Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 23, Sayı 3, 2018 ARAŞTIRMA

DOI: 10.17482/uumfd.467169

DİKEY TİP TOPRAK KAYNAKLI BİR ISI POMPASININ SİMÜLASYONU

Salih COŞKUN [*]
Fatih GÜLER [**]
Muhammed Abdullah FAZLİÇ [**]
Enes Hüseyin ERGÜN [**]

Alınma: 04.10.2018; düzeltme: 31.10.2018; kabul: 07.11.2018

Öz: Bu çalışmada İstanbul ilinde yer alan bir restoranın ısıtılması ve kullanım sıcak su ihtiyacının karşılanmasında dikey tip bir toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP**)** kullanılmıştır. Tasarlanan sistem TRNSYS (Zamana bağlı sistem simülasyonu) programı yardımıyla simüle edilmiş ve sistemin performansı enerji tüketimi açısından incelenmiştir. Ele alınan mahallin sıcaklığı, TKIP sistemi yardımıyla kış aylarında 22 ºC'de sabit tutulurken, tüm yıl boyunca günde dört kere (6:00, 8:00, 20:00 ve 22:00) saatlerinde 15 dakika süreyle 55 ºC sıcaklıkta 300 l/h su kullanımı gerçekleşmektedir. Kullanılan TKIP ünitesi nominal ısıtma kapasitesi 78228 kJ/h, nominal güç tüketimi 18193 kJ/h'dır. Analiz sonucunda TKIP sisteminin yıllık toplam güç tüketimi 3922,88 kW, ısı pompası ve tüm sistemin yıllık ortalama performans katsayıları sırasıyla 3,33 ve 1,81 olarak hesaplamıştır. Tüketilen enerjinin %54,36'ü ısı pompası, %26,78 ısıtıcılar, %13,64'ü pompalar, %5,22'i ise fan tarafından tüketilmektedir.

Anahtar kelimeler: TRNSYS, ısı pompası, simülasyon, toprak kaynaklı

Simulation of Vertical Type Ground Source Heat Pump

Abstract: In this study, vertical type ground source heat pump (GSHP) was used to heat a restaurant located in Istanbul province and to meet the usage hot water requirement. The designed system is simulated with the help of the TRNSYS (time dependent system simulation) program then its performance and energy consumption are examined. While room temperature was kept constant at 22 ºC in winter with the help of the GSHP system, 300 l/h of water at 55ºC was drawn to use for 15 minutes during the whole year (at 06:00 a.m., 08:00 a.m., 20:00 p.m. and 22:00 p.m.). The rated heating capacity of the heat pump used is 78228 kJ/ h and the rated power consumption is 18193 kJ/h. As a result of the analysis, the total annual power consumption of the GSHP system is 3922.88 kW, the annual average performance coefficients of the heat pump and the whole system are calculated as 3.33 and 1.81 respectively. Of the energy consumption were obtained as 54.36% by the heat pump, 26.78 % by electrical heaters, 13.64% by pumps and 5.22% by fan.

Key words: TRNSYS, heat pump, simulation, ground source

[*] Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler MYO, İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Programı
[**] Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İletişim yazarı: Salih Coşkun (coskuns@uludag.edu.tr)

1. GİRİŞ

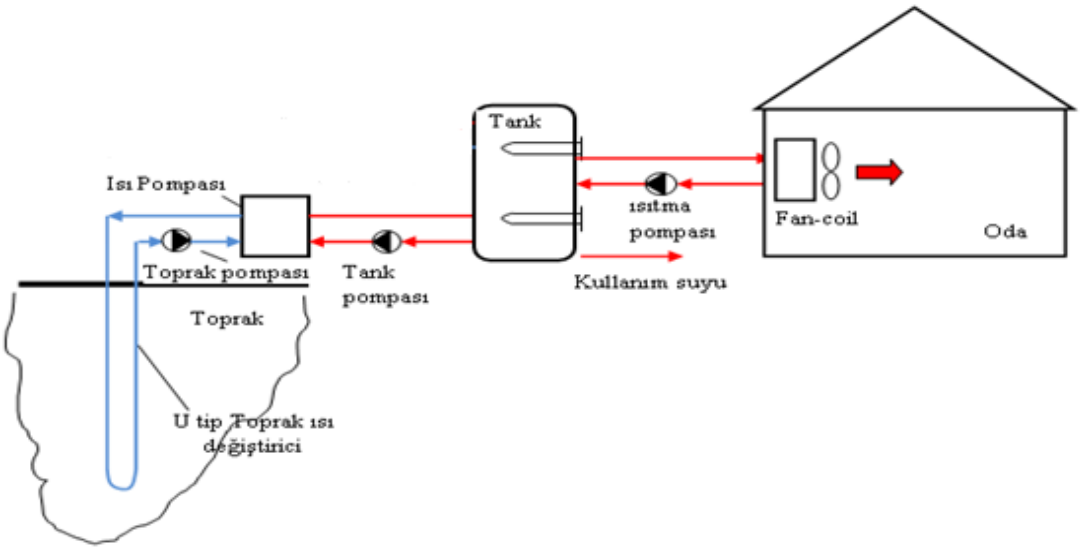
Avrupa da enerjinin %40'ını, evsel, ticari ve endüstriyel inşaat sektörleri tüketirken, CO_2 emisyonlarının %30'dan fazlasını üretmektedirler. Son çalışmalara göre, evsel binalarda toplam tüketilen enerjinin %57'sinin alan ısıtmasına, %25'i ise su ısıtmasına harcandığı belirtilmektedir (Zogou ve Stamatelos, 2009). Çevresel kirlilik ve küresel ısınma nedeniyle insanoğlu daha yaşanılır bir dünya için fosil yakıt kaynaklarından ve bunu tüketen sistemlerden hızla uzaklaşmaktadır. Toprak, su, rüzgar, hava gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına ve bu kaynakları kullanan sistemlere yöneliş başlamıştır. Isı pompası sistemleri yenilenebilir enerji kaynaklarını (hava, toprak veya su) kullanarak, bir ortamdan çektiği ısıyı diğer ortama atan cihazlardır. Sıfır enerjili veya yaklaşık sıfır enerjili binalarda güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompalarının performansları üzerine çalışmalar mevcuttur (Janusevicius ve diğ., 2013; Jonas ve diğ., 2017). Zhai ve diğ. (2017) da yaptıkları çalışmada Şanghay Jiao Tong Üniversitesi'nin yeşil enerji binasında mevcut 180 m^2 kapalı alana sahip bir toplantı salonu için nominal ısıtma kapasitesi ve güç tüketimi sırasıyla 29.5 kW ve 6.9 kW olan TKIP sistemi tasarlanmışlar ve sistemi hem ısıtma hem de soğutma uygulamaları için bir yıl boyunca test etmişlerdir. TKIP sistemi üç farklı boru derinliği (50, 60 ve 80 m) için test edilmiştir. Elde edilen çalışma sonuçlarına göre bir yıl sonra, toprağın ortalama sıcaklığının değişmediği (18°C) tespit edilmiş ve ısıtma uygulaması için ortalama ITK değeri 3 olarak hesaplamışlardır. Zhang ve diğ. (2015) soğutma şartlarını esas alan toprak ve göl suyu kaynaklı hibrit toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin TRNSYS kullanarak simüle etmişlerdir. Özellikle toprak kaynaklı ısı pompaları yüksek verim, uzun süre dayanıklılık ve çevre dostu olması nedeniyle binalarda ısıtma, soğutma ve sıcak su gereksinimlerinin karşılanmasında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Dünya çapında toprak kaynaklı ısı pompasının ilk kullanımı 2000 yılında olup gün geçtikçe artarak 2015 yılında 50,258 MW değerine ulaşmıştır. Zhang ve diğ. (2017) alan çalışması yaparak farklı bölgelerden seçilen 50 bina tipinde kullanılan TKIP sistemlerinin yaz ve kış şartlarındaki performanslarını araştırmışlardır. Bu cihazlar toprağın altına yatay veya dikey yerleştirilen toprak ısı eşanjörünün (TIE) ısı pompasına bağlanmasından oluşurlar. Dikey tip TIE' ler, ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen, belirli bir derinlikten sonra (i.e. 10 m) toprak sıcaklığının stabil olmasına bağlı olarak daha verimli olmaları ve daha az yer kaplamaları sayesinde, yatay tipe nazaran daha çok tercih edilirler (Gao ve diğ., 2018). Bu cihazlar düşük sıcaklıkta evsel ısıtma ve soğutma uygulamalarında yüksek verimde çalışırlarken, yüksek sıcaklıkta sıcak su üretilmesi durumunda verimleri düşmektedir (Janusevicius ve diğ., 2013). Bu yüzden mevcut binalarda sıcak su elde etmek amacıyla kullanılan güneş enerjisi sistemlerinin bu sistemle adaptasyonu, sistem performansını arttırmaktadır (Jonas ve diğ., 2017). Güneş kolektörleriyle birleştirilmiş hibrit toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin (GDTKIP), konutların ısıtılması için uygun bir seçenektir. Topraktan sürekli ısı çekilmesi, toprak sıcaklığı dengesini bozar, ayrıca toprak kaynaklı ısı pompasının performansını düşürür. Bu problemi çözmek için yardımcı ısı kaynağı güneş olan hibrit bir toprak kaynaklı ısı pompası önerilmiştir (Li ve diğ., 2017). Zhouve ve diğ. (2016) mevcut bir TKIP sistemini TRSNSY yardımıyla modelleyip, oluşturulan modeli TKIP sisteminin uzun vadeli performansını tahmin etmek için kullanmışlardır. Sistemin 20 yıllık çalıştırılmasının ardından, yer altındaki ısı birikiminin ve sistem verimliliğinin daha da kötüleştiği belirlenmiştir.

