

Denizli'deki Bir Villanın Isı Pompasıyla Isıtılmasının İncelenmesi

Batuğhan Rüştü ÖZÇELİK¹, Arslan Çağlayan GÜREL², Özay AKDEMİR^{3*}

¹ Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8001-2196), batugan63@gmail.com

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

^{3*} Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9024-4751), ozay.akdemir@ege.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 20.09.2022 ve Kabul Tarihi 13.02.2023)

(DOI: 10.35354/tbed.1177589)

ATIF/REFERENCE: Özçelik, B. R., Gürel, A. Ç., Akdemir, Ö. (2023). Denizli' deki Bir Villanın Isı Pompasıyla Isıtılmasının İncelenmesi. Teknik Bilimler Dergisi, 13 (1), 41-47.

Öz

Günümüzde istenilen konfor bölgelerine ulaşmak için evleri, işyerleri ve marketleri ısıtmanın farklı yolları bulunmaktadır. Isıtma sistemlerinin çoğu fosil yakıtlı sistemler kullanılmaktadır. Yanmalı ısıtıcılar çevreye önemli miktarda karbondioksit yaymaktadır. Isı pompaları çevreye zarar vermedikleri, verimli ve çoğu zaman ekonomik oldukları için uygun sistemlerdir. Bu çalışmada Denizli'de TS825 standartlarına göre tasarlanmış üç katlı bir villada ısı pompası sisteminin kullanımı incelenmiştir. Isı pompası sistemi verimlilik, ekonomiklik ve CO₂ emisyonları açısından diğer ısıtma sistemleri ile karşılaştırılmıştır. Villanın modellenmesi, ısı yüklerinin hesaplanması ve uygun ısı pompasının seçimi Daikin tarafından geliştirilen "Daikin Stand By Me" programı kullanılarak yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, ısı pompasından kaynaklanan CO₂ emisyonunun, doğal gazla çalışan sistemlerden kaynaklanan emisyonlardan 2,28 kat ve sıvı yakıtla çalışan sistemlerden 3,04 kat daha az olduğunu göstermektedir. Isı pompası sisteminin SCOP değeri 4,46 olarak hesaplanmıştır. Isı pompası sistemi çok verimli olmasına ve yüksek bir SCOP değerine sahip olmasına rağmen, elektrik fiyatlarının yüksek olmasından dolayı ısı pompası sistemi ekonomik görünmemektedir.

Anahtar Kelimeler: Isı Pompası, Yerden Isıtma, Enerji Performans Analizi, CO₂ Salınımı.

Investigation Of Heating A Villa In Denizli With A Heat Pump

Abstract

Nowadays, there are different kinds of ways to heat houses, workplaces, and markets to reach the desired comfort zones. Most of the heating systems are using fossil fueled systems. Fired heaters emit a significant amount of carbon dioxide into the environment. Heat pumps are suitable systems because they do not harm the environment, they are efficient and often economical. In this study, the use of a heat pump system in a three-storey villa that was designed according to TS825 standards in Denizli was analyzed. The heat pump system was compared with other heating systems in terms of efficiency, economy, and CO₂ emissions. The modeling of the villa, calculations of heat loads, and the selection of the appropriate heat pump were carried out using the "Daikin Stand By Me" program, which was developed by Daikin. The simulation results showed that the CO₂ emissions from the heat pump were 2,28 times less than the emissions from the natural gas powered systems and 3,04 times less than liquid fuel powered systems. The SCOP value of the heat pump system was calculated as 4,46. Although the heat pump system is very efficient and has a high SCOP value, the heat pump system does not seem economical due to high electricity prices.

Keywords: Heat Pump, Underfloor Heating, Analysis of Energy Performance, CO₂ emission.

1. Giriş

İnsanoğlu günümüzde farklı enerji kaynaklarından yararlanarak hacimlerde konfor koşullarını sağlamaya çalışmaktadır. Kömür, odun vb. kaynaklar ısınma ihtiyacının karşılanmasında kullanılırken günümüzde çevreye daha duyarlı doğal gazlı sistemler ve ısı pompalı sistemler tercih edilerek yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde gerçekleşen savaşlar, kaynak yetersizliklerinden kaynaklanan fiyat artışları daha ekonomik ve çevreye daha az zarar veren sistemlerin geliştirilmesine ve bu konuda araştırmaların yapılmasına neden olmaktadır. İklimlendirmede kullanılan ısı pompalı sistemlerin ısıtmanın yanında soğutma yüklerini de sağlaması, ekonomik oluşları ve kullanımları esnasında atmosfere sera gazları salmamasından dolayı kullanımları her geçen gün artmaktadır.

Birinci dünya savaşından kaynaklanan kaynak krizinden sonra 1920 yıllarında Avrupa'da ısı pompalarının kullanımı artmaya başlamıştır ve bu konudaki çalışmalar ve araştırmalar artmıştır. 1938'de Zürich'te kurulan en büyük hava kaynaklı ısı pompasının popülerlik kazanmasıyla dünya genelinde uygulamalarda artışlar başlamıştır. 1940 yılında Amerika'da 25 kW gücünde 40 ısı pompasının kurulumu gerçekleştirilmiştir. 1945 yılında ilk toprak kaynaklı ısı pompası piyasaya sunulmuştur. 1960 yıllarında ısı pompalarının satışı yıllık 1000 ile 1500 arasında iken bu sayı 2020 yılında 1,62 milyona ulaşmıştır. 2020 yılında Avrupa genelinde 244 milyon binanın iklimlendirilmesinde ısı pompası kullanılmaktadır [1].

