



Bir Villanın Isı Pompası ile Isıtılmasının Performans ve Çevresel İncelenmesi

Fatih Yılmaz¹, Arslan Çağlayan Gürel², Özay Akdemir³

ÖZ

Mahal ısıtma için geçmişten bugüne birçok farklı sistem kullanılmıştır. Günümüzde iklim değişikliği sebebi ile emisyonu az ısıtma sistemlerin arayışları her geçen gün artmaktadır. Isı pompası teknolojisindeki gelişmeler ve avantajlar ısı pompası sistemlerinin yaygınlaşmasına yol açmaktadır. Bu çalışmada, İzmir'in Alaçatı ilçesinde bulunan üç katlı bir villanın ısı pompalı farklı sistemlerle ısıtılması incelenerek performans ve emisyon değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. TS 825 standartlarına göre tasarlanan villanın ısı kayıp yüklerinin hesaplanmasında ve performans simülasyonlarında Daikin firmasının geliştirdiği Heating Solutions Navigator programı kullanılmıştır. Yerden ısıtmada yüksek ısı transfer yüzeyinin getirdiği avantajlar sonucu ısıtmada sezonsal verimlilik (SCOP) değerinin düşük sıcaklık radyatörlü sistemlerinden 2,18 kat yüksek olduğu belirlenmiştir. Isı pompasının veriminin artmasıyla yıllık enerji tüketimi 2052 kWh azalmaktadır ve yıllık CO₂ emisyonu 804 kg azalmaktadır. Isı pompalı yerden ısıtmalı sistemin ilk yatırım maliyetindeki yüksek fiyat farkının işletme maliyetindeki azalmadan karşılanabileceği görülmektedir. Sonuç olarak ısı pompalarının yatırım maliyetleri doğalgaza kıyasla yüksek olmasına karşın, temiz ve güvenilir olmaları, özellikle yerden ısıtma ve düşük sıcaklık radyatörü ile kullanılmalarıyla avantajlı bir ısıtma sistem seçeneği olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hava kaynaklı ısı pompası, enerji tasarrufu, yerden ısıtma, düşük sıcaklık radyatörleri, CO₂ emisyonu

Performance and Environmental Investigation of Heating a Villa With a Heat Pump

ABSTRACT

Many different systems have been used for space heating from the past to the present. Today, due to climate change, the search for low-emission heating systems is increasing day by day. Developments and advantages in heat pump technology have led to the widespread use of heat pump systems. In this study, the heating of a three-floor villa in İzmir's Alaçatı district was investigated using various heat pump systems, and performance and emission evaluations were performed. The Heating Solutions Navigator program developed by Daikin

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 19.09.2022

Kabul/Accepted : 22.12.2022

¹ Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir.
fatihyilm4zer@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7238-8521

² Daikin Isıtma ve Soğutma Sistemleri Sanayi Ticaret A.Ş., Ege Bölge Müdürlüğü, İzmir.
a.gurel@daikin.com.tr, ORCID: 0000-0001-8142-8874

³ Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir.
ozay.akdemir@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9024-4751



was used in the calculation of heat loss loads and performance simulations of the villa designed according to TS 825 standards. As a result of the advantages of the high heat transfer surface in underfloor heating, it was determined that the seasonal coefficient of performance (SCOP) value in heating was 2.18 times higher than the systems with low temperature radiators. Increasing the efficiency of the heat pump reduces the annual energy consumption by 2052 kWh and reduces the annual CO₂ emissions by 804 kg. It is seen that the high price difference in the initial investment cost of the heat pump underfloor heating system can be compensated by the reduction in the operating cost. As a result, although the investment costs of heat pumps are high compared to natural gas, it is seen that they are an advantageous heating system option because they are clean and reliable, especially when they are used with underfloor heating and low temperature radiators.

Keywords: Air source heat pump, energy saving, underfloor heating, low temperature radiators, CO₂ emission

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Fossil fuels like oil, coal, and natural gas are non-renewable, so they will become increasingly scarce and costly with continuous consumption. Today, due to climate change, the search for low emission heating systems is increasing day by day. Heat pump technology is one of the major ways to achieve green building. Heat pumps have been popular for decades but, in recent years they have gained significant importance owing to their potential to reduce emissions.

Methods

Developments and advantages in heat pump technology have led to the widespread use of heat pump systems. In this study, the heating of a three-floor villa in Izmir's Alaçatı district was investigated using various heat pump systems. Heat pump underfloor heating system and low temperature radiator system are used as heating systems. The system simulations were performed, and the performance and emission potential were investigated. The Heating Solutions Navigator program developed by Daikin was used in the calculation of heat loss loads and performance simulations of the villa designed according to TS 825 standards.

Results

According to the calculations in this study, it has been determined that the seasonal coefficient of performance (SCOP) value of the heat pump underfloor heating system is 2.18 times higher than the heat pump low temperature radiator system. Increasing the efficiency of the heat pump reduces the annual energy consumption by 2052 kWh and reduces the annual CO₂ emissions by 804 kg.

It is seen that the high price difference in the initial investment cost of the heat pump underfloor heating system can be compensated by the reduction in the operating cost. As a result, although the investment costs of heat pumps are high compared to natural gas, it is seen that they are an advantageous heating system option because they are clean and reliable, especially when they are used with underfloor heating and low temperature radiators.

Discussion and Conclusions

Global experience suggests that heat pumps are gaining popularity to supply space heating and domestic hot water for residential households due to their high coefficient of performance, which contributes to a reduction in primary energy consumption.

The economic feasibility of heat pumps is of paramount importance for their widespread integration and use. The technologies are generally characterized by high upfront costs, but these costs are counterbalanced by savings in operation and environmental costs as well as other benefits.

1. GİRİŞ

Dünyada iklim krizini şiddetinin son zamanlarda iyice artmasıyla birlikte, birçok devlet kendi karbon emisyonunu azaltmak için harekete geçmiştir. Bu çerçevede Paris İklim Antlaşması 197 devletin bir araya gelerek iklim değişikliği ile mücadele için anlaştığı ilk anlaşmalardan biridir. Antlaşmaya imza atan ülkeler sera gazı emisyonlarını azaltacak politikalar izlemeye başlamışlardır. Isıtma sektörü, Avrupa Birliği üye ülkelerinin enerji ihtiyacının yarısını oluşturan ve bu enerji ihtiyacın %75'nin fosil yakıtlardan karşılandığı bir sektördür. Karbon emisyonunun azaltılması yolundaki en önemli adımlardan biri bu sektördeki fosil yakıt tüketimini azaltmaktır.

Yerleşimlerde kullanılan enerjinin yaklaşık %60'lık kısmı, su ve hacim ısıtmasında kullanılmaktadır. Konutlardaki enerji tüketimini ve CO₂ emisyonlarını azaltmak için ısı pompalarının kullanımı günümüzde dikkate alınan önemli bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Isı pompaları emisyon değerlerini düşürmekle birlikte işletme maliyetlerini de azaltmaktadır (Tabatabaei ve Treur, 2016).

Isı pompaları, yüksek verimli ısıtma soğutma sistemleri olmasına rağmen sistem performansı birçok faktöre bağlıdır. Bir ısı pompasının performansı seçilen ısı kaynağının özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Sistem türünün seçiminde ortam havası sıcaklığındaki yıllık değişim, toprak koşulları, yeraltı veya yerüstü sularının bulunabilirliği ve kullanılabilirliği, mimari yapı, mahal konumu, gürültü, yer darlığı ve yatırım ile işletim kısıtlamaları gibi pek çok faktör rol oynamaktadır. Bu faktörler ışığında sistem için en uygun ısı kaynağının seçimi yapılmaktadır. Bu kapsamda literatürde yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Temel (2016) yaptığı çalışmada hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının Türkiye'deki bölgelerde baz alınan illere göre uygulanabilirliğini incelemiştir. Örnek uygulama olarak villa projesinde hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompası tasarımı ve ilk yatırım maliyet hesapları yapılmıştır. İlk yatırım maliyeti olarak ısı pompalarında en uygun kaynağın hava olmasına rağmen İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinde seçilen illerde kışın dış hava şartının -5°C'nin altında olması sebebiyle verimin düştüğü ve ısıtma ihtiyacının sağlanabilmesi için ilave ısıtmaya ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Bu bölgelerde su veya toprak kaynaklı ısı pompalarının elverişli olacağı görülmüştür. Marmara Bölgesi, Ege Bölgesi, Akdeniz Bölgesi ve Karadeniz bölgelerinde seçilen illerde soğutma ihtiyacının ısıtmadan daha fazla veya eşit değerde olması sebebiyle, hava kaynaklı ısı pompasının su ve toprak kaynaklı ısı pompasına göre tercih edilebileceği belirtilmiştir.