Zemindeki güneş enerjisinin depolaması, toprak ısı eşanjör (TIE) uzunluğunun azaltılmasına yol açmaktadır (Rad ve diğ., 2013). Güneş enerjisi toplama ve depolama kontrol stratejisinin GDTKIP sistemin ITK değeri üzerinde önemli etkileri mevcuttur (Wang ve diğ. 2012). Emmi ve diğ. (2015) tarafında güneş kolektörlerinin, soğuk bölgelerde kurulu olan sistemlerin daha verimli çalışmasını sağlamaya yardımcı olacağı belirtilmiştir. Güneş kolektörleri, yıllık bir döngü boyunca zemin yüklerini dengeleyebilmekte ve daha verimli ısı pompaları döngüsü elde edilmesine yardımcı olabilmektedir. Miglani ve diğ. (2017) hibrit bir güneş enerjisi toprak kaynaklı ısı pompası tasarımında, daha yüksek toprak ısı eşanjörü (TIE) uzunlukları ve güneş kolektör alanının, emisyon azalımına neden olabileceğini ve güneş enerjisi

rejenerasyonunun mevsimsel olarak BHE sıcaklıklarını düzenlemek için gerekli olduğunu göstermişlerdir. Ji ve diğ. (2017) Çin de yaptıkları çalışmada bir binanın ısıtılması ve soğutması için kullanılan GDTKIP sisteminin 10 yıllık simülasyon sonuçları, ısıtma yükü ağırlıklı toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) sistemi için yeraltı yük dengesizliği sorununun, geçiş mevsiminde toprağın şarj olmasıyla çözüldüğünü ve depolama hacmindeki toprağın ortalama sıcaklığının, her yıl sonunda neredeyse değişmediğini göstermektedir. Li ve diğ. (2017b) GDTKIP sisteminde, farklı işletme stratejilerinin sistem performansına, toprak sıcaklığı değişimine etkisini incelemişlerdir. Elde edilen simülasyon sonuçları, ısı pompası ünitesinin kondenser tarafı dönüş suyunun güneş enerjisiyle ön ısıtılması durumunda sistemin daha ekonomik olacağını, fakat evaporatör tarafı dönüş suyunun ısıtılması durumunda ise solar enerji kullanımının maksimuma ulaştığını açıkça göstermiştir. Thygesen ve diğ. (2013) bir ısı pompası ile birlikte bir PV sisteminin, bir ısı pompası ile birlikte güneş enerjili bir termal sisteme göre daha üstün bir alternatif olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Han ve diğ. (2008) gizli ısı enerjisi depolama tankı (GIEDT) ile güneş destekli toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma sistemi araştırılmıştır. GIEDT' ın hacim başına tankın depolama ısısı kapasitesini arttırdığını, tankın boyutunun büyük ölçüde azalmasına ve sistem çalışması sırasında tank sıcaklığının dalgalanma aralığını da azalttığı görülmüştür. Bunun sonucu sistemin daha kararlı hale getirdiğini ve sistem ITK değerinin arttığını belirtmişlerdir. Youssef ve Tassou (2017) faz değiştiren malzemeler (FDM) gibi ileri teknolojiler kullanarak ve optimal sistem kontrolü ile sistem performansının daha da arttırılabileceğini ileri sürmüşlerdir.

2. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada dikey tip toprak kaynaklı bir ısı pompası (TKIP) yardımıyla İstanbul'da yer alan bir restoran kış aylarında 22 ºC'e sıcaklıkta muhafaza edebilmek için ısıtılmakta ve tüm yıl boyunca 55 ºC'de sıcak su ihtiyacı karşılanmaktadır. Bu sistem TRNSYS programı yardımıyla modellenmiş ve zamana bağlı olarak simüle edilmiştir.