Isı pompalı sistemlere olan ilginin ve farklı uygulamalarda kullanımının artmasıyla birlikte bu konuda yapılan çalışmalar ve araştırmalar hız kazanmıştır. Erdoğan vd. (2006) yaptıkları çalışmada ısı pompalı sistemlerin performansını etkileyen faktörleri incelemişler ve ısı pompalı sistemlerin seçiminde dikkate alınacak hususları belirtmişlerdir [2].

Dikici vd. (2006) Elazığ şartlarında 60 m²'lik bir deney odasında güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompasının kullanımını deneysel olarak araştırmışlardır. Enerji ve ekserji analizlerini gerçekleştirerek sonuçları incelemişlerdir [3].

Gaur, Fitiwi ve Curtis (2021) yaptıkları çalışmada ısı pompaları kapsamında yapılan çalışmaları ve gelişmeleri incelemişlerdir. Hava kaynaklı ısı pompalarında sıcaklıkların düşük olması durumunda verimlerinin düştüğü ve ısıtma yüklerini karşılamada yetersiz olacağı belirtilmiştir. Soğuk bölgelerde toprak kaynaklı ve su kaynaklı ısı pompalarının daha iyi seçenekler olduğu belirtilmekte ve güneş enerjisi destekli ısı pompalarının daha yüksek verime sahip olduğu, genellikle ılıman iklime ve yüksek güneş radyasyonuna sahip yerler için uygun çözümler olduğu aktarılmaktadır [4].

Erdem vd. (2017) çalışmalarında örnek bir villada farklı iklimlendirme uygulamalarını incelemişlerdir. Sistemlerin projelendirmesini yaparak maliyetsel incelemeleri gerçekleştirmişlerdir [5].

Osterman ve Stritih (2021) yaptıkları çalışmada binaların ısıtılması ve soğutulmasında ısı pompaları ve ısı enerji depolama uygulamalarının kullanımı hakkındaki deneysel ve sayısal araştırmaları inceleyerek ısı enerji depolama uygulamasıyla sistem işletimi, enerji verimliliği ve maliyeti üzerine etkilerini araştırmışlardır [6].

Nikitin vd. (2021) Rusya'nın en soğuk 10 şehrinde hava kaynaklı ve toprak kaynaklı kademeli ısı pompalarının enerji,

ekserji, ekonomik ve çevresel açıdan kullanımını incelemişlerdir. Optimum çalışma koşulunu Pareto tabanlı çok amaçlı optimizasyonu kullanarak belirlemişlerdir [7].

Arslan (2014) yaptığı çalışmada Edirne'de doğal gazlı kombi ile toprak kaynaklı ısı pompalarını karşılaştırılarak sonuçları irdelemiştir [8].

Özdemir vd. (2015) Ankara ili şartlarında 20,7 m³'lük hacimde düşey tip toprak kaynaklı ısı pompasının kullanımını incelemişlerdir. Enerji ve ekserji analizlerini yaparak sonuçları irdelemişlerdir [9].

Mouzeviris ve Papakostas (2021) çalışmalarında Yunanistan pazarındaki mevcut hava/su ısı pompalarının ve toprak kaynaklı ısı pompalarının performans katsayılarını ve enerji verimlilik oranlarını karşılaştırmalı incelemişlerdir [10].

Alshehri vd. (2019) yaptıkları çalışmada hava kaynaklı ısı pompalı sistemler ile toprak kaynaklı ısı pompalı sistemlerin Suudi Arabistan'da kullanımını tekno-ekonomik analiz kapsamında karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Bu iklim koşullarında kullanımını toprak kaynaklı ısı pompalı sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek ve geri ödeme sürelerinin uzun olmasına rağmen kullanımlarının teknik olarak mümkün olduğunu belirtmişlerdir [11].

2. Materyal ve Metot

Günümüzde ısıtma teknolojisindeki gelişmelerle birlikte düşük sıcaklıkta ısıtma giderek önem kazanmaktadır. Bunun bir yolu ısıtma sistemlerinde bakım ve işletme maliyetleri düşük olan yerden ısıtma sistemlerinin kullanılmasıdır. Bu sistemler mekanların estetik yapılarının korunmasını da sağlamaktadır.

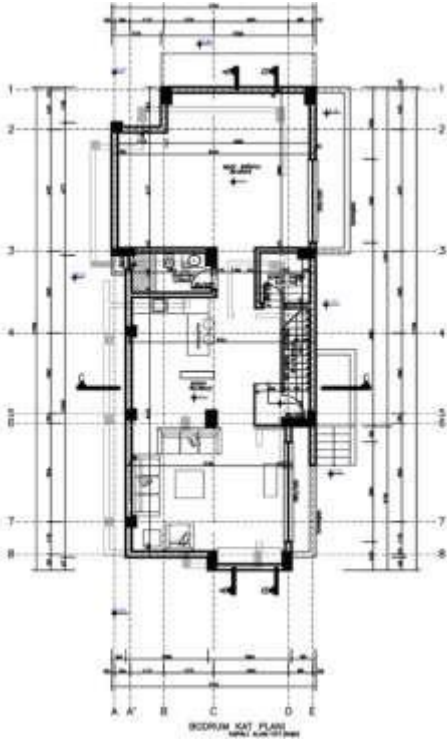
Bu çalışmada Denizli ilinin merkezinde inşa edilmiş olan bir villa incelenmiştir. Villa bodrum katı dahil olmak üzere 3 kattan oluşmaktadır. Konut TS825 standartlarına uygun olarak inşa edilmiş olup enerji kimlik belgesine sahip bir yapıdır. Evin toplam taban alanı 362,72 m²'dir. Villanın ısıtılmasında ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin kullanılması incelenerek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Gazla çalışan ve fosil yakıtla çalışan sistemlerle emisyon açısından kıyaslamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin çalışma sıcaklığı 35°C olarak alınmıştır. Denizli ilinin merkezine ait iklim verileri Tablo 1'de verilmektedir [12].

