



# EGE BÖLGESİNDE ISI POMPALI YERDEN ISITMA SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

*Investigation Of Heat Pump Floor Heating System In The Aegean Region*

**Batuğhan Rüştü Özçelik**  
**Özay Akdemir**  
**Arslan Çağlayan Gürel**

## ÖZET

Doğal gaz fiyatlarının artmasıyla günümüzde ısı pompaları büyük popülerlik kazanmaktadır. Isı pompaları çevreye zarar vermedikleri, verimli ve çoğu zaman ekonomik oldukları için uygun sistemlerdir. Bu çalışmada, Ege bölgesinde Bodrum, Manisa ve Uşak illerinde bir villanın ısı pompalı sistem ile ısıtılması incelenerek enerji ve maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. İncelenen villa TS 825 standardına göre tasarlanmış üç katlı bir villadır. Ege bölgesinde bulunan illerde aynı tip ısı pompalarının ısıtmada kullanımları incelenerek karşılaştırılmaları yapılmıştır. Isı pompası sistemlerinin verimlilik ve maliyet açısından değerlendirmeleri gerçekleştirilerek sonuçlar irdelenmiştir. Villanın yapı bileşen özelliklerinin belirlenmesinde "Ubakus" programı, ısı yüklerinin hesaplanmasında ve simülasyonların gerçekleştirilmesinde Daikin tarafından geliştirilen "Daikin Stand By Me" programı kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Isı Pompası, Yerden Isıtma, Enerji Performans Analizi

## ABSTRACT

The heat pump is gaining great popularity today because of increasing natural gas prices. Heat pumps are suitable systems because they do not harm the environment, and they are efficient, and often economical. In this study, energy and cost analyses were carried out by examining the heating of a villa with a heat pump system in Bodrum, Manisa, and Uşak provinces in the Aegean region. The examined villa is a three-floor villa designed according to the TS 825 standard. The use of the same type of heat pumps for heating in the provinces in the Aegean region was examined and compared. Heat pump systems were investigated in terms of efficiency and cost, and the results were examined. The "Ubakus" program was used to determine the building component properties of the villa, and the "Daikin Stand By Me" program developed by Daikin was used to calculate the heat loads and to perform the simulations.

**Keywords:** Heat pumps, Underfloor heating, Energy performance analysis

## GİRİŞ

Isı pompaları ekonomikliği, çevre dostu olmaları ve yüksek verimliliklere sahip olmalarından dolayı günümüzde iklimlendirme sistemlerinde önemli bir yere sahip olan sistemlerdir. Günümüzde ısıtma teknolojisindeki gelişmelerle birlikte düşük sıcaklıkta çalışan ısıtma sistemleri giderek önem kazanmaktadır. Estetik ve düşük sıcaklıkta çalışmaları sebebiyle yerden ısıtma sistemleri düşük bakım ve işletme maliyetleri ile tercih edilen sistemler olmaktadır.

Isı pompalarına gün geçtikçe ilgi artarak kullanımları artmaktadır. Bunun sonucunda ısı pompasıyla ilgili yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları artmaktadır. Esen ve İnallı (2003) yapmış oldukları çalışmada Elazığ iklim koşullarında bir konutun toprak kaynaklı ısı pompasının kullanımını inceleyerek performans analizlerini yaparak sonuçları irdelemişlerdir [1].

Erdoğan vd. (2006) yaptıkları çalışmada ısı pompalı sistemlerin performansını etkileyen faktörleri incelemişler ve ısı pompalı sistemlerin seçiminde dikkate alınacak hususları araştırmışlardır [2].

Kıncay vd. (2008) yaptıkları çalışmada TS 825 standartlarına uygun 350 m<sup>2</sup>'lik bir villa için ısı kaybı hesaplarını yapmışlar ve ısıtma ile kullanım sıcak suyunun ihtiyacının farklı kaynaklı ısı pompaları ile karşılanması durumunu incelemişlerdir [3].

Çokgez Kuş ve Çomaklı (2015) çalışmalarında farklı kaynaklı ısı pompalarının ekonomik analizlerini gerçekleştirerek birbirleri arasında karşılaştırmalarını yapmışlardır [4].

