

Güneş Enerjisinin Soğutma Sistemlerinde Kullanımı: AVM için Enerji Performansı Değerlendirmesi

Utilization of Solar Energy in Cooling Systems: An Energy Performance Assessment for Shopping Malls

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman SAPMAZ

Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli/Türkiye.
suleyman.sapmaz@kocaeli.edu.tr
ORCID: 0000-0002-9475-5986

Prof. Dr. İbrahim KILIÇASLAN

Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli/Türkiye.
ibrahim.kilicaslan@kocaeli.edu.tr
ORCID: 0000-0002-1697-9642

Öz

Bu çalışmada, AVM'lerde yaygın olarak kullanılan elektrikli tahrikli mekanik soğutma sistemlerinin yerine güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu işletmelerde tüketim profilleri incelendiğinde, yaz aylarında artan soğutma ihtiyacının, güneş enerjisi potansiyeliyle örtüşmesi dikkat çekmektedir. Ayrıca, toplam inşaat alanının çatı alanına oranla yüksek olması, geniş güneş kolektörlerinin kurulumu için uygun bir altyapı sunmakta ve güneş enerjisinin soğutmada kullanımını avantajlı hale getirmektedir. Bu yöntemle, yapının kendi enerjisini üretip tükettiği sürdürülebilir bir iklimlendirme modeli ortaya çıkmaktadır. Modelleme sonuçlarına göre, Parabolik Oluk Kolektör (PTC) sistemi ve absorpsiyonlu soğutma entegrasyonu, toplam soğutma talebinin %60-68'ini güneş enerjisinden karşılayabilir. SM2 senaryosunda depolama entegrasyonu ile harici enerji ihtiyacının yaklaşık %90 oranında azaltılabileceği belirlenmiştir. SM1 ve SM1.5 senaryosunda PTC kurulumu için gerekli çatı alanı 4.000 m², SM2 senaryosunda bu alan ihtiyacı 8.000 m²'ye çıkmaktadır. Enerji depolamada ileri teknolojilerin uygulanması ve sistem parametrelerinin optimizasyonu ile enerji kazanım miktarı artırılabilir. Bu sayede yatırımın geri dönüş süresi de azalacaktır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri, Parabolik Oluk Kolektör, Enerji Depolama, Alışveriş Merkezleri.

Abstract

In this study, the applicability of solar energy assisted absorption cooling systems instead of electrical driven mechanical cooling systems, which are widely used in shopping centres, is investigated. When the consumption profiles of these enterprises are examined, it is noteworthy that the increased cooling demand in the summer months coincides with the solar energy potential. In addition, the fact that the total construction area is high compared to the roof area provides a suitable infrastructure for the installation of large solar collectors and makes the use of solar energy in cooling advantageous. With this method, a sustainable air conditioning model emerges in which the building produces and consumes its own energy. According to the modelling results, the Parabolic Trough Collector (PTC) system and absorption cooling integration can meet 60-68% of the total cooling demand from solar energy. In SM2 scenario, it is determined that external energy demand can be reduced by approximately 90% with storage integration. In the SM1 and SM1.5 scenarios, the roof area required for PTC installation is 4,000 m², while this area requirement increases to 8,000 m² in the SM2 scenario. The amount of energy recovery can be increased by applying advanced technologies in energy storage and optimising the system parameters. In this way, the return on investment will be reduced.

Keywords: Solar Energy, Absorption Cooling Systems, Parabolic Trough Collector, Energy Storage, Shopping Malls.

Giriş

Sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyonunun artışı, küresel ortalama sıcaklıkların yükselmesine neden olmaktadır. Bu durum, küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini artırmaktadır. İklim konferanslarında belirlenen hedef doğrultusunda, Paris anlaşması ile yüzyıl sonunda küresel sıcaklık artışının 1,5°C ile sınırlandırılması amaçlanmaktadır (Dış İşleri Bakanlığı, 2024). Sıcaklık artışının sınırlandırılması için en büyük kısmı enerji sektöründen kaynaklan küresel emisyonların azaltılması gerekmektedir. Ulaştırma, Sanayi ve Bina gibi sektörlerde gerçekleşen emisyonlar da dolaylı olarak enerji dönüşümlerinden kaynaklanmaktadır. Bunlar da dahil edildiğinde, toplam emisyonların yaklaşık %75'inin enerji kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu yüksek emisyon değeri, ağırlıklı olarak fosil yakıt kullanımından kaynaklanmaktadır.

Sanayileşmiş ülkelerde enerji tüketiminin yaklaşık üçte biri binalarda gerçekleşmektedir (Wall ve diğerleri, 2012). Bu tüketimin azaltılması için enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji sistemlerinin binalara entegre edilmesi büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji entegrasyonu konusunda aktif ve pasif sistemler, ısı ve elektrik üretimini içeren pek çok uygulama ticari ölçekte uygulanabilmektedir (Lee, Choi, Yoon ve Kim, 2023). Ülkemizde binalarda enerji verimliliğini artırmak amacıyla 2008 yılında "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" yürürlüğe girmiştir ("Resmi Gazete", 2008). Bu yönetmeliğe göre, 2025 yılı itibarıyla inşaat alanı 2.000 m²'nin üzerindeki binaların birincil enerji tüketiminin en az %10'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması zorunlu hale gelecektir. Ayrıca, Türkiye'nin Paris İklim Anlaşması'na taraf olması kapsamında yayımlanan Niyet edilen Katkı Beyanında da binalarda enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji entegrasyonunun teşvik edilmesi hedefleri belirtilmiştir.

Binalarda yenilenebilir enerjinin etkin kullanımına yönelik önemli bir alan, güneş enerjisiyle üretilen ısı enerjisinin soğutma amaçlı kullanılmasıdır. Bu bağlamda, güneş destekli absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin entegrasyonu, enerji tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük bir potansiyel sunmaktadır. Güneş kaynaklı ısı enerjisiyle çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemleri, özellikle birincil enerji tüketimini azaltma ve çevresel etkileri en aza indirme bağlamında, geleneksel buhar sıkıştırma soğutuculara umut verici bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır (Ayou ve Coronas, 2020; Sarbu ve Sebarchievici, 2015). Absorpsiyonlu soğutucular, soğutma çevrimini sürdürmek için genellikle güneş kolektörlerinden elde edilen termal enerjiyi kullanırken, geleneksel sistemlerde elektrikle çalışan kompresörler tercih edilmektedir (Pezutto ve diğerleri, 2022). Wang ve arkadaşları (Wang, Yan, Wang, Zhang ve Shi, 2018), parabolik oluklu güneş kolektörlerine dayalı bir absorpsiyonlu soğutma sisteminin termal performansını modelleme yöntemiyle analiz ederek yaklaşık %61,98 solar enerji kullanımını sağlanacağını hesaplamışlardır. Zheng ve arkadaşları (Zheng ve diğerleri, 2019), parabolik oluklu kolektörler ve çift etkili absorpsiyonlu bir soğutucunun bir araya geldiği bütünleşmiş bir güneş ısıtma ve soğutma sistemine ilişkin matematiksel bir model ve performans analizi sunmuştur. Çalışma sonucunda birincil enerji tüketiminde %21,3, karbondioksit emisyonunda %18,8 azaltım sağlanabileceği görülmüştür. Drosou ve arkadaşları (Drosou, Kosmopoulos ve Papadopoulos, 2016), ofis binalarında güneş ısıtma ve soğutma uygulamaları için bir yönlendirilmiş güneş termal (CST) sisteminin uygulanmasını incelemiştir. Çalışma sonucunda düşük ve orta sıcaklıklarda PTC sisteminin düzlem kolektörlere göre daha az yer kapladığı belirtilmiştir. Figaj ve Żoładek (Figaj ve Żoładek, 2021), bir solar çanak yoğunlaştırıcı konsantratörü, termal kolektörler, tersinir bir ısı pompası ve bir absorpsiyon veya adsorpsiyon soğutucu içeren bir güneş ısıtma ve soğutma sisteminin enerji-ekonomik değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Çalışmada alan soğutma ihtiyacının %46,1-%99,1 oranında güneşle sağlanabileceğini ve şartlara bağlı olarak yatırımın geri ödeme süresinin 8-20 yıl arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Redpath ve arkadaşları (Redpath, Paneri, Singh, Ghitas ve Sabry, 2022) 50 kW'lık tek etkili bir absorpsiyonlu soğutucu, düzlem ve bileşik kolektör dizisi ve bir sıcak su depolama tankı içeren bina ölçekli bir güneş soğutma sistemi tasarlamak için TRNSYS simülasyonunu kullanmıştır. Amaris ve arkadaşları (Amaris, Rodriguez ve Bourouis, 2022), NH₃/LiNO₃ akışkanlı absorpsiyonlu bir çevrim için AVM enerji tüketimini karşılaştırmıştır. Günlük ısı enerjisi gereksiniminin %40-%50 oranında güneşten sağlanabileceğini hesaplamışlardır. Badea ve arkadaşları (Badea, Badea,