Tablo 1. Denizli ilinin merkezine ait iklim verileri

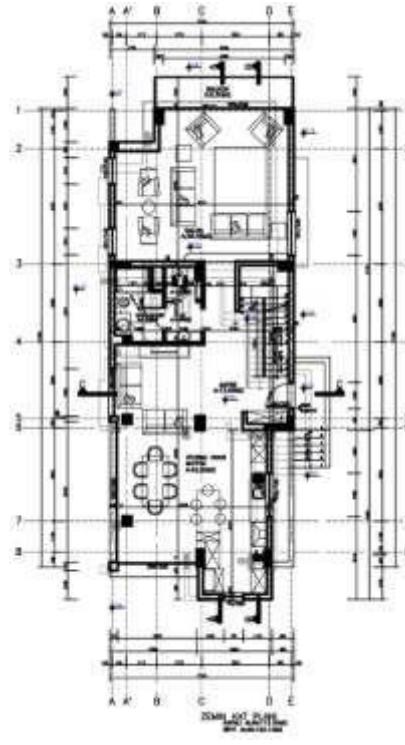
	Ocak	Şubat	Mar	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıcaklık (°C)	4,8	5,4	10	14,8	19	24	28,8	28,7	23,3	17,8	11,8	8,2
Min. Sıcaklık (°C)	0,9	1,8	4,1	8,8	13,8	19,0	23,8	20	17,1	12	8,2	2
Max. Sıcaklık (°C)	8,4	11,4	15,2	20	25,2	30,0	34,8	34,8	30,0	23,1	16,8	11,1
Yağış / Yağış (mm)	74	88	88	47	38	16	5	4	10	37	52	87
Nem (%)	71%	68%	68%	62%	44%	33%	29%	29%	34%	46%	58%	70%
Yalınlık (güneş sa)	7	7	7	8	9	11	11	11	10	8	6	5
Güneşli saatler (sa)	8,8	9,7	11	13,1	15,8	19,8	23,2	22,2	16,8	10,2	7,8	6,2

2.1. Villanın Yapı Bileşenleri

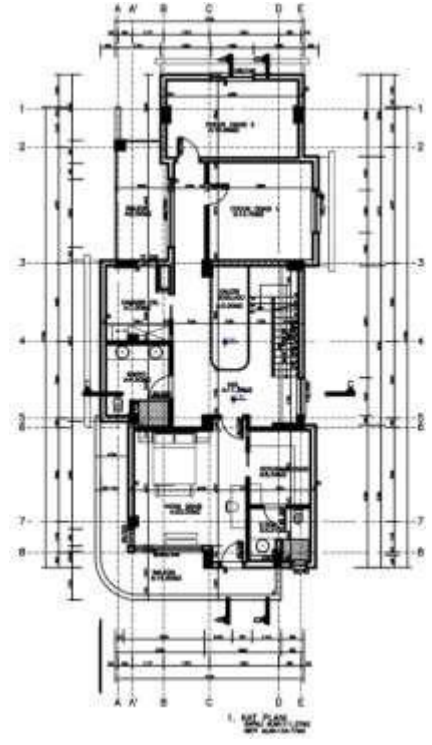
Villa için uygulanacak uygun ısıtma sisteminin belirlenmesinde binanın yıllık enerji kaybı dikkate alınmaktadır. Yıllık enerji kaybının hesaplanması için Şekil 1'de mimari planları verilen villanın yapı bileşenlerinin ısı geçirenlik (U) değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Çalışma kapsamında yapı bileşenlerinin U değerlerinin hesaplanmasında "ubakus" yazılımı kullanılmıştır. Uygulamaya binada kullanılan bütün yapı birleşenleri girilerek U değerleri hesaplanmıştır.



