ve yaşam döngüsü kısa olan sistemler yerine belki maliyetleri bir miktar daha yüksek olmasına karşı yaşam döngüsü daha uzun olan sistemlere geçişi hızlandırmak daha olumlu olacaktır. Her üretimin dünyada bırakmış olduğu ayak izini hızlı bir şekilde düşürmek gelecek kuşaklar için bir gerekliliktir.

Enerji depolama sistemlerinin amacı enerji talebinin olduğu durumlarda kullanılmak üzere enerji üretimin talepten fazla olduğu zamanlarda enerjinin depolanmasıdır. *Termal Enerji Depolama (TED)*, bir depolama ortamını ısıtmak veya soğutmak suretiyle ısı enerjisini depolayan ve böylece depolanan enerjinin daha sonra ısıtma ve soğutma uygulamaları amacıyla kullanılacağı bir teknolojidir[1]. Termal depolama bir “ısı aküsü” olarak düşünülebilir; çünkü bu sistemde ısı enerjisi daha sonra kullanılmak üzere şekilde depolanmaktadır. Bir enerji sisteminde TED kullanmanın avantajları, enerji verimliliğinde ve güvenilirliğinde artış, yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanarak enerjide ekonomiklik, yatırım ve işletme maliyetlerinde azalma ve daha az karbondioksit (CO₂) emisyonu salınımı dolayısı ile çevre kirliliğinde azalma olarak sayılabilir[2, 3].

Isı depolama sistemlerinde her sistemin kendine has özellikleri olması sebebiyle bir standardı yoktur. Isı depolama sistemleri, iklime, güneşlenme süresine, ihtiyaçlara, ısıtılacak ortamın yapısına, enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için maliyetine katlanılabilirliğe bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Termal ısı depolama sistemleri temelde 4 ana aşamadan oluşur. Bunlar ısının depolanabileceği bir materyal, ısıyı iletcek bir ortam, ısıyı iletme esnasında kullanılacak güç ve ısı kaynağı şeklindedir[4].

Ülkemizde termal enerji depolama konusunda şimdiye kadar yeterli düzeyde çalışma yapılmamıştır. Oysa ülkemiz birçok Avrupa ülkesine göre yenilenebilir enerjiler açısından, özellikle de güneş açısından çok verimli bölgede yer almaktadır. Fakat gün geçtikçe her ne kadar

bu alanda olumlu gelişmeler yaşanmaktaysa da hem teknoloji hem de kullanılabilirlik açısından henüz mevcut potansiyeli en etkili şekilde kullanılacak seviyelere gelinmemiştir. Güneş enerjisinin termal olarak depolanması ve gerektiğinde kullanılması güneşlenme süresinin ülkemize göre çok az olduğu Almanya'da çok uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Bu çalışmada ekonomik ömrü 20-30 yıl olan termal enerji depolama sistemlerinin farkındalığının sağlanması ve aynı zamanda eldeki imkânlarla yapılabilirliğinin gösterilmesi hedeflenmektedir. Asıl amaç ise her bina için ısınma ve enerji ihtiyacının karşılanmasında ithal enerji kaynaklarının yerine, uygulanabilir bir tasarımla ülkemiz için enerji maliyetlerinin daha aza indirgenmesine katkı sağlamak ve bu yöndeki teknolojilerin artmasına imkân sağlamaktır.

2. Yöntem

2.1. Termal Enerji Depolama

Tüm termal depolama sistemleri şarj, depolama ve deşarj olmak üzere üç fonksiyona sahiptir. *Şarj*, depolama ortamına ısı sağlamak için bir ısı kaynağı kullanılması, *Depolama*, daha sonra kullanılmak üzere ısının depolanması ve *deşarj* ise depolanan ısının depolama ortamını enerji ihtiyacını karşılamak üzere kontrollü bir şekilde terk etmesi olarak ifade edilebilir[4].

Tüm termal depolama sistemleri üç temel bölümden oluşmaktadır;

- 1) Isı depolama malzemesi ve eğer mevcutsa depolama malzemesinin içinde bulunacağı bir kap (konteynır, depo),
- 2) Depolama malzemesine ısı transferini kolaylaştırmak için bir ısı değiştirici,
- 3) Termal depolamanın şarj edilmesini ve boşaltılmasını kolaylaştıran bir kontrol sistemi[4].