Epureanu ve Frumuşanu, 2016), endüstriyel bir tesiste ısıl ve elektriksel soğutma performansını karşılaştırmıştır. Absorpsiyonlu soğutucu kullanılması durumunda yatırım maliyetinin, mekanik soğutma sisteminin 3 katına ulaşacağı bildirilmiştir.

Güneş enerjisinin entegrasyonu açısından AVM binalarında fırsatlar oluşmaktadır. Bu tür binalar geniş alan ve düşük kat sayısı (yatay yapılanma) nedeniyle çatı üstünde güneş hasat alanın yüksek olmasına imkân tanımaktadır. Öte yandan bina kullanımının sadece belirli saatlerle (çoğunluğu gündüz) sınırlı olması güneş enerjisi potansiyeli ile tüketim profillerinin eşlenmesine olanak tanımaktadır. AVM'lerde enerji verimliliğini artırmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını entegre etmek üzere çeşitli akademik çalışmalar yapılmıştır (Berus ve Benteşen Yakut, 2024; İldeş, Taşdemir ve Umaroğulları, 2021; Yılmaz ve Atik, 2022). Bu çalışmada yaz aylarındaki soğutma ihtiyacını mekanik soğutma sistemleri yerine güneşten üretilen ısının girdi olarak kullanıldığı absorpsiyonlu soğutma sistemleri ile sağlanması incelenmektedir. Yapılan modelleme çalışması ile 365 günlük çalışma süresinde AVM soğutma sisteminin yük profili ve güneş enerjisi destekli sistemin soğutma kapasitesi kıyaslanarak binanın enerji performansı değerlendirilmektedir. Bu çalışma, güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin AVM binalarındaki enerji performansını değerlendiren kapsamlı bir modelleme sunarak, güneş enerjisi ile değişken soğutma talebinin eşleştirilmesine yönelik özgün bir yaklaşım ortaya koymaktadır.

Materyal ve Metot

Çalışmada bir AVM'ye ait gerçek enerji tüketimi verilerine dayanılarak hesaplanan soğutma ihtiyacının AVM'ye entegre edilecek solar ısıl/absorpsiyonlu soğutucu sistemi tarafından sağlanması değerlendirilmektedir. Tasarlanan sistemin şematik çizimi Şekil I de verilmektedir. AVM enerji tüketimi verileri Çankaya (Çankaya, 2024) tarafından yapılan çalışmadan uyarlanarak alınmıştır. Çalışmada AVM enerji profili için 5 yıllık sürede ölçülen toplam elektriksel enerji tüketimi verisi sunulmuştur. Çalışma yapılan AVM binasında ısıtmanın doğalgazla, soğutmanın ise elektrik tahrikli HVAC sistemi ile gerçekleştirildiği belirtilmiştir. Günlük profil ortalamalarına bakıldığında gün içi dalgalanmanın düşük olduğu ve tüketiminin kısa sürede ortalama değere ulaştığı ve kapanma saatinde de hızla düştüğü görülmüştür. Elektrik tüketiminin alt gruplara dağılımı (aydınlatma, havalandırma, soğutma, su pompalama vb.) ise verilmemiştir. Yaz şartlarında enerji profilindeki artışın soğutmada kaynaklı olduğu tahmin edilmiştir. Bu nedenle soğutma tüketimi; kış aylarındaki tüketim, yaz aylarında gerçekleşen enerji tüketim değerlerinden çıkartılarak hesaplanmıştır. Yılın 4 ayı (Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül) için enerji tüketiminin diğer aylardan belirgin şekilde yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle

analiz kapsamında Haziran-Eylül ayları incelenmiştir. Tahmin edilen soğutma kapasiteleri ve maksimum talep değeri Tablo I'de verilmektedir.

Tablo I: Hesaplanan Ortalama ve Maksimum Soğutma Yükleri.

Saat	Soğutma Yüğü (kW)			
	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
11:00	450	500	650	550
12:00	450	500	650	550
13:00	450	500	650	550
14:00	450	500	650	550
15:00	450	500	650	550
16:00	450	500	650	550
17:00	450	500	650	550
18:00	450	500	650	550
19:00	450	500	650	550
20:00	450	500	650	550
21:00	450	500	650	550
Maksimum	500	550	700	570

Soğutma Sistemi

Ticari olarak yaygın kullanılan ortam soğutma sistemi buhar sıkıştırma çevrimine dayanan mekanik soğutucu üniteleridir. Soğutucu sistemi performans katsayısı (COP) kavramı ile ifade edilmektedir. Bu ifade sağlanan soğutma kapasitesinin kompresör gücüne oranı olarak verilmektedir. COP değeri Denklem 1'e göre hesaplanabilir. İklimlendirmede yaygın kullanılan mekanik soğutma sistemi COP değerleri kondenser sıcaklığına ve diğer tasarım parametrelerine bağlı olmakla beraber 2-7 arasında değişmekte ve yaygın olarak 4,5-6,5 arası değerler ile karşılaşılmaktadır (Leung, Tso, Wu, Zheng ve Cao, 2020).

