



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 08.11.2025
Kabul Tarihi : 22.12.2025

Received Date : 08.11.2025
Accepted Date : 22.12.2025

ZORLANMIŞ SİRKÜLASYONLU GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ SICAK KULLANIM SUYU HAZIRLAMA SİSTEMİNİN DİNAMİK ENERJİ ANALİZİ

DYNAMIC ENERGY ANALYSIS OF A FORCED CIRCULATION SOLAR-ASSISTED DOMESTIC HOT WATER GENERATION SYSTEM

Halil İbrahim TOPAL^{1*} (ORCID: 0000-0002-6950-7745)
Hasret Nur KARAKOÇ² (ORCID: 0000-0002-3763-6219)

¹ Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye
² Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Halil İbrahim TOPAL, h.ibrahimtopal@beun.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, zorlanmış sirkülasyonlu solar destekli sıcak su hazırlama sisteminin TRNSYS yazılımında zamana bağlı enerji analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz, Ankara'da yaşayan ve günlük 200 litre sıcak kullanım suyu ihtiyacı olan bir ailenin enerji gereksiniminin solar destekli su ısıtma sistemiyle karşılanması amacıyla yapılmıştır. Simülasyon ortamında oluşturulan modelde pompa, düz plakalı güneş kolektörü ve ek elektrik ısıtıcılı sıcak su tankı yer almaktadır. Zamana göre değişen hava sıcaklığı, güneş ışınımı ve şebeke suyu sıcaklığı parametreleri ile sıcak kullanım suyunun saatlik dağılımı dikkate alınarak dinamik bir analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 34° optimum eğimli yüzeye gelen yıllık toplam ışınım değeri 1835,4 kWsa/m²-yıl olarak bulunmuş, sistem verimi %31,8 olarak hesaplanmıştır. Sisteme toplam enerji girişi 3109,7 kWsa/yıl olup, bunun 2418,3 kWsa/yıl'lık bölümü solar kolektörlerde üretilmiştir. Yıllık bazda solar katkı oranı %77,8 bulunmuştur. Yıllık bazda günlük ortalama sıcak kullanım suyu enerji ihtiyacı 6,9 kWsa/gün, tank ısı kaybı ise 1,6 kWsa/gün hesaplanmıştır. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında (pompa işi hariç) sistemin enerji ihtiyacının tamamı solar kolektörler tarafından karşılanabilirken, diğer aylarda ek elektrikli ısıtıcı devreye girmiştir. Aralık ayında ek ısıtıcının enerji girdisi 166,5 kWsa/ay ile maksimuma ulaşmış ve solar katkı oranı %35,0 olarak gerçekleşmiştir. Sıcak kullanım suyu enerji ihtiyacı 251,0 kWsa/ay ile Mart ayında en yüksek seviyeye ulaşmıştır.

Anahtar Kelimeler: Düz plakalı güneş kolektörü, Sıcak kullanım suyu, TRNSYS, Güneş enerjisi

ABSTRACT

A transient energy analysis of a forced-circulation solar-assisted domestic hot water (DHW) system was performed using TRNSYS software. The system was modeled to meet the hot water demand of a family living in Ankara with a daily 200-liter DHW requirement. The model consists of a pump, a flat-plate solar collector, and a storage tank equipped with an auxiliary electric heater. Time-dependent variations in ambient temperature, solar radiation, mains water temperature, and hourly DHW consumption were considered. The annual solar irradiation on a 34° optimally inclined surface was 1835.4 kWh/m², and the overall system efficiency was calculated as 31.8%. Total annual energy input to the system was 3109.7 kWh, of which 2418.3 kWh (77.8%) was provided by the solar collectors. The average daily DHW demand was 6.9 kWh/day, while tank heat loss was 1.6 kWh/day. During June, July, and August, the entire energy demand was supplied by solar energy alone, excluding pump operation. In the remaining months, the auxiliary electric heater was activated. The highest auxiliary energy consumption occurred in December at 166.5 kWh/month, therefore the solar fraction decreased to 35.0%. The highest monthly DHW demand was recorded in March at 251.0 kWh.

Keywords: Flat-plate solar collector, Domestic hot water, TRNSYS, Solar energy

GİRİŞ

Dünya genelinde giderek artan enerji ihtiyacı, fosil yakıtların sınırlı rezervleri ve çevresel sorunların giderek artması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu hale getirmektedir (Wolf et al., 2025). Özellikle enerji üretiminde fosil yakıtların yüksek oranda tüketilmesi, sera gazı emisyonlarını artırarak küresel ısınma ve iklim değişikliğini hızlandırmaktadır (Zhang, 2024). Bu nedenle, enerji sektöründe sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi ve yenilenebilir kaynakların daha yaygın kullanılması hem çevresel hem de ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır (Holechek et al., 2022).

Güneş enerjisi, temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olması, çevreye zarar vermemesi ve yaygın olarak kullanılabilirliği nedeniyle öne çıkan yenilenebilir enerji seçeneklerinden biridir (Ertekin et al., 2008). Türkiye, coğrafi konumu sayesinde yıllık ortalama 2700 saatten fazla güneşlenme süresine ve 1400–2000 kWsa/m²-yıl arasında değişen yüksek güneş ışınımı değerine sahiptir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025). Ayrıca Türkiye, Avrupa Birliği ülkelerinden çok daha fazla güneş enerjisi potansiyeline sahiptir (Dinçer, 2011). Bu potansiyel, güneş enerjisinin özellikle ısıtma, sıcak su hazırlama ve soğutma sistemlerinde etkin bir şekilde kullanılmasına olanak tanımaktadır (Akinoğlu et al., 1999) (Kuyumcu et al., 2015),

Binalarda enerji tüketiminin önemli bir kısmı sıcak kullanım suyu hazırlama ihtiyacından kaynaklanmaktadır (Alayi et al., 2021). Bu ihtiyacın karşılanmasında geleneksel olarak elektrikli ısıtıcılar veya fosil yakıtlı kazanlar kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler, hem elektrik maliyetlerinin giderek artması hem de çevresel etkileri nedeniyle sürdürülebilir değildir. Bu noktada, güneş enerjisi destekli sıcak su hazırlama sistemleri önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Martinopoulos, 2024). Bu tür sistemler, fosil yakıt tüketimini azaltarak enerji tasarrufu sağlamakta ve karbon salınımını düşürerek çevresel fayda üretmektedir.

Literatürde güneş destekli sıcak su hazırlama sistemlerinin farklı iklim koşullarında performanslarını inceleyen pek çok çalışma bulunmaktadır. Hobbie ve Siddiqui, Montreal için modelledikleri güneş destekli su ısıtma sistemindeki kolektör alanı, depolama tankı, akışkan tipi, ısı değiştiricisi etkenliği gibi parametrelerin sistem üzerindeki etkilerini inceleyerek güneş enerjisinden yazın %83-97, kışın ise %30-62 oranlarında yararlanılabileceğini göstermiştir (Hobbi & Siddiqui, 2009). Harrabi ve ark. Tunus iklimindeki güneş destekli sıcak su hazırlama sisteminin dinamik analizini farklı sıcak su tüketim profilleri için yaparak termal verimin %60.62'ye ulaşabileceğini göstermiştir (Harrabi et al., 2021). Liu ve ark.'nın TRNSYS modelini deneysel çalışmalarıyla doğruladıkları araştırmalarında düz plakalı solar kolektörlü sıcak su hazırlama sisteminin ısı veriminin, fotovoltaiik/termal sistemin ısı veriminden daha yüksek olduğunu; ancak elektrik+ısı veriminin fotovoltaiik sistem lehine sonuçlandığını göstermişlerdir. (Liu et al., 2025). Araştırmalar, uygun tasarım parametreleri ve kontrol stratejileri ile bu sistemlerin yılın büyük bir bölümünde sıcak su ihtiyacının karşılanabileceğini göstermektedir.

Ayrıca literatürde TRNSYS yazılımının kullanıldığı ve sıcak su hazırlama sistemlerinin de dahil edildiği ileri seviye enerji sistemlerini inceleyen çalışmalar mevcuttur. Behzadi ve ark., fotovoltaiik-termal hibrit solar kolektörden oluşan ve elektrik depolamak için bataryanın kullanılmadığı akıllı bir sıcak su hazırlama sisteminde, sistemin enerji simülasyonunu TRNSYS yazılımı ile yapmışlar ve ısı maliyetlerinin şebeke elektriğine kıyasla 7,7 €/MWsa daha ucuz olacağını göstermişlerdir (Behzadi et al., 2020). Al-Smairan ve ark., Ürdün'deki bir üniversitesinin sıcak su, ısıtma ve soğutma taleplerinin maliyetini ve emisyonlarını düşürmek için 130 m²'lik düz plakalı solar kolektör-çiller grubunun dinamik enerji analizini yaparak ısı maliyetlerinin %55, soğutma maliyetlerinin %48 azaltılabileceğini ve enerji taleplerinin %50'sinin yenilenebilir enerji ile karşılanabileceğini göstermiştir (Al-Smairan et al., 2021). Qu ve ark., fotovoltaiik-termal hibrit kolektör ile su kaynaklı ısı pompasının entegre edildiği yeni nesil bir sıcak su hazırlama sistemini hem deneysel yöntemle test etmişler hem de TRNSYS modelini deneysel verileri ile doğrulamışlar; önerdikleri sistemin yıllık 0,6 ton kömür tasarrufu sağlayabileceğini ifade etmişlerdir (Qu et al., 2022). Da ve ark., bina ısı yükü ile güneş enerjisi mevcudiyeti arasındaki tutarsızlığı azaltmak amacıyla fotovoltaiik panellerle çalışan hava kaynaklı ısı pompasını bir enerji depolama tankına bağlayarak Çin'in bölgesel ısıtma olmayan bölgelerindeki kullanımını hem deneysel metotla test etmişler hem de TRNSYS ile analizini yapmışlardır (Da et al., 2023). Jang ve Skye, ABD'nin bir eyaletinde bulunan bir binayı sıfır net enerji binasına dönüştürmek için fotovoltaiik-toprak kaynaklı ısı pompası entegre sistemi önererek performansını yıllık bazda TRNSYS yazılımı ile incelemişler ve sistemin enerji tasarrufunun elektrikli ısıtıcılara kıyasla %54 ve hava kaynaklı ısı pompalarına kıyasla %45 olduğunu göstermişlerdir (Jang & Skye, 2024). Wang ve ark., sıcak kullanım suyu hazırlamak için fotovolatik-hava kaynaklı ısı pompası-faz değişim malzemesi birleşiminden oluşan ileri seviye enerji sistemini TRNSYS yazılımı ile inceleyerek sistem veriminin %76.28'e ulaşabileceğini göstermiştir (Wang et al., 2025).