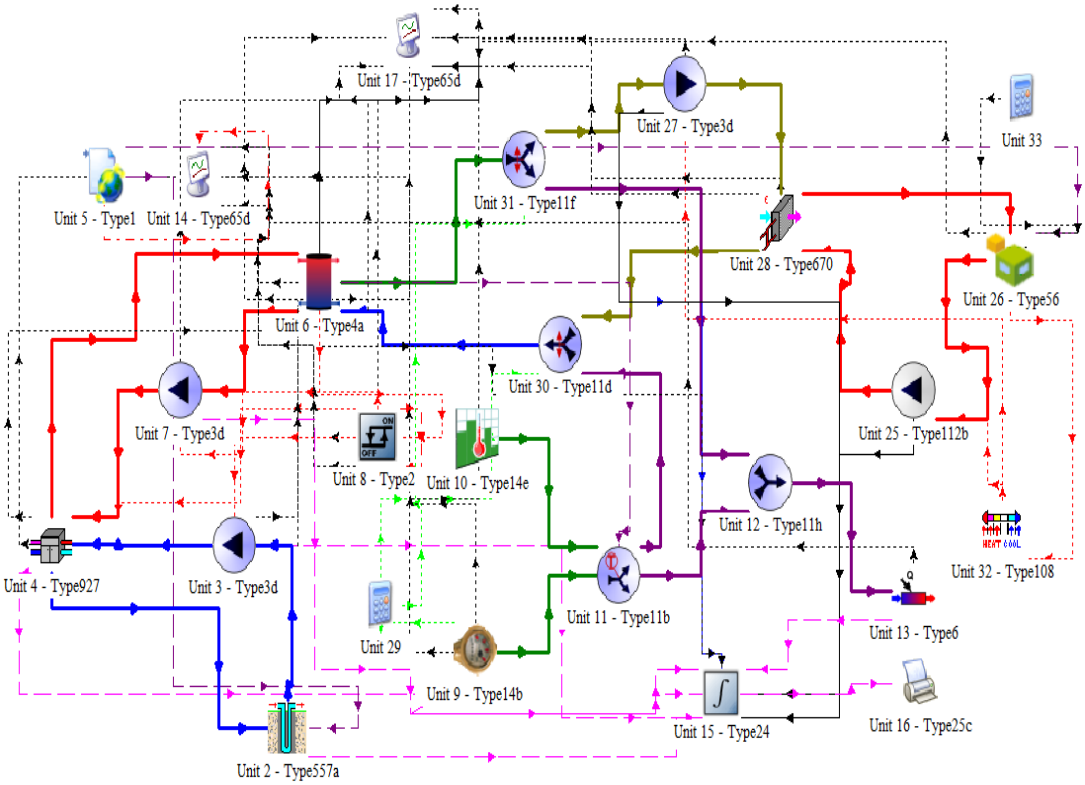


Şekil 1.
TKIP sistemine ait şematik resim

Modellenen bu sistemde bir dikey tip TKIP yardımıyla topraktan çekilen ısı, bir tank içinde depolanan suyun ısıtılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu işlem, toprak altına 100 m derinliğe dikey olarak yerleştirilen polietilen borudan oluşan ısı eşanjörü içerisinde antifirizli su çözeltisinin bir sirkülasyon pompası yardımıyla dolaştırılmasıyla gerçekleşmektedir. Isı pompası, topraktan çektiği ısıyı bir sirkülasyon pompası (tank

pompası) yardımıyla tank içerisindeki suya aktarmaktadır. Tank içerisinde yıl boyunca sürekli olarak 55 ºC'de sıcak su elde edilmesi hedeflenmektedir.

Isı pompası ile tank içinde 55 ºC su sıcaklığına ulaşılamadığı zamanlarda, tank içine ve harici olarak yerleştirilen elektrikli ısıtıcıların devreye girmesiyle, tank içindeki su sıcaklığı 55 ºC'de sabit tutulmaktadır. Tank içerisinde depolanan bu su, hem kullanım suyu olarak hem de bir restoranın yemek odasının ısıtılmasında kullanılmaktadır. Tankta depolanan su bir sirkülasyon pompası yardımıyla (ısıtma pompası) restoranı ısıtmak ve oda sıcaklığını 22 ºC'de muhafaza etmek için bir ısı eşanjörüne gönderilmektedir. Ayrıca tanktan günde dört kere (6:00, 8:00, 20:00 ve 22:00) saatlerinde 15 dakika süreyle 300 l/h su çekimi gerçekleştirilmektedir. TRNSYS yardımıyla modellenen TKIP sistemi Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2.
TRNSYS yardımıyla modellenen TKIP sistemi

Tablo 1. TRNSYS' de modellenen TKIP sistemini oluşturan elemanlar

Eleman No	Eleman Adı	Eleman No	Eleman Adı
Unit 2 (Type 557a)	Toprak ısı eşanjörü	Unit 14 (Type 65d)	Online yazıcı 1
Unit 3 (Type 3d)	Pompa (toprak) (tek hızlı)	Unit 15 (Type 24)	İntegral işlemci
Unit 4 (Type 927)	Sudan-suya ısı pompası (tek kademe)	Unit 16 (Type 25c)	Yazıcı
Unit 5 (Type 15-6)	Hava verisi okuyucu	Unit 17 (Type 65d)	Online yazıcı 2
Unit 6 (Type 4a)	Katmanlı depolama tankı	Unit 25 (Type 112b)	Isıtıcı fanı
Unit 7 (Type 3d)	Pompa (tank) (tek hızlı)	Unit 26 (Type 56)	Çok-zonlu bina
Unit 8 (Type 2b)	Tank için kullanılan diferansiyel kontrol elemanı	Unit 27(Type 3d)	Pompa (ısıtma)
Unit 9 (Type 14b)	Zamana bağlı zorlama fonksiyonu: Su çekimi	Unit 28 (Type 670)	Isıtıcı serpantin

Unit 10 (Type 14e)	Zamana bağlı zorlama fonksiyonu: Sıcaklık	Unit 30(Type 11d)	Kontrollü karışım valfi 2
Unit 11 (Type 11b)	Sıcaklık kontrollü valf	Unit 31(Type 11f)	Kontrollü akış ayırıcı 2
Unit 12 (Type 11h)	Akış ayırıcı	Unit 32 (Type 108)	Oda termostatı
Unit 13 (Type 6)	Harici ısıtıcı	Unit 29, 33	Harici denklem girişi

Tasarlanan sistem, TRNSYS programı yardımıyla modellenmiş ve bir yıl için simüle edilerek elde edilen veriler enerji verimliliği açısından ele alınmış ve değerlendirilmiştir. Modelde kullanılan elemanlar Tablo 1'de verilmiştir.

2.1. Modellenen Sistemin Özellikleri ve Kontrol Yöntemi:

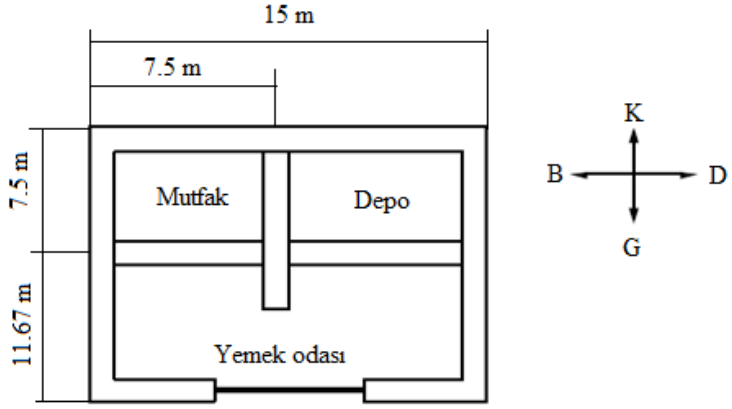
Toprak altına dikey olarak 100 m derinliğe döşenen toprak ısı eşanjörü (Type 557a) U tiptir. 2 ayrı sondaj kuyusu mevcut olup, U tip borunun iç ve dış çapları sırasıyla 0,01372 ve 0,1664 m dir. Sondaj deliklerinin bulunduğu hesaplamada ele alınan bölgenin depolama hacmi 4000 m^3 olup, delik çapı 0,1016 m, dolgu malzemesi ısı iletim katsayısı 4,68 kJ/hmK, boru ısı iletim katsayısı 1,5122 kJ/hmK' dir.