$$COP = \frac{\dot{Q}_{soğutma}}{\dot{W}_{kompresör}} \quad \text{Denklem 1}$$

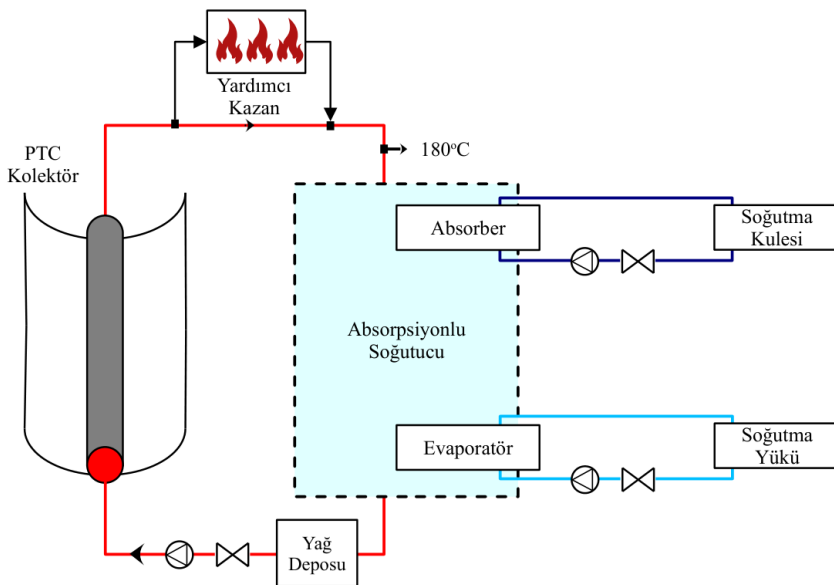
Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde orta sıcaklıkta ısı kaynağı kullanılarak soğutma sağlanmaktadır. Bu sistemde aracı akışkan Su-Lityum Bromür (H₂O-LiBr) çözeltisidir. Mekanik bir sıkıştırma olmaksızın çevrime dışarıdan sağlanan ısı etkisiyle su yüksek basınçtaki çözelti içerisinde buharlaşarak ayrılır (jeneratör) ve kondensere iletilir. Kondenserde yoğunlaştırılan su daha sonra basıncı azaltılarak evaporatöre iletilir. Evaporatörde tekrar buharlaşırken ortamdan ısı çeker ve soğutma etkisi sağlanmış olur. Gaz fazdaki akışkan soğurucuya (absorber) gelerek jeneratörden gelen (zayıf) çözelti ile karışır. Soğurucuda sıcaklık düşürülerek çözelti ilk hale dönmüş olur. Çözeltinin tekrar jeneratöre aktarılmasıyla çevrim tekrar başlatılır.

Absorpsiyonlu soğutma sistemi COP değeri tek etkili

sistemler için tipik olarak 0,4 ila 0,8 arasında değişirken, çift etkili sistemlerde optimum koşullar altında 1,2 veya daha yüksek COP değerlerine ulaşabilir (Abd Majid, Sulaiman, Fujii ve Naono, 2014; Ahmadu, 2019). Absorpsiyonlu soğutma sistem COP değeri, Denklem 1 de kompresör gücü ($\dot{W}_{kompresör}$) yerine tüketilen ısı enerjisi ($Q_{ısı}$) konularak hesaplanır.

Absorpsiyonlu soğutma sisteminin çalışma sıcaklığı, performansını etkileyen kritik bir faktördür. Tek etkili lityum bromür-su (LiBr-H₂O) absorpsiyonlu soğutucular tipik olarak 80°C ile 95°C arasındaki sıcaklıklarda çalışırken, çift etkili sistemlerde genellikle 150°C'yi aşan daha yüksek sıcaklıklar gereklidir (H. Ahmed, 2018; Tawalbeh ve diğerleri, 2020). Düşük dereceli ısı kaynaklarını kullanma imkânı sunması, enerji verimliliğini artırmanın yanı sıra işletme maliyetlerini de düşürerek absorpsiyonlu soğutma gruplarını güneş enerjili soğutma ve atık ısı geri kazanımı gibi uygulamalar için cazip bir seçenek haline getirmektedir (Saleh, 2022).

Bermejo (Bermejo, Pino ve Rosa, 2010) tarafından yapılan çalışmada ticari olarak kabul görmüş çift etkili bir absorpsiyonlu soğutma sisteminde (174 kW soğutma kapasitesi, 180°C solar çevrim akışkan sıcaklığı) gerçek şartlarda uzun süreli çalışma verisine dayanarak COP değeri 1,16 olarak hesaplanmıştır. Bu COP değeri benzer güçlerde analiz gerçekleştirilen teorik çalışmalarla da desteklenmektedir (Karaali, 2017). Bu çalışmada soğutma sistemi COP değeri 1,2 olarak kabul edilmiştir. Aracı akışkanın soğutucuya giriş sıcaklığı 180°C kabul edilmiştir. Tablo I de verilen soğutma kapasitesinin sağlanabilmesi için yaklaşık 600 kW ısı kapasite üretilmesi gerekmektedir. Güneş sistemi boyutlandırması bu değer esas alınarak yapılmıştır.

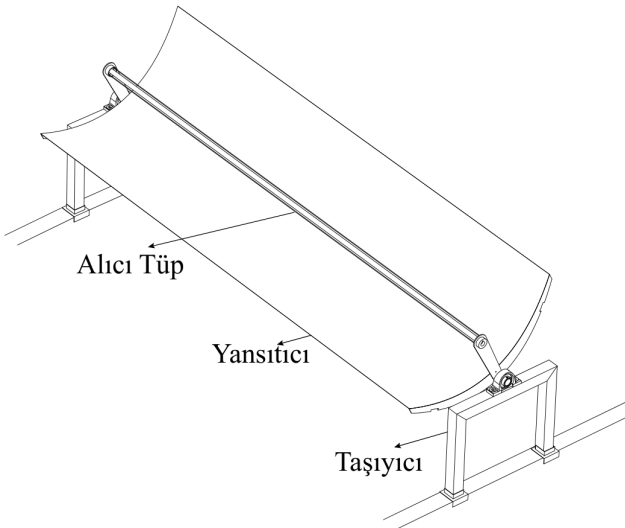


Şekil 1. İncelenen Soğutma Prosesi.

Güneşten Isı Üretimi

Düzlem kolektörlerde aracı akışkan sıcaklığının 120°C' ye ulaştığı raporlanmakla birlikte bu sistemler yaygın olarak 50-60°C aralığında çalışmaktadır (Velázquez, García-Valladares, Saucedo ve Beltrán, 2010). Daha yüksek sıcaklıklarda ise güneş ışınımının yoğunlaştırılması gereklidir. Yoğunlaştırılmış solar güç (CSP) üretim sistemlerinde güneş enerjisi bir noktaya (solar çanak, solar kule), ya da içerisinde aracı akışkan dolaştırılan bir boruya (parabolik oluk, doğrusal fresnel) odaklanarak ısı üretimi sağlanmaktadır. Birim alana düşen ışınım miktarı düzlem kolektörlere kıyasla fazla olduğu için aracı akışkan yüksek sıcaklıklara (300-600°C) ulaşabilmektedir.

Bu çalışmada CSP sistemi olarak Parabolik Oluk Kolektör (PTC) sistemi seçilmiştir. PTC sistemi; yansıtıcı, alıcı ve destek yapısından oluşur. Parabolik geometriye sahip ve yüzeyi yüksek oranda yansıtıcı olan reflektör, güneş ışığını alıcı tüp üzerine odaklar. Alıcı, dış cam tabaka ve içteki çelik ısı toplayıcı borudan oluşur ve parabolün odak noktasına yerleştirilmiştir. Boru ile cam tüp arasındaki alan, ısı kaybını en aza indirmek için vakumlanmıştır. Metal boruya odaklanan ısı, boru içinden geçen çalışma akışkanına aktarılır. Çalışma akışkanı pompalanarak ihtiyaç duyulan sahaya ulaştırılır. Sistem ayrıca destek yapısı, termal genişlemeye uygun elemanlar ve güneşi takip sistemi gibi bileşenleri içerir. Verilen çalışma sıcaklık aralığında CSP sistemi için basınçlı su veya ısı transfer yağı kullanımı mümkün olmaktadır. PTC sisteminin şematik çizimi Şekil II' de verilmektedir.