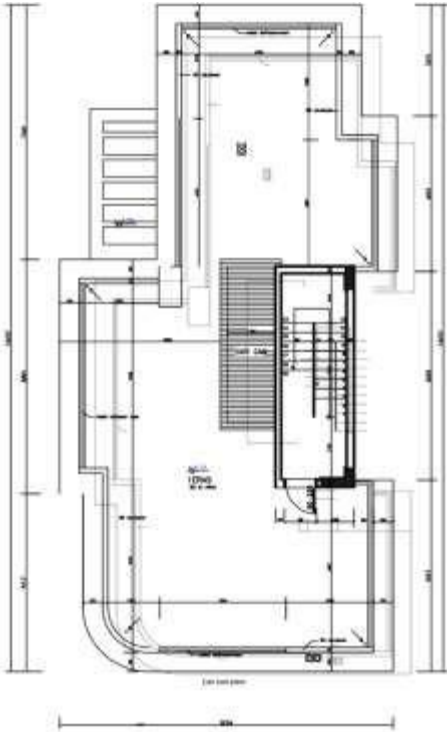
(a) Bodrum kat planı



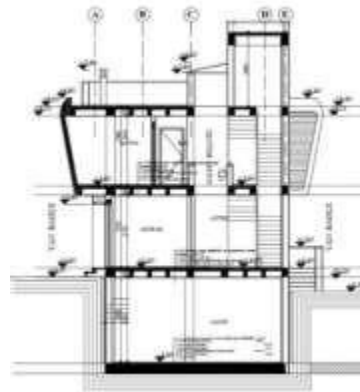
(b) Zemin kat planı



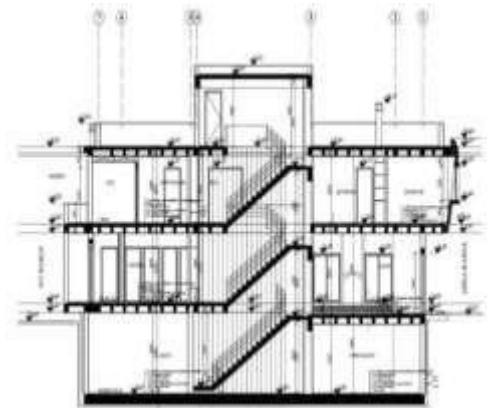
(c) Birinci kat planı



(d) Çatı kat planı



(e) Villanın ön kesiti



(f) Villanın sağ yandan kesiti

Şekil 1. Villanın mimari planı

2.1.1. Toprak Temaslı Zemin Yapı Bileşen Özellikleri

Toprak temaslı zemin, yapının bodrum katında kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 2'de verilmektedir. Toprak temaslı zeminin U değeri 0,488 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Toprak temaslı zeminin yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Duvar Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kristal Yapılı Fayans	7 mm	2,3	0,03
2	Çimento Harçlı Şap	40 mm	1,4	0,029
3	Ekstrüde Polistiren Köpük	50 mm	0,035	1,429
4	Donatılı Betonarme	600 mm	2,5	0,24
5	Donatısız Beton	50 mm	1,65	0,03
6	Polimer Bitümlü Su Yalıtım	3 mm	0,17	0,018
7	Donatısız Beton	100 mm	1,65	0,061
8	Mıncır	50 mm	0,7	0,071
9	Toprak	-	0	0

2.1.2. Fayans Kaplı Kuru Zemin Yapı Bileşen Özellikleri

Fayans kaplı kuru zemin, zemin katında tuvaletler harici alanlarda kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 3'te verilmektedir. Fayans kaplı kuru zeminin U değeri 0,99 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. Fayans kaplı kuru zeminin yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kristal Yapılı Fayans	7 mm	2,3	0,03
2	Çimento Harçlı Şap	40 mm	1,4	0,029
3	Ekstrüde Polistiren Köpük	20 mm	0,035	0,571
4	Donatılı Beton	120 mm	2,5	0,048
5	Kireç Harcı	20 mm	1	0,02

2.1.3. Fayans Kaplı Islak Zemin Yapı Bileşen Özellikleri

Fayans kaplı ıslak zemin, evin tüm tuvalet ve duş alanlarında kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 4'te verilmektedir. Fayans kaplı ıslak zeminin U değeri 0,972 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Fayans kaplı ıslak zeminin yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kristal Yapılı Fayans	7 mm	2,3	0,03
2	Çimento Harçlı Şap	40 mm	1,4	0,029
3	Ekstrüde Polistiren Köpük	20 mm	0,035	0,571
4	Polimer Bitümlü Su Yalıtım	3 mm	0,17	0,018
5	Donatılı Beton	120 mm	2,5	0,048
6	Kireç Harcı	20 mm	1	0,020

2.1.4. Birinci Kat Kuru Zemin Yapı Bileşen Özellikleri

Birinci kat kuru zemin, yapının birinci katında duş ve tuvalet alanları dışında kalan alanlarda kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 5'te verilmektedir. Birinci kat kuru zeminin U değeri 0,93 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

2.1.5. Dış Hava Temaslı Tavan Yapı Bileşen Özellikleri

Dış hava temaslı tavan, yapının çatı katında tavan olarak kullanılmıştır. U değeri hesaplanırken çatının düz ve açık renkte

olduğu dikkate alınmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 6'da verilmektedir. Dış hava temaslı tavanın U değeri 0,166 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5. Birinci kat kuru zeminin yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Absap Döşeme	10 mm	0,14	0,071
2	Çimento Harçlı Şap	40 mm	1,4	0,029
3	Ekstrüde Polistiren Köpük	20 mm	0,035	0,571
4	Donatılı Beton	120 mm	2,5	0,048
5	Kireç Harcı	20 mm	1	0,02

Tablo 6. Dış hava temaslı tavanın yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kristal Yapılı Fayans	7 mm	2,3	0,03
2	Çimento Harçlı Şap	100 mm	1,4	0,071
3	Ekstrüde Polistiren Köpük	200 mm	0,035	5,714
4	Polimer Bitümlü Su Yalıtım	3 mm	0,17	0,018
5	Donatılı Betonarme	120 mm	2,5	0,048
6	Kireç Harcı	20 mm	1	0,020

2.1.6. Toprak Temaslı Duvar Yapı Bileşen Özellikleri

Toprak temaslı duvarlar, bodrum katındaki duvarda kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 7'de verilmektedir. Toprak temaslı duvarın U değeri 0,49 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7. Toprak temaslı duvarın yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Duvar Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kireç Harcı	20 mm	1	0,020
2	Donatılı Beton	200 mm	2,5	0,080
3	Çimento Harcı	20 mm	1,4	0,014
4	Polimer Bitümlü Su Yalıtım	3 mm	0,17	0,018
5	Ekstrüde Polistiren Köpük	50 mm	0,035	1,429
6	Çimento Harcı	10 mm	1,4	0,007
7	Toprak	-	0	0