Fonksiyon ve temel parçalardaki benzerliklere rağmen, termal depolama sistemlerinin birçok değişik konfigürasyonu da vardır. Birçoğu, belirli bir yapı ve uygulama için özel olarak tasarlanmıştır ve benzersizdir. Diğerleri ise sadece uygulamaya göre küçük değişiklikler gösteren genel anlamda benzer tasarıma sahip sistemlerdir[4].

2.2. Termal Enerji Depolama Yöntemleri

Termal enerji depolama yöntemlerinde termokimyasal ısı depolama, gizli ısı depolama ve duyulur ısı depolama olmak üzere üç tür yöntem kullanılmaktadır. Duyulur ısı depolama, ısının iç enerji olarak depolanması esasına dayanmaktadır. Gizli ısı depolama, bir materyali faz değişimi gerçekleşene kadar ısıtma yöntemi ile sağlanmaktadır. Katı halden sıvı hale ya da sıvı halden gaz haline geçen materyal, busayede ısıyı depolamış olur. Termokimyasal ısı depolama ise tersinir endotermik kimyasal reaksiyonlardan termal enerji depolama için yararlanılması esasına dayanır. Kimyasal ısı, kimyasal bir bileşikteki bağları koparmak için gerekli olan ısı olup, bu enerjinin neredeyse tamamı sentez reaksiyonu gerçekleştiğinde geri alınabilmektedir[5].

3.Bulgular

Çok çeşitli termal depolama sistemleri vardır. Bu sistemler; termal depolama materyali ve depolama için kullanılan materyali şarj etme yöntemi ile ayırt edilebilirler. Bu sistemlerin diğer özellikleri arasında; ısısının depolanma süresi, depolanan ısı miktarı, ısı değiştiricilerin tasarımı ve ısı dağıtım sistemi sayılabilir. Termal enerji depolama sistemini tasarlayanların seçilen sistemin alan ısıtma sisteminin maliyetini, güvenilirliğini ve performansını nasıl etkileyeceğini iyi analiz etmesi gerekmektedir. Temelde tasarlanan sistem güneş enerjisinin bir yoğunlaştırılmış güneş toplayıcısı tarafından toplanıp ısıtılan havanın bir fan, blower kullanmak suretiyle tamamen yalıtılmış depoya iletilmesi üzerine kuruludur.

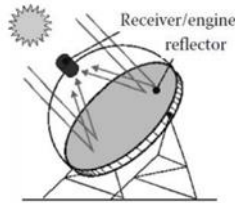
3.1. Güneş Kollektörü ve Alıcı

Enerji Bakanlığınca hazırlanan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ülkemizde yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olduğu tespit edilmiştir[6].

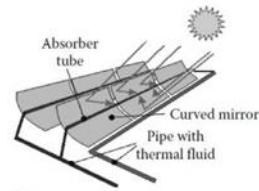
Yoğunlaştırma oranlarına ve farklı çalışma sıcaklığı seviyelerine sahip birçok tipte toplayıcı mevcuttur. Doğrusal parabolik toplayıcılar, bileşik parabolik toplayıcılar, Fresnel lensleri ve solar çanak toplayıcılar en yaygın güneş yoğunlaştırıcı toplayıcılarıdır.

Güneş termal sistemleri genel olarak düşük, orta ve yüksek sıcaklık sistemler diye ayrılabilir. Güneş ışığı konsantrasyonu olmadan çalışan düşük sıcaklıklı güneş enerjisi sistemleri düşük dönüşüm verimliliğine sahiptir ve ev içi uygulamalarda kullanılmaktadır. Güneş ışığı konsantrasyonu gerektiren orta ve yüksek sıcaklık güneş enerjisi sistemleri, daha yüksek dönüşüm verimliliğine sahiptir ve çok çeşitli uygulamalarda kullanılabilirler [7].

Bu çalışmada tasarlanan sistem için iki tip güneş kollektörü düşünülebilir. Bunlar Şekil 1 ve 2 de gösterilen parabolik çanak kollektörler ve parabolik oluk kollektörlerdir. Her iki toplayıcıda güneş radyasyonunu yoğunlaştırarak daha yüksek ısı elde etmektedir. Yoğunlaştırma oranları farklılık göstermektedir (Tablo 1).