Şekil II. PTC Sistemi Kolektör Yapısı.

Kolektörün geometrik tasarımında yoğunlaştırma oranı, kenar açısı ve alıcı borunun çapının tespiti önemli girdilerdir. Yoğunlaştırma oranı (C) güneş ışığının toplandığı toplam alanın, ışınımın odaklandığı toplam yüzey alanına oranıdır. Yoğunlaştırma oranı arttıkça ulaşabilecek azami sıcaklık değeri de artmaktadır. Kenar açısı (ϕ_r), yansıtıcının kenarı ve odak eksenini arasındaki açıdır. Bu değer odak mesafesi (f) ve açıklık genişliğine (W) bağlı olarak hesaplanabilir. Alıcı borunun ideal çapı (D) kenar açıklığı ve odak mesafesi ile hesaplanmaktadır. Bu parametreler Denklem 2-4 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$C = A_a/A_r \quad \text{Denklem 2}$$

$$\phi_r = \arctan \left[\frac{8f/W}{1.6(f/W)^2 - 1} \right] \quad \text{Denklem 3}$$

$$D = (4f/1 + \cos\phi_r)\sin(0.267) \quad \text{Denklem 4}$$

Alıcı boruya gelen toplam ışınım miktarı (S) Denklem 5 ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde I_b anlık ışınım değeri, ρ ise ışınımın kolektörde absorbe edilme oranını ifade etmektedir. Toplam ışınımın kullanılabilir kısmının (Q_u) hesaplanmasında Denklem 6 kullanılmaktadır. Bu denklemde U_L kayıp katsayısını, kullanılan FR terimi ise kolektör verimini ifade etmektedir. Kayıp katsayısının hesaplanabilmesi için atmosfer ile boru arasındaki tüm katmanlarda arasında iletim ve taşınım yoluyla kaybolan ısı miktarının hesaplanması gerekmektedir. U_L ve F_R değerlerin hesaplanması için detaylı yöntemler Duffie ve Beckman (Duffie ve Beckman, 2013) tarafından verilmiştir.

$$S = I_b \rho \quad \text{Denklem 5}$$

$$Q_u = F_R A_a [S - (A_r/A_a) U_L (T_i - T_a)] \quad \text{Denklem 6}$$

Yaz gün dönümünde öğlen saati gerçekleşen ışınım değerinin (DPDNI, kW/m²), öngörülen solar ısı kapasitesine bölünmesi ile gerekli solar alanı (Denklem 7) hesaplanmaktadır. İhtiyaç duyulan toplam alan ise bu değere, gölgelenmenin önlenmesi için sıralar arasında boş bırakılan mesafeden kaynaklı alan eklenerek hesaplanabilir. Burada hesaplanan kapasite sadece yaz gün dönümü ışınımı için gerekli üretimi sağlamaktadır. Bu durumda ışınım değeri farklılaştığında anlık üretim de değişkenlik gösterecektir.

$$A_{solar} = Q_{solar}/DPDNI \quad \text{Denklem 7}$$

Güneş ışınımı verileri (ve diğer iklimsel veriler), uydu sistemleri ve yeryüzünde konumlu ölçüm sistemleri tarafından toplanmaktadır. Dünya genelindeki herhangi bir konum için ortalama güneş ışınımı verileri, Global Solar Atlas gibi web platformlarında erişilebilir durumdadır.

Türkiye’de yıllık ortalama güneş ışınımı şiddeti yaklaşık 1527,1 kWh/m²’dir. Güneş enerjisi sistemlerinin enerji üretimini simüle etmek için saatlik ortalama ışınım verileri, sıcaklık, rüzgâr hızı vb. bilgiler gereklidir. Ölçüm verilerinde takip eden yıllar arasında oluşabilecek değişkenlik yüksek olduğu için genellikle, birden fazla yılın iklim verilerinin analiz edilerek her ay için en uygun değerlerin seçildiği “Tipik Meteorolojik Yıl (TMY)” formatı kullanılır. Bu çalışmada kullanılan TMY dosyaları, yer ölçüm istasyonlarından derlenen ve ücretsiz erişim sunan bir çevrimiçi portal (climate.onebuilding.org) üzerinden temin edilmiştir (“OneBuilding.Org”, 2024).

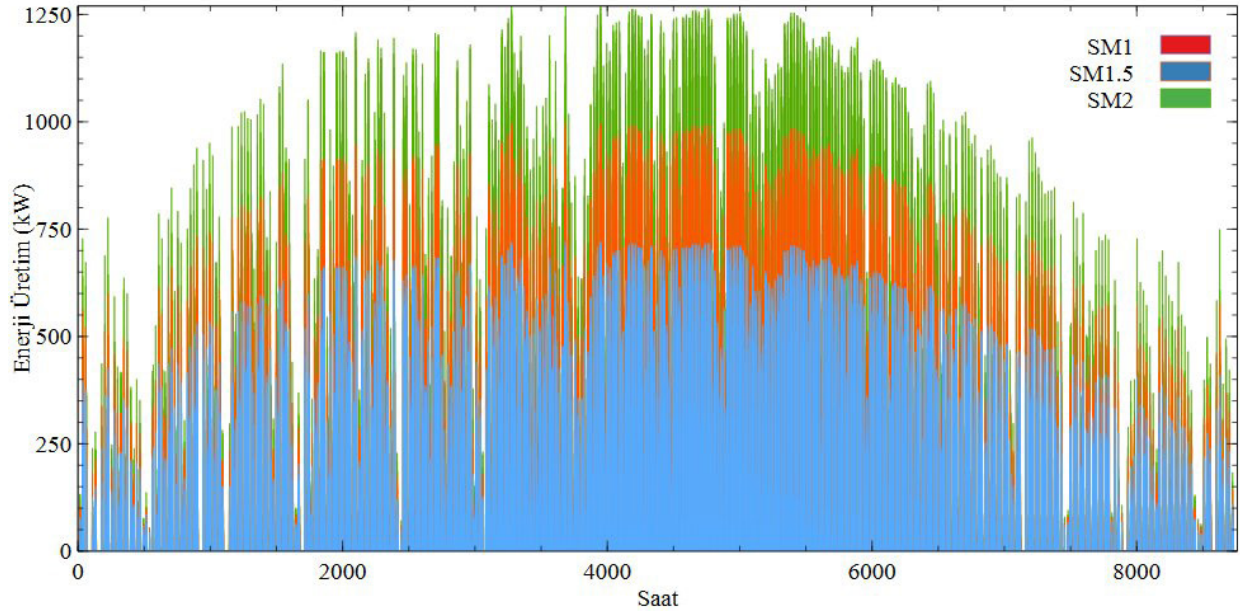
Literatürde, PTC sisteminin tasarım faktörlerini optimize eden ve sistem verimliliğini artıran çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada, PTC ve absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin ticari binada (AVM) soğutma ihtiyacını karşılamak üzere bütünleşme imkânları araştırılmıştır. Bu nedenle, tasarım detaylarına derinlemesine değinilmemiştir. Güneş enerjisi hesaplamaları için açık kaynaklı System Advisor Model (SAM) yazılımı kullanılmıştır (Wagner ve Gilman,

2011). Üretilen güneş verileri ve gerekli soğutma talepleri karşılaştırılarak sistemin enerji katkısı ve teknik uygulanabilirliği tartışılmıştır.