Gaur, Fitiwi ve Curtis (2021) yaptıkları çalışmada ısı pompaları kapsamında yapılan son çalışmalar ve gelişmeler incelenmiştir. Kurulacak ısı pompası tipinin lokasyona ve uygulamaya özel olduğu belirtilmektedir. Hava kaynaklı ısı pompalarında sıcaklıkların düşük olması durumunda verimlerinin düştüğü ve ısıtma yüklerini karşılamada



yetersiz olacağı belirtilmektedir. Soğuk bölgelerde toprak kaynaklı ve su kaynaklı ısı pompalarının daha iyi seçenekler olduğu belirtilmektedir. Güneş enerjisi destekli ısı pompalarının daha yüksek verime sahip olduğu, genellikle ılıman iklime ve yüksek güneş radyasyonuna sahip yerler için uygun çözümler olduğu görülmektedir. Isı pompalarının gazlı vb. geleneksel ısıtma sistemleriyle entegre edilmesinin verimli ve ekonomik olduğu belirtilmektedir.

Erdem, Bahçeci, Arzık ve Akdemir (2017) çalışmalarında örnek bir villada farklı iklimlendirme uygulamalarını incelemiştir. Sistemlerin projelendirmesini gerçekleştirerek maliyetler değerlendirilmiştir. VRF sisteminin toplam maliyetinin en düşük seviyede olduğunu ve multi sistemin toplam maliyetinin hava kaynaklı ısı pompası sisteminin toplam maliyeti ile yaklaşık olarak aynı değerlere sahip olduğunu belirtmişlerdir. VRF sisteminin; multi sistem maliyetinden düşük olmasının sebebinin tek dış üniteye sahip olmasından kaynaklandığını ve en yüksek maliyete sondaj maliyetlerinden dolayı toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin olduğunu belirlemiştir.

Pastakkaya, Ünlü ve Yamankaradeniz (2015) yaptıkları çalışmada bir yapının iklimlendirilmesinde güneş enerjisi kaynaklı ısı pompasının kullanılması durumunu incelemiştir. Yaptıkları simülasyon çalışması sonucunda, konfor odasının yıllık ısıtma, soğutma ve sıcak su kullanım ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanma oranlarının %63, %99 ve %99 olduğunu bulmuşlardır. Absorbsiyonlu ısı pompası sisteminin soğutma periyodu boyunca yıllık ortalama soğutma tesir katsayısının 0,27 olduğunu belirlemiştir.

Develioğlu (2012) tarafından yapılan çalışmada yer kaynaklı ısı pompalarının Dünya'da ve Türkiye'de kullanım durumu ve potansiyeli incelenmiştir. Yatırım maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı amorti süresinin yüksek olmasından dolayı fosil enerji kaynaklarına yönelim olduğu ve ülkemizde devlet teşvikleriyle bireysel ve kamuda kullanımının yaygınlaşacağı belirtilmiştir.

Doğan, Yalçınkaya ve Balcı (2016) çalışmalarında Kırıkkale ilinde bulunan olimpik yüzme havuz suyunun ısıtılmasında doğalgazlı kazan ve toprak kaynaklı ısı pompasının birlikte kullanımını araştırmışlardır. Isıtma ihtiyacının karşılanmasında hibrit toprak kaynaklı ısı pompasının kullanılması durumunda sistemin kendini bir yıldan kısa sürede amorti ettiğini ve güneş enerjili ısıtma sistemi kullanılması durumunda üç yılda kendini amorti ettiğini belirlemiştir.

Kademeli havadan suya ısı pompaları, yüksek sıcaklıkta su temini için düşük sıcaklıklarda çalıştırıldığında, tek kademeli ısı pompalarından daha yüksek verimliliğe sahip sistemlerdir. Le, Huang, Shah, Wilson, Artain, Byrne ve Hewitt (2019) konut binalarında değişken kapasiteli kademeli havadan suya ısı pompasının ısı depolamalı ve depolamasız kullanılması durumlarını deneysel ve simülasyon çalışmalarıyla incelemiştir. Kademeli ısı pompasının işletme maliyetleri açısından yüksek verimli

kazanların önüne geçemediği, ancak CO₂ emisyonunda azalmalar sağladığı (%14'den %57'ye) vurgulanmıştır.

Çokgez Kuş ve Çomaklı (2015) yaptıkları çalışmada ısı kaynağı olarak hava ve suyun kullanıldığı, hava-hava, hava-su, su-su ve su-hava olmak üzere dört farklı şekilde çalışabilen ısı pompasının verim değişimlerini parametrik olarak inceleyerek aynı kapasiteye sahip elektrikli ısıtıcı sistem ile ekonomik yönden karşılaştırmasını yapmışlardır. Yapılan hesaplamalara göre en yüksek yıllık elektrik maliyeti havadan suya ısı pompası sisteminde, en düşük maliyetin sudan havaya ısı pompası sisteminde olduğu belirlenmiştir. Yüksek buharlaştırıcı kaynak akışkan sıcaklığına sahip sistemlerin daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır. Isı pompası sisteminin dört farklı çalışma şekli içinde elektrik tüketiminin, elektrikli ısıtıcıya göre en az üç kat daha az olduğu saptanmıştır.

Rivoire, Casasso, Piga ve Sethi (2018) yaptıkları çalışmada toprak kaynaklı ısı pompasının Avrupada'ki altı farklı şehirde üç farklı yerleşim tarzında (konut, ofis ve otel) iyi ve kötü yalıtım durumları için kullanımını incelemişlerdir. İtalya'da toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanımıyla, harcanan euro başına CO₂ emisyonlarının 216 g CO₂/yıl değerlerine kadar azaltılabileceğini belirtmişlerdir. Geri ödeme sürelerinin 8 ile 20 yıl arasında değiştiği ve bunun dezavantaj oluşturduğu aktarılmıştır. Vergi düzenlemeleri ile kullanıcıların temiz enerji kullanımına teşvikinin sağlanabileceği belirtilmiştir.

Isı pompası sistemlerinin verimi, ısı kaynağı sıcaklığı ile mahal sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı düştükçe arttığından dolayı, ısı dağıtım elemanlarının sıcaklığı ne kadar düşük olursa, ısı pompasının verimi o kadar yüksek olmaktadır. Bu duruma ulaşabilmek için büyük boyutlu ısı dağıtım elemanlarının seçimi gereklidir ve bu amaçla düşük sıcaklıkta çalışan yerden ısıtma sistemleri ya da 55°C çıkış suyu sıcaklığına sahip, düşük sıcaklık radyatörleri kullanılmaktadır.

Günümüzde ısıtma teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak düşük sıcaklıkta ısıtma giderek önem kazanmaktadır. Enerji tasarrufu, daha az enerji tüketmek veya enerjiyi daha verimli kullanmak anlamına gelmektedir. Bunun bir yolu ısıtma sistemlerinde geleneksel radyatörler yerine düşük sıcaklıklı radyatörleri kullanmak veya yerden ısıtma sistemleri kullanmaktır. Bir radyatörün yüzeyi ne kadar büyük olursa, ısıtma kapasitesi o kadar yüksek olmaktadır. Düşük sıcaklık radyatörleri, normal radyatörlerden çok daha büyüktür ve ısı dağılımını kolaylaştırmak için ince sacdan yapılmışlardır. Bu geniş yüzey sayesinde, kompakt yüksek sıcaklıklı ısıtıcılara kıyasla, düşük sıcaklıklı sirkülasyon suyu ile kullanıldıklarında aynı ısıtma etkisi vermektedirler. Yerden ısıtmada hacimlerin ısıtılması işlemi için düşük sıcaklıklar yeterlidir. Petekli sistemlerde ise özellikle yüksek sıcaklık radyatörlerinde sıcaklık 75°C kadar çıkabilmektedir. Sıcaklığın az olması yerden ısıtma sistemlerinde ısınmak için daha az enerji harcanmasını sağlamaktadır. Bakım ve işletme maliyetlerinin düşük olması yerden ısıtmanın



ekonomik açıdan olumlu yanlarıdır. Yerden ısıtma sistemlerinde duvarlara radyatör konulmasına gerek duyulmadığından mekanların estetik yapılarının korunmasını sağlamaktadır. Radyatörlü sistemlerde zeminler çoğu zaman soğuk kalmakta ve zemin seviyesinde nem oluşabilmektedir. Bu nem oluşumu istenmeyen organizmaların çoğalmasına yol açmaktadır. Yerden ısıtmada ise zemin ısıtıldığı için havadaki nemin çığ yapabileceği ve bunun sonucu olarak istenmeyen organizmaların çoğalabileceği bir ortam bulunmamaktadır. Yerden ısıtmada zemin sıcak olduğu için parke ve fayansa temas durumlarında konfor durumu bozulmamaktadır. Yerden ısıtma sistemlerinin yatırım maliyetinin ve kurulum süresinin radyatörlü sistemlere göre daha fazla olması bu sistemlerin olumsuz yanlarıdır.