Literatür incelendiğinde, solar destekli sıcak su hazırlama sistemlerinin performansının büyük ölçüde iklim koşullarına, sıcak su kullanımının saatlik dağılımına ve sistem tipine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Türkiye’de yaygın olarak kullanılan sistemler çoğunlukla termosifon prensibine göre çalışan pasif sistemlerdir. Ancak bu sistemler, donma riski, sınırlı depolama hacmi ve düşük kontrol kabiliyeti gibi nedenlerle yıl boyunca istenen verimlilik seviyesini arzu edilen seviyede sağlayamamaktadır. Buna karşılık zorlanmış sirkülasyonlu sistemler, pompanın kontrolü sayesinde ortaya çıkabilecek kontrol esnekliği, serpantinli sıcak su depolama tankında meydana gelebilecek daha iyi ısı transferi ve farklı iklim koşullarına uyum sağlayabilme avantajları ile daha üstün bir performans sunabilme yeteneğine sahiptir (Duffie & Beckman, 2013). Bu nedenle, özellikle Ankara gibi kış koşullarının belirgin olduğu karasal iklim bölgelerinde zorlanmış sirkülasyonlu sistemlerin performanslarının dinamik olarak incelenmesi önem taşımaktadır.

Bu doğrultuda bu çalışmada, Ankara iklim koşullarında çalışan zorlanmış sirkülasyonlu güneş enerjisi destekli bir sıcak su hazırlama sistemi TRNSYS yazılımında modellenmiş ve yıllık enerji performansı incelenmiştir. Gerçekçi bir sistem kurgusu oluşturmak amacıyla modele düz plakalı kolektör, ek elektrik ısıtıcılı sıcak su tankı, pompa ve kontrol birimi dâhil edilmiştir. Modelin doğruluk seviyesini artırmak için piyasada üretilen bir solar kolektöre ait veriler modele tanımlanmıştır. Ayrıca, Koçer ve ark. (Koçer et al., 2016) tarafından Ankara için önerilen 34°’lik optimum kolektör eğim açısı modele parametre olarak tanımlanmış ve solar sistemden maksimum fayda hedeflenmiştir. Yürütülen simülasyonlar aracılığıyla, kolektör çıkış sıcaklığı, serpantin çıkış sıcaklığı, tankın üst ve alt düğüm sıcaklıkları saatlik bazda elde edilmiştir. Buna ek olarak, sisteme giren enerjiler (solar, elektrik ve pompa) ile sistemden çıkan enerjiler (sıcak su ısı enerjisi ve tank ısı kaybı) günlük, aylık ve yıllık bazda değerlendirilmiştir. Elde edilen verilerle sistemin toplam verimi ve solar katkı oranı hesaplanmıştır.

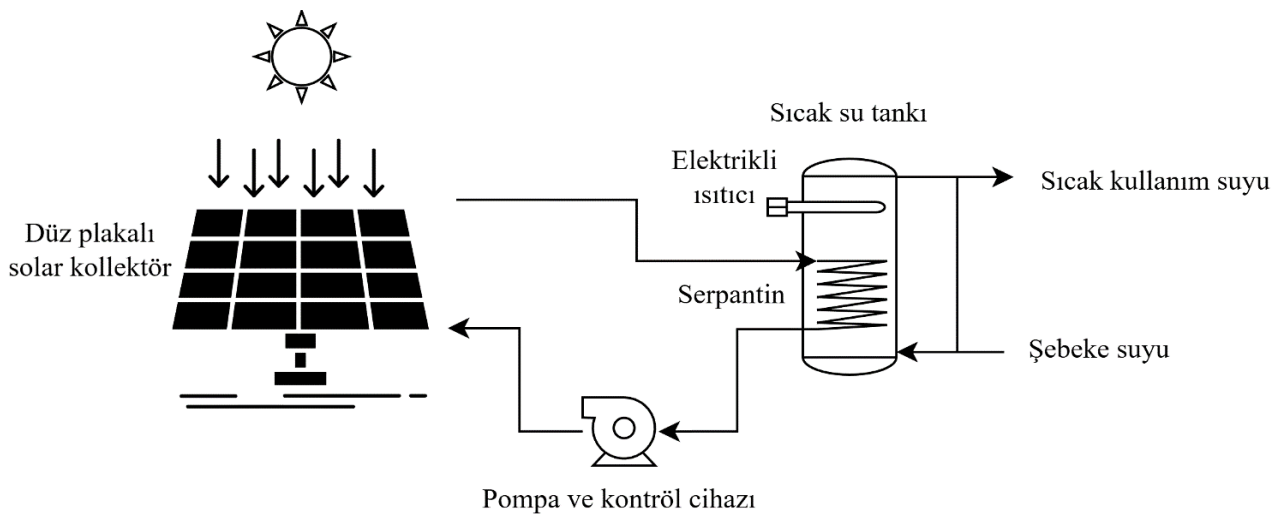
Literatürdeki diğer çalışmalarda sıcak su depolama tankı olarak serpantinsiz tank tercih edilirken bu çalışmada serpantinli tank kullanılmıştır. Bu tercih sayesinde su-ısı transfer akışkanını ayırarak donma riski ortadan kaldırmış ve sistem davranışı daha gerçekçi temsil edilmiştir. Ayrıca, şebeke suyu sıcaklığı değişimi dikkate alınmış ve ideal varsayımlar yerine gerçek bir solar kolektörün verim katsayıları kullanılmıştır. Böylece solar destekli sıcak su hazırlama sisteminin dinamik performansı daha doğru bir biçimde değerlendirilebilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Sıcak su hazırlama sisteminin tanıtılması, kullanıcıların sıcak su tüketim profili, TRNSYS modelin oluşturulması ile bileşenlerin görevleri ve enerji analiz yöntemi bu bölümde verilmiştir.

Sistemin Tanıtılması

Şekil 1’de, düz plakalı solar kolektöre sahip zorlanmış sirkülasyonlu solar destekli sıcak kullanım suyu üretim sisteminin basit şematik görünümü verilmiştir. Sıcak su üretim sistemi kış aylarında meydana gelebilecek donma riskini ortadan kaldırmak için kapalı bir devre olarak tasarlanmıştır. Kapalı devrede ısı transfer akışkanı olarak su ile karıştırılmış propilen glikol çözeltisi kullanılmıştır (Altuntop, 2005).



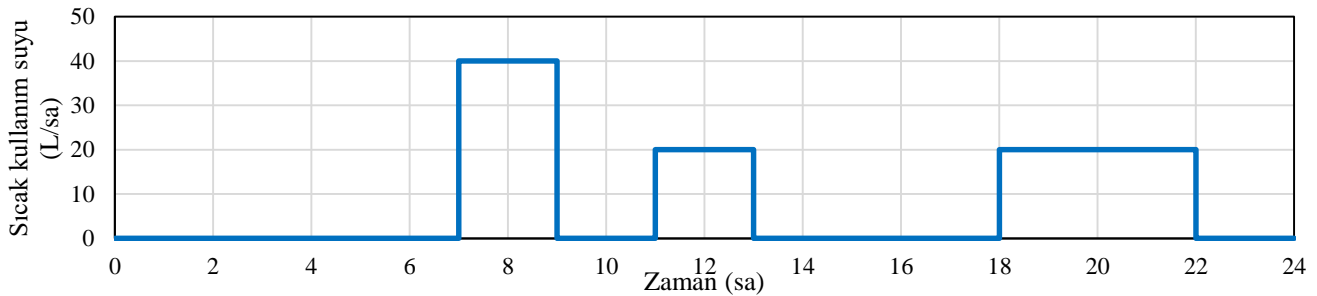
Şekil 1. Zorlanmış Sirkülasyonlu, Düz Plaka Solar Kolektörlü Sıcak Kullanım Suyu Hazırlama Sisteminin Şematik Görünümü (Remlaoui et al., 2024)

Kolektör ve sıcak su tankı arasındaki ısı transfer akışkanının sirkülasyonu bir pompa ile gerçekleşir. Pompa, kolektör çıkışı ile girişi arasındaki sıcaklık farkını referans alan bir kontrol ünitesi ile yönetilir. Isı transfer akışkanının girişi ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı 2 °C'ye düştüğünde pompa durur, 10 °C'ye çıktığında tekrar çalışır. Bu durum pompanın sürekli çalışmasının önüne geçer. Kolektörden çıkan ısı transfer akışkanı, sıcak su depolama tankındaki serpantine girer. Serpantinden geçerken enerjisinin bir kısmını tanktaki suya aktarır ve tanktaki su sıcaklığı yükselir. Tanktaki suyun en üst tarafındaki sıcaklık 60 °C kabul edilen hedef (set) sıcaklığa ulaşmazsa ek elektrikli ısıtıcı devreye girer ve tankın üst kısmını hedef sıcaklığa ulaştırır. Böylece tankta lejyonella bakterisinin oluşumunun önüne geçilmiş olur. Tankın üst kısmından çekilen sıcak su, kullanıcılar için oldukça yüksek bir sıcaklıktır. Bu nedenle, bir yönlendiricide şebeke suyu ile karıştırılıp 45 °C'ye düşürülerek sıcak kullanım suyu hazırlanmış olur. Sistem, yenilenebilir enerji ve elektrik enerjisini aynı anda kullandığından hibrit bir sistem olarak tanımlanabilir. Yenilenebilir enerji kısmı sıcak su hazırlamada elektrik enerjisine bağımlılığı azaltırken; ek elektrikli ısıtıcı, sistemin sürekliliğini sağlar.

Sıcak Kullanım Suyu Profiline Oluşturulması

Sıcak kullanım suyu tüketimi, kişilerin alışkanlıkları, sosyo-kültürel yapı, iklim, mevsimsel etki, haftanın günleri gibi birçok faktöre bağlıdır. Fuentes ve ark.'nın çalışmasında, hane başı günlük sıcak su tüketiminin ABD'de 202-250 L/gün, Almanya'da 160 L/gün, Fransa'da 135 L/gün olduğu bildirilmiştir (Fuentes et al., 2018). Aynı çalışmada kişi başı günlük sıcak kullanım suyu tüketiminin ABD'de 94 L/gün, Almanya'da 64 L/gün olduğu ifade edilmiştir. Türkiye'de sıcak kullanım suyu standardı TS 1258 ile belirlenmiş olsa da bu standart oldukça eski (1983 yılında yayınlanmıştır) istatistiki verilere dayanmaktadır. Bununla birlikte 2010 yılında yapılan bir çalışmada Türkiye'de kişi başı sıcak kullanım suyu tüketiminin ortalama 89.15 L olduğu rapor edilmiştir (Temir & Demiriz, 2010). Bu bilgilerden hareketle bu çalışmada hanenin sıcak su tüketiminin 45 °C'de 200 L/gün olduğu kabul edilmiştir.