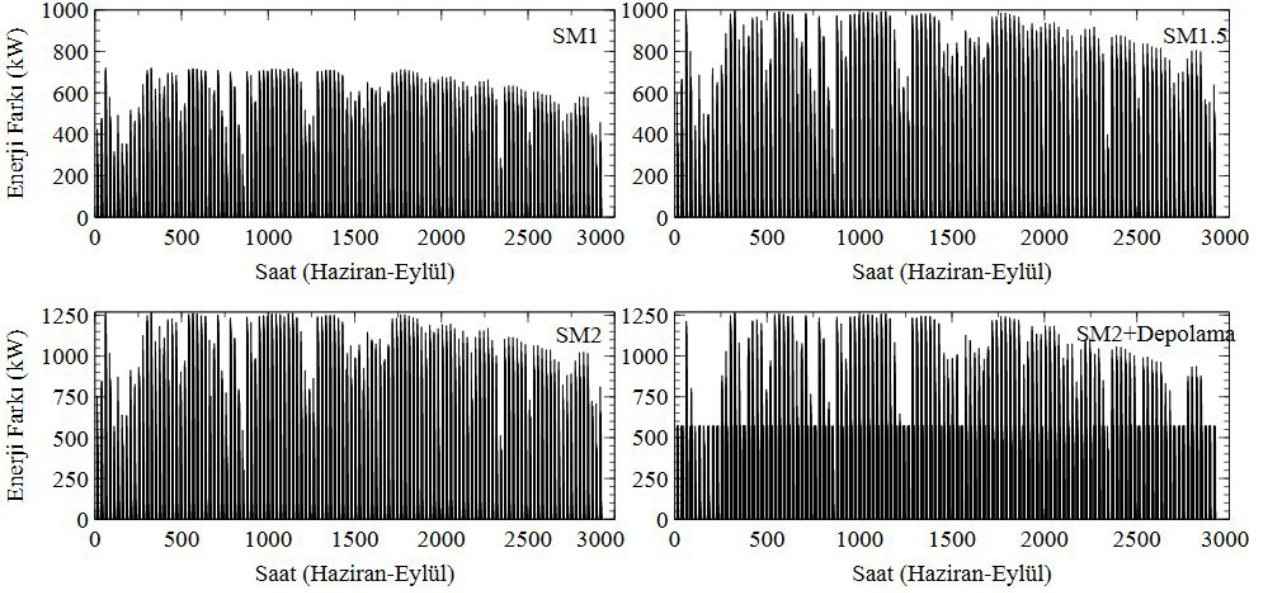
PTC tasarım kapasitesi ve üretim değerleri değişken olduğu için enerji talebi ve tasarım kurulu gücü arasındaki oran (SM) bir tasarım kriteri olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada SM1, 1,5 ve 2 değerleri için analiz yapılmıştır. İlave olarak SM2 senaryosu için ısı depolama uygulaması modellenerek toplam performansa etkisi incelenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

PTC sistemi ile üretilebilecek enerji miktarı Şekil III’te verilmektedir. Yaz ayları üretimleri tasarlanan kapasitelere yakın değerlere ulaşmaktadır. Fakat kış aylarında tasarım kapasitesinin en iyi şartlarda yaklaşık %50’si sağlanabilmektedir. Bununla birlikte sistemde üretilen ısı kış aylarında ısıtma ihtiyacının bir kısmını sağlayabilecektir. SM1, SM1,5, SM2 durumları için yıllık üretim miktarı kurulum kapasitesinin sırasıyla %23,9, %28,3 ve %30,6’sını sağlamaktadır.



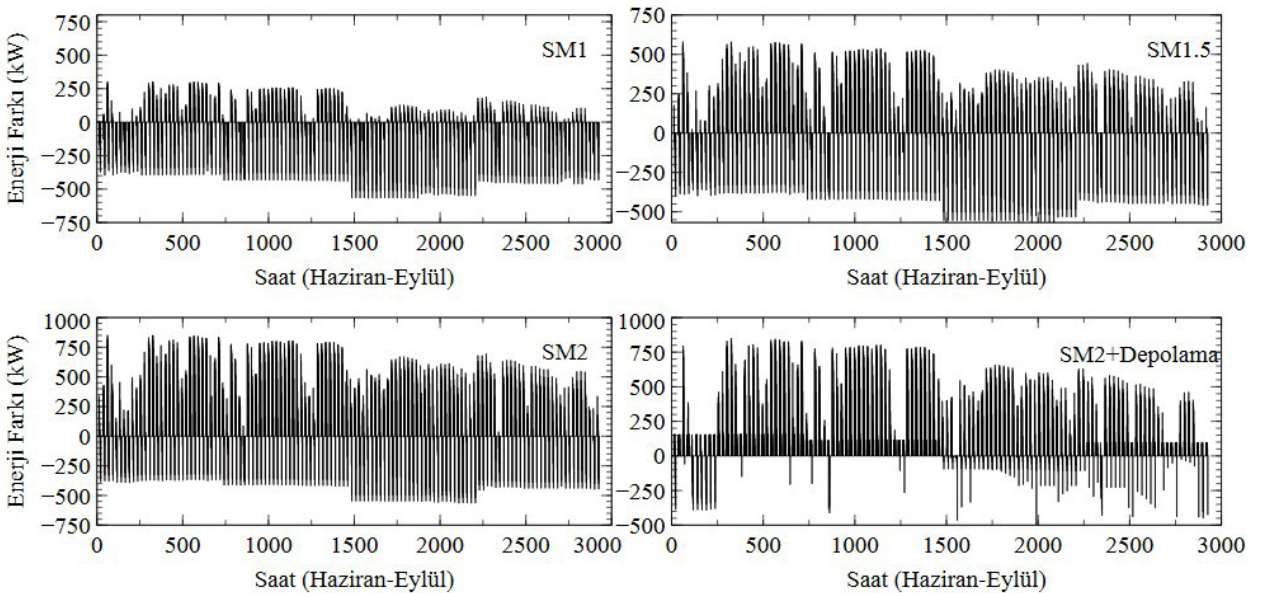
Şekil III. PTC ile Yıllık Enerji Üretim Profili.



Şekil IV. Soğutma Talebinin Olduğu Haziran-Eylül Dönemi Enerji Üretim Profili.