Uçkan ve Arpacı (2020) Van'da bulunan iki serada güneş destekli su kaynaklı ısı pompası sistemin kullanımını incelemişlerdir. TRNSYS programı kullanılarak modellenmesi gerçekleştirilmiş ve ısı yükleri hesaplanmıştır. Cam sera örtüsü yerine çift katlı polietilen örtü kullanılması durumunda ısıtmada gerçekleşecek enerjisi tasarrufu hesaplanmış ve sonuçlar yorumlanmıştır [5].

Bu çalışmada, Ege bölgesinde üç farklı ilde tasarlanan villanın aynı tip ısı pompası kullanılarak ısıtma ihtiyacının karşılanması durumu incelenmiştir. Daikin tarafından geliştirilen "Daikin Stand By Me" programı kullanılarak simülasyon çalışmaları gerçekleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında Bodrum, Manisa, Uşak illeri incelenmiştir. İncelenen villa TS 825 "Binalarda ısı yalıtım kurallarının standardı" standardına uygun olarak tasarlanmış ve uygun yalıtım kriterlerine sahip bir yapıdır [6]. Evin toplam taban alanı 362,72 m<sup>2</sup>'dir. Villanın ısıtılmasında ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin kullanımı incelenerek simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ısıtma ihtiyacının karşılanmasında "Daikin Altherma 3HF" model ısı pompası kullanılmıştır. İller arasındaki iklim koşulların ve rakımın etkisinin sistem verimliliğine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin çalışma sıcaklığı 35°C olarak alınmıştır. Bodrum ilinin merkezine ait iklim verileri Tablo 1'de, Manisa ilinin merkezine ait iklim verileri Tablo 2'de ve Uşak ilinin merkezine ait iklim verileri Tablo 3'de verilmektedir [7].

**Tablo 1.** Bodrum iline ait yıllık iklim verileri

Bodrum	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu ( 1928 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	5,3	6,1	8,5	12,7	17,8	22,8	26,4	26,3	21,9	16,2	10,8	7,0	15,1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9,8	11,0	14,2	18,9	24,3	29,6	33,4	33,6	29,3	23,1	16,7	11,5	21,3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1,6	1,9	3,5	7,0	11,4	16,1	19,7	19,6	15,3	10,3	5,9	3,2	9,6
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3,5	4,5	5,8	7,3	8,7	10,6	11,4	10,9	9,5	6,8	4,7	3,4	7,3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15,59	13,71	11,94	9,94	9,53	5,59	2,00	1,94	4,29	8,59	11,0	14,76	108,9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	244	177	123	64,2	50,3	24,3	11,7	14,7	23,3	73,4	136	266	1209
Ölçüm Periyodu ( 1930 - 2021)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	20,9	25,5	28,8	31,6	39,4	40,8	42,1	41,2	39,2	36,8	29,0	23,8	42,1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-12,6	-9,9	-8,5	-3,6	1,0	6,7	10,5	9,0	5,6	0,1	-7,0	-9,0	-12,6

**Tablo 2.** Manisa iline ait yıllık iklim verileri

MANİSA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu ( 1930 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6,6	7,9	10,5	15,1	20,3	25,2	28,0	27,7	23,3	17,8	12,1	8,1	16,9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10,8	12,7	16,2	21,4	27,1	32,1	34,9	34,9	30,7	24,4	17,5	12,3	22,9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3,0	3,7	5,3	8,9	13,3	17,5	20,4	20,4	16,2	11,8	7,5	4,5	11,0
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,8	3,7	5,1	6,1	8,2	10,2	10,8	10,3	8,6	6,2	3,9	2,3	6,5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11,24	11,29	10,47	7,88	7,65	5,18	0,82	1,18	3,0	5,24	8,65	11,12	83,7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	129,0	107,7	78,4	5,55	39,3	19,9	9,7	9,3	19,6	51,8	88,9	138,2	747,3
Ölçüm Periyodu ( 1930 - 2021)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	24,2	26,4	33,5	34,7	40,6	42,4	45,5	44,7	42,4	38,2	29,9	26,4	45,5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-17,5	-10,9	-6,7	-2,7	2,0	7,4	10,5	8,5	3,3	-0,9	-7,3	-9,9	-17,5