Sistemde kullanılan ısı pompası (Type 927) sudan-suya ısı pompası olup, nominal ısıtma ve kompresör kapasiteleri sırasıyla 78228 kJ/h ve 18193 kJ/h'dır. Nominal kaynak debisi 2840 l/h iken yük debisi 1703 l/h'dır. Isı pompası kompresörü tank çıkış sıcaklığını izleyen bir kontrol elemanı tarafından devreye sokulmaktadır. Isı pompasının yanında aynı zamanda tank ve toprak pompaları da devreye girmektedir. Tank, toprak ve ısıtma pompalarının (Type 3d) maksimum debileri 1440 l/h alınmıştır. Pompaların tükettikleri maksimum güç miktarları toprak pompası için 1200 W, ısıtma ve tank pompaları için 60 W'dır. Sıcak su depolamak için 0,35 m^3 hacminde bir katmanlı su tankı (Type 4a) kullanılmaktadır. Tank boyunca tankın her katmanında su sıcaklıkları farklı olacağından, tank boyu (1320 mm) 10 katmana bölünmüştür. Bir kontrol elemanı yardımıyla (Type 2b) tankın en üst katman sıcaklığı izlenmekte ve bu değer 55 ºC'de muhafaza edilmektedir. Bu kontrol elemanı, tankın en üst katman sıcaklığını, tankın ortalama sıcaklığıyla karşılaştırılmaktadır. Eğer aradaki fark 10 ºC'den fazla ise ısı pompası ile birlikte tank ve toprak pompaları da devreye sokulmakta, aradaki fark 2 ºC olana kadar çalıştırılarak su sıcaklığı arttırılmaktadır. Isı pompası devreye girdiği halde istenilen sıcak su değerine ulaşılamıyorsa, tank içine yerleştirilen elektrikli ısıtıcılar devreye girmektedir. Tankın içinde 2. ve 8. katmanlarda 2 kW kapasitelerinde elektrikli ısıtıcılar ve bunları devreye sokan iki adet termostat yerleştirilmiştir. 2. kademedeki ısıtıcı bu kademedeki su sıcaklığı 50 ºC'in altına düştüğünde devreye girerken, 8. kademedeki ısıtıcı ise bu kademedeki su sıcaklığı 40 ºC'in altına düştüğünde devreye girmektedir. Su çekim elemanı (Type 14b) yardımıyla tanktan, günde dört kere (6:00, 8:00, 20:00 ve 22:00) saatlerinde 15 dakika süreyle 300 l/h su çekimi gerçekleştirilmektedir. Tanktan çekilen kullanım sıcak suyu yerine 15 ºC sabit sıcaklıkta şebeke suyu takviye edilmektedir (Type 14e). Kullanım sıcak suyu eğer 55 ºC'in üzerinde ise bu suyu 15 ºC sıcaklıktaki şebeke suyu ile karıştırarak, su sıcaklığını 55 ºC'e düşürebilmek için sıcaklık kontrollü bir vana (Type 11b) kullanılmaktadır. Eğer kullanım suyu 55 ºC'in altındaysa harici olarak sisteme yerleştirilen bir elektrikli ısıtıcı (Type 6) devreye girmek suretiyle su sıcaklığı 55 ºC'e getirilir. Ayrıca kış aylarında restoranın ısıtılması için tanktan bir pompa yardımıyla çekilen sıcak su, restoranın yemek odasında bulunan bir ısı eşanjörüne (Type 670) gönderilmekte ve 6000 kg/h debi ve 900 W güç tüketimine sahip bir fan (Type 112b) yardımıyla mahal ısıtılmaktadır. Yemek odası sıcaklığı bir oda termostatı (Type 108) yardımıyla 22 ºC'de sabit tutulmaktadır. Isı eşanjörünün çıkışında arzu edilen maksimum hava sıcaklığı 50 ºC ve eşanjör etkenliği olarak belirlendi. Eşanjörde basınç kaybı olmadığı kabul edildi.

2.2. Modellenen Mahallin Özellikleri

Modellenen mahallin mimari projesi Şekil 3'de verilmiştir. Restoran; mutfak, depo ve yemek odası olmak üzere 3 odadan oluşmaktadır. TKIP sistemi ile yemek odası sıcaklığı kış aylarında 22 ºC'de muhafaza edilirken, günün belirli saatlerinde 55 ºC sıcak su ihtiyacı da karşılanmaktadır.

Binada sadece yemek odasında 10 m^2 cam mevcut olup, çift camdır ve toplam ısı transfer katsayısı 5 kJ/hm^2K alınmıştır. Bina içinde ısı taşınım katsayısı 11 kJ/hm^2K alınırken dış tarafında ise 64 kJ/hm^2K olarak alınmıştır. Bu çalışmada ele alınan restoranı oluşturan çatı; 16 mm kartonpiyer, 76 mm yalıtım, 102 mm beton ve 6 mm çatı kaplamasından, dış duvar ise 19 mm alçı, 76 mm yalıtım ve 25 mm sıvadan, iç duvar; 19 mm alçı, 58 mm ahşap ve 19 mm sıvadan ve döşeme; 25 mm mermer, 76 mm yalıtım ve 102 mm betondan oluşmaktadır. Toplam ısı transfer katsayıları Tablo 2'deki gibi hesaplanmıştır.



Şekil 3.
Restorana ait mimarı plan

Tablo 2. Yapı elemanlarına ait toplam ısı transfer katsayıları

Elemanlar	Toplam ısı transfer katsayıları (kJ/hm^2K)
Çatı	1,63
Dış duvar	1,80
İç duvar	4,99
Zemin	1,79

Restoranın her yerinde kullanılmayan zamanlarda hava değişimi, saatte bir yarım oda hava değişimi (*0,5 l/h*) olarak alınmıştır. Müşterilerin gelmesiyle birlikte yemek odasında hava değişimi müşteri başına 0,03 l/h artmaktadır.

Restoran içerisinde hem yemek odasında hem de mutfakta insanlardan ve ışıklardan kaynaklanan ısı kazançları mevcuttur. Mutfakta 50000 kJ/h soğutma kapasitesine sahip bir klima cihazı mevcut olup, mutfak sıcaklığını 26 ºC'de sabit tutmaktadır. Mutfakta ayrıca fırından gelen ısı kazancı mevcuttur. Fırından radyasyonla olan ısı transferi 5000 kJ/h olup, konveksiyonla olan ısı transferi 10000 kJ/h'dır. Ayrıca fırından 0,1 kg/h nem transferi gerçekleşmektedir. Depoda 1500 kJ/h güce sahip bir dondurucudan gelen sabit ısı kazancı mevcut olup depo ısıtılmamaktadır.

Bina kullanıldığında lambalardan gelen ısı kazançları da devreye girmektedir. Lambalardan saatte 1500 kJ radyasyonla, 300 kJ konveksiyonla ısı yayılmaktadır. Yemek odasında yayılan ısı enerjisi hafta içi ve hafta sonları için farklıdır. Yemek odasında 07:00-22:00 arası lambalardan yayılan ısı enerjisi iki katına çıkmaktadır.

Çalışanların ve müşterilerin her birinden 70 kJ/h radyasyonla, 150 kJ/h konveksiyonla ısı transferi ve saatte 0,058 kg nem transferi gerçekleşmektedir. Hafta sonu ve hafta içi yemek odası ile mutfak için doluluk oranları Tablo 3'de görülmektedir.