Şekil IV analiz edilen zaman aralığı için toplam ısı üretimlerini göstermektedir. Kullanılan alanın artışıyla doğrusal olarak üretilen ısı miktarının arttığı görülmektedir. Ayrıca tüm senaryolar için gün ortasında tasarım kapasitesi sağlanırken gün başlangıcı ve bitişinde enerji açığı oluştuğu

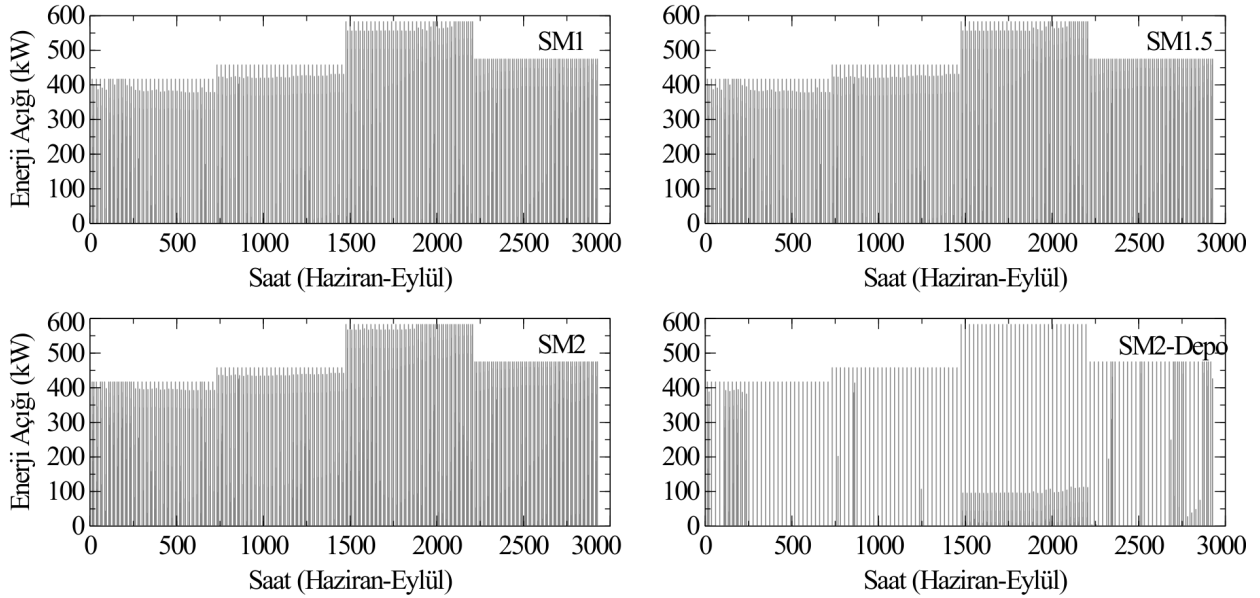
görülmektedir. Depolama senaryosunda tasarlanan depolama kapasitesi ile gün sonunda enerji açığı kapatılabilmektedir. Gün başlangıcındaki açığı kapatılabilmek için ise yaklaşık 10-12 saat süresince enerji depolayabilecek depolama kapasitesi/teknolojisinin sağlanması gereklidir.



Şekil V. Haziran-Eylül Dönemi Enerji Açığı.

Şekil V'de saatlik enerji üretimi (soğutma) ile ortalama talep arasındaki farklılık (+ değerler üretim fazlası, - değerler üretim açığı) gösterilmektedir. Depolama uygulanmayan senaryolarda üretim açığı birbirine benzer profil göstermektedir. Enerji fazlasının engellenmesi açısından en tutarlı senaryo SM1 senaryosu olmaktadır. Enerji fazlası

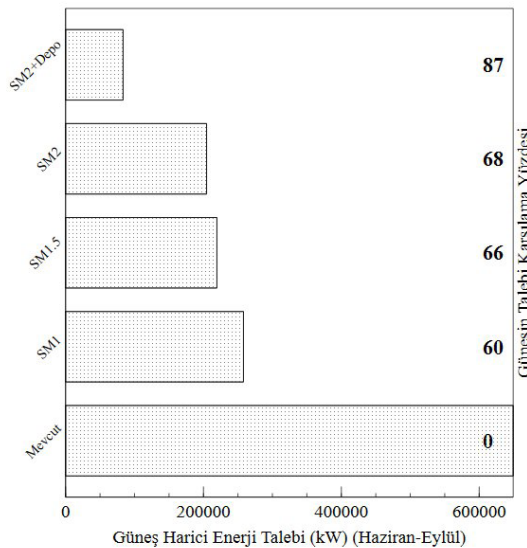
olduğunda kolektörlerin belirli bir kontrol sırasıyla devreden çıkması sağlanmaktadır. Aksi taktirde tüketilemeyen ısı aracı akışkanın aşırı ısınmasına neden olacaktır. Enerji açığının olduğu saatler ise büyük oranda 11:00 ve 21:00 saatleri olduğu görülmüştür.



Şekil VI. Haziran-Eylül Yardımcı Kazan Enerji Profili.

Şekil VI'da kapasite fazlası üretimler yok sayılarak her ay için talep edilen soğutma yükü (ısı karşılığı) sağlanması için gerekli harici ısı miktarı görülmektedir. Bu 4 ayın her biri için tasarlanan ısı kapasite kadar ek yakıtlı ısıtıcı yatırımı

yapılması gerekliliği oluşmaktadır. Bu durumda ek yakıtlı kazan tamamen ikame edilemeyeceği için yatırım maliyeti artacaktır. Öte yandan depolamalı senaryoda yardımcı kazan kullanımının son derece sınırlı olduğu görülmektedir.



Şekil VII. Toplam Enerji (Yardımcı Kazan) Talebi Ve Talebin Karşılama Yüzdesi.

Şekil VII'de güneş enerjisinin Haziran-Eylül dönemi toplam talebin %60-68 kadarlık kısmını karşılayabileceği görülmektedir. SM1 ve SM2 senaryoları arasında alan kullanımı açısından 2 kat fark olmasına rağmen kapasiteyi karşılamak konusunda etkinliğin çok fazla artmadığı görülmektedir. Depolama senaryosu ise harici enerji talebini belirgin şekilde azaltmaktadır. Bu durumda sistem tasarımı yapılırken mutlaka depolamanın değerlendirilmesi gereklidir.

Sistemin tekno-ekonomik analizinin yapılabilmesi için detaylı yatırım maliyetlerinin elde edilmesi gereklidir. Analiz için kullanılan program (System Advisor Manual-SAM)

içerisinde maliyet analizleri verilse de bina çatısına spesifik bir uygulama için detaylı mühendislik çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle maliyet analizi gerçekleştirilmemiştir. En düşük işletme maliyeti sunacak senaryonun SM2-Depolama olduğu görülmektedir. Yatırım maliyeti açısından yorumlanırsa mekanik soğutma ünitesinin ikame edilmiş olması ve ısıtma için mevcut kazanın yaz aylarında soğutma için ek ısı ihtiyacı sağlanması için kullanılması imkânı olması sistemi cazip hale getirmektedir. Ayrıca kış aylarında PTC sisteminde üretilecek fazla ısının da ekonomik getirisi olabilecektir.