Şekil 1. Çanak Kollektör[8]



Şekil 2. Parabolik Oluk Kollektör[8]

Tablo 1. Yoğunlaştırıcı özellikleri

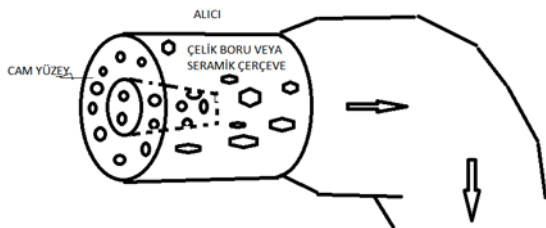
Yoğunlaştırıcı Türü	Güneş radyasyon oranı	İşletme sıcaklığı aralığı (°C)
Çanak kollektör	100-1000	120-1500
Parabolik oluk kollektör	15-45	20-400

Toplayıcıların etkin performansı için, güneşin açısal pozisyonunu takip etmesi ve onu izlemesi amacıyla doğrusal bir güneş izleyici (sun tracker) kullanılmaktadır. Toplayıcının ısı performansını artırmak için ise yüksek doğrulukta kontrol devresine sahip bir elektronik izleme sistemi kullanılmaktadır[9].

Yoğunlaştırıcı toplayıcılarda üç tip kayıp meydana gelmektedir. Bunlar, optik kayıplar, emici borunun bulunduğu ortam sebebiyle oluşan ısı kayıplar ve yoğunlaştırıcının geometrisinden kaynaklanan kayıplardır[8].

Tasarımda hangi yoğunlaştırıcı toplayıcı kullanılacağına karar vermek için, öncelikle ne kadar süreliğine bir termal enerji ihtiyacı var sorusuna cevap verilmelidir. Sonraki aşamalar, maliyetler, bölgesel ve yerel şartlar, güneşlenme süreleri göz önünde bulundurularak çanak tipi yoğunlaştırıcı veya oluk şeklindeki yoğunlaştırıcı kullanılmasına karar vermektir. Temelde daha önce de yapılan çalışmalarda ortaya konduğu gibi odak noktasına ve bu kısımdaki alıcıya önem verilmesi gerekir[7].

Alıcı tasarımları kendilerine özgü özellikler taşır. Örnek bir alıcı Şekil 3’de verilmiştir. Çanak tipi yoğunlaştırıcıda; odak noktasında yoğunlaştırıcıdan gelen ışınları emecek şekilde, 10-20 cm dış çapı olan ve orta kısmı ağzı daha geniş bir bardak şeklinde, üzerinde hava geçişine imkan veren 1-2 cm çapında delikli ve siyah renkli camdan, dışı çelikten, 25 cm uzunluğunda boru şeklinde izolasyonlu ve içerisinde kristal karbonize silikondan oluşan bir alıcı tasarlanabilir. Bu kısmın çıkışına spiral bakır borulu bir sistem konarak yaz aylarında bir Stirling buhar makinesiyle % 35’e varan verimde elektrik üretilebilir. Ya da TEG(termoelektrik jeneratör, Şekil 4) konularak veya daha yeni termoelektrik sistem konularak elektrik üretilebilir. Devamında izolasyonlu taşıyıcı boruyla sıcak havayı depoya iletecek bir fan ve ardından depo ünitesi gelmektedir.

**Şekil 3.** Örnek bir alıcı**Şekil 4.** Termoelektrik jeneratör

Kollektörün verimini artırmak için pek çok çalışmada olduğu gibi bir solar izleyici kullanılabilir. Bu güneş ışığı izleme sistemi için ışık sensörlü bir DC-motor iki cds-photoresistör kullanılabileceği gibi piyasadaki herhangi bir ihtiyaca göre tek eksenli veya çok eksenli bir ta-kip sistemi kullanılabilir[9].

Oluk yoğunlaştırıcı kullanıldığı takdirde dikey olarak ve açılı bir şekilde ısı ihtiyacının sonbahar ve kış aylarında daha fazla olması ve güneşin ülkemizde daha yatay konumda bulunduğu aylar dikkate alınarak açısı ayarlanabilir. Alıcı kısım içerisi ince bakır tel ya da alüminyum tel yumaklarıyla dolu bir çelik bir boru olabileceği gibi şayet elde edilebilirse renkli cam boru da olabilir. Alıcının içerisi yine kristal bir karbonize silikon veya bor (PCM) ile doldurulabilir.