Bu çalışmada, İzmir Alaçatı ilçesinde bulunan üç katlı bir villanın ısıtılmasında ısı pompalı yerden ısıtma ve düşük sıcaklık radyatörlü sistemlerin kullanımı incelenerek performans ve emisyon değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarıyla ısı pompalarının farklı ısıtma sistemlerinde kullanımıyla performans ve emisyon değerlerinin değiştiği görülmektedir. Hacimlerin ısıtılmasında uygulanacak ısı pompalı sistemlerin seçiminde çevresel, performans ve maliyetsel değerlendirmelerinin birlikte dikkate alınması gerektiği görülmektedir.

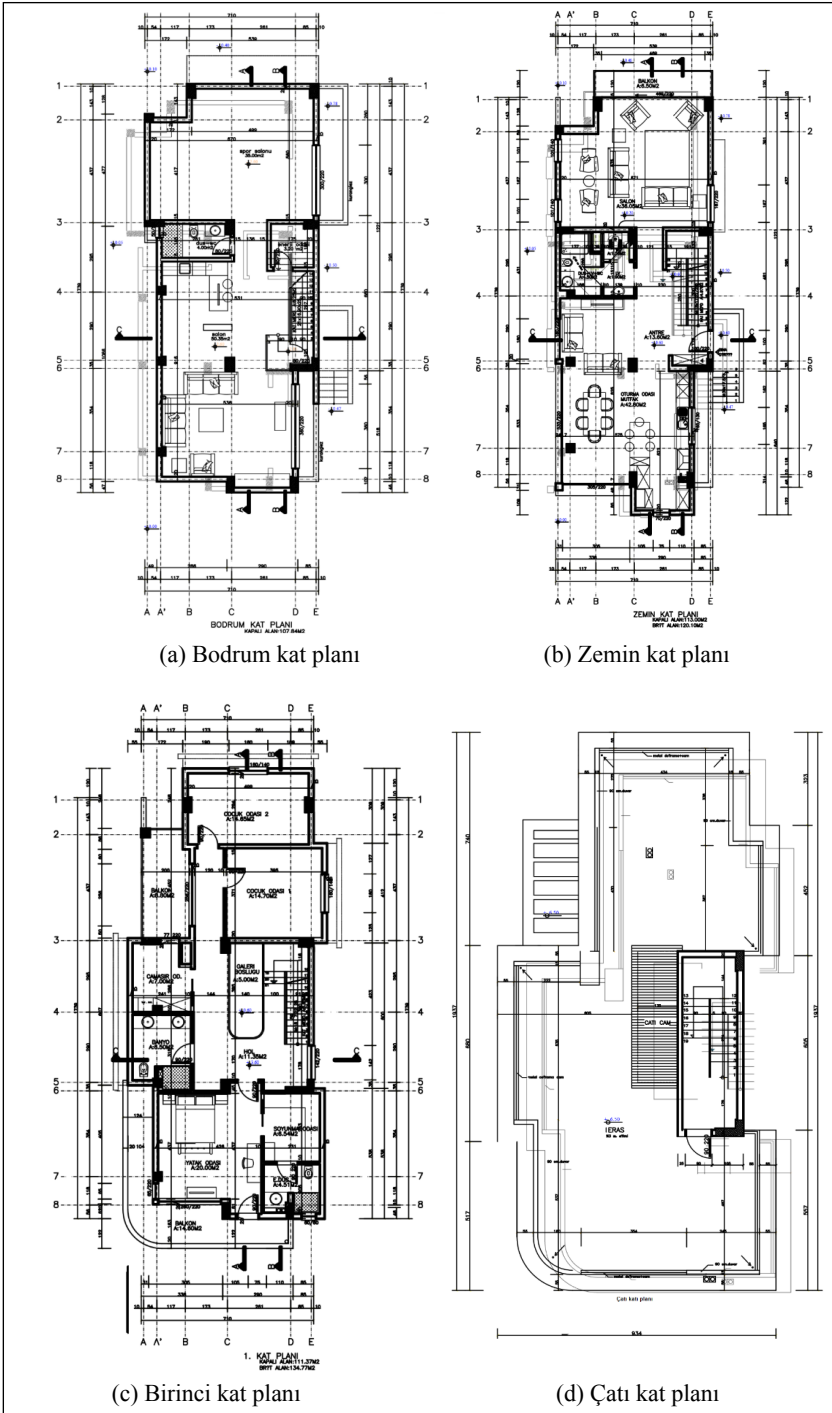
2. MATERYAL VE YÖNTEM

İzmir ili Alaçatı ilçesinde bulunan Şekil 1’de mimari planları verilen üç katlı bir villanın ısı pompası ile ısıtılması incelenmektedir. İzmir iline ait mevsim verileri Tablo 1’de verilmektedir. Villanın bodrum katının alanı 92,55 m², zemin katının alanı 100,41 m² ve birinci katının alanı 85,25 m² değerlerindedir. Yapının ısıtılma işleminde ilk olarak düşük sıcaklık radyatörlerinin (55°C) kullanılması durumu incelenmiş ve ikinci olarak ısıtma işleminde yerden ısıtma (35°C) sisteminin kullanılması durumu incelenerek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Yapının yapı bileşen özelliklerini belirlenmesinde İzoder TS 825 programı kullanılmıştır. TS 825 standartlarına göre tasarlanan villanın ısı kayıp yüklerinin hesaplanmasında ve performans simülasyonlarında Daikin firmasının geliştirdiği “Heating Solutions Navigator” programı kullanılmıştır.

Daikin firmasının geliştirdiği “Heating Solutions Navigator” programı ısıtma, soğutma, havalandırma, ve klima (HVAC) sistemlerinin tasarımı ve analizinde kullanılacak bir hesap programıdır. Geliştirilen program sayesinde incelenen yapının mekanik tesisatında kullanılacak tüm ekipmanların kapasiteleri hesaplanabilmekte, sistemlerin enerji analizleri, enerji maliyetleri ve emisyon değerlendirmeleri yapılabilmektedir. Yapıların ısı akışını hesaplamak için ASHRAE Transfer Fonksiyon Metodu kullanılmaktadır. Isı transfer yüklerini hesaplamak için yılın 8760 saatlik verileri kullanarak gerçek bir saatlik enerji analizi gerçekleştirilmektedir. Dünya genelinde farklı şehirlerin iklimsel verileri için oluşturulan veri tabanı kullanılarak enerji simülasyonları için saatlik iklim verileri kullanılmaktadır. HVAC bileşenlerinin saatlik

Tablo 1. İzmir iline ait iklim verileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022)

İZMİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
	Ölçüm Periyodu (1930-2021)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	8,8	9,6	11,7	15,8	20,8	25,4	27,9	27,7	23,7	18,9	14,3	10,5	17,9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	12,4	13,6	16,3	20,9	26,1	30,7	33,2	33,0	29,2	24,0	18,6	14,1	22,7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	5,8	6,2	7,7	11,1	15,5	19,8	22,5	22,4	18,7	14,6	10,8	7,6	13,6
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4,3	5,2	6,4	7,9	9,8	11,6	12,3	11,9	10,1	7,6	5,6	4,2	8,1

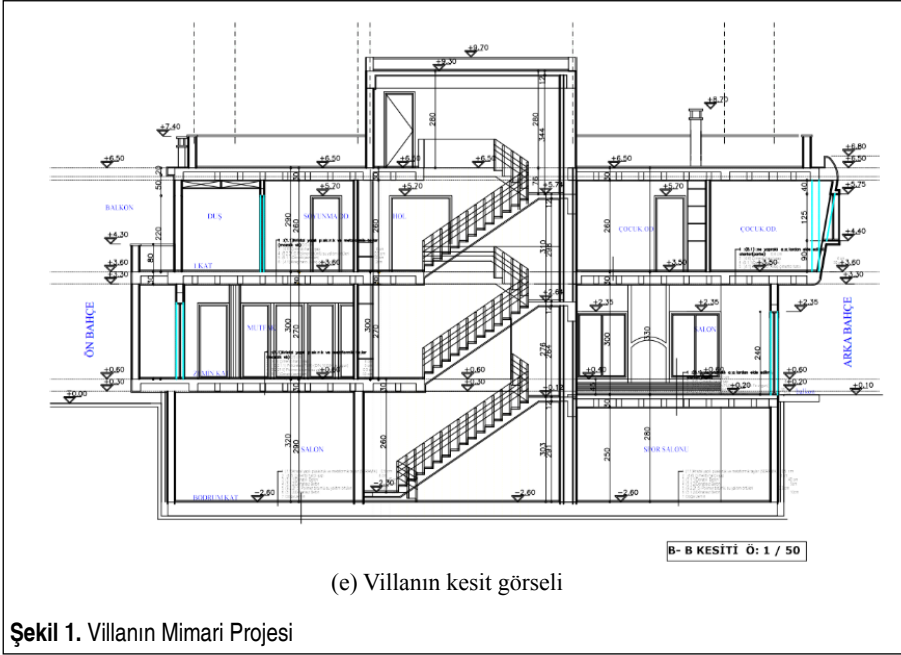


(a) Bodrum kat planı

(b) Zemin kat planı

(c) Birinci kat planı

(d) Çatı kat planı



(e) Villanın kesit görseli

Şekil 1. Villanın Mimari Projesi

enerji tüketimleri ile HVAC sistemine dahil olmayan bileşenlerin saatlik enerji tüketimleri dikkate alınarak yapıların saatlik, günlük, aylık ve toplam enerji tüketim profilleri belirlenmektedir. Yapıların yüklerinin karşılanmasında kullanılacak sistemlerin kullandığı enerji veya yakıt maliyetlerinin hesaplanmasında enerji tüketim verileri göz önüne alınmaktadır.