Tablo 3. Hafta içi ve sonu günlük program

GÜNLÜK PROGRAM	BAŞLANGIÇ	BİTİŞ	YEMEK SALONU (KİŞİ SAYISI)	MUTFAK (KİŞİ SAYISI)
HAFTA İÇİ	00:00	08:00	0	0
	08:00	10:00	25	2
	10:00	12:00	10	1
	12:00	14:00	50	5
	14:00	17:00	10	1
	17:00	22:00	50	5
	22:00	24:00	0	0
HAFTA SONU	00:00	08:00	0	0
	08:00	10:00	50	5
	10:00	12:00	25	2
	12:00	14:00	50	5
	14:00	17:00	20	2
	17:00	22:00	50	5
	22:00	24:00	0	0

Yukarıda mahal ile ilgili verilen tüm veriler Type56 modülü yardımıyla binanın ısı yük değişiminin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

3. SİMÜLASYON SONUÇLARI

TRSNSYS programı yardımıyla modellenen TKIP sisteminin İstanbul için bir günlük ve bir yıllık analiz sonuçları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon zaman adımı 0,125 h olarak alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan bazı hesaplamalara ait denklemler aşağıda verilmektedir. Isı pompasının bir yıllık ortalama performans katsayısı ısı pompası tarafından atılan ısıya karşılık ısı pompasının harcadığı enerjiye oranı olarak hesaplanmıştır.

$$ITK_{ort_ıp} = \frac{\dot{Q}_{atılan_ıp}}{\dot{W}_{ıp}} \tag{1}$$

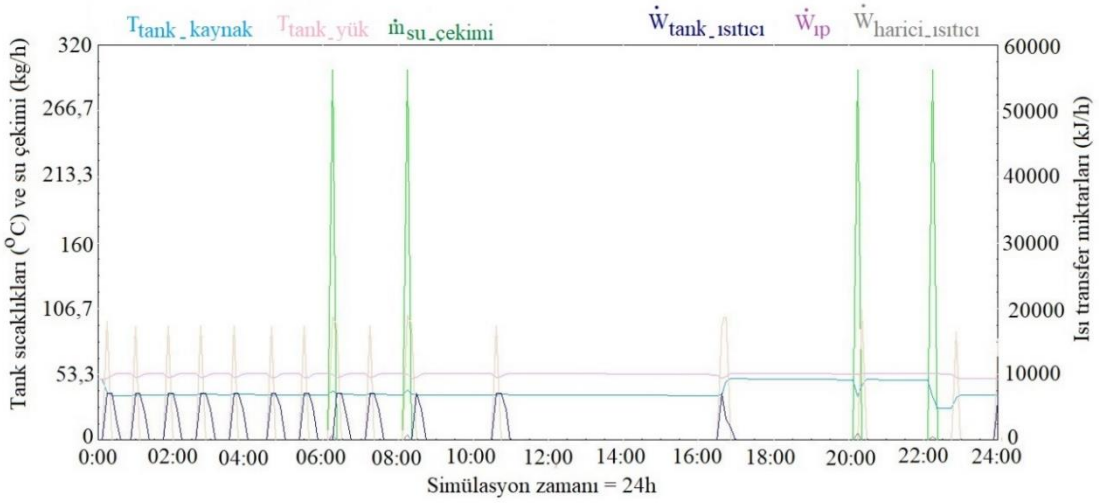
Tüm sistemin yıllık ortalama performans katsayısı ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$ITK_{ort_sis} = \frac{\dot{Q}_{atılan_ıp}}{\dot{W}_{top}} \tag{2}$$

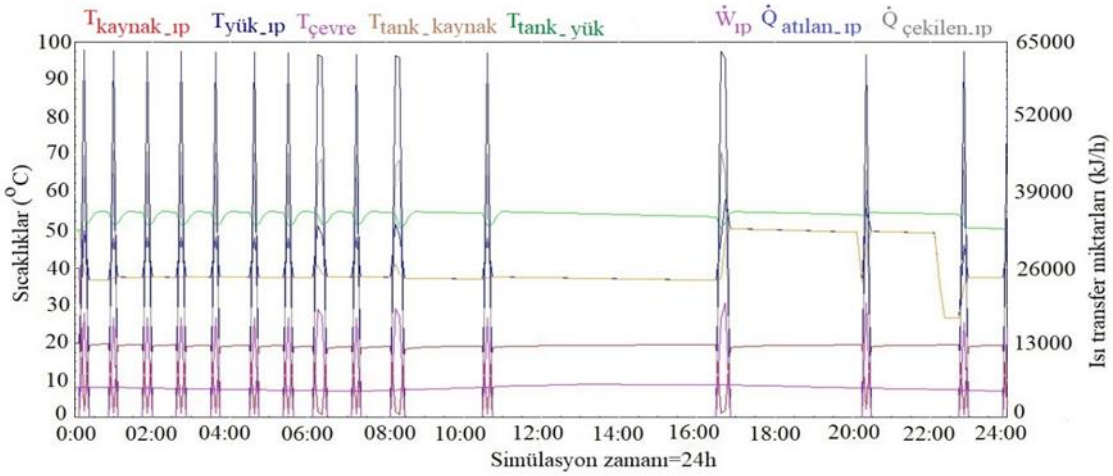
Burada toplam güç tüketimi; ısı pompası kompresörü yanında devreye giren pompalar, fanlar, tank içinde ve dışında mevcut elektrikli ısıtıcılar tarafından tüketilen güçlerin toplamıdır.

$$\dot{W}_{top} = \dot{W}_{ıp} + \dot{W}_{pompa_toprak} + \dot{W}_{pompa_tank} + \dot{W}_{pompa_ısıtma} + \dot{W}_{fan} + \dot{W}_{tank_ısıtıcı} + \dot{W}_{harici_ısıtıcı} \tag{3}$$

Şubat ayının ilk günü için yapılan analiz sonucu ısı pompası parametrelerinin değişimi Şekil 4'de görülmektedir. Kompresörün devreye girdiği anlarda ısı pompası kaynak sıcaklığı yaklaşık 55 ºC'e yükselirken, yük sıcaklığı 1 ºC'e kadar düşmektedir ve dış ortam sıcaklığı 7-8 ºC arasında değişmektedir. Bu arada kompresör 14000-19000 kJ/h aralığında güç tüketirken, 35000-45000 kJ/h aralığında ısı çekmekte ve 63000 kJ/h civarında ısı atmaktadır.