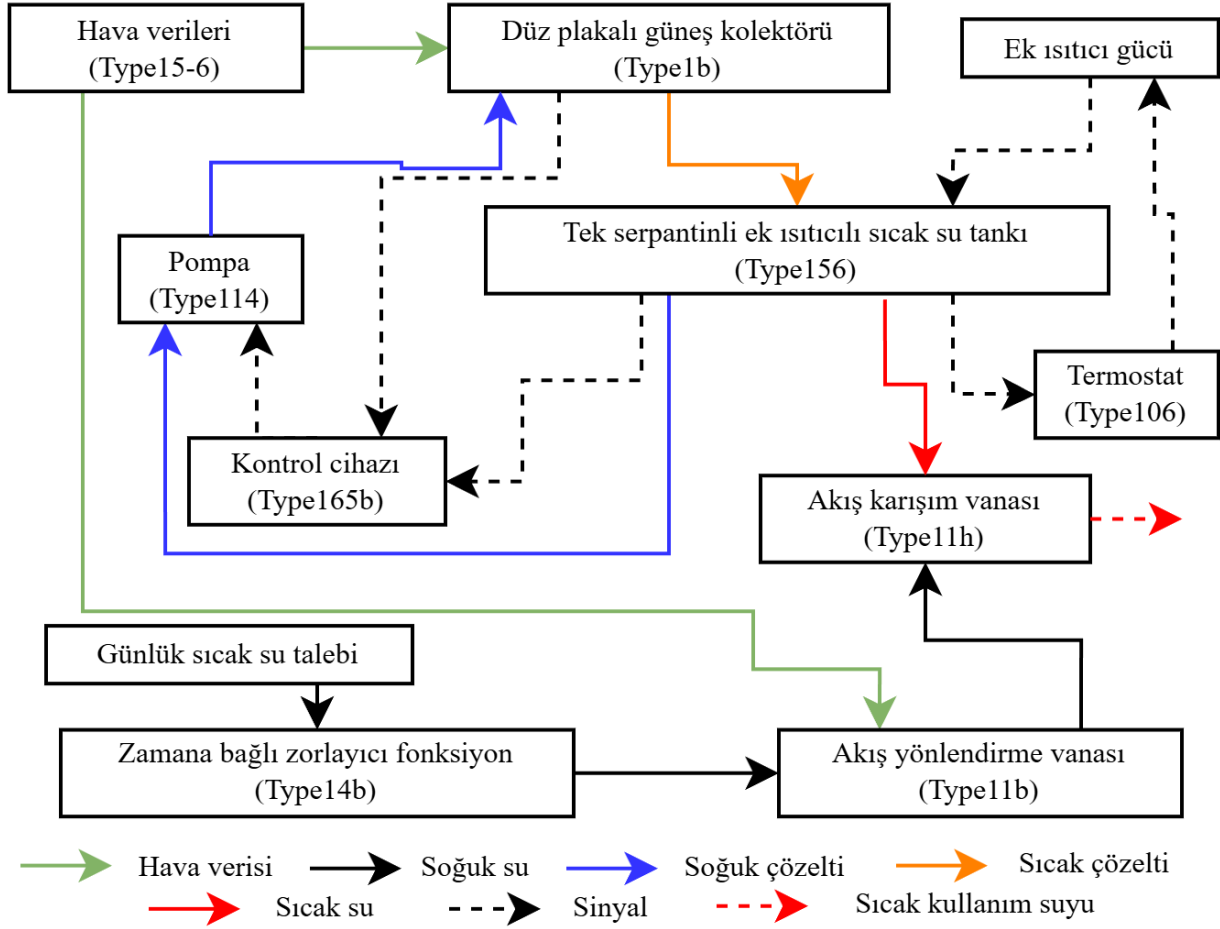
Bir diğer husus, günlük sıcak su ihtiyacının günün hangi saatlerinde tüketildiğinin belirlenmesidir. Sıcak su tüketim profili olarak adlandırılan bu dağılımın gerçeğe yakın bir biçimde belirlenmesi, sistemlerin dinamik analizinin daha gerçeğe yakın bir biçimde yapılmasını ve otomasyonun daha efektif bir biçimde çalışmasını sağlar. Bu çalışmadaki sıcak kullanım suyu profili Şekil 2'de gösterilmiştir. Verilen sıcak su tüketim profiline göre 7:00-9:00 saatleri arasında 40 L/sa, 11:00-13:00 ve 18:00-22:00 saatleri arasında ise 20 L/sa sıcak su tüketimi gerçekleşmektedir.



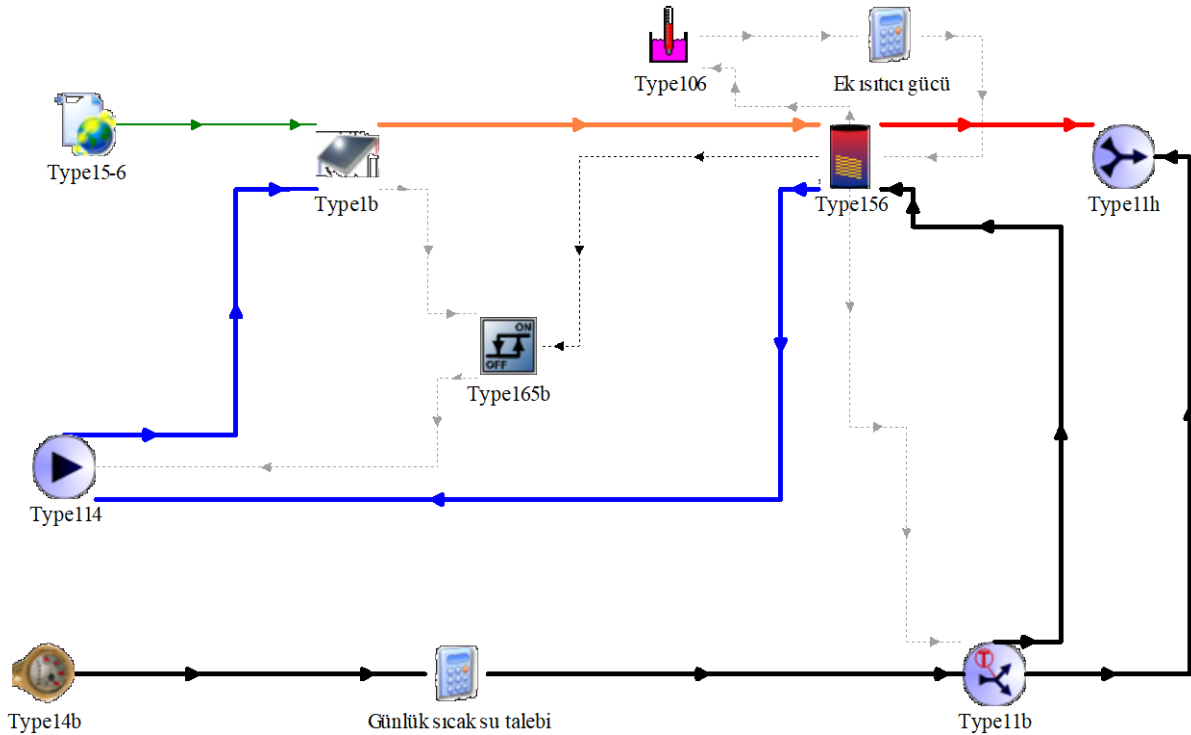
Şekil 2. Günlük 200 L Sıcak Kullanım Suyunun Saatlik Tüketim Dağılımı

Sistemin TRNSYS Ortamında Modellenmesi

TRNSYS (Transient Systems Simulation Tool) zamanla değişen sistemlerin davranışlarını analiz etmek için kullanılan bir yazılımdır (Klein et al., 2023). Simülasyonların büyük çoğunluğu termal ve elektrik sistemlerin performanslarını değerlendirmeye odaklanmaktadır. Bununla birlikte program, çok bölgeli binaların bina kabuğunu modelleyerek her bir bölgenin ısıtma-soğutma yüklerini zamanla değişen güneş ışınımı, hava sıcaklığı, rüzgar gibi birçok parametrenin etkisinde hesaplar. Basit evsel sıcak su kullanım sistemlerinden başlayarak ileri düzey sürdürülebilir enerji sistemlerinin modellenmesine izin verir. Alternatif enerji kaynaklarından hidrojen, rüzgar, fotovoltaik sistemler de dahil olmak üzere farklı ve güncel sistem konseptleri modellenilebilir. Kontrol stratejileri ve kullanıcı davranışlarına göre sistemlerin performansını ortaya koyar. Kütüphanesinde bulunan birçok bileşen kullanıcının isteği doğrultusunda birbirine bağlanarak yeni sistemler oluşturulup, sistemin davranışı hakkında bilgi edinilebilir. Programın dinamik analiz kabiliyeti ve sistem limitlerine müsaade ederek kullanıcıya sağlamış olduğu esneklik nedeniyle bu çalışmada incelenen solar destekli sıcak su hazırlama sisteminin simülasyonu TRNSYS yazılımıyla yapılmıştır. İncelenen sistemin bilgi akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. Simulation studio ortamında kurulan modeldeki temel TRNSYS bileşenlerini ve bunların bağlantılarını gösteren diyagram ise Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. TRNSYS Bilgi Akış Diyagramı



Şekil 4. Zorlanmış Sirkülasyonlu, Düz Plaka Solar Kolektörlü Sisteminin TRNSYS Modeli

Type1b düz plakalı solar kolektörün termal performansını hesaplar. Kolektör dizisi, seri veya paralel kolektörlerden oluşabilir. Bileşen hesabını, akışkan sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farkın güneş radyasyonu oranına göre standart testlerden elde edilen verilerle yapar. Bu çalışmada solar kolektör parametreleri için Viessmann üreticisinin Vitosol 200-F, tip 5DI düz plakalı solar kolektör verileri kullanılmıştır. Type156 içerisinde sarmal yapıda bir serpantin bulduğu, içi akışkanla dolu, sabit hacimli, dikey konfigürasyonlu bir depolama tankını modeller. Depolama tankındaki akışkan serpantinle, tanka girip çıkan akışkanla ve çevresiyle ısıl etkileşim halindedir. Bu bileşen kullanıcıya, “düğüm” olarak tanımlanan izotermal katmanların oluşturulmasına izin verir. Her düğüm, üst ve alt tarafındaki düğümle akışkan iletimi ve akışkan hareketi yoluyla etkileşim halindedir. Ayrıca bileşene ek bir ısıtıcı kaynağı tanımlanarak ek ısı kaynağı sağlanabilir. Type114 sabit hızlı bir pompayı modeller. Bu bileşende basınç düşüş etkileri modellenmez. Bu nedenle pompa gücü kullanıcı tarafından parametre olarak makul bir değer olacak biçimde tanımlanmalıdır. Yukarıda sayılan Type1b, Type156 ve Type114 bileşenleri, bu çalışmada incelenen solar destekli sıcak kullanım suyu hazırlama sisteminin temel bileşenleridir. Bu üç bileşen için TRNSYS simulation studio ortamında tanımlanan parametreler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Solar Kolektörlü Sıcak Kullanım Suyu Hazırlama Sistemindeki Temel Bileşenler ve Parametreleri