2.1.7. Dış Hava Temaslı Duvar Yapı Bileşen Özellikleri

Dış hava temaslı duvarlar zemin ve birinci kattaki duvarlarda kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 8'de verilmektedir. Dış hava temaslı duvarın U değeri 0,270 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 8. Dış hava ile temaslı duvarın yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kireç Harcı	20 mm	1,0	0,02
2	Ytong Gaz Beton	200 mm	0,1	2,0
3	Çimento Harcı	20 mm	1,4	0,014
4	Ekstrüde Polistiren Köpük	50 mm	0,035	1,429
5	Anorganik Esaslı Sıva Harçlı	5 mm	0,3	0,017

2.1.8. İç Ortamlar Arası Duvar Yapı Bileşen Özellikleri

İç ortamlar arası duvarlar yapının odalarının ayrılmasında kullanılan duvarlardır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 9'da verilmektedir. İç ortamlar arası duvarın U değeri 1,18 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 9. İç ortamlar arası duvarların yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kireç Harcı	20 mm	1,0	0,02
2	Tuğla	115 mm	0,21	0,548
3	Kireç Harcı	20 mm	1,0	0,02

2.1.9. Dış Hava Temaslı Kapıların Bileşen Özellikleri

Yapıda kullanılan kapılarda 85 mm kalınlığında poliüretilen yalıtım kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerinin özellikleri Tablo 10'da verilmektedir. Kapıların U değeri 0,381 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 10. Dış hava ile temaslı kapıların bileşenleri ve özellikleri

No	Bileşenler	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Doğal taş	10 mm	0,85	0,012
2	Poliüretilen Yalıtım	85 mm	0,035	2,429
3	Çelik	20 mm	50,0	0,0
4	Doğal taş	10 mm	0,85	0,012

2.1.10. Yapının Cam Özellikleri

Pencerelerde ısıcam K serisi kullanılmıştır. Isıcammın ikinci yüzeyinde MF ısı ve güneş kontrol kaplaması bulunduran yüksek ışık geçirgenliğine sahip, içten renksiz, dıştan sadece belirli açılarda uçuk mavi parıltıları olan çok amaçlı bir iklim kontrollü yalıtım ünitesi kullanılmıştır. Pencerelerin U değeri 1,3 W/m²K olarak hesaplanmıştır [13].

2.2. Villanın Yıllık Enerji Kaybının Hesabı

Villanın yıllık enerji kaybının hesaplanmasında Daikin firması tarafından geliştirilen "Daikin Stand By Me" programı kullanılmıştır. "Daikin Stand By Me" programına ubakus programından hesaplanan her duvarın U değeri girilerek odaların enerji kaybı hesaplanmıştır. Villa toplam 18 odadan oluşmaktadır ve toplam ısı yükü 15355,98 W olarak hesaplanmıştır. Tablo 11'de villada bulunan odaların özellikleri ve ısı yükleri verilmektedir.

Tablo 11. Villadaki odaların özellikleri ve ısı yükleri

Hacim	Alan (m ²)	Tasarım Sıcaklığı (°C)	Hava Değişimi	Isı Yükü (W)
Spor salonu	35,0	18,0°C	1,0	1861,21W
Bodrum katı tuvalet ve dış odası	4,0	22,0°C	1,5	389,67W
Bodrum katı mutfak ve oturma odası	50,35	18,0°C	0,5	2272,19W
Enerji odası	3,2	18,0°C	0,5	169,85W
Antre	13,86	21,0°C	0,5	452,2W
Zemin katı Oturma odası	36,05	21,0°C	0,5	1943,08W
Zemin katı mutfak odası	42,8	21,0°C	0,5	2333,59W
Zemin katı tuvalet ve dış odası	4,5	22,0°C	1,5	556,24W
Alatarka tuvalet odası	1,74	18,0°C	1,5	100,68W
Üst kat tuvalet ve dış alanı	7,0	22,0°C	1,5	513,18W
Üst kat hol	16,35	21,0°C	0,5	1319,98W
Çocuk odası (büyük)	14,7	21,0°C	0,5	485,63W
Çocuk odası (küçük)	14,65	21,0°C	0,5	688,75W
Ebeveyn yatak odası	20,0	18,0°C	0,5	731,85W
Ebeveyn soyunma odası	6,54	18,0°C	0,5	146,17W
Ebeveyn tuvalet ve dış odası	4,51	22,0°C	1,5	418,37W
Çamaşır odası	7,0	18,0°C	0,5	350,4W
Çatı katı odası	11,02	18,0°C	0,5	622,94W
Toplam ısı yükü (W)				15355,98W

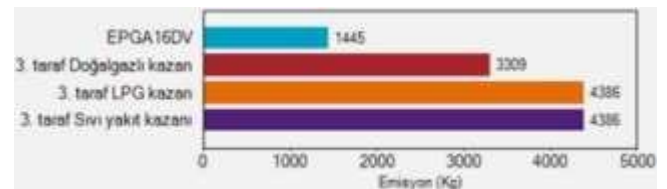
2.3. Villada Uygulanan Isı Pompalı Yerden Isıtma Sistemi