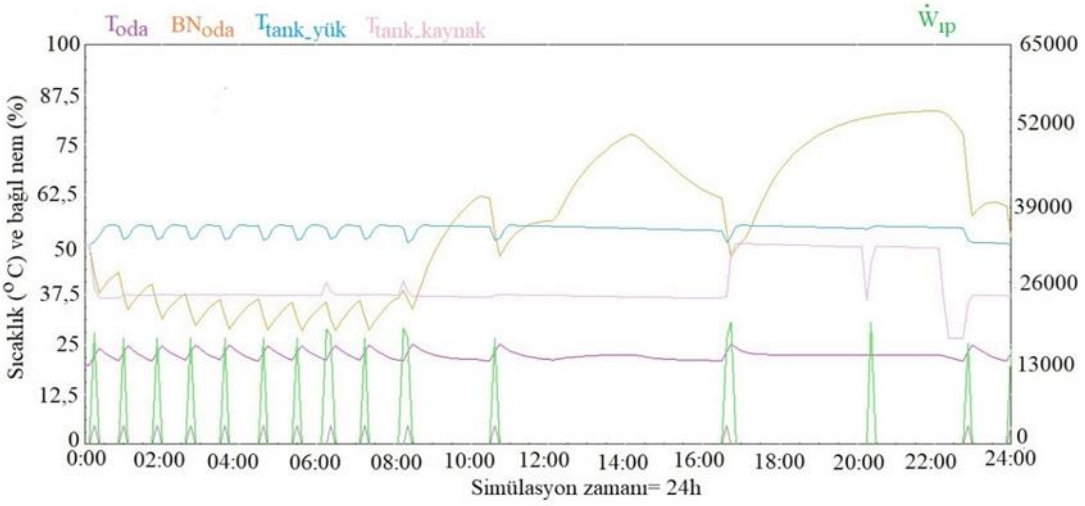


Şekil 4.
Isı pompası parametrelerinin değişimi



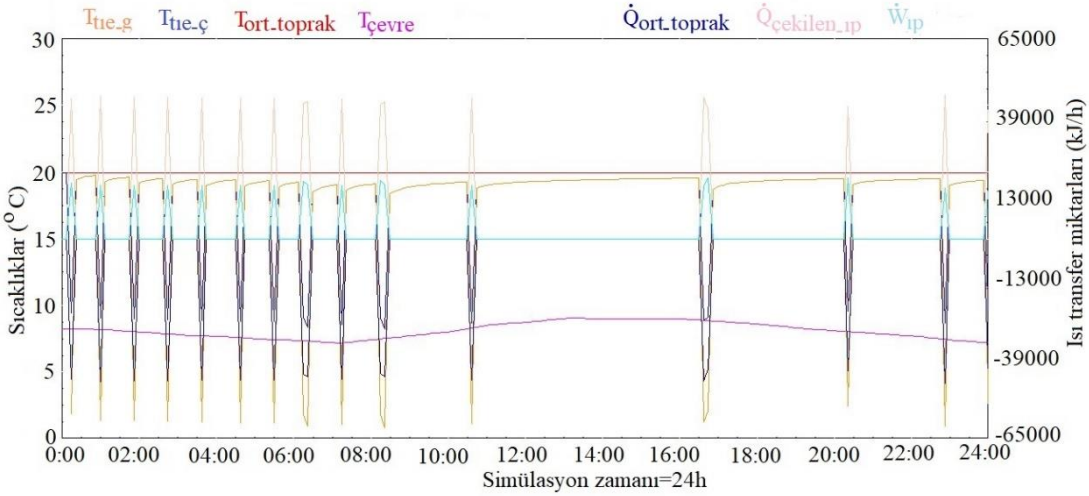
Şekil 5.
Su çekimi ve yardımcı ısıtıcıların devreye girmesi

Şekil 5'de sıcak su depolama tankından saat 08:00, 10:00, 20:00 ve 22:00' de 300 kg/h 15'er dakika 55 ºC sıcaklıkta su çekimi gerçekleşmektedir. Tank üst katmanındaki su sıcaklığı 55 ºC'in altına düştüğünde kompresör devreye girerek, su sıcaklığını 55 ºC'e yükseltmektedir. Fakat su çekimi esnasında kullanım su sıcaklığı düştüğünden dolayı, su sıcaklığını yükseltmek için kompresör yanında, tank içindeki ve dışındaki yardımcı ısıtıcılar da devreye girdiği görülmektedir. Kompresörün sık devreye girdiği anlarda tank alt kısmındaki su sıcaklığı 37 ºC civarında iken, oda sıcaklığının stabil kaldığı anlarda 50 ºC'e kadar ulaşmakta fakat saat 20:00 ve 22:00'de su çekimiyle birlikte tekrar düşmektedir. Şekil 6'da oda sıcaklığının 22 ºC'de sabit tutulurken, sıcaklık diferansiyel değeri 2 ºC olarak seçilmiştir. Oda sıcaklığı 20 ºC'e düştüğünde sistem devreye girmektedir. Oda sıcaklığının sık değişkenlik gösterdiği 06:00 ve 08:00 saatlerinde 15'er dakika 300'er lt/h su çekildiği 0:00-08:00 saatleri arasında kompresörün sık devreye girdiği görülmektedir. Bu saatler arasında oda bağıl neminin %28'e kadar düştüğü, devreye az girdiği anlarda ise %84'e kadar yükseldiği görülmektedir. Ayrıca kompresörün devreye girmesiyle birlikte ısıtıcı fanı da devreye girerken, tank üst kısmındaki su sıcaklığı 55 ºC'e çıkmaktadır.



Şekil 6.
Oda, kolektör ve tank sıcaklık değişimleri

Şekil 7'de görüldüğü gibi Şubat ayının ilk haftası için gerçekleştirilen simülasyon boyunca çevre sıcaklığı 7 ºC ile 9 ºC arasında değişirken, ortalama toprak sıcaklığı 20 ºC civarında sabit kalmaktadır. Topraktaki ortalama ısı transfer miktarının, yaklaşık ısı pompasının çektiği ısı miktarı kadar gerçekleştiği görülmektedir. Isı pompasından ayrılan su, toprak ısı değiştiricisine yaklaşık 2 ºC civarında girerken, toprak ısı değiştiricisinden yaklaşık 7,5 ºC'de ayrılmaktadır.

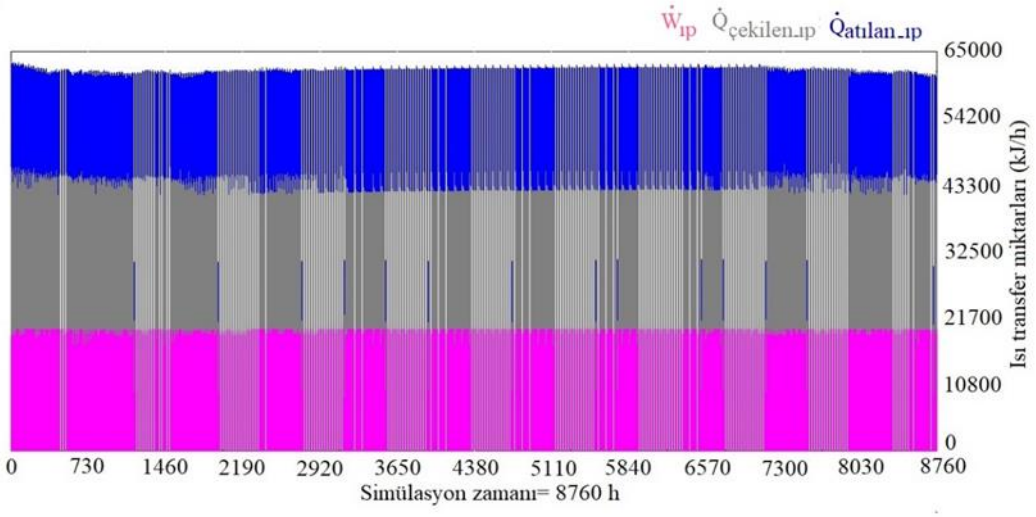


Şekil 7.
Toprak ve toprak ısı değiştiricisindeki parametrelerin değişimi

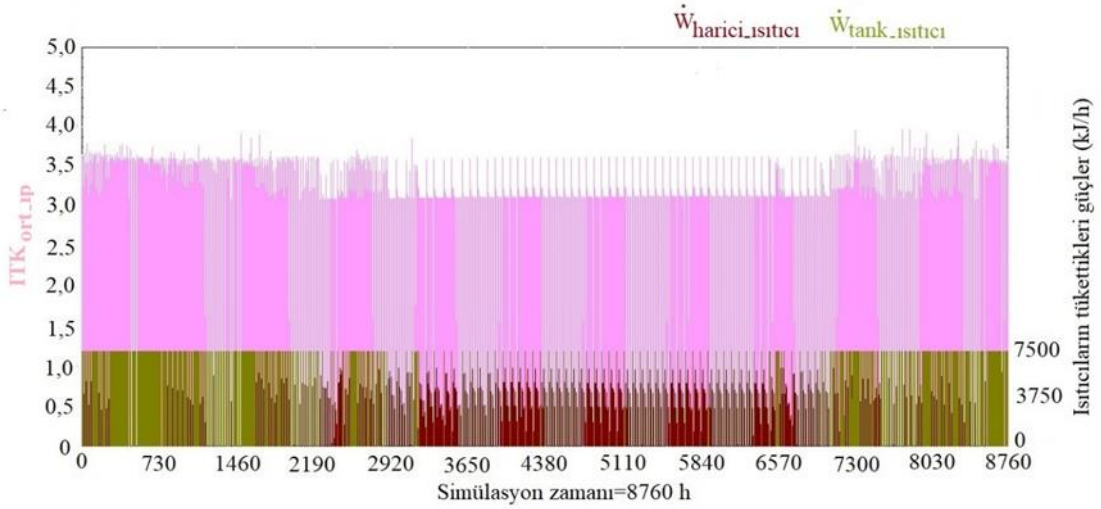
Bir yıl boyunca gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre ısı pompası yaz ve kış devreye girdiği görülmektedir (Şekil 8).