Her iki tip yoğunlaştırıcı toplayıcının alıcısında dikkat edilmesi gereken; hava geçişini kolayca sağlayacak, verimi düşürecek toz ya da toza yakın materyallerden (silikon, bor) kaçınmaktır. Alıcıda kullanılan katı materyal yaklaşık 1-3 cm çapında olabilir. Bir diğer husus ise çanak tipi yoğunlaştırıcının daha verimli olduğunun unutulmamasıdır. Ayrıca yoğunlaştırıcıların tesis edildiği kısımlar güneşi en iyi alan kısımlar ve rüzgârı en az alan kısımlar olmalıdır. Rüzgârı tamamen kesmek amacıyla güneş ışınlarını engellemeyecek saydam bir materyalle kaplanabilir.

3.2. Depolama Materyali

Depolama materyali, kaynaklarda ısının tutulacağı ortam olarak geçmektedir. Temelde termal ısı kapasitesi yüksek materyaller kullanılması(magnezyum tuğla, silikon ve bor gibi) tercih edilir. Bu maddeler bol bulunması, ucuz olması, ısı iletkenlik, ısı karşısında genleşme katsayısının düşük olması gibi özellikler göz önünde tutularak seçilmelidir. Seçilen özellikler depo hacmi ile doğrudan bağlantılıdır. Başka katı maddeler(kaya, çakıl, doğal kauçuk vs.) veya sıvı maddelerde (sıvı tuz, su, yağ gibi) olabilir. Bu seçenekler ısı depolamanın inşa edileceği yerin büyüklüğü, ya da istenen ısı depolamanın büyüklüğü ile ilgilidir.

TED sistemleri için tipik parametreler; kapasite, güç, verimlilik, depolama süresi ve maliyet dahil olmak üzere aşağıdaki Tablo 2’de verilmiştir [2].

Tablo 2.TED sistemleri için tipik parametreler[2]

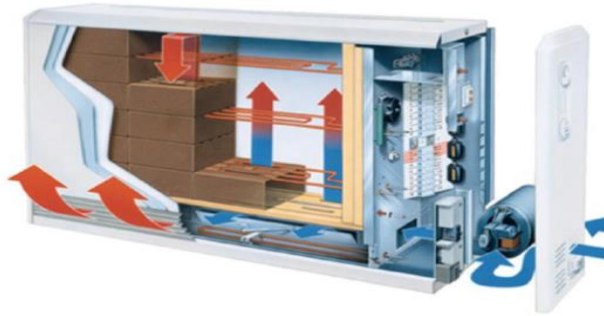
TED sistemi	Kapasite (kWh/t)	Güç (MW)	Verim (%)	Depolama periyodu	Maliyet (€/kWh)
	10-50	0,001-10	50-90	günler/aylar	0,1-10
	50-150	0,001-1	75-90	saatler/aylar	10-50
	120-150	0,01-1	75-100	saatler/günler	8-100

Aşağıdaki Tablo 3’te kum-kaya mineralleri, beton, ateş tuğlaları da dahil olmak üzere en yaygın kullanılan katı hal termal depolama malzemelerinin ana özelliklerini gösterilmektedir. Bu

malzemeler 200 °C ile 1200 °C arasında çalışma sıcaklıklarına sahiptir ve mükemmel termal iletkenliğe sahiptir[2]. Şekil 5’de magnezyum ateş tuğlası ısı depolama örneği tasarımı verilmektedir.

Tablo 3. Bazı termal depolama malzemelerinin temel özellikleri[2]

Depolama malzemesi	Çalışma sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Termal İletkenlik (W/(m.K))	Özgül Sıcaklık (kJ/(kg.°C))
Kum-kaya mineralleri	200-300	1700	1,0	1,30
Betonarme	200-400	2200	1,5	0,85
Dökme demir	200-400	7200	37,0	0,56
NaCl	200-500	2160	7,0	0,85
Dökme Çelik	200-700	7800	40,0	0,60
Silika ateş tuğlası	200-700	1820	1,5	1,00
Magnesia ateş tuğlası	200-1200	3000	5	1,15



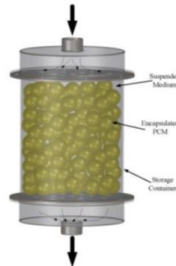
Şekil 5. Magnezyum ateş tuğla ısı depolama ünitesi örneği