Geliştirilen program, boyutlandırma ve cihaz seçimleri hakkındaki bilgileri rapor halinde vermektedir. Bileşen yükleri, saatlik yük profilleri, saatlik performans verileri ile ilgili değerler ve diyagramlarda gösterimleri detaylı olarak raporlarda verilmektedir.

Enerji tüketiminin en az seviyede tutulması günümüzde gittikçe önem kazanan bir durumdur. Isı hesaplarının doğru yapılması, yapı özelliklerine ve kullanım amacına uygun sistemlerin tasarlanması enerjinin verimli kullanılmasında önem oluşturmaktadır. Geliştirilen bilgisayar programları sayesinde en karmaşık hesaplamaların kısa sürelerde yapılabilmesi sağlanmaktadır. “Heating Solutions Navigator” programı tasarım hesaplarına sistem tabanlı bir yaklaşım getirerek boyutlandırma prosedürlerini gerçekleştirerek tasarlanan sistemlerin değerlendirmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede farklı sistemlerin kullanılması durumundaki karşılaştırmalar ve değerlendirmeler yapılabilmektedir. “Heating Solutions Navigator” programı Daikin firması tarafından geliştirilen, doğruluğu ve güvenilirliği firma tarafından test edilmiş olan ve uluslararası uygulamalarda kullanıma sunulan profesyonel bir programdır.



Çalışmada İzmir Alaçatı'daki üç katlı bir villanın ısıtılmasında hava kaynaklı ısı pompasının yerden ısıtılmalı ve düşük sıcaklık radyatörlü sistemlerde kullanımı incelenmiştir. Isı pompasına ait yük değerleri temel olarak dış ortam sıcaklıkları ve tesisat su sıcaklıkları dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Isı pompasının üretim ve tüketim değerleri dikkate alınarak anlık COP değerleri hesaplanmaktadır. Tesisat su sıcaklığının girişi yerden ısıtma uygulaması için 35°C, düşük sıcaklık radyatör için 55°C seçilerek programa girilmektedir. İklim verileri yapının inşa edildiği bölge için programın veri tabanında bulunan son 10 yıllık meteorolojik veriler dikkate alınarak tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarıyla saatlik, günlük, aylık ve yıllık hesaplamalar yapılarak enerji üretim ve tüketim değerleri hesaplanmaktadır. Yıllık hesaplamalar yapılarak SCOP, işletme maliyetleri ve emisyon değerlendirmeleri gerçekleştirilmektedir.

2.1 Villanın Yapı Bileşen Özelliklerinin Tanımlanması

Yapının ısı geçirgenliği ne kadar küçük olursa yapı ısıyı o kadar az iletmektedir, dolayısıyla yapının ısı kaybı ve bu kaybı karşılamak için gerekli enerji ihtiyacı o kadar azalmaktadır. Bir yapı bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısının (U) azaltılmasının istenildiği durumlarda o yapıyı oluşturan malzemelerin kalınlığını artırmak ya da ısı iletkenlik katsayısı büyük olan malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı daha küçük olan malzemeler ile değiştirilmesi gerekmektedir. Binanın kabuk ısı kaybının hesaplanabilmesi için villayı oluşturan on farklı yapı bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla İzoder tarafından TS 825 kuralları esas alınarak hazırlanan İzoder TS 825 hesap programı kullanılmıştır (TS 825, 2008).

Bir yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik direnci (1/U), yapı bileşenlerinin ısı geçirgenlik dirençleri (R) ve yüzeysel ısı iletim direnç değerlerinin (R_i ve R_e) toplanmasıyla elde edilmektedir.

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_e = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_d} \quad (1)$$

İç ve dış yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci R_i (1/α_i) ve R_e (1/α_e) değerleri yapı bileşen tipine ve ısı akışının yönüne göre tanımlanmaktadır. İç ve dış yüzeylerdeki yüzeysel ısı iletim direnç değerleri TS 825 standardı dikkate alınarak bileşenlerin tasarımına ve yerleşimine göre belirlenmektedir (TS 825, 2008).

Bir yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik katsayısı denklem 2 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (2)$$

2.1.1 Yapıda Kullanılan Duvarların Yapı Bileşen Özellikleri

Yapıda kullanılan duvarların yapı bileşen özellikleri ve U değerleri Tablo 2’de verilmektedir. Bodrum katındaki dış duvarlar toprak temaslı olup U değeri 0,591 W/m²K olarak hesaplanmıştır. Yapının zemin ve birinci katındaki havalandırma boşluğu dışında kalan dış duvarlar dış hava temaslı duvarlardır ve U değeri 0,271 W/m²K olarak bulunmuştur.

Yapının tüm iç duvarları ve havalandırma boşluğu kısmındaki dış duvarlar Tablo 2’de verilen bileşen özelliklerine sahiptir. İç duvarın U değeri 1,18 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

2.1.2 Yapıda Kullanılan Zeminlerin Yapı Bileşen Özellikleri

Yapıda kullanılan zeminlerin yapı bileşen özellikleri ve U değerleri Tablo 3’de verilmektedir. Bodrum katındaki zemin toprak temaslı zemin olup U değeri 0,488 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Yapıda Kullanılan Duvarların Yapı Bileşen Özellikleri

Yapı Bileşen Özellikleri	No	d(m)	Malzemenin Cinsi veya Bileşenin Çeşidi	Isıl İletkenlik Değeri (W/mK)	Isıl Geçirgenlik Katsayısı (W/m ² K)
Toprak Temaslı Duvar	1	0,02	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	1	0,591
	2	0,2	Donatılı beton	2,5	
	3	0,02	Çimento harcı	1,6	
	4	0,003	Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,19	
	5	0,05	Poliüretan sert köpük	0,035	
	6	0,01	Çimento harcı	1,6	
Dış Hava Temaslı Duvar	1	0,2	Gaz beton	0,11	0,271
	2	0,02	Çimento harcı	1,6	
	3	0,05	Ekstrüde polistren köpük	0,03	
	4	0,003	Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harcı	0,3	
İç Duvar	1	0,02	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	1	1,18
	2	0,115	Tuğla	0,21	
	3	0,02	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	1	



Tablo 3. Yapıda Kullanılan Zeminlerin Yapı Bileşen Özellikleri

Yapı Bileşen Özellikleri	No	d(m)	Malzemenin Cinsi veya Bileşenin Çeşidi	Isıl İletkenlik Değeri (W/mK)	Isıl Geçirgenlik Katsayısı (W/m ² K)
Toprak Temaslı Zemin	1	0,007	Kristal yapılı püskürük ve metamorfik taşlar	2,3	0,488
	2	0,04	Çimento harçlı şap	1,4	
	3	0,05	Poliüretan sert köpük	0,035	
	4	0,6	Donatılı beton	2,5	
	5	0,05	Donatısız beton	1,65	
	6	0,003	Polimer bitümlü su yalıtım örtüsü	0,19	
	7	0,1	Donatısız beton	1,65	
	8	0,05	Mıçır	0,7	
Zemin Kat Kuru Zemin	1	0,007	Kristal yapılı püskürük ve metamorfik taşlar	2,3	0,989
	2	0,04	Çimento harçlı şap	1,4	
	3	0,02	Poliüretan sert köpük	0,035	
	4	0,12	Donatılı beton	2,5	
	5	0,02	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	1	
Islak Zemin	1	0,007	Kristal yapılı püskürük ve metamorfik taşlar	2,3	0,974
	2	0,04	Çimento harçlı şap	1,4	
	3	0,02	Poliüretan sert köpük	0,035	
	4	0,003	Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,19	
	5	0,12	Donatılı beton	2,5	
	6	0,02	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	1	
Birinci Kat Kuru Zemin	1	0,01	İğne yapraklı ağaçlardan elde edilmiş olan ahşap döşeme	0,13	0,922
	2	0,04	Çimento harçlı şap	1,4	
	3	0,02	Poliüretan sert köpük	0,035	
	4	0,12	Donatılı beton	2,5	
	5	0,02	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	1	

Yapının zemin katındaki, duş ve tuvalet kısımları dışında kalan tabanlar zemin kat kuru zemin olup U değeri $0,989 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak bulunmuştur. Yapının zemin ve birinci katındaki banyo, duş ve tuvalet kısımlarının tabanları ıslak zeminlerdir. Tablo 3’de yapı bileşen özellikleri verilen ıslak zeminlerin U değeri $0,974 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır.