Şekil 9'da kullanılan toprak kaynaklı ısı pompasının bir yıllık ortalama performans değeri ($ITK_{ort_ıp}$) yaklaşık 3,33 olarak elde edilirken, tüm sistemin yıllık ortalama ITK değeri ise (ITK_{ort_sis}) 1,81 olarak elde edilmiştir. Tank içindeki su sıcaklığı 55 ºC'in altına düştüğü yaz ve kış aylarında ısı pompası devreye girerken, yaz aylarında ısı pompasının daha az yoğunlukta devreye girdiği görülmektedir. Isıtma ve sıcak su ihtiyacının yoğun olduğu, kış aylarında ısı pompasının yeterli olmadığı durumlarda, tank içindeki ve dışındaki ısıtıcılar yoğun bir şekilde

devreye girerken, sadece sıcak su ihtiyacının olduğu yaz aylarında ise tank içindeki ısıtıcıların daha az devreye girdiği görülmektedir

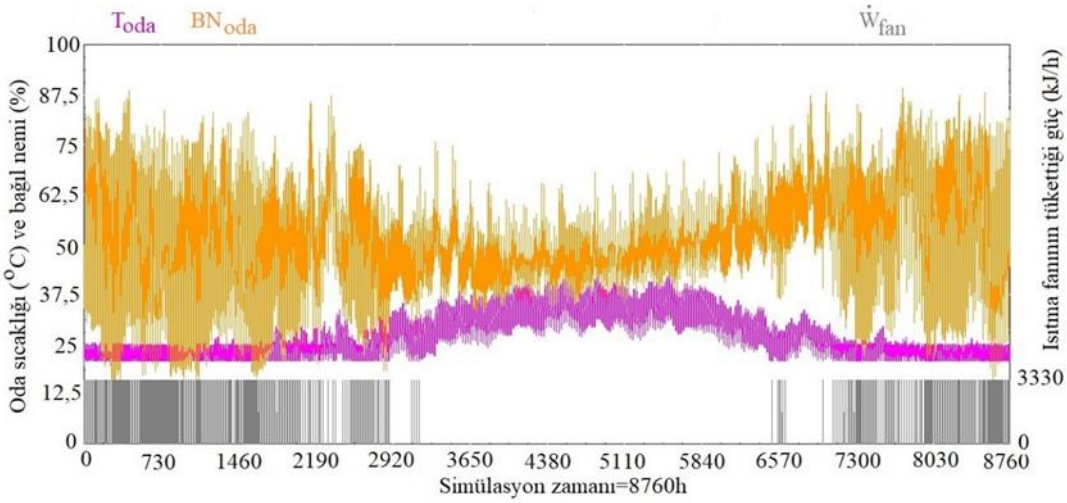


Şekil 8.
Isı pompasının ısı transfer ve güç tüketim miktarları



Şekil 9.
Yıllık ortalama ITK değerleri ve ısıtıcıların devreye girmeleri

Bu sistemle Şekil 10'dan mahal sıcaklığının kış ayı boyunca 22 ºC'de muhafaza edildiği görülürken, yaz şartlarında oda sıcaklığı bu değerlerin üstüne çıkmaktadır. Isıtıcı fanın sadece kış aylarında devreye girdiği ve kış aylarında bağıl nemin sıcaklıkla birlikte düştüğü gözlenmektedir



Şekil 10.
Yıllık oda sıcaklık ve bağıl nem değişimi

İstanbul ili için yapılan bir yıllık analiz sonunda TKIP sistemine ait enerji tüketim verileri aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

Tablo 4. TKIP sistemine ait bir yıl boyunca enerji tüketim değerleri ve oranları

Elemanlar	Enerji Tüketimleri (kW)	Oran (%)
$\dot{W}_{ıp}$	2132,39	54,36
$\dot{W}_{tank_ısıtıcı}$	891,93	22,74
$\dot{W}_{pompa_tank}$	24,84	0,63
$\dot{W}_{pompa_toprak}$	496,80	12,66
$\dot{W}_{harici_ısıtıcı}$	158,64	4,04
$\dot{W}_{pompa_ısıtma}$	13,64	0,35
$\dot{W}_{fan}$	204,64	5,22
$\dot{W}_{top}$	3922,88	100,00

Tablo 5. TKIP sistemine ait bir yıl boyunca gerçekleşen ısı transfer miktarları

Elemanlar	Isı transfer miktarları (kW)
$\dot{Q}_{ort_toprak}$	-4930,56
$\dot{Q}_{atılan_ıp}$	7097,36
$\dot{Q}_{çekilen_ıp}$	4964,96

Yaklaşık toplam güç tüketimi 3922,88 kW olarak alındığında bu çalışmada özellikleri açıklanan bir restoranın yemek odasının sıcak su ve ısınma için yıllık enerji maliyeti 1820,61 TL/yıl olarak hesaplanmıştır. Isı pompası ve tüm sistemin yıllık ortalama performans katsayıları sırasıyla 3,33 ve 1,81 olarak hesaplamıştır. Ticarethane için elektriğin birim fiyatı 0,4641 TL

alınmıştır (Ağustos 2018). Isı pompasının yıl boyunca topraktan çektiği ısı 4964,96 kW olup bu değer, toprak depolama hacminde gerçekleşen ortalama ısı transfer miktarına yakındır. Bir yıllık çalışma sonunda ısı pompasının tank içindeki suya verdiği ısı miktarı ise 7097,36 kW olarak elde edilmiştir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanılması açısından ısı pompaları önem arz etmektedir. Bu çalışmadaki amaç dikey tip bir ısı pompası yardımıyla bir mahallin hem ısıtılması hem de sıcak su ihtiyacı karşılanması durumunda, sistemin enerji tüketimi ve performansının belirlenmesidir. Bu çalışmada İstanbul ili şartları için bir restoranın kış aylarında ısıtılması ve tüm yıl boyunca sıcak su ihtiyacının karşılanması amacıyla dikey tip bir ısı pompası tasarlanmış ve TRNSYS programı yardımıyla simüle edilmiştir. Analiz sonucunda yıllık toplam enerji tüketimi 3922,88 kW olup yıllık toplam enerji maliyeti 1820,61 TL/yıl olarak elde edilmiştir (elektrik birim fiyatı Ağustos 2018 tarihinde 0,4641 TL alınmıştır). Tüketilen enerjinin %54,36'ı ısı pompası, %26,78 ısıtıcılar, %13,64'ü pompalar, %5,22'i ise fan tarafından tüketilmektedir. Görüldüğü gibi tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ısı pompası tarafından tüketilirken, tank içindeki ve dışındaki ısıtıcılar da önemli miktarda enerji tüketmektedirler. Bu da sistem tasarımında ısı pompası seçimine dikkat edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu çalışmada ısı pompası ve tüm sistemin yıllık ortalama ITK değerleri sırasıyla 3,33 ve 1,81 olarak hesaplanmıştır. Zhai ve diğ. (2017) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, bir yeşil enerji binasında mevcut 180 m^2 alana sahip bir toplantı salonunu ısıtmak için kullandıkları nominal ısıtma kapasitesi ve güç tüketimi sırasıyla 29.5 kW ve 6.9 kW olan TKIP sisteminin ortalama ITK değerini 3 olarak hesaplanmıştır.