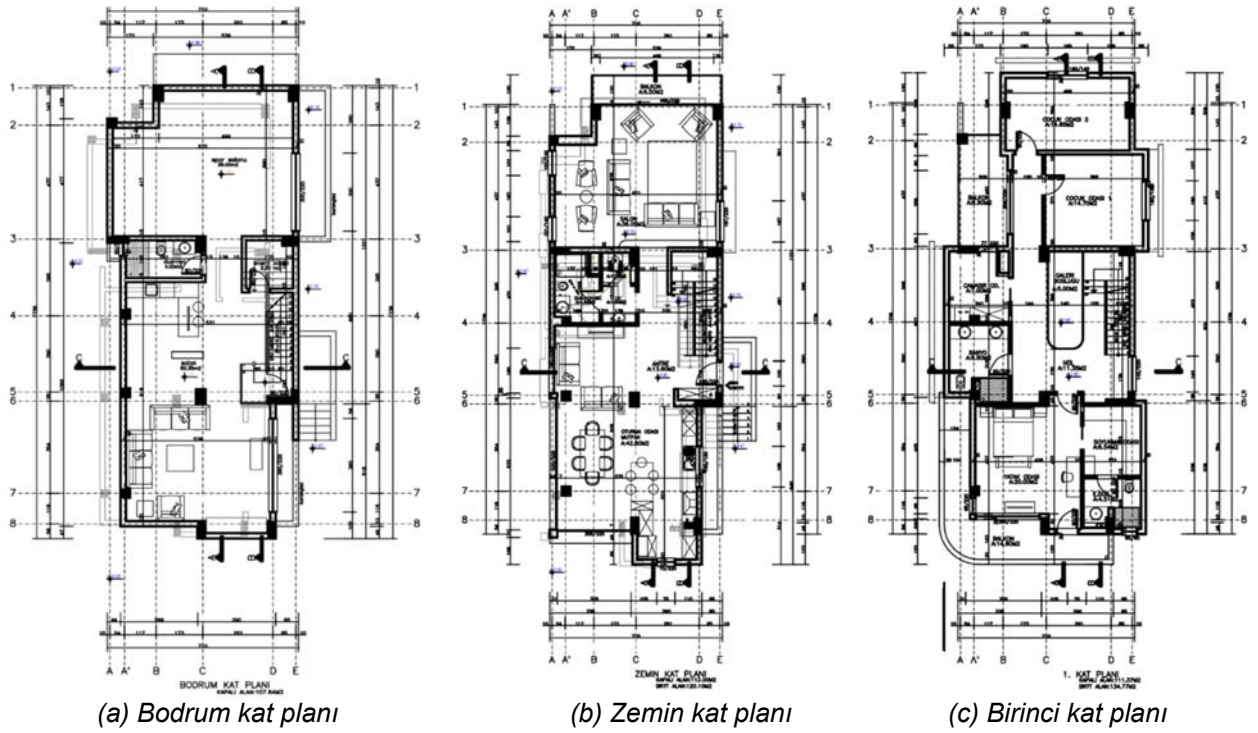
**Tablo 3.** Uşak iline ait yıllık iklim verileri

UŞAK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu ( 1939 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2,3	3,3	6,2	10,9	15,6	19,9	23,4	23,5	19,1	13,7	8,3	4,2	12,5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6,8	8,3	11,8	16,8	21,9	26,5	30,3	30,6	26,3	20,3	14,1	8,8	18,5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1,2	-0,6	1,3	5,2	9,2	12,6	15,5	15,6	11,9	7,9	3,8	0,7	6,8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3,9	4,6	5,5	6,8	8,8	10,9	11,8	11,3	9,7	7,3	5,3	3,8	7,5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12,41	11,35	12,47	10,29	11,65	8,35	2,71	3,06	4,59	7,53	7,18	11,65	103,2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	73,4	66,7	58,0	50,9	48,0	27,2	16,5	12,6	18,6	42,2	58,9	84,6	557,6
Ölçüm Periyodu ( 1939 - 2021)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18,3	23,6	27,0	30,0	34,5	36,6	40,2	38,2	38,2	32,6	26,0	21,8	40,2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-19,9	-15,0	-12,5	-6,2	-1,0	2,9	7,4	6,8	2,0	-4,8	-11,8	-18,9	-19,9

İllerin tümünün Ege bölgesinde bulunmasına rağmen sıcaklık ortalamaları büyük ölçüde farklılık göstermektedir. İller arasında bu kadar farklarının bulunması büyük ölçüde illerin bulunduğu rakıma ve iklim bölgelerine bağlıdır. Bodrum'un rakımı 30 m'dir, Ege ve Akdeniz iklimine sahiptir. Manisa'nın rakımı 71 m'dir ve Akdeniz iklimi ile İç Anadolu karasal iklimine hakimdir. Uşak'ın rakımı 907 m'dir ve İç Anadolu ile Ege bölgeleri arasında bir geçiş özelliği göstermektedir [7].