4. Termal Depolama İçin Kullanılacak Malzemelerin Özellikleri

Termal depolama sisteminin boyutu Isıtma gerektiren uygulama (ısı yükü); ısı kaynağı, BTU çıkış kapasitesi ve yanma süresi; depolama malzemesinin ısıl kapasitesi; depolama süresi; tahmin edilen bekleme ısı kaybı gibi faktörlere bağlıdır. Sistem verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için termal depolama sisteminin optimum boyutlandırılması önemlidir. Ek bir ısıtma kaynağı olmadan, olması gerekenden daha küçük bir boyutlandırma yapılan termal depolama sistemleri, ısıtma taleplerini karşılamak için yetersiz olacaktır.

Araştırmalarda depo için çok fazla seçenek mevcut değildir. Sıcak su için klasik depolar piyasada mevcuttur. Bu çalışma için tasarımda kullanılacak deponun en önemli ayrıntısı dizaynı olacaktır. Galvanizli çelik malzeme veya yerin durumuna göre izolasyonlu tuğladan örülmüş ve ayrıca izole edilmiş depolar kullanılabilir. Akışkan olarak hava ise kullanılacaktır. Sistemin tamamen kapalı devirde çalışması halinde karbondioksit de kullanılabilir. Depo çalışma mantığı; yerin ve şartların durumuna göre ayarlanabilir. Literatürde üstten sıcak havanın girişi ile ve aşağıya doğru hareket

etmesi sırasında sıcaklığın üstte kalmasını sağlayan bir sistemin daha verimli olduğuanlaşmıştır[1]. Depo üstte kullanım için bir kapakla ısı geçişi kontrolü sağlanan, hem hava hem de sıvı kullanımına uygun eşanjör odası bulunacaktır. Bu kısım aynı zamanda depolama malzemesinin doldurulup boşaltılması için kapak vazifesini görecektir. Kollektördenblower (hava körüğü) vasıtasıyla gelen sıcak hava, deponun alt kısmından üste, kapak altı seviyesinden dirsekli çelik boruyla içeri girecek, deponun alt kısmındaki kontrollü kapaktan ısıyı bırakarak çıkacaktır. Deponun dış kısmı ise, deponun koyulduğu yere göre izolasyon malzemesi seçilerek izolasyonu yapılmalıdır.Şekil 6’da örnek bir depo modeli gösterilmektedir.



Şekil 6. Örnek bir depo modeli

5. Termal Enerji Depolama Sistemi Tasarımı

Çalışmanın bu kısmında çeşitli kabuller ve literatürde yer alan veriler kullanılarak bir termal enerji depolama tasarımı ve maliyet analizi yapılacaktır.

Kış aylarında standart bir evin doğalgaz tüketimi bulunduğu bölgenin iklim koşullarına, evin büyüklüğüne, yalıtımına vb. koşullara bağlı olarak değişmekle birlikte literatürde aylık ortalama 300 m³ civarında olduğu anlaşılmaktadır[10].

$$1 \text{ m}^3 \text{ doğalgaz} = 10,64 \text{ kWh} = 9146 \text{ kcal} = 38,3 \text{ MJ'dür}[12,13].$$

Buna göre standart bir evin aylık enerji ihtiyacı 3192 kWh’lik bir enerjiye karşılık gelmektedir.

Buda günlük olarak;

$$3192 \text{ kWh}/30 \text{ gün} = 106,4 \text{ kWh/gün enerji ihtiyacı demektir.}$$

1 aylık bir termal enerji depolaması düşünüldüğü varsayıldığında;

Verim % 75(% 70’ in üzeri, 450°C)[13, 14] olarak kabul edilirse,

$$3192 \text{ kWh}/0.75 = 4256 \text{ kWh/ay bir enerji ihtiyacı anlamına gelmektedir.}$$

Bu da 4256 kWh= 15318 MJ ‘e eşit olacaktır.

Bu durumda standart bir ev için $4256 \text{ kWh}/30\text{gün} = 141,87\text{kWh}/\text{gün}$ termal enerjiye ihtiyacı olacaktır.

5.1. Termal Enerji Depolama Sistemi Tasarımında Kullanılacak Kabuller

Bu çalışma kapsamında tasarımı yapılacak termal enerji depolama sisteminde kullanılacak kabuller aşağıda sıralanmıştır.