Bileşen adı	Trnsys bileşeni	Parametreler
Düz plakalı solar kolektör	Type1b	Kolektör alanı: 4,76 m ² Seri numarası: 1 Optik verim: 0,819 Isı kayıp katsayısı 1: 14,1 kJ/sa.m ² .K Isı kayıp katsayısı 2: 0,084 kJ/sa.m ² .K ²
Tek serpantinli ek ısıtıcılı sıcak su tankı	Type156	Tank hacmi: 0,3 m ³ Tank yüksekliği: 1,6 m Tank düğüm sayısı: 6 Isı kayıp katsayısı: 2,5 kJ/sa.m ² .K Tank ortam sıcaklığı: 20 °C Su özgül ısı: 4,19 kJ/kg.K Su yoğunluğu: 1000 kg/m ³ Su ısıl iletkenlik: 2,224 kJ/sa.m.K Su viskozitesi: 2,353 kg/m.sa Serpantin girişinin tank yüksekliğine oranı: 0,5 Serpantin çıkışının tank yüksekliğine oranı: 0,1 Serpantin borusu iç çapı: 0,0199 m Serpantin borusu dış çapı: 0,0222 m Serpantin boru uzunluğu: 20 m Serpantin boru malzemesi ısıl iletkenliği: 1440 kJ/sa.m.K Serpantin çapı: 0,3048 m Termostatın tank yüksekliğine oranı: 0,75 Ek ısıtıcının tank yüksekliğine oranı: 0,75 Ek ısıtıcı gücü: 2700 kJ/sa
Pompa	Type114	Akış debisi: 200 kg/h Pompa gücü: 240 kJ/sa Toplam pompa verimi: 0,6 Motor verimi: 0,9
Isı transfer akışkanı (%40 propilen glikol - %60 su karışımı)		Özgül ısı = 3,755 kJ/kg.K Isıl iletkenlik = 1,476 kJ/sa.m.K Yoğunluk = 1023 kg/m ³ Viskozite = 9,018 kg/m.sa (Tüm özellikler 35 °C’de verilmiştir.)

Diğer bileşenlerin detayları şu şekildedir: Type15-6, hava verilerinin belirli zaman aralıklarında dış bir hava veri dosyasından okunduğu bileşendir. Dış hava sıcaklığı, anlık ışınım, geliş açısı ve toprak yansıması gibi parametreler bu bileşen aracılığıyla okunur. Bileşen, kolektör eğiminin ve azimut açısının parametre olarak tanımlanmasına izin verir. Azimut açısı 45°, kolektör eğimi 34° olarak tanımlanmıştır. Ayrıca şebeke suyu sıcaklığı da Type15-6 üzerinden okunur. Type165b açma/kapama özelliğine sahip bir diferansiyel kontrol cihazını modeller. 1 veya 0 değerinde bir kontrol fonksiyonu üretir. Type165b’nin çalışma mekanizması şöyledir: Bileşen, sıcak su tankındaki (Type156) serpantin çıkışından gelen sıcaklık bilgisi ile solar kolektör (Type1b) çıkışından gelen sıcaklık bilgisini kontrol eder. Type156’dan gelen sıcaklık bilgisi, Type1b’den gelen sıcaklık bilgisinden 10 °C büyükse 1 sinyalini, 2 °C’den küçükse 0 sinyalini üretir. Kontrol sinyali 1 değerini aldığı anda pompa çalışır, 0 değerini aldığı anda pompa

durur. Ayrıca, yüksek limit kesme değerini ayarlayarak tankın çok yüksek sıcaklıklara çıkmasını engeller. Bu çalışmada yüksek limit kesme değeri 70 °C olarak ayarlanmıştır. Type14b zamanla değişen, periyodik ve tekrarlanan sıcak su profilini simulation studio ortamına tanıtmak için kullanılan bir dış etki (zorlayıcı) fonksiyonudur. Type11b akış yönlendirme bileşenidir. Bu bileşenin bir girişi ve iki çıkışı bulunur. Giriş tarafı, sıcak kullanım suyu profilindeki su debisine karşılık gelen soğuk şebeke suyudur. Çıkış tarafındaki ilk kısım, sıcak su tankına gönderilen suyun debisine karşılık gelir. İkinci kısım ise karıştırma elemanına (Type11h) gönderilecek soğuk su debisini belirler. Type11h ise sıcak su tankının üst kısmından gelen 60 °C'deki su ile yönlendirme elemanı Type11b'den gelen soğuk suyu karıştırarak 45 °C'de sıcak kullanım suyunun hazırlandığı bileşendir. Type106 akışkanın sıcaklığına bakarak (termostat) bir pompa, vana veya ısıtıcıyı açıp kapatan kontrol sinyalini üreten bileşendir. Bu çalışmada Type106, tanktaki sıcaklığı kontrol ederek ek ısıtıcının açılıp kapanmasını sağlar.

Enerji Analizi

Solar kolektörün genel kolektör verimi ($\eta_{kolektör}$) Denklem (1) ile bulunur (Duffie & Beckman, 2013). Burada a_0 (optik verim), a_1 (Isı kayıp katsayısı 1) ve a_2 (Isı kayıp katsayısı 2) standart yöntemlerle elde edilen verilere en küçük kareler metoduyla eğri uydurularak elde edilen sabitlerdir. Bu sabitlerin değerleri Tablo 1'de Type1b bileşeninde verilmiştir. $T_{kolektör,g}$ (°C) ısı transfer akışkanının kolektöre giriş sıcaklığını, $T_{çevre}$ (°C) kuru hava sıcaklığını, \dot{Q}_F (kJ/sa) kolektör tarafından toplanan faydalı ısıyı, I_T (kJ/sa.m²) eğimli yüzeye birim alan başına gelen toplam güneş ışınımını ve $A_{kolektör}$ (m²) solar ışınımın gerçekleştiği toplam alanı temsil eder.

$$\eta_{kolektör} = \frac{\dot{Q}_F}{I_T \cdot A_{kolektör}} = a_0 - a_1 \frac{T_{kolektör,g} - T_{hava}}{I_T} - a_2 \frac{(T_{kolektör,g} - T_{hava})^2}{I_T} \quad (1)$$

Kolektör tarafından toplanan enerji, kolektör içinde dolaşan ısı transfer akışkanına aktarılır. Isı transfer akışkanına enerji dengesi uygulanarak Denklem (2) elde edilir.

$$\dot{Q}_F = \dot{m}_{HTF} c_{p,HTF} (T_{kolektör,ç} - T_{kolektör,g}) \quad (2)$$

Burada \dot{m}_{HTF} (kg/sa) ısı transfer akışkanının (propilen-su karışım çözeltisi) kütleli debisini, $c_{p,HTF}$ (kJ/kg.°C) ısı transfer akışkanının özgül ısısını, $T_{kolektör,ç}$ (°C) ısı transfer akışkanının kolektörden çıkış sıcaklığını ve $T_{kolektör,g}$ (°C) ise ısı transfer akışkanının kolektöre giriş sıcaklığını gösterir.

Sıcak kullanım suyu ısı yükü \dot{Q}_{SKS} (kJ/sa) Denklem (3) ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_{SKS} = \dot{m}_{SKS} c_{p,SKS} (T_{SKS} - T_{şebeke}) \quad (3)$$

Burada \dot{m}_{SKS} (kg/sa) sıcak kullanım suyu debisini, $c_{p,SKS}$ (kJ/kg.°C) suyun özgül ısısını, T_{SKS} (°C) sıcak kullanım suyu sıcaklığını ve $T_{şebeke}$ (°C) şebeke suyu sıcaklığını gösterir.

Solar kolektörden toplanan ısı enerjisi, sıcak su tankındaki hedef sıcaklığa ulaşmadığında ek elektrikli ısıtıcı devreye girer. Ek elektrikli ısıtıcının suya vermiş olduğu ısı enerjisi \dot{Q}_{EK} (kJ/sa) Denklem (4) ile hesaplanır (Remlaoui et al., 2024).

$$\dot{Q}_{EK} = \dot{Q}_{SKS} - (\dot{Q}_F + \dot{Q}_P - \dot{Q}_K) \quad (4)$$

Burada \dot{Q}_K (kJ/sa) sıcak su tankından çevreye kaybolan ısıyı, \dot{Q}_P (kJ/sa) pompanın çalışması esnasında akışkana transfer edilen ısıyı temsil eder.

Isıyla ilgili herhangi bir değişkenin yıllık toplam değeri $Q_{i,yıl}$ (kJ veya kWsa) Denklem (5) ile bulunur. Burada \dot{Q}_i herhangi bir saatteki enerji akışımını temsil eder.

$$Q_{i,yıl} = \sum_{gün=1}^{365} \sum_{saat=1}^{24} \dot{Q}_i \quad (5)$$

Denklem (5) güncellenerek günlük ve aylık enerji akışları da bulunabilir.

Solar sistemlerde sistem performansını değerlendirmek için kolektör veriminden ziyade solar katkı oranı daha elverişli bir göstergedir. Bu çalışmadaki solar destekli sıcak su hazırlama sisteminin solar katkı oranı (S_F) Denklem (6) ile hesaplanır (Harrabi et al., 2021).

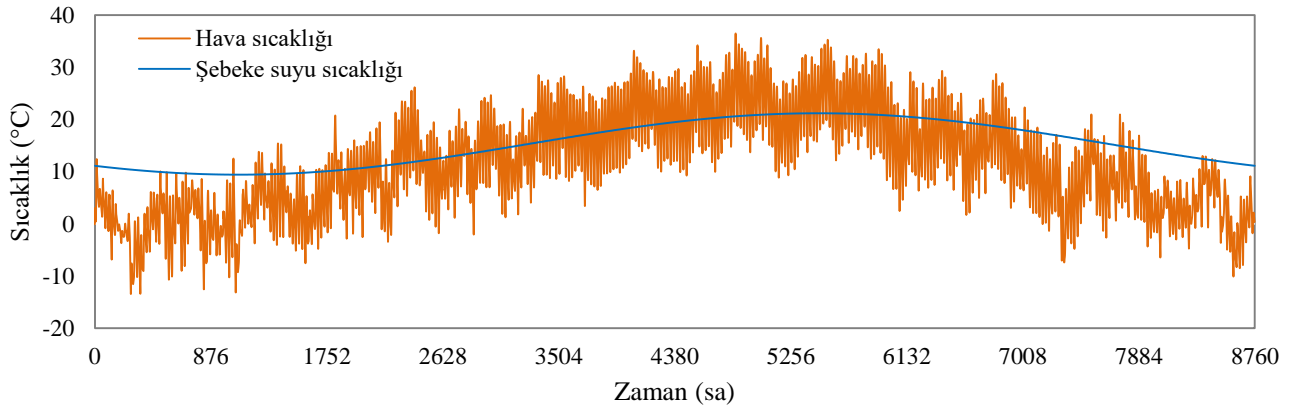
$$S_F = \frac{Q_F}{Q_{SKS} + Q_K} \quad (6)$$