## 2. VİLLANIN YAPI BİRLEŞENLERİ

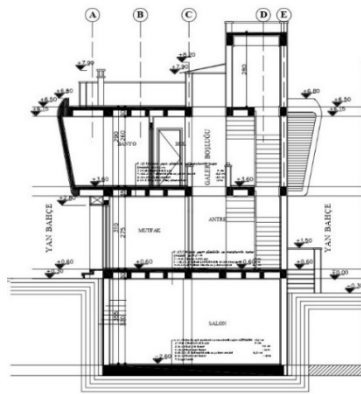
Villa için uygulanacak uygun ısıtma sisteminin belirlenmesinde binanın yıllık enerji kaybı dikkate alınmaktadır. Yıllık enerji kaybının hesaplanması için Şekil 1'de mimari planları verilen villanın yapı bileşenlerinin ısı geçirgenlik (U) değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Çalışma kapsamında yapı bileşenlerinin U değerlerinin hesaplanmasında "Ubakus" yazılımı kullanılmıştır. Uygulamaya binada kullanılan bütün yapı birleşenleri girilerek U değerleri hesaplanmıştır [8].



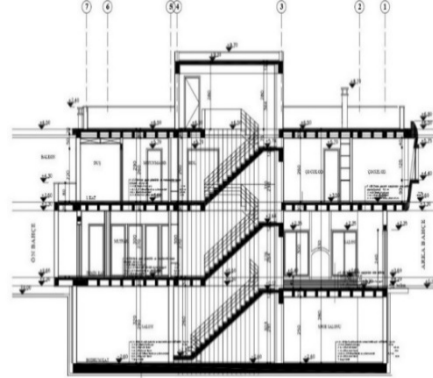
(a) Bodrum kat planı

(b) Zemin kat planı

(c) Birinci kat planı



(e) Villanın ön kesiti



(f) Villanın sağ yandan kesiti

**Şekil 1.** Villanın mimari planı

## 2.1. Toprak Temaslı Zemin Yapı Bileşen Özellikleri

Toprak temaslı zemin, yapının bodrum katında kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 4'de verilmektedir. Toprak temaslı zeminin U değeri  $0,488 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 4.** Toprak temaslı zeminin yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Duvar Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> 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	Mıcir	50 mm	0,7	0,071
9	Toprak	-	0	0

## 2.2. Fayans Kaplı Kuru Zemin Yapı Bileşen Özellikleri

Fayans kaplı kuru zemin, zemin katında tuvaletler harici alanlarda kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 5'te verilmektedir. Fayans kaplı kuru zeminin U değeri 0,99 W/m<sup>2</sup>K olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 5.** Fayans kaplı kuru tabanın yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> 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

## 2.3. Fayans Kaplı Islak Zemin Yapı Bileşen Özellikleri

Fayans kaplı ıslak zemin, evin tüm tuvalet ve duş alanlarında kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 6'da verilmektedir. Fayans kaplı ıslak zeminin U değeri 0,972 W/m<sup>2</sup>K olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 6.** Fayans kaplı ıslak zeminin yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> 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 Yalıtımı	3 mm	0,17	0,018
5	Donatılı Beton	120 mm	2,5	0,048
6	Kireç Harcı	20 mm	1	0,020

## 2.4. 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 7'de verilmektedir. Birinci kat kuru zeminin U değeri 0,93 W/m<sup>2</sup>K olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 7.** Birinci kat kuru zeminin yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Ahşap 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

## 2.5. 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 8'de verilmektedir. Dış hava temaslı tavanın U değeri 0,166 W/m<sup>2</sup>K olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 8.** Dış hava temaslı tavanın yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> 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 Yalıtımı	3 mm	0,17	0,018
5	Donatılı Betonarme	120 mm	2,5	0,048
6	Kireç Harcı	20 mm	1	0,020

## 2.6. Toprak Temaslı Duvar Yapı Bileşen Özellikleri

Toprak temaslı duvarlar, bodrum katındaki duvarda kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 9'da verilmektedir. Toprak temaslı duvarın U değeri 0,49 W/m<sup>2</sup>K olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 9.** Toprak temaslı duvarın yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Duvar Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> 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 Yalıtımı	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

## 2.7. Dış Hava Temaslı Duvar Yapı Bileşen Özellikleri

Dış hava temaslı duvarlar zemin ve birinci kattaki duvarlarda kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 10'da verilmektedir. Dış hava temaslı duvarın U değeri 0,270 W/m<sup>2</sup>K olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 10.** Dış hava ile temaslı duvarın yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> 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

## 2.8. İç Ortamlar Arası Duvar Yapı Bileşen Özellikleri

İç ortamlar arası duvarlar yapının odaların ayrılmasında kullanılan duvarlardır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 11'de verilmektedir. İç ortamlar arası duvarın U değeri 1,18 W/m<sup>2</sup>K olarak hesaplanmıştır.