Sonuç

Bu çalışmada alışveriş merkezlerinde (AVM) güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin enerji talebinin karşılanması açısından uygulanabilirliği incelenmiştir. Modelleme ve simülasyon sonuçlarına dayalı olarak Parabolik Oluk Kolektör (PTC) sistemleri, yaz aylarında toplam soğutma talebinin %60-68'ini karşılayabilecek kapasiteye sahiptir. Bu, AVM'lerin geniş çatı alanları ve yaz aylarında artan enerji ihtiyacı göz önüne alındığında, güneş enerjisi ile soğutmanın etkili bir çözüm olduğunu göstermektedir. Enerji depolama entegrasyonu, sistem performansını önemli ölçüde artırmıştır. Depolama senaryosu (SM2-Depo), harici enerji ihtiyacını yaklaşık %90 oranında azaltmıştır. Aynı solar alana sahip SM2 senaryosunda ise bu değer %68'de kalmıştır. Bu farklılık, enerji depolamanın, güneş enerjisinin sürekli kullanılabilirliğini sağlamada kilit bir rol oynamaktadır. AVM açısından gerekli ısı depolamanın yaz aylarında sadece 2-3 saatlik kapasiteye sahip olması yeterlidir. SM1 senaryosunda 4.000 m²'lik bir çatı alanında PTC kurulumu yeterli olurken, SM2 senaryosunda bu alan ihtiyacı 8.000 m² olarak hesaplanmıştır. İncelenen AVM'nin sahip olduğu çatı alanı, her iki senaryonun da uygulanabilir

olduğunu göstermektedir. Yaz aylarında maksimum performans sağlanırken, kış aylarında üretilen fazla enerji, ısıtma ihtiyaçlarını kısmen karşılamak için kullanılabilir. Bu durum, sistemin yıl boyu enerji yönetimine katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Sistem tasarımında depolama entegrasyonu, yatırım maliyetlerini artırsa da uzun vadeli enerji tasarrufu ve düşük işletme maliyetleriyle bu maliyetlerin dengeleneceği öngörülmektedir. Bu çalışmada incelenen uygulamanın detaylı bir tekno-ekonomik analizi yatırımın geri ödeme süresinin hesaplanmasını sağlayacaktır. Ayrıca çalışmada kullanılan verilerin uzun süreli ölçüme dayalı olması sonuçların güvenilirliğini artıracaktır. Bu çalışmada PTC sistemini yönü, dizilişi vb. tasarım parametreleri ihmal edilmiştir. Sonuç olarak, güneş enerjisi destekli ve enerji depolama uygulaması da içeren absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin AVM'lerde uygulanması, enerji tüketimini azaltma ve karbon ayak izini düşürme açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Çalışmanın bulguları, bu tür sistemlerin enerji performansı açısından uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Kaynakça

- Abd Majid, M.A., Sulaiman, S.A., Fujii, T. ve Naono. (2014). Studies on Steam Absorption Chillers Performance at a Cogeneration Plant. MATEC Web of Conferences, 13, 05003. doi:10.1051/matec-conf/20141305003
- Ahmadu, T. O. (2019). Experimental evaluation of a 3 kW Absorption Chiller Prototype. Nigerian Journal of Technology, 38(2), 334. doi:10.4314/njt.v38i2.9
- Amaris, C., Rodriguez, A. ve Bourouis, M. (2022). Technical and Environmental Performance of a Solar/Gas Driven Absorption Chiller using NH₃/LiNO₃. Journal of Renewable Energies, 25(1), 27-42. doi:10.54966/jreen.v25i1.1069
- Ayou, D. S. ve Coronas, A. (2020, 1 Haziran). New Developments and Progress in Absorption Chillers for Solar Cooling Applications. Applied Sciences (Switzerland). MDPI AG. doi:10.3390/app10124073
- Badea, N., Badea, G. V., Epureanu, A. ve Frumușanu, G. (2016). Solar Cooling - Comparative Study between Thermal and Electrical Use in Industrial Buildings. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering içinde (C. 145). Institute of Physics Publishing. doi:10.1088/1757-899X/145/2/022027
- Bermejo, P., Pino, F. J. ve Rosa, F. (2010). Solar Absorption Cooling Plant in Seville. Solar Energy, 84(8), 1503-1512. doi:10.1016/j.soler.2010.05.012
- Berus, Y. ve Benteşen Yakut, Y. (2024). Derin Öğrenme (1D-CNN, RNN, LSTM, BiLSTM) ile Enerji Tüketim Tahmini: Diyarbakır AVM Örneği. DÜMF Mühendislik Dergisi. doi:10.24012/dumf.1415055
- Çankaya, N. (2024). Deriving Power Consumption Models From Energy Bills for Optimal Sizing of Hybrid Power in Commercial Buildings. IEEE Access, 12, 115042-115054. doi:10.1109/ACCESS.2024.3444710
- Dış İşleri Bakanlığı. (2024). URL-Paris Anlaşması. 15 Aralık 2024 tarihinde <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> adresinden erişildi.
- Drosou, V., Kosmopoulos, P. ve Papadopoulos, A. (2016). Solar Cooling System using Concentrating Collectors for Office Buildings: A Case Study for Greece. Renewable Energy, 97, 697-708. doi:10.1016/j.renene.2016.06.027
- Duffie, J. A. ve Beckman, W. A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley. doi:10.1002/9781118671603
- Figaj, R. ve Żoładek, M. (2021). Operation and Performance Assessment of a Hybrid Solar Heating and Cooling System for Different Configurations and Climatic Conditions. Energies, 14(4). doi:10.3390/en14041142
- H. Ahmed, M. (2018). Impact of Storage Tank Size and Backup Heating Unit on a Solar Absorption Cooling System. International Journal of Thermal and Environmental Engineering, 17(1), 41-50. doi:10.5383/ijtee.17.01.005
- İldeş, E., Taşdemir, F. D. ve Umaroğulları, F. (2021). İç Mekân Konfor Şartlarının AVM (Alışveriş Merkezi) Çalışanları Üzerindeki Etkileri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(3), 406-429. doi:10.29130/dubited.755756
- Karaali, R. (2017). Exergetic Comparison of Single and Double Effect Absorption Cooling Cycles Tek ve Çift Etkili Absorpsiyonlu Soğutma Çevrimlerinin Ekserji Yönünden Karşılaştırılması. Karaelmas Fen ve Müh. Derg (C. 7). <http://fdb.beun.edu.tr> adresinden erişildi.
- Lee, R., Choi, M., Yoon, J. ve Kim, D. (2023). Impacts of Lighting and Plug Load Variations on Residential Building Energy Consumption Targeting Zero Energy Building Goals. Journal of Building Engineering, 75. doi:10.1016/j.jobee.2023.106962
- Leung, M. K. H., Tso, C. Y., Wu, W., Zheng, Z. ve Cao, J. (2020). Chillers of Air-Conditioning Systems: An Overview. HKIE Transactions Hong Kong Institution of Engineers, 27(3), 113-127. doi:10.33430/V27N3THIE-2019-0055
- OneBuilding.Org. (2024). https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/TUR_Turkey/index.html adresinden erişildi.
- Pezzutto, S., Quaglini, G., Riviere, P., Kranzl, L., Novelli, A., Zambito, A. ve Wilczynski, E. (2022). Screening of Cooling Technologies in Europe: Alternatives to Vapour Compression and Possible Market Developments. Sustainability (Switzerland), 14(5). doi:10.3390/su14052971
- Redpath, D., Paneri, A., Singh, H., Ghitas, A. ve Sabry, M. (2022). Design of a Building-Scale Space Solar Cooling System Using TRNSYS. Sustainability (Switzerland), 14(18). doi:10.3390/su141811549
- Resmi Gazete. (2008). <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=13594&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5>. 15 Aralık 2024 tarihinde <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=13594&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5> adresinden erişildi.
- Abd Majid, M.A., Sulaiman, S.A., Fujii, T. ve Naono. (2014). Studies on Steam Absorption Chillers Performance at a Cogeneration Plant. MATEC Web of Conferences, 13, 05003. doi:10.1051/matec-conf/20141305003
- Ahmadu, T. O. (2019). Experimental evaluation of a 3 kW Absorption Chiller Prototype. Nigerian Journal of Technology, 38(2), 334. doi:10.4314/njt.v38i2.9
- Amaris, C., Rodriguez, A. ve Bourouis, M. (2022). Technical and Environmental Performance of a Solar/Gas Driven Absorption Chiller using NH₃/LiNO₃. Journal of Renewable Energies, 25(1), 27-42. doi:10.54966/jreen.v25i1.1069
- Ayou, D. S. ve Coronas, A. (2020, 1 Haziran). New Developments and Progress in Absorption Chillers for Solar Cooling Applications. Applied Sciences (Switzerland). MDPI AG. doi:10.3390/app10124073
- Badea, N., Badea, G. V., Epureanu, A. ve Frumușanu, G. (2016). Solar Cooling - Comparative Study between Thermal and Electrical Use in Industrial Buildings. IOP Conference Series: Materials Science

and Engineering içinde (C.145). Institute of Physics Publishing. doi:10.1088/1757-899X/145/2/022027