Villanın ısıtılmasında ısı pompalı yerden ısıtma sistemi kullanılmıştır. Villaya uygun ısıtma sisteminin seçiminde sistemin performansı (COP) ve monte edilecek şehrin sıcaklıkları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Villaya uygulanacak sistem olarak Daikin Altherma 3HW duvar tipi ısı pompası seçilmiştir. Bu sistem -28°C dış hava sıcaklığına kadar çalışma aralığına sahiptir. Sistemde soğutucu akışkan olarak R32 kullanılmaktadır. R32 soğutucu akışkanı düşük küresel ısınma potansiyeline ve yüksek verim özelliklerine sahip bir akışkan olduğundan dolayı uygulamalarda tercih edilen bir akışkandır. Isı pompasının ısıtma yükünü karşılamaması durumunda yükü karşılamak için ısı pompası sisteminde 6 kW gücünde elektrikli destek ısıtıcısı kullanılmaktadır. Isı pompalı yerden ısıtma sisteminin sonuçları Tablo 12'de verilmektedir.

Tablo 12. Isı pompalı yerden ısıtma sisteminin sonuçları

Gerekli ısıtma kapasitesi	Min. Çevre (-6,6°C): 13,51 kW
Çıkış suyu sıcaklık aralığı	25°C - 35°C
Isı pompası ile kapsanan	100%
Yedek ısıtıcı ile kapsanan	0,0%
Isı pompasının ısıtma kapasitesi	Min. Çevre (-6,6°C): 13,81 kW
Yardımcı ısıtıcı kapasitesi	6 kW
Yedek ısıtıcı dahil, ısıtmada yedek kapasite	4,45 kW
Enerji tüketimi ısıtma	3685,6 kWh
Yıllık mahal ısıtma termal enerji	16446,6 kWh
Tank boyutu	150 L
Enerji tüketimi DHW	565,9 kWh
Yıllık kullanım sıcak suyu termal enerji	1528 kWh
Isı pompasının sezonluk verimi (SCOP)	4,46
Yıllık hacim ısıtma enerji maliyeti	8077,86 TL (Elektrik 1,90TL/kWh)
Isıtma CO ₂ emisyonu	1445,5 kg
Mahal ısıtma için enerji etiketi	A++
Kullanım sıcak suyu için enerji etiketi	B

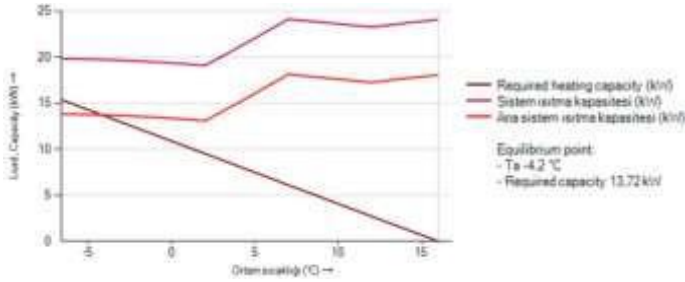
Sistem en düşük çevre sıcaklığı olan -6,6°C'de 13,51 kW'lık kapasitede ve ısı pompasının en düşük ortam sıcaklığında 13,81 kW'lık ısıtma kapasitesiyle çalıştığı görülmektedir. Bu sistemin yıllık ısıtma için enerji tüketimi 3685,6 kWh olarak hesaplanmıştır. Isı pompasının sezonluk verimi (SCOP) 4,46 bulunmuştur. Sistemin enerji etiketi A++, kullanım sıcak suyu B olarak sınıflandırılmaktadır. Isıtmadaki CO₂ emisyonu 1445,5 kg olarak hesaplanmıştır. Isıtma yükünün karşılanmasında farklı ısıtma sistemlerinin kullanılması durumundaki yıllık CO₂ emisyon değerleri Şekil 2'de verilmektedir.

Şekil 2. Farklı ısıtma sistemlerinin kullanılması durumunda yıllık CO₂ emisyonu

Isı pompasından kaynaklanan CO₂ emisyonu doğal gazla çalışan sistemlerden kaynaklanan emisyonlardan 2,28 kat ve sıvı yakıtlı çalışan sistemlerden 3,04 kat daha az olmaktadır. BWP (Bundesverband wärmepumpen) tarafından yapılan araştırmalara göre Almanya'da kullanılan ısı pompaları 2018 yılında 1,8 milyon

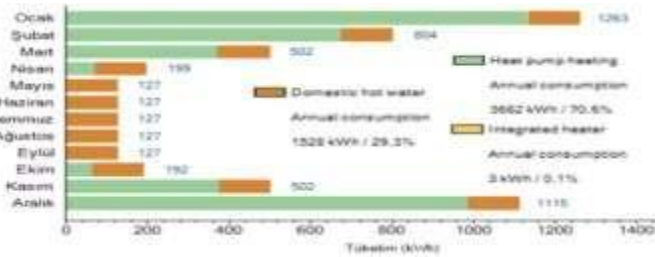
ton CO₂ emisyonunda kazanç sağlamıştır. Almanya’da yaşayan bir vatandaşın yıllık CO₂ emisyonu 10-14 ton arasında olduğu belirtilmektedir [14]. Bu durum ısı pompalı sistemlerin çevresel açıdan uygun sistemler olduğunu açık olarak ortaya koymaktadır.