Yapının birinci katındaki, duş ve banyo kısımları dışında kalan tabanlar birinci kat kuru zemin olarak tanımlanmaktadır ve U değeri $0,922 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak bulunmuştur.

2.1.3 Çatının Yapı Bileşen Özellikleri

Yapının birinci katının tavanı yani çatısı Tablo 4’de verilen bileşen özelliklerine sahiptir. Çatının U değeri $0,165 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Çatının Yapı Bileşen Özellikleri

Yapı Bileşen Özellikleri	No	d(m)	Malzemenin Cinsi veya Bileşenin Çeşidi	Isıl İletkenlik Değeri (W/mK)	Isıl Geçirgenlik Katsayısı (W/m ² K)
Çatı	1	0,007	Kristal yapılu püskürük ve metamorfik taşlar	2,3	0,165
	2	0,1	Çimento harçlı şap	1,4	
	3	0,2	Poliüretan sert köpük	0,035	
	4	0,003	Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,19	
	5	0,12	Donatılı beton	2,5	
	6	0,02	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	1	

2.1.4 Yapıda Kullanılan Camın Özellikleri

Yapıdaki tüm cam kısımları ve buna ek olarak sadece camdan imal edilmiş olan balkon ve teras kapıları da dahil olmak üzere aynı özelliklere sahiptir. Çift camlı düşük-E, 16 mm kuru hava dolgulu camın U değeri $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerindedir.

2.1.5 Bina Çelik Kapısının Özellikleri

Yapının giriş kapısı Tablo 5’de verilen bileşen özelliklerine sahiptir. Bina çelik kapısının U değeri $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5. Bina Çelik Kapısının Özellikleri

Yapı Bileşen Özellikleri	No	d(m)	Malzemenin Cinsi veya Bileşenin Çeşidi	Isıl İletkenlik Değeri (W/mK)	Isıl Geçirgenlik Katsayısı (W/m ² K)
Bina Çelik Kapı	1	0,01	Doğal taş	0,85	0,38
	2	0,085	Poliüretilen yalıtım	0,035	
	3	0,02	Çelik	50	
	4	0,01	Doğal taş	0,85	



2.2 Villanın Isıtma Yüğü Hesaplamaları

Villanın ısıtma yükünün hesaplanmasında BoK_Salon ve BoK_Spor Salonu odaları arasında kapı olmadığı için odalar aynı sıcaklıkta kabul edilmiştir. ZK_Mutfak-Oturma Odası-Antre, ZK_LV ve ZK_Salon odaları arasında kapı olmadığı için odalar aynı sıcaklıkta kabul edilmiştir. Buna ek olarak BK_Hol'de galeri boşluğu aracılığıyla bu hacimlerle doğrudan temasta olduğu için aynı sıcaklıkta olduğu kabul edilmiştir.

Mimari plan doğrultusunda yapı 18 oda olarak dikkate alınmıştır. Villanın ısıtma yük değerleri Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Villanın Isıtma Yükleri

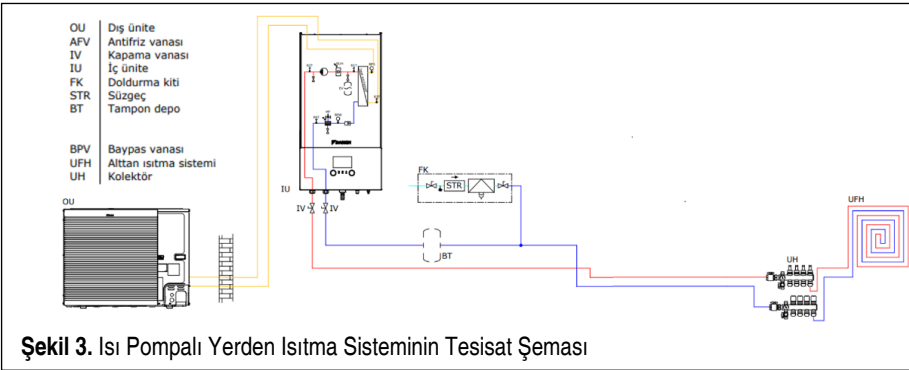
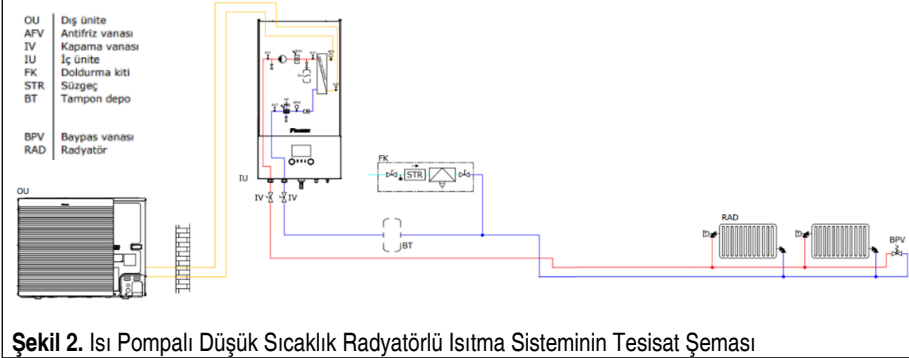
Oda	Tasarım sıcaklığı (°C)	Hava değişimi	Isı yükü (W)
ZK_Salon	21	0,5	1508,47
BoK_Salon	18	0,5	1638,58
BoK_Enerji Odası	18	0,5	123,69
BoK_Banyo	22	1,5	324,03
BoK_Spor Salonu	18	1	1342,47
ZK_Mutfak-Oturma Odası- Antre	21	1,5	2985,62
ZK_LV	21	0,5	37,67
ZK_Duş	22	1,5	396,08
ZK_WC	18	1,5	53,99
BK_Ebeveyn Yatak Odası	18	0,5	460,23
BK_Çocuk Odası 2	21	0,5	502,31
BK_Hol	21	0,5	941,98
BK_Duş	22	1,5	307,16
BK_Soyunma Odası	22	0,5	225,01
K_Çocuk Odası 1	21	0,5	385,29
BK_Çamaşır Odası	18	0,5	231,43
BK_Banyo	22	1,5	402,76
Çatı katı odası	18	0,5	437,7
Toplam ısı yükü			12304,47 W

2.3 Villada İncelenen Isıtma Sistemleri

Villanın ısıtılmasında kullanılan ısı pompasının teknik özellikleri Tablo 7’de verilmektedir. Özellikleri verilen ısı pompası düşük sıcaklıklı radyatörlü ısıtma sisteminde ve yerden ısıtma sisteminde kullanılmaktadır. İncelenen sistemlerin tesisat şemaları Şekil 2 ve Şekil 3’de verilmektedir.