- Bermejo, P., Pino, F.J. ve Rosa, F. (2010). Solar Absorption Cooling Plant in Seville. *Solar Energy*, 84(8), 1503-1512. doi:10.1016/j.soler.2010.05.012
- Berus, Y. ve Benteşen Yakut, Y. (2024). Derin Öğrenme (1D-CNN, RNN, LSTM, BiLSTM) ile Enerji Tüketim Tahmini: Diyarbakır AVM Örneği. *DÜMF Mühendislik Dergisi*. doi:10.24012/dumf.1415055
- Çankaya, N. (2024). Deriving Power Consumption Models From Energy Bills for Optimal Sizing of Hybrid Power in Commercial Buildings. *IEEE Access*, 12, 115042-115054. doi:10.1109/ACCESS.2024.3444710
- Dış İşleri Bakanlığı. (2024). URL-Paris Anlaşması. 15 Aralık 2024 tarihinde <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> adresinden erişildi.
- Drosou, V., Kosmopoulos, P. ve Papadopoulos, A. (2016). Solar Cooling System using Concentrating Collectors for Office Buildings: A Case Study for Greece. *Renewable Energy*, 97, 697-708. doi:10.1016/j.renene.2016.06.027
- Duffie, J.A. ve Beckman, W.A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wiley. doi:10.1002/9781118671603
- Figaj, R. ve Żoładek, M. (2021). Operation and Performance Assessment of a Hybrid Solar Heating and Cooling System for Different Configurations and Climatic Conditions. *Energies*, 14(4). doi:10.3390/en14041142
- H.Ahmed, M. (2018). Impact of Storage Tank Size and Backup Heating Unit on a Solar Absorption Cooling System. *International Journal of Thermal and Environmental Engineering*, 17(1), 41-50. doi:10.5383/ijtee.17.01.005
- İldeş, E., Taşdemir, F. D. ve Umaroğulları, F. (2021). İç Mekân Konfor Şartlarının AVM (Alışveriş Merkezi) Çalışanları Üzerindeki Etkileri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(3), 406-429. doi:10.29130/dubited.755756
- Karaali, R. (2017). Exergetic Comparison of Single and Double Effect Absorption Cooling Cycles Tek ve Çift Etkili Absorpsiyonlu Soğutma Çevrimlerinin Ekserji Yönünden Karşılaştırılması. *Karaelmas Fen ve Müh. Derg (C. 7)*. <http://fd.beun.edu.tr> adresinden erişildi.
- Lee, R., Choi, M., Yoon, J. ve Kim, D. (2023). Impacts of Lighting and Plug Load Variations on Residential Building Energy Consumption Targeting Zero Energy Building Goals. *Journal of Building Engineering*, 75. doi:10.1016/j.jobee.2023.106962
- Leung, M.K.H., Tso, C.Y., Wu, W., Zheng, Z. ve Cao, J. (2020). Chillers of Air-Conditioning Systems: An Overview. *HKIE Transactions Hong Kong Institution of Engineers*, 27(3), 113-127. doi:10.33430/V27N3THIE-2019-0055
- OneBuilding.Org. (2024). https://climate.onebuilding.org/WMO_Regio_6_Europe/TUR_Turkey/index.html adresinden erişildi.
- Pezzutto, S., Quaglini, G., Riviere, P., Kranzl, L., Novelli, A., Zambito, A. ve Wilczynski, E. (2022). Screening of Cooling Technologies in Europe: Alternatives to Vapour Compression and Possible Market Developments. *Sustainability (Switzerland)*, 14(5). doi:10.3390/su14052971
- Redpath, D., Paneri, A., Singh, H., Ghitas, A. ve Sabry, M. (2022). Design of a Building-Scale Space Solar Cooling System Using TRNSYS. *Sustainability (Switzerland)*, 14(18). doi:10.3390/su141811549
- Resmi Gazete. (2008). <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=13594&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5> 15 Aralık 2024 tarihinde <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=13594&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5> adresinden erişildi.
- Saleh, A. (2022). Modeling and Performance Analysis of a Solar Pond Integrated with an Absorption Cooling System. *Energies*, 15(22). doi:10.3390/en15228327
- Sarbu, I. ve Sebarchievici, C. (2015, 17 Ağustos). General Review of Solar-Powered Closed Sorption Refrigeration Systems. *Energy Conversion and Management*. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.enconman.2015.07.084
- Tawalbeh, M., Salameh, T., Albawab, M., Al-Othman, A., Assad, M. E. H. ve Alami, A. H. (2020). Parametric Study of a Single Effect Lithium Bromide-Water Absorption Chiller Powered by a Renewable Heat Source. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 8(3), 464-475. doi:10.13044/j.sdewes.d7.0290
- Velázquez, N., García-Valladares, O., Saucedo, D. ve Beltrán, R. (2010). Numerical simulation of a Linear Fresnel Reflector Concentrator used as direct generator in a Solar-GAX cycle. *Energy Conversion and Management*, 51(3), 434-445. doi:10.1016/j.enconman.2009.10.005
- Wagner, M. J. ve Gilman, P. (2011). Technical Manual for the SAM Physical Trough Model. <http://www.osti.gov/bridge> adresinden erişildi.
- Wall, M., Munari Probst, M. C., Roecker, C., Dubois, M. C., Horvat, M., Jørgensen, O. B. ve Kappel, K. (2012). Achieving solar energy in architecture - IEA SHC Task 41. *Energy Procedia* içinde (C. 30, ss. 1250-1260). Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.egypro.2012.11.138
- Wang, J., Yan, R., Wang, Z., Zhang, X. ve Shi, G. (2018). Thermal Performance Analysis of an Absorption Cooling System Based on Parabolic Trough Solar Collectors. *Energies*, 11(10). doi:10.3390/en1102679
- Yılmaz, O. ve Atik, K. (2022). Çanakkale Kent Merkezindeki Leed Sertifikalı Yeşil Binalar Üzerine Araştırmalar: Çanakkale Esas 17 Burda AVM Örneği. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 88-108. doi:10.34186/klujes.1105837
- Zheng, X., Shi, R., Wang, Y., You, S., Zhang, H., Xia, J. ve Wei, S. (2019). Mathematical Modeling and Performance Analysis of an Integrated Solar Heating and Cooling System Driven by Parabolic Trough Collector and Double-Effect Absorption Chiller. *Energy and Buildings*, 202. doi:10.1016/j.enbuild.2019.109400