Sistem tasarımında seçilen ısı pompası kapasitesi ve tank hacminin enerji tüketimi ve sistem performansına etkileri ile topraktan sürekli ısı çekilmesi sonucu toprağın bozulan ısıl dengesini iyileştirmek amacıyla kullanılan güneş enerjisi destekli TKIP uygulamalarının ileri ki çalışmalarda ele alınması planlanmaktadır.

SEMBOLLER

$ITK_{ort_ıp}$: Isı pompasının ortalama yıllık performans katsayısı
ITK_{ort_sis} : Tüm sistemin ortalama yıllık performans katsayısı
$\dot{m}_{su_çekimi}$: Su çekim miktarı, kg/h
$\dot{Q}_{atılan_ıp}$: Isı pompasının verdiği ısı miktarı, kJ/h
$\dot{Q}_{çekilen_ıp}$: Isı pompasının çektiği ısı miktarı, kJ/h
$\dot{Q}_{ort_toprak}$: Toprak depolama hacminde gerçekleşen ortalama ısı transfer miktarı, kJ/h
BN_{oda} : Oda bağıl nem, %
GF : Güneş fraksiyonu, %
$T_{tıe_ç}$: Toprak ısı eşanjöründen ayrılan su sıcaklığı, ºC
$T_{tıe_g}$: Toprak ısı eşanjörüne giren su sıcaklığı, ºC
T_{ort_toprak} : Depolama hacmi içindeki ortalama toprak sıcaklığı, ºC
$T_{çevre}$: Çevre sıcaklığı, ºC
T_{oda} : Oda sıcaklığı, ºC
$T_{yük_ıp}$: Isı pompası yük sıcaklığı, ºC
$T_{kaynak_ıp}$: Isı pompası kaynak sıcaklığı, ºC
$T_{tank_yük}$: Tankın üst katmanındaki su sıcaklığı, ºC
T_{tank_kaynak} : Tankın alt katmanındaki su sıcaklığı, ºC
$\dot{W}_{ıp}$: Kompresörün tükettiği güç miktarı, kJ/h
$\dot{W}_{top}$: Toplam güç tüketimi, kJ/h
$\dot{W}_{tank_ısıtıcı}$: Tank içindeki yardımcı ısıtıcıların toplam enerji tüketimi, kJ/h

$\dot{W}_{harici_ısıtıcı}$: Harici ısıtıcının güç tüketimi, kJ/h
$\dot{W}_{pompa_toprak}$: Toprak pompasının tükettiği güç, kJ/h
$\dot{W}_{pompa_tank}$: Tank pompasının tükettiği güç, kJ/h
$\dot{W}_{pompa_ısıtma}$: Isıtma pompasının tükettiği güç, kJ/h
$\dot{W}_{fan}$: Isıtma fanının tükettiği güç, kJ/h

KAYNAKLAR

1. Emmi, G., Zarrella, A., Carli M.D., Galgaro A. (2015) An analysis of solar assisted ground source heat pumps in cold climates, Energy Conversion and Management, 106: 660–675, doi.org/10.1016/j.enconman.2015.10.016

2. Gao, J., Li, A., Xu, X., Gang, W., Yan, T. (2018) Ground heat exchanger: Applications, technology integration and potentials for zero energy buildings, Renewable Energy, 128: 337-349, doi: 10.1016/j.renene.2018.05.089

3. Han, Z., Zheng, M., Kong, F., Wang, F., Li, Z., Bai, T. (2008) Numerical simulation of solar assisted ground-source heat pump heating system with latent heat energy storage in severely cold area, Applied Thermal Engineering, 28: 1427–1436. doi:10.1016/j.applthermaleng.2007.09.013

4. Januševičius, K. and Streckiene, G. (2013) Solar Assisted Ground Source Heat Pump Performance in Nearly Zero Energy Building in Baltic Countries, Environmental and climate technologies, 48-56, doi: 10.2478/rtuect-2013-0007

5. Ji,Y., Duanmu, L., Li,X., Airaksinen, M.,Wang, Z. (2017) Simplified method to determine the collector area of solar-assisted ground-source heat pump system, Procedia Engineering, 205: 1138–1145, doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.420

6. Jonas, D, Frey, G., Thesis, D. (2017) Simulation and performance analysis of combined parallel solar thermal and ground or air source heat pump systems, Solar Energy, 150: 500-511, doi:: 10.1016/j.solener.2017.04.070

7. Li, Y. H. and W.C. Kao (2017) Performance analysis and economic assessment of solar thermal and heat pump combi systems for subtropical and tropical region, Solar Energy, 153: 301-316, doi : 10.1016/j.solener.2017.05.067

8. Li, H., Xu, W., Yu, Z., Wu, J., & Yu, Z. (2017b). Discussion of a combined solar thermal and ground source heat pump system operation strategy for office heating. Energy and Buildings, 162(2018), 42-53. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.12.021

9. Miglani, S., Orehounig, K., Carmeliet, J. (2017) Design and optimization of a hybrid solar ground source heat pump with seasonal regeneration, Energy Procedia, 122: 1015–1020, doi: 10.1016/j.egypro.2017.07.468

10. Rad, F. M., Fung, A. S., Leong, W. H. (2013) Feasibility of combined solar thermal and ground source heat pump systems in cold climate, Canada, Energy and Buildings, 61: 224–232, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.02.036

11. Thygesen, R., Karlsson, B. (2013) Economic and energy analysis of three solar assisted heat pump systems in near zero energy buildings, Energy and Buildings, 66: 77–87, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.07.042

12. Wang, E., Fung, A. S.,Qia, C., Leong, W. H. (2012) Performance prediction of a hybrid solar ground-source heat pump system, Energy and Buildings, 47: 600–611, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.12.035

13. Youssef, W. And Tassou, S.A. (2017) Effects of latent heat storage and controls on stability and performance of a solar assisted heat pump system for domestic hot water production, Solar Energy, 150: 394-407, doi: 10.1016/j.solener.2017.04.065

14. Zhai, X.Q., Cheng, X.W., Wang, R.Z., (2017) Heating and cooling performance of a minitype ground source heat pump system. Applied Thermal Engineering, 111: 1366–1370, doi:
10.1016/j.applthermaleng.2016.03.117

15. Zhang, S., Zang, L., Zhang, X. (2017) Performance evaluation of existed ground source heat pump systems in buildings using auxiliary energy efficiency index: Cases study in Jiangsu, China, Energy and Buildings, 147: 90-100, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.04.052

16. Zhang, J., Su,S., Liu, L., Zhou, C., Shi L (2015) TRNSYS Simulation of Hybrid Ground Source Heat Pump System Based on Cooling Conditions, International Forum on Energy, Environment Science and Materials, (IFEESM 2015), doi: 10.2991/ifeesm-15.2015.87

17. Zhou, S., Cui, W., Zhao, S., Zhu, S., (2016) Operation analysis and performance prediction for a GSHP system compounded with domestic hot water (DHW) system. Energy and Buildings, 119: 153–163, doi:10.1016/j.enbuild.2016.03.024

18. Zogou, O. and Stamatelos, A. (2009) Energy and Buildings: Efficiency, Air Quality, and Conservation, Chapter 11**:** Application of Building Energy Simulation in the Sizing and Design Optimization of an Office Building and its HVAC Equipment, Nova Science Publisher, 279-324.