Tablo 7. Isı Pompasının Teknik Özellikleri (Daikin, 2022)

Verimlilik Değerleri				
Isıtma Kapasitesi Nom. (kW)				16
Güç Girişi Isıtma Nom. (kW)				4,56
COP				3,51
Alan Isıtma	İlman iklimde su çıkışı 55°C	Genel	SCOP	3,32
			Sezonsal alan ısıtma verimlilik sınıfı	A++
	İlman iklimde su çıkışı 35°C	Genel	SCOP	4,61
			Sezonsal alan ısıtma verimlilik sınıfı	A+++





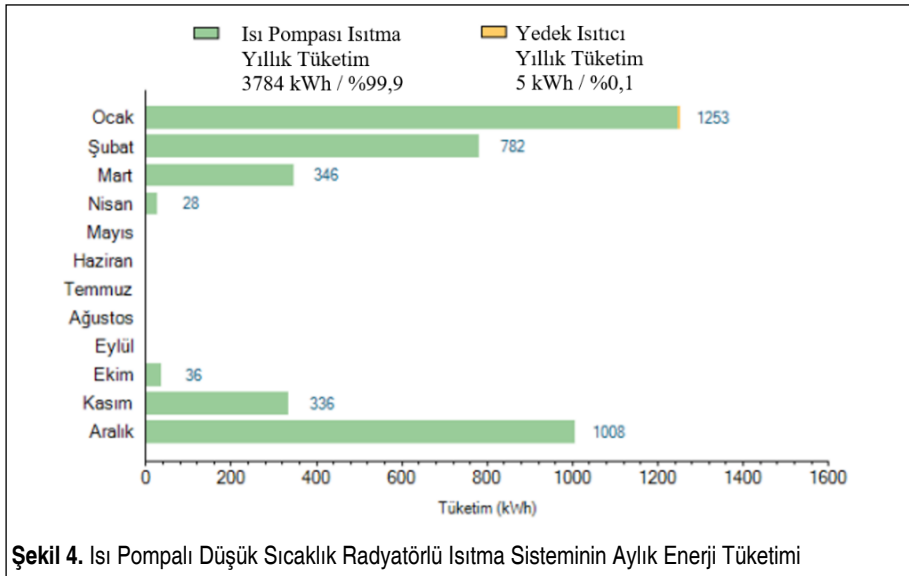
2.3.1 Isı Pompalı Düşük Sıcaklık Radyatörlü Isıtma Sistemi

Isı pompalı düşük sıcaklık radyatörlü ısıtma sisteminde kullanılan ısı pompasının SCOP'si 3,08 değerindedir ve en düşük ortam sıcaklığı olan -3°C 'de ısıtma kapasitesi 10,47 kW aynı sıcaklıkta gerekli ısıtma kapasitesi ise 12,30 kW değerindedir. Yıllık mahal ısıtma termal enerjisi 11654,3 kWh'tir. Tablo 8'de ısı pompalı düşük sıcaklık radyatörlü ısıtma sisteminin sonuçları verilmektedir.

Şekil 4'de villa için aylık bazda kWh cinsinden enerji tüketimi verilmiştir. Isı ihtiyacını karşılamak için sadece ocak ayında ısı pompasına ek olarak yedek ısıtıcı çalıştırılmaktadır. Tablo 8'de görüldüğü gibi yıllık enerji tüketimi 3789 kWh değerindedir. Şekil 4'de görüldüğü gibi bu değer 3784 kWh miktarı ısı pompası tarafından, 5

Tablo 8. Isı Pompalı Düşük Sıcaklık Radyatörlü Isıtma Sisteminin Sonuçları

Gerekli Isıtma Kapasitesi (kW)	Min. Çevre (-3°C): 12,30
Çıkış Suyu Sıcaklık Aralığı Isıtma ($^{\circ}\text{C}$)	40-55
Isı Pompasıyla Kapsanan (%)	99,9
Yedek Isıtıcı Tarafından Kapsanan (%)	0,1
Isı Pompasının Isıtma Kapasitesi (kW)	Min. Ortam (-3°C): 10,47
Enerji Tüketimi Isıtma (kWh)	3789,4
Yıllık Mahal Isıtma Termal Enerjisi (kWh)	11654,3
Isı Pompasının Sezonluk Verimi	3,08



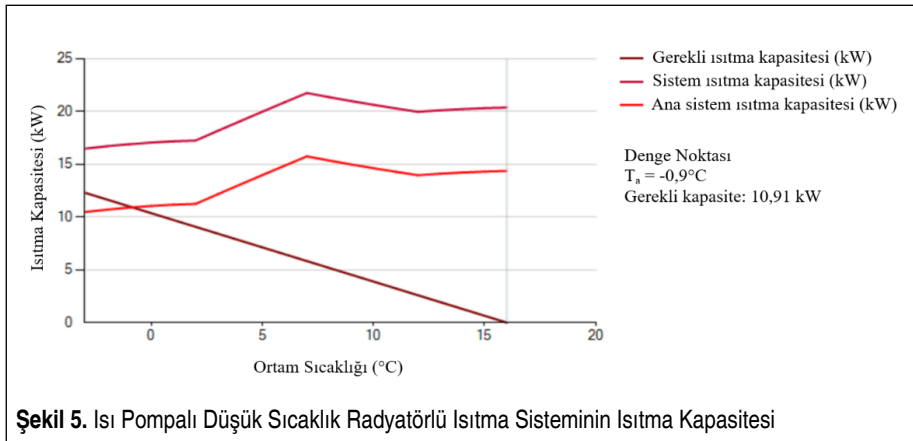
Şekil 4. Isı Pompalı Düşük Sıcaklık Radyatörlü Isıtma Sisteminin Aylık Enerji Tüketimi

kWh miktarı (sadece ocak ayında olmak üzere) yedek ısıtıcı tarafından sağlanmaktadır. Yapının mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında enerji tüketimi bulunmamaktadır. Yapının yıllık enerji tüketiminin %99,9'u ısı pompası tarafından karşılanmaktadır.

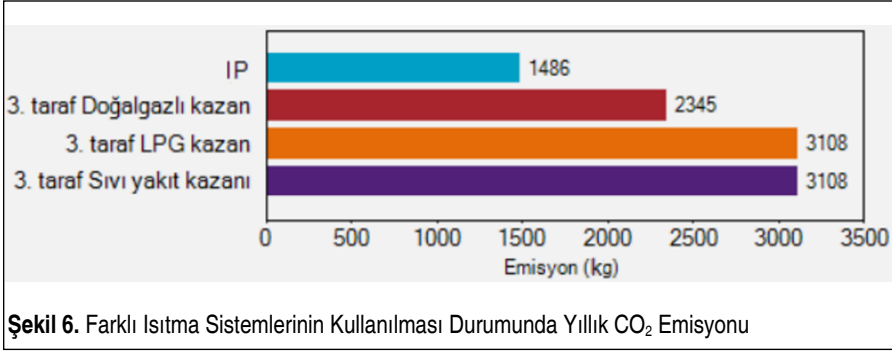
Şekil 5'de görüldüğü üzere ısı pompası kapasitesi (ana sistem ısıtma kapasitesi) eğrisi -3°C ile denge noktası olan $-0,9^{\circ}\text{C}$ ortam sıcaklıkları arasında gerekli ısıtma kapasitesi eğrisinin altında kalmaktadır. Bu karşılamama durumunu ortadan kaldırmak için sisteme 6 kW değerinde yedek ısıtıcı eklenerek sistem ısıtma kapasitesi eğrisi elde edilmektedir. Denge noktası olarak gösterilen $-0,9^{\circ}\text{C}$ 'de gerekli ısı kapasitesi 10,91 kW değerindedir.

Çalışma kapsamında incelenen villanın ısıtma ihtiyacının karşılanmasında ısı pompalı düşük sıcaklık radyatörlü ısıtma sisteminin ve fosil yakıtlı kazanlı sistemlerin kullanılması durumları incelenmiştir. Isıtmada farklı sistemlerin kullanılması durumunda sistemlerin performanslarındaki farklılıklardan ve kullanılan farklı birincil enerji kaynaklarından dolayı CO_2 emisyonlarında ve işletme maliyetlerinde değişimler olmaktadır.

Isı pompalı düşük sıcaklık radyatörlü ısıtma sisteminde kullanılan birincil enerji kaynağı elektrik ve fosil yakıt kullanılan kazanlı sistemlerde ise birinci enerji kaynağı olarak doğalgaz, LPG veya sıvı yakıt kullanılmaktadır. Birincil enerji kaynağının değişmesiyle sistemlerin CO_2 emisyonları da değişmektedir. Isıtma yükünü karşılamak için kullanılması gereken birincil enerji miktarına göre emisyon değerleri hesaplanmaktadır. Şekil 6'da görüldüğü üzere ısı pompalı düşük sıcaklık radyatörlü ısıtma sisteminin villanın ısı ihtiyacını karşılamak için kullanılması durumunda yıllık bazda doğal gazlı kazan sistemine göre 859 kg CO_2 emisyonunda, LPG kazan sistemine ve sıvı yakıt kazan sistemine göre 1622 kg CO_2 emisyonunda azalma sağlamaktadır.



Şekil 5. Isı Pompalı Düşük Sıcaklık Radyatörlü Isıtma Sisteminin Isıtma Kapasitesi



Şekil 6. Farklı Isıtma Sistemlerinin Kullanılması Durumunda Yıllık CO₂ Emisyonu

Tablo 9. Yıllık Isı Pompalı Düşük Sıcaklık Radyatörlü Isıtma Sisteminin Doğalgazlı Sistemin İşletme Maliyetleri İle Karşılaştırması

	Isı pompalı sistem	Doğalgazlı sistem
Birim fiyat (TL/kWh)	2,06 (Elektrik)	0,377 (Doğalgaz)
Bir yıllık işletme maliyeti (TL)	7.806,15	4.881,87

Çalışmada işletme maliyetleri açısından ısı pompalı düşük sıcaklık radyatörlü ısıtma sistemi ile doğalgaz kullanılan kazanlı sistem karşılaştırılmıştır. Isı pompalı sistemin kullanılması durumunda birincil enerji kaynağı olarak elektrik kullanılmaktadır ve işletme maliyetinin belirlenmesinde elektriğin yıllık maliyeti kullanılarak hesaplanmaktadır. Doğalgaz kullanılan kazanlı sistemin kullanılması durumunda ise işletme maliyetleri bu sistemde kullanılan birinci enerji kaynağı olan doğal gazın yıllık maliyetleri kullanılarak belirlenmektedir.