- 150-300 cm çapında ($2,54 \text{ m}^2$ - $7,06 \text{ m}^2$ alanlı) çanak toplayıcı (krom saç üzerine ayna), 100-1000 yoğunlaştırma oranı, $120 \text{ }^\circ\text{C}$ - $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ çalışma sıcaklığı aralığı[15],
- 25 cm çapında alıcı (çelik boru, kristalize silikonkarbid, delikli cam)
- Tek eksenli güneş takip cihazı (solar tracker),
- Blower (debisi yaklaşık $0,147 \text{ m}^3/\text{s}$ ve elektrik tüketimi 0.15 kWh),
- Çelik depo 2 mm et kalınlığında 3 m^3 hacimli Silindirik veya dikdörtgen tank,
- Magnezyum depolama ortamı (tuğla veya 2-5 cm çapında çakıl formunda)
- Alıcıdan depoya kadar iletim ve depo giriş çıkışları için çelik boru (15 cm çapında, 2 mm kalınlığında, 5 m boyunda),
- İzolasyon malzemesi(taş yünü veya eşdeğeri),
- Isı değiştirici (eşanjör),
- Çelik boru 15 cm çapında 1 mm et kalınlığında(depo üst kısmına yerleşecek),
- Elektrik, Elektronik aksam(zamanlayıcı vb.),
- Günlük ortalama elektriksel enerji $4,18 \text{ kWh}/\text{m}^2.\text{gün}$ [6],
- Günlük ortalama termal enerji $400*150 \text{ Watt}/\text{m}^2.\text{ }^\circ\text{C}$ [16],
- $\Delta T = 400, 800, 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ (120 - $1500 \text{ }^\circ\text{C}$),
- Sistem ömrü 20-30 yıl,
- Toplam sistem verimi % 90,
- Bekleme ısı kayıpları (yüzeye ve izolasyona bağlı) olarak % 10 dan daha az olacağı kabul edilmiştir.

5.2. Termal Enerji Depolama Sistemi Tasarımı Maliyet Analizi

Aşağıda Tablo 4'te termal enerji depolama sistemi tasarımında kullanılacak malzemelerin birim maliyetleri verilmiştir. Tablo 5'te ise TED tasarımında kullanılacak depo malzemesi ve enerji

depolama malzemelerinin maliyetleri ve Tablo 4’de yer alan malzemelerle birlikte tüm TED sistemi tasarımının toplam maliyetleri verilmiştir.

Tablo 4. Termal Enerji Depolama sistemi tasarımında kullanılacak malzemelerin birim maliyetleri

Malzeme	Maliyet (\$)
Güneş Takip Cihazı	105,00\$
Çanak	434,00\$
Fan	60,00\$
Taşıyıcı Boru	39,00\$
İzolasyon Malzemesi	46,00\$
Isı Eşanjörü	26,00\$
Diğer Giderler	86,00\$
Toplam	796,00\$

Tablo 5. Termal Enerji Depolama sistemi depo, depolama malzemesi ve toplam maliyetler

Depo Malzemesi	Depolama Malzemesi	Maliyet (\$)	TED Malzeme maliyetleri* ile birlikte toplam maliyet(\$)
Çelik	Tuğla	2358\$	3157\$
	Çakıl	911\$	1710\$
Beton	Tuğla	1985\$	2784\$
	Çakıl	393\$	1193\$

TED sistemlerinin kullanılmasıyla ülke genelinde fosil yakıtlardan sağlanacak %10’luk tasarruf ile emisyonlarda beklenen azalma yılda en az 5,6 milyon ton CO₂, 18900 ton SO₂ ve 21600 ton NO_x olacağı tahmin edilmektedir[17].

6. Sonuç

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte hayatımıza sürekli yenilikler gelmektedir. Ülkelerde gelişmişlik düzeyi arttıkça buna paralel olarak enerji tüketiminde de hızlı bir artış gözlemlenmektedir. İnsanoglunun çağa ayak uydurabilmek, zamanı iyi kullanabilmek ve daha konforlu yaşamak adına sürekli enerjiden yararlanması gerekiyor. Birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de enerji yaygın olarak fosil yakıtlardan elde edilmekte ve tükettiğimiz enerjinin büyük çoğunluğu ithal edilmektedir. Fosil yakıtların çevreye olan olumsuz etkileri, yakın gelecekte tükenebilecek olması ve enerjinin ithal edilmesi çevresel sorunlara ve enerji güvenilirliği kaygılarına da neden olmaktadır.