Isı pompalı yerden ısıtma sisteminin ısıtma kapasitesinin ortam sıcaklığına göre değişimi Şekil 3’te verilmektedir. Isı pompası ısıtma kapasitesi -6,6°C ile denge noktası olan -4,2°C ortam sıcaklıkları arasında gerekli ısıtma kapasitesi eğrisinin altında kalmaktadır. Bu karşılama durumunu ortadan kaldırmak için sisteme 6 kW değerinde yardımcı ısıtıcı eklenmektedir. Denge noktası olarak gösterilen -4,2°C’de gerekli ısı kapasitesi 13,72 kW değerindedir.



Şekil 3. Isı pompalı yerden ısıtma sisteminin ısıtma kapasitesi

Şekil 4’te villa için ay bazında kWh cinsinden enerji tüketimi gösterilmektedir. Isı ihtiyacını karşılamak için sadece ocak ayında ısı pompasına ek olarak yedek ısıtıcı çalıştırılmaktadır. En yüksek enerji tüketiminin Aralık ve Ocak aylarında gerçekleştiği görülmektedir. Yazın ısıtma gerçekleştirilmediğinden enerji tüketimi sıcak su sağlanması için kullanılmaktadır.



Şekil 4. Isı pompalı yerden ısıtma sisteminin aylık enerji tüketimi

2.4. Isıtma Sisteminin Maliyet İncelemesi

Sistemin maliyet hesaplamalarında Denizli ilinin 2022 Haziran ayına ait elektrik, doğal gaz ve sistem maliyetleri kullanılmıştır. Doğal gazlı ısıtma sistemi ile ısı pompalı ısıtma sisteminin maliyetleri 15 yıl için incelenmiştir. Çalışma kapsamında elektriğin maliyeti kWh başına 1,9 TL ve doğal gazın maliyeti kWh başına 0,377 TL alınmıştır. Isı pompasının ilk yatırım maliyeti 85.000 TL ve doğal gazlı sistemin ilk yatırım maliyeti ise 15.000 TL alınmıştır. Isı pompasının kurulum maliyeti 5.000 TL ve doğal gazlı sistemin kurulum maliyeti 10.000 TL olarak alınmıştır. Isı pompalı ve doğal gazlı ısıtma sisteminin maliyet değerleri Tablo 13’te verilmektedir.

Tablo 13. Isıtma sistemlerinin maliyet bilgileri

	Daikin Çözümü	Doğal gazlı kazan
Sistem fiyatı	85.000 TL	15.000 TL
Kurulum Maliyeti	5.000 TL	10.000 TL
Yıllık işletme maliyeti	8.077,86 TL/yıl	7.529,36 TL/yıl
15 yıllık işletme maliyeti	121.167,90 TL	112.940,40 TL
Toplam	211.167,90 TL	112.940,40 TL

Isı pompalı ısıtma sisteminin yıllık işletme maliyeti 8.077,86 TL/yıl ve doğal gaz kaynaklı ısıtma sisteminin yıllık işletme maliyeti 7.529,39 TL/yıl olarak hesaplanmıştır. Isı pompalı ısıtma sisteminin 15 yıl için toplam maliyeti 211.167,9 TL ve doğal gazlı ısıtma sisteminin toplam maliyeti 112.940,4 TL’dir. Denizli ilindeki villa için ekonomik sistem olarak doğal gaz sistemi görülmektedir. Doğal gaz fiyatlarının devlet tarafından desteklenmesinden dolayı bu sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Isı pompasının sezonluk veriminin 4,46 olması bu sistemin yüksek verimliliğe sahip olduğunu göstermektedir.

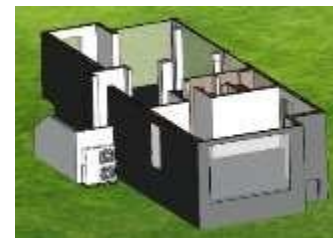
2.5. Isı Pompası Sisteminin Yerleşimi

Isı pompalarının yerleştirilmesinde dış ünite ile iç ünitenin bağlanmasında kullanılan boru uzunluğu, boru dirsekleri ve boru malzemesi dikkate alınmaktadır. Kurulacak sistem ayrıca dış görünüşü bozmayacak şekilde yerleştirilmelidir. Isı pompalı sistemlerde dış ünitenin arka ve yan kısmı duvarlardan 250 mm uzaklığa yerleştirilmelidir. Dış ünite ile iç ünitenin arasında oluşan basınç değerleri “Daikin Hidrolik Boru Hesaplama Aracı” kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ve kullanılan boru özellikleri Tablo 14’te verilmektedir.

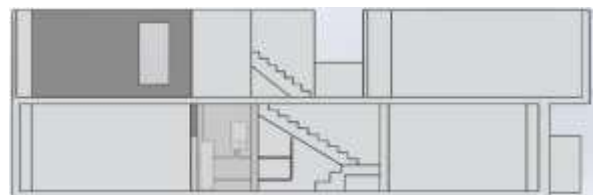
Tablo 14. Hidrolik boru hesaplama sonuçları

Boru uzunluğu	10,3285 m
Boru çapı	40-35 mm
Boru dirsekleri	12 Dirsek
Boru malzemesi	PE-HDX
Glikol	Kullanılmadı
Yayıcı ΔT	5 °C
Dış ünite basınç düşüşü	-21,6 kPa
Dış üniteye giden boruların basınç düşüşü	-9,5 kPa
İç ünitesindeki pompa basıncı	69,3 kPa
Yayıcıdaki basınç düşüşü (Akış 44 L/dk)	-38,2 kPa

Denizli’de aşırı soğuk görülmemesinden dolayı sistemde glikol kullanılmamıştır. Denizli iklimine uygun olarak boru malzemesi PE-HDX olarak seçilmiştir. Dış ve iç ünitelerin yerleştirilmesinde ve boru uzunluklarının hesaplanmasında Solidworks çizim programından yararlanılmıştır. Dış ve iç ünitelerin yerleşimi Şekil 5’te verilmiştir.