BULGULAR VE TARTIŞMA

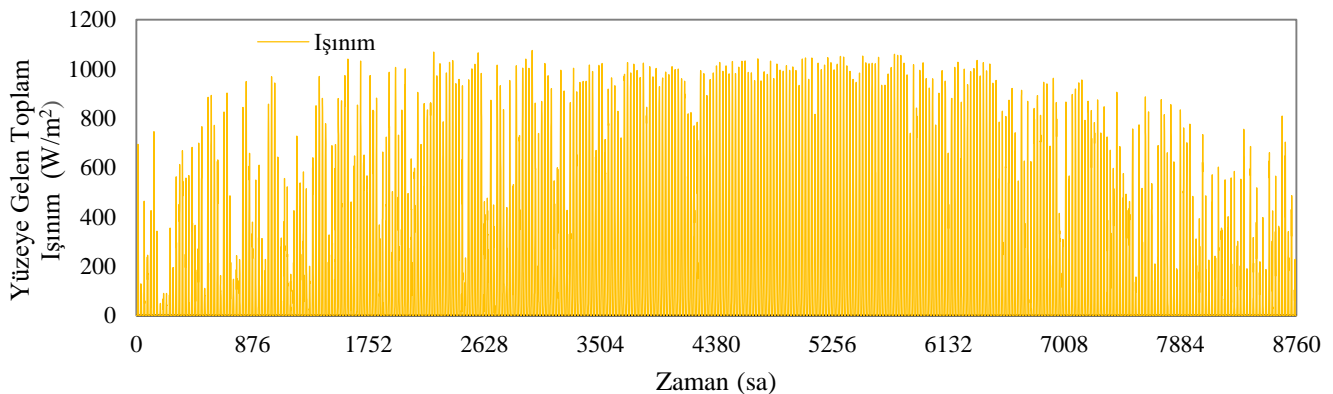
Zorlanmış sirkülasyonlu, düz plaka solar kolektörlü sıcak kullanım suyu hazırlama sisteminin simülasyonu TRNSYS yazılımı ile yapılmış ve elde edilen sonuçlar bu bölümde tartışılarak verilmiştir. Tablo 1'deki bileşenler için verilen değerler yazılım ortamında geçerli olan saat başına birimler cinsinden verilmiştir. Sonuçlar ise okuyucunun daha aşina olduğu kWsa cinsinden verilecektir.

Meteorolojik Veriler

Şekil 5 Ankara'da yıl boyunca hava ve şebeke suyu sıcaklıklarının değişimini, Şekil 6 ise eğik yüzeye gelen toplam ışınımın değişimini göstermektedir. Bu değerler, dünyanın çeşitli yerlerindeki meteorolojik bilgileri içeren Meteororm veri tabanından elde edilen verilerle oluşturulmuş TRNSYS Meteororm klasöründeki TR-Ankara-171300 dosyasından Type15-6 aracılığıyla okunmuştur. Minimum ve maksimum hava sıcaklığı $-13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $36,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, minimum ve maksimum şebeke suyu sıcaklığı ise $9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Eğik yüzeye gelen maksimum ışınım değerinin $1075,3\text{ W/m}^2$, yıllık toplam ışınım değerinin ise $1835,4\text{ kWsa/m}^2\text{-yıl}$ olduğu tespit edilmiştir. Koçer ve ark., Ankara'daki güneş kolektörlerinin yıllık optimum açısının 34° olduğunu belirttikleri çalışmasında kolektör yüzeyine düşen ışınım miktarının $5988,273\text{ MJ/m}^2\text{-yıl}$ ($1663,4\text{ kWsa/m}^2\text{-yıl}$) olduğunu ifade etmişlerdir (Koçer et al., 2016). Bu nedenle, bu çalışmada simülasyon yoluyla hesaplanan eğik yüzeye gelen toplam ışınım değerinin makul bir değer olduğu sonucuna varılabilir. Aradaki farkın nedeni, güneş ışınımının yıllara göre farklılık göstermesi ile açıklanır.



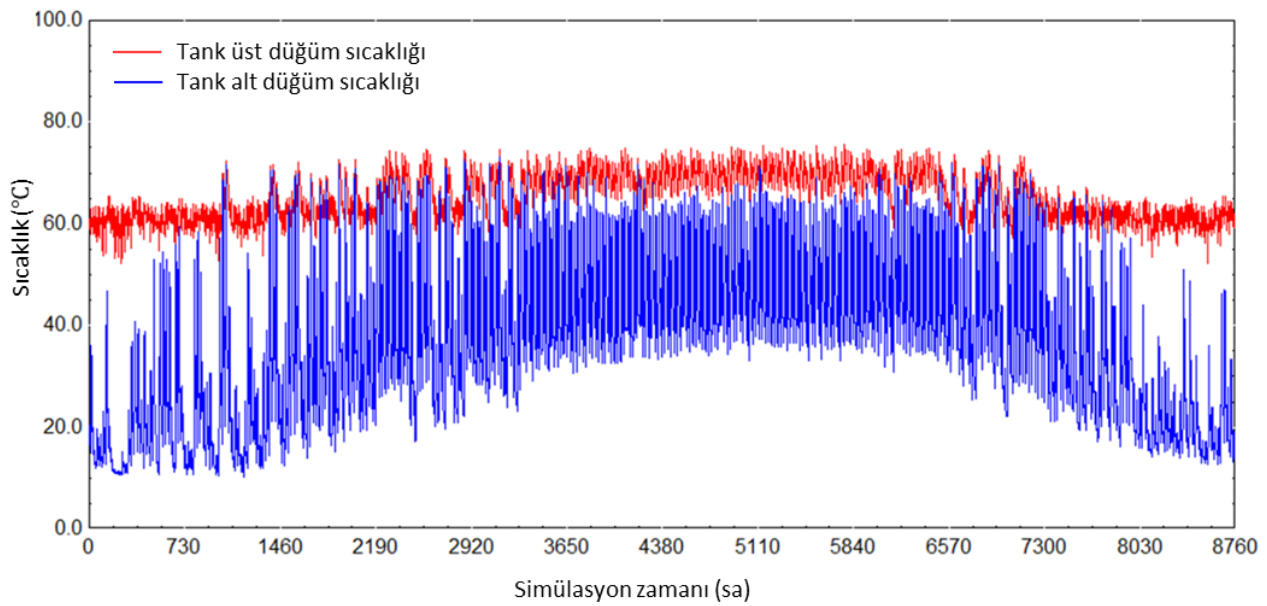
Şekil 5. Ankara İli Hava Sıcaklığı İle Şebeke Suyu Sıcaklığının Yıllık Değişimi



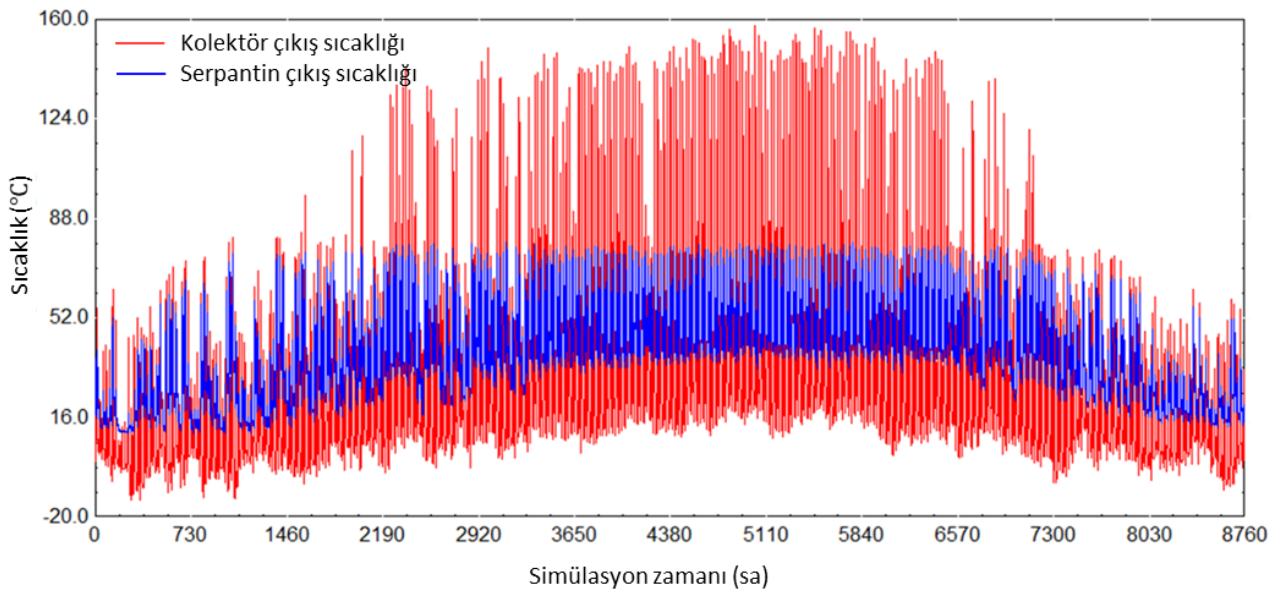
Şekil 6. Ankara İli İçin Kolektör Yüzeyine Gelen Toplam Işınımın Yıllık Değişimi

Kolektör Ve Sıcak Su Tankındaki Sıcaklıkların Yıl Boyunca Değişimi

Dikey sıcak su tanklarında yoğunluk farkından ötürü sıcak su üst tarafta kalırken yerçekimi etkisiyle soğuk su alt tarafa yönelir. Bu tür tankların 1-boyutlu matematiksel modeli, tankı izotermal hacimlere ayırarak oluşturulur. Her bir izotermal hacme “düğüm” adı verilir. Bu çalışmada, metot kısmında da ifade edildiği üzere sıcak su tankı altı düğümden oluşmaktadır. Tankın en üst düğüm ile en alt düğüm sıcaklıklarının yıllık değişimi saatlik bazda Şekil 7’de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere en üst düğüm, tanktaki su sıcaklığının en yüksek olduğu düğümdür. 45 °C’de sıcak kullanım suyu hazırlamak için tanktan çekilecek su bu düğümden çekildiğinden ve tank hedef sıcaklığı 60 °C olduğundan simülasyon yoluyla hedef sıcaklığa ulaşıldığı sonucuna varılır. Çevre sıcaklığının daha düşük olduğu kış mevsiminde, tankın üst düğümünün sıcaklığı 60 °C etrafında salınım yapmaktadır. Bunun nedeni, tanktaki suyun sıcaklığını kontrol eden Type106 (termostat) bileşeninin 5 °C olarak tanımlanan tolerans aralığına göre ek elektrikli ısıtıcıyı açıp kapamasıdır. Yani termostatın konumlandırıldığı düğümden (2. düğüm) sıcaklık 55 °C’nin altına düşerse ek ısıtıcı çalışır, 65 °C’nin üzerine çıkarsa ek ısıtıcı kapanır. Yaz aylarında ise üst düğüm sıcaklığı 70 °C etrafında salınım yapmaktadır. Bu durumun nedeni ise, pompayı kontrol eden Type165b bileşeninin, tankın en üst düğümünün sıcaklığını 70 °C’nin üzerinde okuduğunda pompayı durdurmasıdır.