Isı pompalı sistemini yıllık işletme maliyetinin 7.806,15 TL ve doğalgazlı sistemin yıllık işletme maliyetinin 4.881,87 TL olduğu Tablo 9'da gösterilmektedir. Ülkemizde elektrik kWh fiyatlarının yüksek olmasından dolayı ısı pompalı düşük sıcaklık radyatörlü ısıtma sistemi ile ısınma maliyetlerinin doğalgazlı sistem ile ısınmaya göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sonucu olarak ısı pompasının ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasından dolayı ortaya çıkan fiyat farkının işletme maliyetlerinden karşılanması mümkün değildir.

2.3.2 Isı Pompalı Yerden Isıtma Sistemi

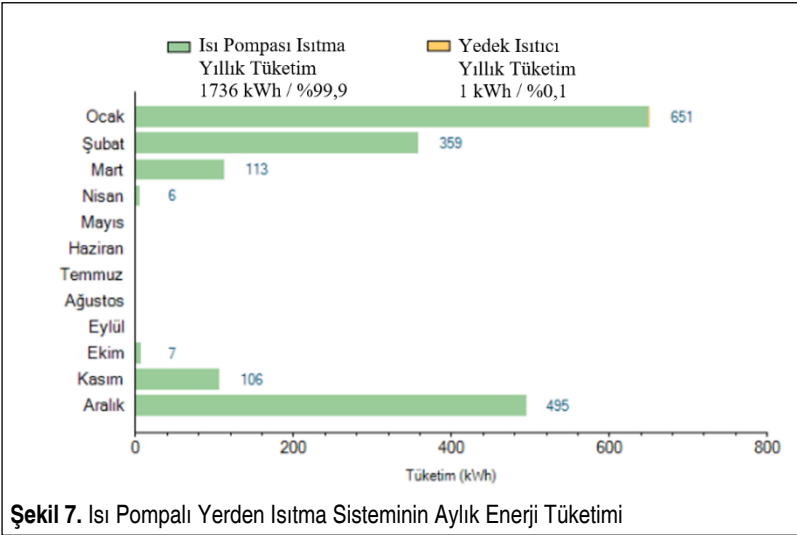
Isı pompalı yerden ısıtma sisteminde kullanılan ısı pompasının SCOP'si 6,71 değerindedir ve en düşük ortam sıcaklığı olan -3°C'de ısıtma kapasitesi 11,32 kW aynı sıcaklıktaki gerekli ısıtma kapasitesi, ısı pompasına yardımcı olarak seçilen ısıtıcının kapasitesi ve yıllık mahal ısıtma termal enerjisi ise yapıda bir değişiklik yapılmadan sadece dağıtım sistemi değiştirildiği için aynı değerde kalmıştır. Tablo 10'da ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin sonuçları verilmektedir.

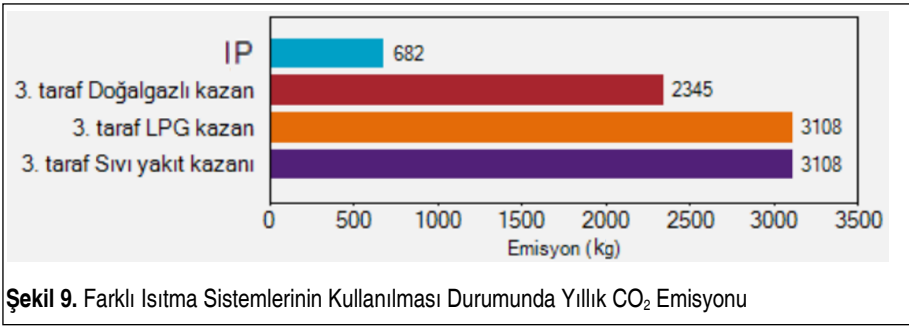
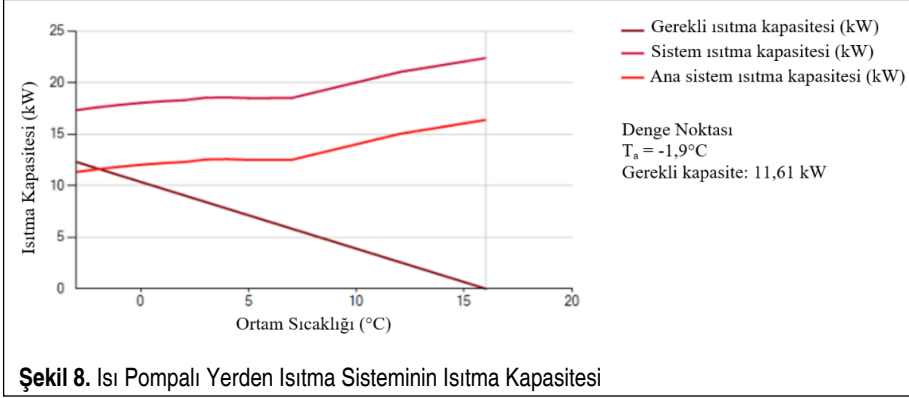
Tablo 10. Isı Pompalı Yerden Isıtma Sisteminin Sonuçları

Gerekli Isıtma Kapasitesi (kW)	Min. Çevre (-3°C): 12,30
Çıkış Suyu Sıcaklık Aralığı Isıtma (°C)	10°C-35
Isı Pompasıyla Kapsanan (%)	99,9
Yedek Isıtıcı Tarafından Kapsanan (%)	0,1
Isı Pompasının Isıtma Kapasitesi (kW)	Min. Ortam (-3°C): 11,32
Enerji Tüketimi Isıtma (kWh)	1737,6
Yıllık Mahal Isıtma Termal Enerjisi (kWh)	11654,3
Isı Pompasının Sezonluk Verimi	6,71

Şekil 7’de villa için ay bazında kWh cinsinden enerji tüketimi verilmiştir. Isı ihtiyacını karşılamak için sadece ocak ayında ısı pompasına ek olarak yedek ısıtıcı çalıştırılmaktadır. Tablo 10’da görüldüğü gibi yıllık enerji tüketimi 1737 kWh değerindedir ve Şekil 7’de görüldüğü gibi bu değer 1736 kWh miktarı ısı pompası tarafından, 1 kWh miktarı (sadece ocak ayında olmak üzere) yedek ısıtıcı tarafından sağlanmaktadır. Yapının mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında enerji tüketimi bulunmamaktadır. Yapının yıllık enerji tüketiminin %99,9’u ısı pompası tarafından karşılanmaktadır.

Şekil 8’de görüldüğü üzere ısı pompası kapasitesi (ana sistem ısıtma kapasitesi) eğrisi -3°C ile denge noktası olan -1,9°C ortam sıcaklıkları arasında gerekli ısıtma kapasitesi eğrisinin altında kalmaktadır. Bu karşılamama durumunu ortadan kaldırmak için

**Şekil 7.** Isı Pompalı Yerden Isıtma Sisteminin Aylık Enerji Tüketimi



sisteme 6 kW değerinde yedek ısıtıcı eklenerek sistem ısıtma kapasitesi eğrisi elde edilmektedir. Denge noktası olarak gösterilen $-1,9^{\circ}\text{C}$ 'de gerekli ısı kapasitesi 11,61 kW değerindedir.

Isı pompalı yerden ısıtma sisteminde birincil enerji kaynağı olarak elektrik ve kazanlı sistemlerde ise birinci enerji kaynağı olarak doğalgaz, LPG veya sıvı yakıt kullanılmaktadır. İncelenen sistemlerin yıllık birincil enerji kaynak tüketimleri dikkate alınarak emisyon değerleri hesaplanmaktadır. Şekil 9'da görüldüğü gibi ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin villanın ısı ihtiyacını karşılamak için kullanılması durumunda yıllık bazda doğal gazlı kazan sistemine göre 1663 kg CO₂ emisyonunda, LPG kazan sistemine ve sıvı yakıt kazan sistemine göre 2426 kg CO₂ emisyonunda azalma sağlamaktadır.