(a) Dış ünitenin yerleşimi



(b) İç ünitenin yerleşiminin sol yandan görünüşü

Şekil 5. Isı pompalı ısıtma sisteminin iç ve dış ünitelerinin yerleşimi

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu alışmada Denizli’de TS825 standartlarına uygun olarak inşa edilmiş olan bir villanın iklimlendirilmesi incelenmiştir. Villanın yapı bileşenleri ve Denizli iline ait iklim verileri göz önünde bulundurularak ısıtma kapasitesi ve kullanım sıcak su yükleri hesaplanmıştır. Villanın ısıtılmasında hava kaynaklı ısı pompalı yerden ısıtma sistemi kullanılmıştır. Uygulamada Daikin Altherma HW3 duvar tipi ısı pompalı sistem kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ısı pompalı yerden ısıtma sistemi doğal gazlı sistem ile karşılaştırılmıştır. ısı pompalı yerden ısıtma sistemi Denizli ilinin iklim koşullarında verimli olmasına rağmen doğal gazın devlet teşvikli olmasından dolayı doğal gazlı sistemin daha ekonomik olmasına neden olmaktadır. ısı pompasının SCOP değeri 4,46 çıkmasına rağmen elektrik birim fiyatlarının yüksek olması nedeniyle ekonomik olmadığı sonucuna varılmıştır. Doğal gazlı ısıtma sisteminin CO₂ emisyonunun ısı pompalı ısıtma sistemine göre 2,28 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Günümüz enerji fiyatları göz önünde bulundurulduğunda toprak kaynaklı ısı pompalı sistemler işletme maliyetleri açısından uygun olabilmekte fakat bu sistemlerinde ilk yatırım maliyetleri yüksek olmaktadır.

5. Teşekkür

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

Kaynakça

- [1] Zogg, M. 2008. Geschichte der Wrmepumpe. Teknik makale, Oberburg.
- [2] Erdoğan, S., Yılmaz M., şahin B., zyurt . 2006. ısı Pompası Sistemin Seçilmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 92, s. 40-49.
- [3] Dikici, A., Akbulut, A., Gülçimen, F. 2006. Güneş, Hava ve Toprak Enerjisi Kaynaklı ısı Pompalarının Elazığ Şartlarında Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması ve Enerji ve Ekserji Analizleri. Journal of Thermal Science and Technology, Cilt 26, Sayı 2.
- [4] Gaur, A. S., Fitiwi, D. Z., Curtis, J. 2021. Heat Pumps and Our Low-Carbon Future: A Comprehensive Review. Energy Research & Social Science, Vol. 71, 101764.
- [5] Erdem, E. U., Baheci İ., Arzık A., Akdemir . 2017. Farklı İklimlerdirme Uygulamalarının rnek Bir Villada Değerlendirilmesi. 13. Ulusal Tesisat Mhendisliği Kongresi, 19-22 Nisan 2017, İZMİR, mmo yayın no: E/MMO/667, Cilt 1, s. 265-287.
- [6] Osterman, E., Stritih, U. 2021. Review on Compression Heat Pump Systems with Thermal Energy Storage for Heating and Cooling of Buildings. Journal of Energy Storage, 39, 102569.
- [7] Nikitin, A., Deymi-Dashtebayaz, M., Muraveinikov, S., Nikitina, V., Nazeri, R., Farahnak, M. 2021. Comparative Study of Air Source and Ground Source Heat Pumps in 10 Coldest Russian Cities Based on Energy-Exergy-Economic-

Environmental Analysis. Journal of Cleaner Production, 321, 128979.

- [8] Arslan, A. E. 2014. Toprak Kaynaklı ısı Pompası ile Doğal Gazlı Kombi Birleşik Sisteminin Enerji Verimliliği Yönünden Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [9] zdemir, M. B., zkaya, M. G. 2015. Ankara İli Şartlarında Düşey Tip Toprak Kaynaklı ısı Pompası Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi. Journal of Polytechnic, Cilt 18, Sayı 4, s. 269-280.
- [10] Mouzeviris, G., A., Papakostas, K. T. 2021. Comparative Analysis of Air-to-Water and Ground Source Heat Pumps Performances. International Journal of Sustainable Energy, Vol. 40, No. 1, 69–84.
- [11] Alshehri, F., Beck, S., Ingham, D., Ma, L., Pourkashanian, M. 2019. Techno-economic analysis of ground and air source heat pumps in hot dry climates. Journal of Building Engineering, 26, 100825.
- [12] Climate_Data.ORG. İklım Denizli. <https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/denizli/denizli-186/> (Erişim Tarihi 20 Nisan 2022).
- [13] Isıcam. Isıcam Sistemler K Değerleri. <http://www.seyhancam.com.tr/tr/?i=pages&id=134> (Erişim Tarihi 20 Nisan 2022).
- [14] BWP. CO₂ Ersparnis durch Wrmepumpen. <https://www.waermepumpe.de/presse/blog/zahl-des-monats-co2-einsparungen-mit-waermepumpen/> (Erişim Tarihi 18.06.2022).