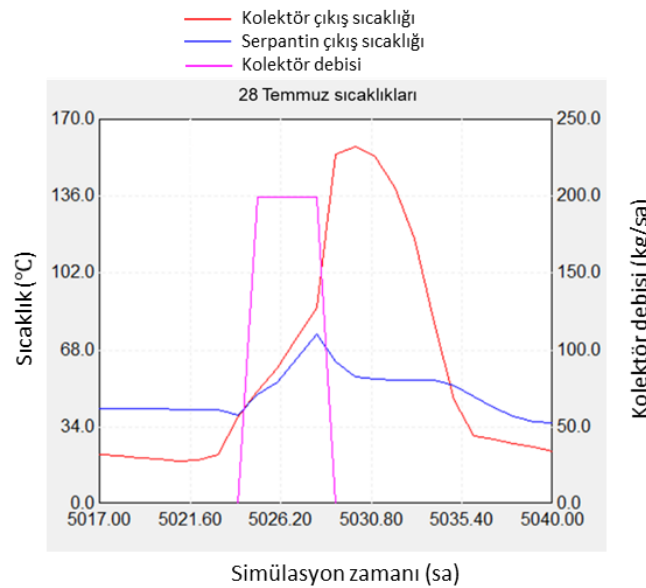


Şekil 7. Sıcak Su Tankının En Üst Ve En Alt Düğümündeki Sıcaklıkların Saatlik Değişimi



Şekil 8. Kolektör Çıkışı İle Serpantin Çıkışındaki Sıcaklıkların Saatlik Değişimi

Isı transfer akışkanın kolektör çıkış sıcaklığı ile serpantin çıkış sıcaklığının yıllık sıcaklık değişimi saatlik bazda Şekil 8'de verilmiştir. Kolektör çıkış sıcaklığı solar ışınımın nispeten düşük olduğu saatlerde daha düşüktür. Fakat, Şekil 9'dan da anlaşılacağı üzere 28 Temmuz günü öğle saatlerinde kolektör çıkış sıcaklığı neredeyse 160 °C'ye ulaşmaktadır. Bu durum, verilen saatlerde tanktaki suyun sıcaklığının 70 °C'yi aşması, bu zorlayıcı faktör nedeniyle kontrolörün pompayı durdurması ve kolektördeki akışın durmasıyla açıklanır. Akış durduğunda absorber sıcaklığı çok hızlı artar ve stagnasyon sıcaklığına ulaşılır. Stagnasyon sıcaklığı, solar kolektörlerde akışın kesildiği durumu tanımlayan stagnasyon olayı ile ilgilidir. Stagnasyon olayı esnasında güneş ışınımı hala devam ediyorsa, kolektörün ve akışkanın sıcaklığı artar. Eğer kolektör yeterince dayanıklı ve sıcaklık artışı engelleyen bir uygulama yoksa, solar ışıınımdan kazanılan enerji kolektördeki ısı kaybına eşit oluncaya kadar sıcaklık artar ve stagnasyon sıcaklığına ulaşılır. Bu dengeden sonra artık sıcaklık artmaz. Stagnasyon sıcaklığı kolektör tipine (düz, vakum, vb.) ve kolektör tasarımına (tek camlı, çift camlı vb.) göre değişir. Solar sistemlerde stagnasyon olayıyla ilgili daha fazla bilgiye Frank ve ark.'nın çalışmasından ulaşılabilir (Frank et al., 2015). Şekil 9'da dikkat çeken bir diğer bulgu, su tüketiminin olmadığı gece saatlerinde serpantin çıkış sıcaklığının kolektör çıkış sıcaklığından daha yüksek olmasıdır. Bunun nedeni, ışınımın olmadığı saatlerde kolektördeki akışın durması ve ısı kaybı nedeniyle daha hızlı soğuması, buna karşın serpantin çıkışındaki akışkanın sıcaklığının tank içindeki suyun iç enerjisi tarafından korunmasıyla açıklanır.

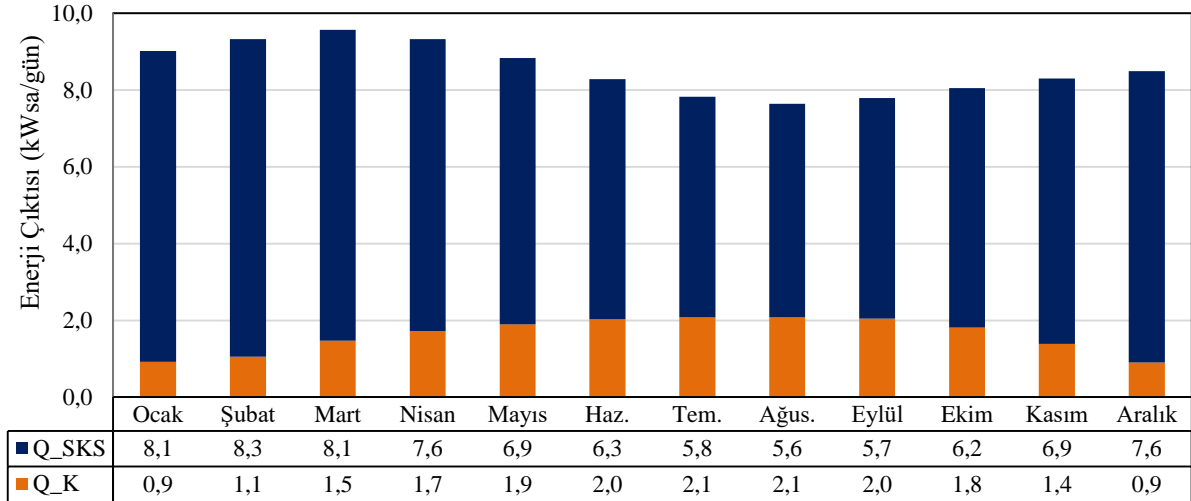


Şekil 9. 28 Temmuz Günü İçin Kolektör Çıkış Sıcaklığı Ve Serpantin Çıkış Sıcaklığının Değişimi

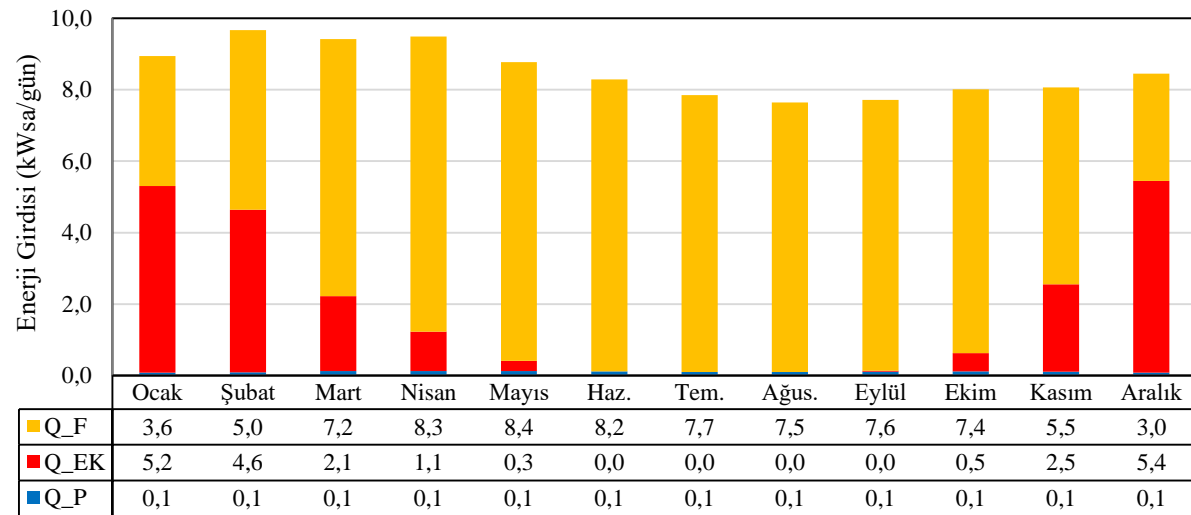
Enerji Analizi Sonuçları

Sıcak kullanım suyu hazırlama sisteminin yılın her ayındaki günlük ortalama enerji çıkışı (sıcak kullanım suyu yükü (\dot{Q}_{SKS}) ve tank ısı kaybı (\dot{Q}_K)) sonuçları Şekil 10'da verilmiştir. En yüksek sıcak kullanım suyu ısıtma yükü ortalaması 8,3 kWsa/gün ile Şubat ayında, en düşük yük ortalaması 5,6 kWsa/gün ile Ağustos ayında gerçekleşmiştir. Her gün ihtiyaç duyulan sıcak su 200 litre olsa da şebeke suyu sıcaklığının artması ortalama yükü azaltmıştır. Sıcak su tankındaki günlük ısı kaybı ortalamasının en yüksek olduğu aylar 2,1 kWsa/gün ile Temmuz ve Ağustos aylarıdır. Bu durum, yaz aylarında yüksek ışınım ve şebeke suyu sıcaklığı nedeniyle tanktaki ortalama su sıcaklığının artmasıyla açıklanır. Sistemin günlük ortalama enerji çıktısının en yüksek olduğu ay 9,6 kWsa/gün ile Mart ayıdır. Bu enerji, yaklaşık 1 m³ doğalgazın alt ısı değerine denk gelir.

Solar destekli sıcak kullanım suyu hazırlama sistemine ışınım yoluyla kazanılan faydalı ısı (Q_F), elektrikli ek ısıtıcı tarafından verilen ısı enerjisi (Q_{EK}) ve pompadan akışkana geçen ısı enerjisi (Q_P) olmak üzere üç farklı ısı enerjisi girişi bulunmaktadır. Şekil 11, ifade edilen enerji girişlerinin yılın her ayındaki günlük ortalamasını göstermektedir. Pompa tarafından akışkana aktarılan ısı enerjisi çok küçüktür ve her gün için neredeyse sabittir. Solar ışınım nedeniyle kazanılan faydalı ısı; Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında enerji ihtiyacının tamamını karşılayabilmektedir. Nitekim bu aylarda ek ısıtıcı tarafından sıcak kullanım suyu hazırlama sistemine enerji girişi olmamıştır. Faydalı ısı kazanımı yılın her ayında gerçekleşmiştir. Bu değerlerin en yüksek ve en düşük olduğu günler 8,4 kWsa/gün ve 3,0 kWsa/gün ile Mayıs ve Aralık aylarıdır. Işınım ve hava sıcaklığının düşük olduğu aylarda ise solar kolektörde kazanılan faydalı ısı, enerji çıktılarının tamamını karşılayamamıştır. Bu nedenle de ek ısıtıcı tarafından sisteme enerji girişi olmuştur. Ek ısıtıcı tarafından verilen enerjinin en yüksek olduğu günler 5,4 kWsa/gün ile Aralık ayıdır.