Kentleşmenin ve endüstriyel gelişimin kaçınılmaz sonucu gibi görünen sera gazları etkisini artan bir şekilde hissetmeye başladığımız günümüzde konu ile ilgili akademik ve ticari kurumlar

alternatif enerji kaynakları üzerindeki Araştırma-Geliştirme (Ar-Ge) çalışmalarına önem vermeye başlamıştır. 1970 petrol krizi sonrası başlatılan çalışmalar, çevresel boyutlarında devreye girmesi ile ivme kazanmıştır. Bu çalışmalar içinde, mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmeye yönelik olarak, termal enerji depolama (TED) yoluyla enerjinin kullanılması yöntemleri önemli bir yer tutmaktadır. Dünyada geniş bir şekilde kullanılan bu sistemler ülkemizde henüz yaygın bir kullanıma sahip değildir. Kısa süre içerisinde yapılan çalışmalar sonucu, TED teknolojilerinin çevre ile dost ve ekonomik olduğunu gösteren uygulamalar hızla artmıştır. Bu çalışma kapsamında TED sisteminin enerji temin etmedeki öneminden ve ayrıca bir ailenin oturacağı standart bir ev için bir termal enerji depolama sisteminin tasarımının ortalama maliyeti analiz edilmiştir.

Referanslar

- [1] Sarbu I, Sebarchievici C. *Solar Heating and Cooling Systems: Fundamentals, Experiments and Applications*. Academic Press, 2016.
- [2] Sarbu I, Sebarchievici C. A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage. *Sustainability* 2018; 10: 2–32.
- [3] Thermal energy storage: Technology brief. /publications/2013/Jan/Thermal-energy-storage, /publications/2013/Jan/Thermal-energy-storage (18 Ekim 2019).
- [4] Thermal_storage, http://www.cchrc.org/sites/default/files/docs/thermal_storage.pdf (accessed 11 November 2019).
- [5] Esgel H. *Kordiyerit Esaslı Seramik Malzemedeki Yapılmış Termal Enerji Depolama Sisteminin Analizi*. Thesis, Enerji Enstitüsü, <https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/12852> (2014, 11 Ekim 2019).
- [6] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı - Güneş. *enerji.gov.tr*, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (8 Ekim 2019).
- [7] Pavlovic S, Bellos E, Stefanovic V, et al. Design, simulation and optimization of a solar dish collector with spiral-coil thermal absorber. *Thermosci* 2016; 20: 1387–1397.
- [8] Concentrating solar thermal power plants - PDF, <https://docplayer.net/55192891-Concentrating-solar-thermal-power-plants.html> (11 Ekim 2019).
- [9] Ahmed MA. Construction and Operation of Solar Energy Dish for Water Heating. *BSJ* 2017; 14: 797–800.
- [10] Tolgahan Y. Kombi Hesaplamaları, <http://www.tolgahan.net/?p=283> (13 Ekim 2019).

- [11] Doğalgazmetreküpfiyatıkkaç lira? *Gazelektrik*, <https://gazelektrik.com/s-s-s/dogalgaz-metrekup-fiyati> (11 Ekim 2019).
- [12] Unit Converter, <https://convertlive.com/> (10Ekim 2019).
- [13] Optical Design of a Solar Dish Concentrator Based on Triangular Membrane Facets, <https://www.hindawi.com/journals/ijp/2012/391921/> (13 Ekim 2019).
- [14] Mehla A, Kumar P, Bhool R, et al. Regeneration of Soild Desiccant by Solar Parabolic Dish Collector in India: An Experimental Analysis. 3: 723–734.
- [15] Alva G, Lin Y, Fang G. An overview of thermal energy storage systems. *Energy* 2018; 144: 341–378.
- [16] Eswaramoorthy M, Shanmugam S. The Thermal Performance of a Low Cost Solar Parabolic Dish Collector for Process Heat. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 2012; 34: 1731–1736.
- [17] Yilmaz MÖ.
YeraltıTermalEnerjiDepolamadaKullanılanFarklıDolguMaddelerininTermalÖzelliklerinin Araştırılması. 78.