İşletme maliyetleri açısından ısı pompalı yerde ısıtma sistemi ile doğalgaz kullanılan kazanlı sistem karşılaştırılmıştır. Tablo 11'de verildiği üzere ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin yıllık işletme maliyeti 3.579,55 TL ve doğalgazlı sistemin yıllık işletme maliyeti 4.881,87 TL olmaktadır. Isı pompalı sistemin ısınma maliyeti doğalgazlı sisteme göre daha düşük olmaktadır. Bunun sonucu olarak ısı pompalı sistemin ilk yatırım maliyetinden ortaya çıkan fiyat farkı ilerleyen zamanlarda işletme maliyetlerinden karşılanabilmektedir.

Tablo 11. Yıllık Isı Pompalı Yerden Isıtma Sisteminin Doğalgazlı Sistemin İşletme Maliyetleri İle Karşılaştırması

	Isı pompalı sistem	Doğalgazlı sistem
Birim fiyat (TL/kWh)	2,06 (Elektrik)	0,377 (Doğalgaz)
Bir yıllık işletme maliyeti (TL)	3.579,55	4.881,87

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada Alaçatı, İzmir’de yer alan bir villanın ısı pompası ile ısıtılma uygulaması incelenmiştir. Emitör olarak düşük sıcaklık radyatörü ve yerden ısıtma olmak üzere iki uygulama incelenmiştir. Tablo 12’de yapılan çalışma sonucu elde edilmiş olan bilgilerin karşılaştırması verilmektedir.

Villada incelenen iki farklı ısı pompası uygulamasında ısıtma kapasitesini karşılamak için ocak ayında maksimum enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Isıtma ihtiyacını karşılamak için sadece ocak ayında ısı pompasına ek olarak yedek ısıtıcı çalıştırılmaktadır. Isı pompalı yerden ısıtma sisteminin toplam yıllık elektrik enerji tüketimi 1737 kWh olup bunun 1 kWh’lik kısmı yedek ısıtıcı ile karşılanmaktadır. Isı pompalı düşük sıcaklık radyatörlü ısıtma sisteminde ise toplam yıllık elektrik enerji tüketimi 3789 kWh olup bunun 5 kWh’lik kısmı yedek ısıtıcı ile karşılanmaktadır. Villanın mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında ısıtma ihtiyacı olmadığından enerjisi tüketimi olmamaktadır.

Yerden ısıtmada yüksek ısı transfer yüzeyinin getirdiği avantaj sonucu ısıtmada maksimum çıkış suyu sıcaklığı düşük sıcaklık radyatörüne göre 20°C daha az olmaktadır ve bu durum direkt olarak sistem performansını etkilemektedir. İncelen durumda yerden ısıtma uygulamasındaki ısı pompasının SCOP değeri düşük sıcaklık radyatör uygulamasındaki SCOP değerinin 2,18 katı olarak bulunmuştur. Isı pompasının veriminin artması yıllık enerji tüketimini, yıllık CO₂ emisyonunu ve yıllık işletme ma-

Tablo 12. Isı Pompalı Düşük Sıcaklık Radyatörlü Isıtma Sistemi ile Isı Pompalı Yerden Isıtma Sisteminin Karşılaştırması

	Çıkış Suyu Sıcaklık Aralığı (°C)	SCOP	Isı Pompasının Kapasitesi (-3°C) (kW)	Yıllık Enerji Tüketimi (kWh)	Yıllık Isı Pompası Enerji Tüketimi (kWh)	Yıllık Ek Isıtıcı Enerji Tüketimi (kWh)	Denge Noktası (°C)	Isıtma CO ₂ Emisyonu (kg)	Yıllık İşletme Maliyeti (TL)
Düşük Sıcaklık Radyatörü	40-55	3,08	10,47	3789	3784(%99,9)	5(%0,1)	-0,9	1486	7.806,15
Yerden Isıtma	10-35	6,71	11,32	1737	1736(%99,9)	1(%0,1)	-1,9	682	3.579,55



liyetini ciddi oranda azaltmaktadır. Isı pompasının veriminin artması ile yıllık enerji tüketimini 2052 kWh azaltmakta ve yıllık CO₂ emisyonunu 804 kg azaltmaktadır.

Isı pompalı düşük sıcaklık radyatörlü ısıtma sisteminin yıllık işletme maliyetinin 7.806,15 TL ve ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin yıllık işletme maliyeti 3.579,55 TL olarak belirlenmiştir. Doğalgaz kazanlı sistemin kullanılması durumunda ise işletme maliyeti 4.881,87 TL olarak hesaplanmıştır. İşletme maliyetleri kıyaslandığında en düşük ısınma maliyetinin ısı pompalı yerden ısıtma sistemi ile sağlandığı görülmektedir. Bu sayede ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin ilk yatırım maliyetinden ortaya çıkan fiyat farkının ilerleyen zamanlarda işletme maliyetlerinden karşılanabileceği görülmektedir.

Sonuç olarak, ısı pompalı sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinin doğalgazlı sistemlere kıyasla yüksek olmasına karşın, temiz ve güvenilir olmaları, özellikle ılıman iklim bölgelerinde yerden ısıtma ve düşük sıcaklık radyatörü gibi optimum emitör sistemleri ile kullanılmalarıyla avantajlı hale gelmektedir. Isı pompalı sistemler günümüzde ve gelecekte ortaya koydukları avantajlardan dolayı kullanımları gün geçtikçe artmaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın gerçekleştirilmesine katkı sağlayan ve desteklerini esirgemeyen DAIKIN firmasına teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Çokgeç Kuş, A. ve Çomaklı, K. (2015). Farklı Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Ekonomik Analizi. *Tesisat Mühendisliği*, Sayı 148; s.13-21. Erişim adresi: http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/1a89e47369ff8f2_ek.pdf?dergi=1586.
- Daikin. (2022). Altherma Isı Pompası Kataloğu. Erişim adresi: https://st-daikin.mncdn.com/Content/media/img_shared/PDF/Altherma_isi_pompasi_katalogu.pdf.
- Develioğlu, M. (2012). *Yer Kaynaklı Isı Pompalarının Teknolojik Gelişimi ve Türkiye'deki Uygulanabilirliği* (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı, Ankara. Erişim adresi: <http://www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11655/2270/c56b3157-91ef-42c4-8802-13a78ec7e1d7.pdf?sequence=1>.
- Doğan, B., Yalçınkaya C. ve Balcı, M. G. (2016). Kırıkkale İlinde Bulunan Olimpik Yüzme Havuzunda Su Isıtma İçin Toprak Kaynaklı Isı Pompası Kullanımı. *Mühendis ve Makina*, cilt 57, sayı 681, s. 38-48. Erişim adresi: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/013_makale_kirikale.pdf.
- Erdem, E. U., Bahçeci İ., Arzık A. ve Akdemir Ö. (2017). Farklı İklimlendirme Uygulamalarının Örnek Bir Villada Değerlendirilmesi. *13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*,



- 19-22 Nisan 2017, İZMİR, mmo yayın no: E/MMO/667, cilt 1, s. 265-287. Erişim adresi: <http://mmoteskon.org/wp-content/uploads/2017/05/2017-018.pdf>.
- Gaur, A. S., Fitiwi, D. Z. ve Curtis, J. (2021). Heat Pumps and Our Low-Carbon Future: A Comprehensive Review. *Energy Research & Social Science*, vol. 71, 101764. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101764>.
- Le, K. X., Huang, M. J., Shah, N. N., Wilson, C., Artain, P. M., Byrne, R. ve Hewitt, N. J. (2019). Techno-Economic Assessment of Cascade Air-to-Water Heat Pump Retrofitted into Residential Buildings Using Experimentally Validated Simulations. *Applied Energy*, 250, s. 633–652. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.041>.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022). Resmi İstatistikler. Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=IZMIR>.
- Pastakkaya, B., Ünlü K. ve Yamankaradeniz R. (2015). Örnek Bir Yapının İklimlendirilmesinde Güneş Enerjisi Kaynaklı Isı Pompasının Simülasyon Tekniği ile İncelenmesi. *Mühendis ve Makina*, cilt 56, sayı 666, s. 30-37. Erişim adresi: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/b65ec8455d1ffec_ek.pdf.
- Rivoire, M., Casasso, A., Piga, B. ve Sethi, R. (2018). Assessment of Energetic, Economic and Environmental Performance of Ground-Coupled Heat Pumps. *Energies*, 11, 1941, s.1-23. Doi: <https://doi.org/10.3390/en11081941>.
- Tabatabaei, S. ve Treur, J. (2016). Comparative Analysis of the Efficiency of Air Source Heat Pumps in Different Climatic Areas of Iran. *Procedia Environmental Sciences*, 34, s.547-558. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.048>.
- Temel, Ö. (2016). Türkiye’de Bölgelere Göre Isı Pompası Seçim Kriterleri (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>.
- TS 825.** (2008). TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara. Erişim adresi: <https://www.tse.org.tr/>.