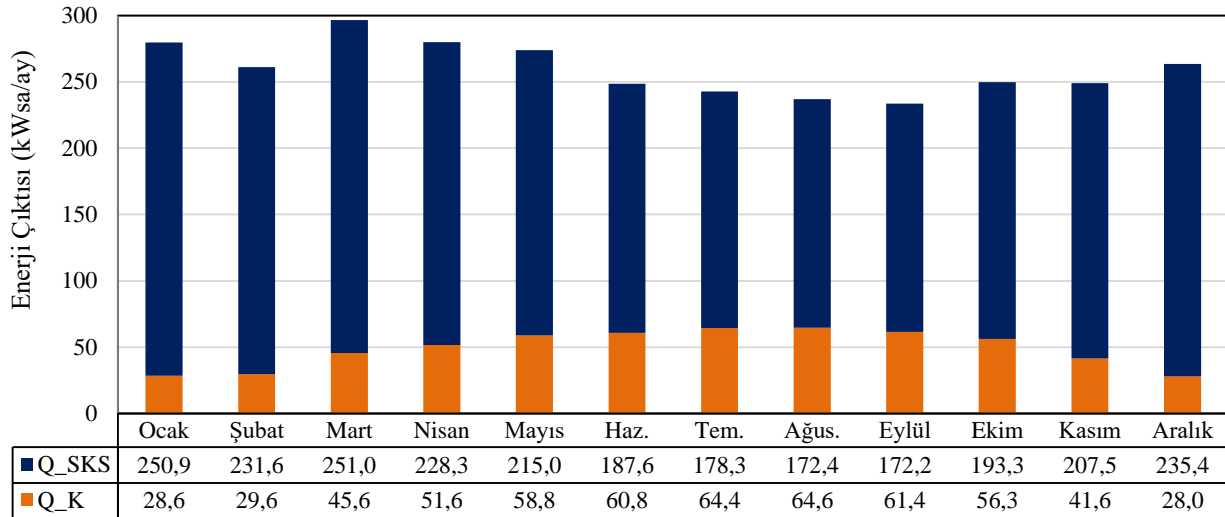
Şekil 10. Sıcak Kullanım Suyu Hazırlama Sisteminin Ortalama Günlük Enerji Çıktıları



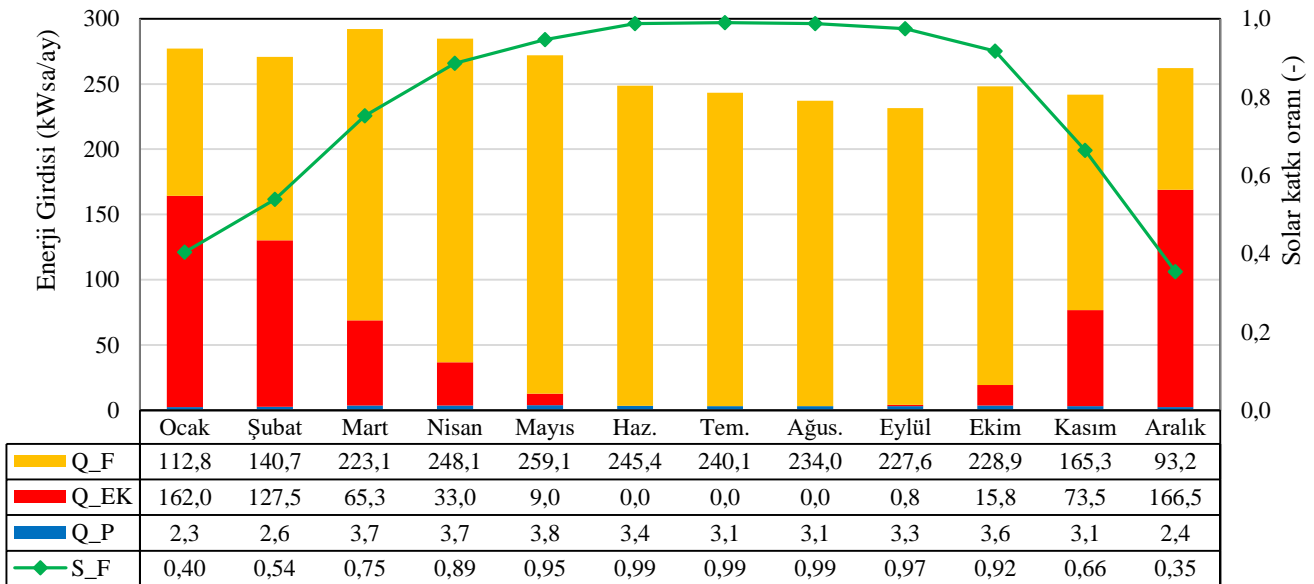
Şekil 11. Sıcak Kullanım Suyu Hazırlama Sisteminin Ortalama Günlük Enerji Girdileri

Solar destekli sıcak su hazırlama sisteminin aylık toplam enerji çıkışları (sıcak su ısı enerji talebi ve tank ısı kaybı) Şekil 12’de gösterilmiştir. Sıcak kullanım suyu ısıtma ihtiyacının en yüksek olduğu ay 251,0 kWsa/ay ile Mart ayıdır. Şebeke suyu sıcaklığının Mart ayında minimuma düşmesi bu bulgunun nedenidir. Şebeke suyu sıcaklığının maksimuma ulaştığı Eylül ayında sıcak kullanım suyu toplam enerji talebi 172,2 kWsa/ay ile en düşük değeri almıştır. Sıcak su tankı ısı kaybının en düşük olduğu ay 28,0 kWsa/ay ile Aralık ayıdır. Aylık toplam enerji çıkışlarında sıcak su tankı ısı kaybı payının en yüksek olduğu ay Ağustos ayıdır. Bu durum, Ağustos ayında sıcak su tankının ortalama sıcaklığının diğer aylara göre daha yüksek olmasıyla ilişkilidir. Solar destekli sıcak su hazırlama sisteminin toplam enerji çıkışlarının en yüksek olduğu ay 296,6 kWsa/ay ile Mart ayıdır. Doğalgaz alt ısıl değerinin 9,59 kWsa/Nm³ olduğu düşünüldüğünde bu enerjinin 30,9 Nm³ doğalgaz enerji içeriğine denk geldiği ifade edilebilir.

Solar destekli sıcak su hazırlama sistemine aktarılan toplam enerjilerin aylık dağılımı ve sisteme verilmesi gereken toplam enerjiye solar enerjinin katkısının oranını gösteren solar katkı payının aylık değişimi Şekil 13’te gösterilmiştir. Pompa tarafından sisteme aktarılan enerji oldukça düşüktür. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında enerji girdisinin neredeyse tamamının solar kolektör tarafından gerçekleştiği görülmektedir. Solar katkı oranının bu aylarda %99 olması, sıcak kullanım suyu enerji ihtiyacı ile tank ısı kaybı enerjisi toplamının neredeyse tamamının solar kolektörler tarafından karşılandığını gösterir. Işınım değerlerinin ve çevre hava sıcaklığının daha düşük olduğu aylarda ek ısıtıcının toplam enerji ihtiyacı içindeki payı artmaktadır. Başka bir ifadeyle bu aylarda solar katkı oranı azalmaktadır. Solar katkı oranının en düşük olduğu ay %35 ile Aralık ayıdır. Bu sonuç, incelenen hibrit sıcak su hazırlama sistemine solar enerjinin aylık bazda en üçte bir oranında katkı sağladığını göstermektedir.



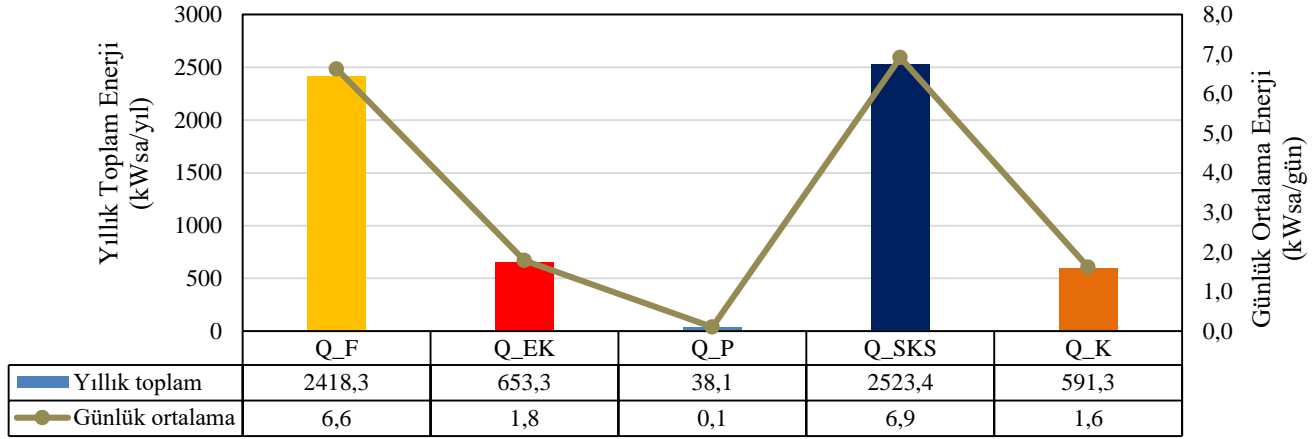
Şekil 12. Sıcak Kullanım Suyu Hazırlama Sisteminin Aylık Enerji Çıktıları



Şekil 13. Sıcak Kullanım Suyu Hazırlama Sisteminin Aylık Enerji Girdileri Ve Solar Katkı Oranı

Solar destekli sıcak su hazırlama sisteminin yıllık toplam enerji giriş-çıkışları ve günlük ortalama değerleri Şekil 14’te gösterilmiştir. Yıllık toplam enerji girişi (solar kolektörden kazanılan faydalı ısı, ek elektrikli ısıtıcı tarafından verilen ısı ve pompa tarafından aktarılan ısı) 3109,7 kWsa/yıl, yıllık toplam enerji çıkışı (sıcak su enerji ihtiyacı ve tank ısı kaybı) 3114,7 kWsa/yıl hesaplanmıştır. Enerjinin korunumu yasasına göre sürekli sisteme giren enerjilerin toplamı ile çıkan enerjilerin toplamının farkı sistemde depolanan enerjiye eşit olmalıdır. Yukarıda verilen enerji giriş-çıkış değerlerinin birbirine eşit olmamasını nedeni tankın simülasyon başlangıcı ile simülasyon sonucundaki sıcaklık dağılımlarının birbirine eşit olmaması ve bu esnada depolanan enerjinin çok küçük olduğu gerekçesiyle enerji denkleğine dahil edilmemesi ve simülasyonun sonlu farklar metodu ile çözüm yapmasından kaynaklanmaktadır. Buna rağmen toplam enerji giriş-çıkışları arasındaki fark ihmal edilebilecek seviyede küçüktür.

Enerji girişleri tarafında solar kolektörden kazanılan faydalı ısı enerjisi 2418,3 kWsa/yıl ile en yüksek paya sahiptir. Bu değer günlük ortalaması 6,6 kWsa/gün hesaplanmıştır. Ek elektrikli ısıtıcı ve pompa tarafından aktarılan enerji değerleri ise sırasıyla yıllık 653,3 kWsa/yıl ve 38,1 kWsa/yıl, günlük ortalamalar ise 1,8 kWsa/gün ve 0,1 kWsa/gün bulunmuştur. Enerji çıkışları tarafında sıcak kullanım suyu enerji ihtiyacı yıllık toplam 2523,4 kWsa/yıl, günlük ortalama 6,9 kWsa/gün hesaplanmıştır. Tanktaki ısı kaybı ise yıllık toplam 591,3 kWsa/yıl, günlük ortalama 1,6 kWsa/gün hesaplanmıştır.



Şekil 14. Sıcak Kullanım Suyu Hazırlama Sisteminin Yıllık Toplam Enerji Dağılımı Ve Günlük Ortalamalar

Yıllık enerji bilançosundan çıkarılabilecek sonuçlardan en önemlisi, solar destekli sıcak su hazırlama sistemine solar enerjinin katkı oranı ve sistemin verimidir. Elde edilen bulgulara göre sistemin yıllık bazda solar katkı oranı %77,8 hesaplanmıştır. Yani yıllık sıcak su üretimi için gerekli olan enerjinin %77,8'i solar kolektörlerden karşılanabilir. Bu oranı artırmanın yolu solar kolektör alanını veya verimini artırmaktır. Ancak bu iyileştirmenin ekonomik açıdan uygulanabilir olup olmadığının dikkatli bir ekonomik analiz ile tespit edilmesi gerekir. Sistem verimi ise iki şekilde tanımlanabilir. Birincisi sıcak kullanım suyu enerji talebinin sisteme giren toplam enerjiye oranıdır. Bu verim %81,1 hesaplanmıştır. Kalan kısım tankın dış yüzeyinden ısı kaybı olarak çevreye atılmaktadır. İkinci verim ise sıcak kullanım suyu enerji talebinin toplam radyasyona oranıdır. Bu verim ise %31,8 hesaplanmıştır. Daha açıkçası, yüzeye gelen ışımın %31,8'i faydalı enerjiye dönüştürülebilmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, Ankara'da bulunan bir konutun 45 °C sıcaklıkta 200 litre/gün debideki sıcak su ihtiyacını, zorlanmış sirkülasyonlu düz plaka solar kolektörlü sıcak kullanım suyu hazırlama sisteminin zamana bağlı enerji analizi TRNSYS yazılımında yapılmıştır. Bu bağlamda, stüdyo ortamında solar kolektör, sıcak su tankı ve pompadan oluşan üç temel bileşen ile pompa ve sıcak su tankını kontrol eden elemanlar tanımlanmış, sistemin günlük, aylık ve yıllık performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın öne çıkan temel sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Solar destekli sıcak kullanım suyu hazırlama sisteminin aylık analizinde günlük ortalama sıcak su yükü en yüksek 8,3 kWsa/gün ile Şubat ayında, en düşük 5,6 kWsa/gün ile Ağustos ayında gerçekleşmiştir. Mart ayında günlük ortalama enerji çıktısı 9,6 kWsa/gün ile maksimuma ulaşmıştır. Yaz aylarında enerji ihtiyacının neredeyse tamamı solar kolektörlerle karşılanırken, diğer aylarda ek ısıtıcı devreye girmiştir. Ek ısıtıcının 5,4 kWsa/gün ile en yüksek enerji katkısını Aralık ayında sağladığı görülmüştür.
- Solar destekli sıcak su hazırlama sisteminde sıcak su enerji ihtiyacı ve tank ısı kaybı toplamının en yüksek olduğu ay 296,6 kWsa/ay ile Mart ayıdır. Solar katkı oranı yaz aylarında %99'a kadar çıkarken kış aylarında %35'e kadar düşer. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında toplam enerji çıkışının tamamı solar enerji ile karşılanabilmektedir.
- Solar kolektör destekli sıcak su hazırlama sistemine yıllık toplam enerji girişi 3109,7 kWsa/yıl olmuştur. Bu enerjinin 2418,3 kWsa/yıl olan kısmı solar kolektörde üretilmiştir. Sıcak kullanım suyu ihtiyacı 2523,4 kWsa/yıl, tank ısı kayıpları ise 591,3 kWsa/yıl olarak hesaplanmıştır.
- Sistemin yıllık bazda solar katkı oranı %77,8 hesaplanmıştır. Bu sonuç sıcak su enerji talebinin büyük ölçüde solar enerji ile karşılanabileceğini göstermektedir. Ayrıca toplam radyasyona göre sistemin verimi %31,8 hesaplanmıştır.

Bu çalışma, güneş enerjisi potansiyeli yüksek bir iklime sahip Türkiye'de, sıcak su hazırlama sistemlerinde solar enerji kullanımının fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltabileceğini göstermektedir. Ayrıca, yeşil dönüşüm sürecinde solar enerjiden faydalanılmasının çevresel etkilerin azaltılmasına önemli katkılar sağlayacağını desteklemektedir.

Yapay Zeka Katkı Beyanı

Bu makalenin İngilizce özetinin hazırlanmasında dil kalitesini artırmak için yapay zekadan destek alınmıştır. Metin, veri analizi ve şekiller dahil tüm içeriğin yalnızca yazarlar tarafından oluşturulduğunu beyan ederiz.

KAYNAKLAR

- Akinoğlu, B. G., Shariah, A. M., & Ecevit, A. (1999). Solar domestic water heating in Turkey. *Energy*, 24(5), 363–374. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(99\)00004-3](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(99)00004-3)
- Al-Smairan, M., Shawaqfah, M., & Almomani, F. (2021). Techno-Economic Investigation of an Integrated Boiler – Solar Water Heating/Cooling System: A Case Study. *Energies*, 14(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/en14010001>
- Alayi, R., Khalilpoor, N., Heshmati, S., Najafi, A., & Issakhov, A. (2021). Thermal and Environmental Analysis Solar Water Heater System for Residential Buildings. *International Journal of Photoenergy*, 2021, 838138. <https://doi.org/10.1155/2021/6838138>
- Altuntop, N. (2005). Güneş enerjisi tesisatlarında antifriz olarak etilen ve propilen glikol kullanımının incelenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 86, 31-38.
- Behzadi, A., Arabkoohsar, A., & Yang, Y. (2020). Optimization and dynamic techno-economic analysis of a novel PVT-based smart building energy system. *Applied Thermal Engineering*, 181(April), 115926. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115926>
- Da, J., Li, M., Li, G., Wang, Y., & Zhang, Y. (2023). Simulation and experiment of a photovoltaic—air source heat pump system with thermal energy storage for heating and domestic hot water supply. *Building Simulation*, 16(10), 1897–1913. <https://doi.org/10.1007/s12273-022-0960-6>
- Dinçer, F. (2011). Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 8–15. <https://doi.org/10.17780/ksujes.10191>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Ertekin, C., Kulcu, R., & Evrendilek, F. (2008). Techno-economic analysis of solar water heating systems in Turkey. *Sensors*, 8(2), 1252–1277. <https://doi.org/10.3390/s8021252>
- Frank, E., Mauthner, F., & Fischer, S. (2015). Overheating prevention and stagnation handling in solar process heat applications (IEA SHC Task 49 report). *International Energy Agency*. <https://www.iea-shc.org>
- Fuentes, E., Arce, L., & Salom, J. (2018). A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(April 2017), 1530–1547. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.229>
- Harrabi, I., Hamdi, M., Bessifi, A., & Hazami, M. (2021). Dynamic modeling of solar thermal collectors for domestic hot water production using TRNSYS. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 6(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s41207-020-00223-6>
- Hobbi, A., & Siddiqui, K. (2009). Optimal design of a forced circulation solar water heating system for a residential unit in cold climate using TRNSYS. *Solar Energy*, 83(5), 700–714. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.018>
- Holechek, J. L., Geli, H. M. E., Sawalhah, M. N., & Valdez, R. (2022). A Global Assessment: Can Renewable Energy Replace Fossil Fuels by 2050? *Sustainability*, 14(8), 4792. <https://doi.org/10.3390/su14084792>
- Jang, D. S., & Skye, H. M. (2024). Performance of a ground-source integrated heat pump for HVAC and DHW in a residential net-zero energy building. *Energy Conversion and Management*, 321(June), 119003. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.119003>
- Klein, S. A., Beckman, W. A., Mitchell, J. W., Duffie, J. A., & Freeman, T. L. (2023). TRNSYS 18 – A Transient System Simulation Program. *Solar Energy Laboratory*, University of Wisconsin–Madison.
- Koçer, A., Şevik, S., & Güngör, A. (2016). Ankara ve ilçeleri için güneş kolektörü optimum eğim açısının belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21(1), 63-78. <https://doi.org/10.17482/uujfe.80088>
- Kuyumcu, M., Şahin, H., Yumrutaş, R., & İmal, M. (2015). Kahramanmaraş Kentinde Güneş Enerjisi Destekli Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi Kullanılarak Bir Apartman Dairesinin Soğutulması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 25-32. <https://doi.org/10.17780/ksujes.47796>
- Liu, C., Wang, B., Li, F., Wei, L., Hao, W., & Wang, L. (2025). A comparative life cycle assessment of photovoltaic/thermal, flat plate collector and electric domestic hot water systems based on TRNSYS simulation. *Applied Thermal Engineering*, 279, 127641. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.127641>

- Martinopoulos, G. (2024). Domestic hot water solar thermal systems as an energy-security alternative in the EU: A parametric analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 69(January), 103921. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103921>
- Qu, M., Yan, X., Wang, H., Hei, Y., Liu, H., & Li, Z. (2022). Energy, exergy, economic and environmental analysis of photovoltaic/thermal integrated water source heat pump water heater. *Renewable Energy*, 194, 1084–1097. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.010>
- Remlaoui, A., Nehari, D., Kada, B., Nasir, N. A. A. M., Abd-Elmonem, A., Alhubieshi, N., ElSeabee, F. A. A., & Hussain, S. M. (2024). Numerical simulation of a forced circulation solar water heating system. *Scientific Reports*, 14(1), 1–19. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80576-y>
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2025). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>
- Temir, G., & Demiriz, M. (2010). Assessment of domestic hot water consumption profiles for residential and commercial buildings in Turkey. *In Proceedings of the CLIMA 2010 REHVA Conference*. Antalya, Turkey.
- Wang, F., Liu, M., Guo, W., Liu, X., Zhang, J., Li, J., Hu, G., & Yin, J. (2025). Photovoltaic/thermal integrated air source heat pump hot water system with phase change tank. *Renewable Energy*, 240(June), 122204. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.122204>
- Wolf, S., Bullard, R., Buonocore, J. J., Donley, N., Farrelly, T., Fleming, J., González, D. J. X., Oreskes, N., Ripple, W., Saha, R., & Willis, M. D. (2025). Scientists' warning on fossil fuels. *Oxford Open Climate Change*, 5(1), kgaf011. <https://doi.org/10.1093/oxfclm/kgaf011>
- Zhang, J. (2024). Energy access challenge and the role of fossil fuels in meeting electricity demand: Promoting renewable energy capacity for sustainable development. *Geoscience Frontiers*, 15(5), 101873. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2024.101873>