**Tablo 11.** İç ortamlar arası duvarların yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> 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

## 2.9. Dış Hava Temaslı Kapıların Bileşen Özellikleri

Yapıda kullanılan kapılarda 85 mm kalınlığında poliüretilen yalıtım kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin özellikleri Tablo 12’de verilmektedir. Kapıların U değeri 0,381 W/m<sup>2</sup>K olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 12.** Dış hava ile temaslı kapıların bileşenleri ve özellikleri

No	Bileşenler	Kalınlık (d)	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> 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

## 2.10. Yapının Cam Özellikleri

Pencerelerde ısıcam K serisi kullanılmıştır. Isıcamın 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/m<sup>2</sup>K olarak hesaplanmıştır [9].

## 2.11. 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. İncelen villanın toplam ısı yükleri Bodrum ili için 9957,49 W, Manisa ili için 11654,17 W ve Uşak ili için 17463,94 W olarak hesaplanmıştır. Tablo 13’de villada bulunan odaların özellikleri ve ısı yükleri verilmektedir. Tabloda görüldüğü üzere villanın ısı yükü en fazla Uşak ilinde ve en az Bodrum ilinde hesaplanmıştır.

**Tablo 13.** Villadaki odaların özellikleri ve ısı yükleri

Hacim	Alan (m <sup>2</sup> )	Tasarım Sıcaklığı	Hava değişimi	Bodrum'da bulunan villanın ısı yükü (W)	Manisa'da bulunan villanın ısı yükü (W)	Uşak'ta bulunan villanın ısı yükü (W)
Spor salonu	35,0	18,0	1,0	1109,5	1345,75	2154,73
Bodrum katı tuvalet ve duş odası	4,0	22,0	1,5	295,76	325,28	426,34
Bodrum katı mutfak ve oturma odası	50,35	18,0	0,5	1337,16	1631,03	2637,3
Enerji odası	3,2	18,0	0,5	102,54	123,69	196,13
Antre	13,86	21,0	0,5	323,85	364,19	502,31
Zemin katı Oturma odası	36,05	21,0	0,5	1334,69	1525,9	2180,64
Zemin katı mutfak ve oturma	42,8	21,0	0,5	1641,36	1858,92	2603,89
Zemin katı tuvalet ve duş odası	4,5	22,0	1,5	387,98	440,86	621,94
Alaturka tuvalet odası	1,74	18,0	1,5	40,38	59,33	124,23
Üst kat tuvalet ve duş alanı	7,0	22,0	1,5	369,4	414,59	569,32
Üst kat hol	16,35	21,0	0,5	894,49	1028,22	1486,12
Çocuk odası (Büyük)	14,7	21,0	0,5	322,19	373,56	549,44
Çocuk odası (Küçük)	14,65	21,0	0,5	456,96	529,81	779,26
Ebeveyn yatak odası	20,0	18,0	0,5	406,1	508,48	859,05
Ebeveyn soyunma odası	6,54	18,0	0,5	64,86	90,41	177,92
Ebeveyn tuvalet ve duş odası	4,51	22,0	1,5	303,65	339,7	463,16
Çamaşır odası	7,0	18,0	0,5	188,79	239,58	413,51
Çatı katı odası	11,02	18	0,5	377,83	454,87	718,65
Toplam ısı yükü				9957,49	11654,17	17463,94

Villanın ısıtılmasında ısı pompalı yerden ısıtma sistemi kullanılmıştır. Villaya uygun ısıtma sisteminin seçiminde sistemin performansı (COP) ve monte edilecek şehirlerin iklim koşullarının uygunluğu dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. İncelenen iller için villaya uygulanacak sistem olarak Daikin Altherma 3HF duvar tipi ısı pompası kullanılmıştır. 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 14'te verilmektedir.

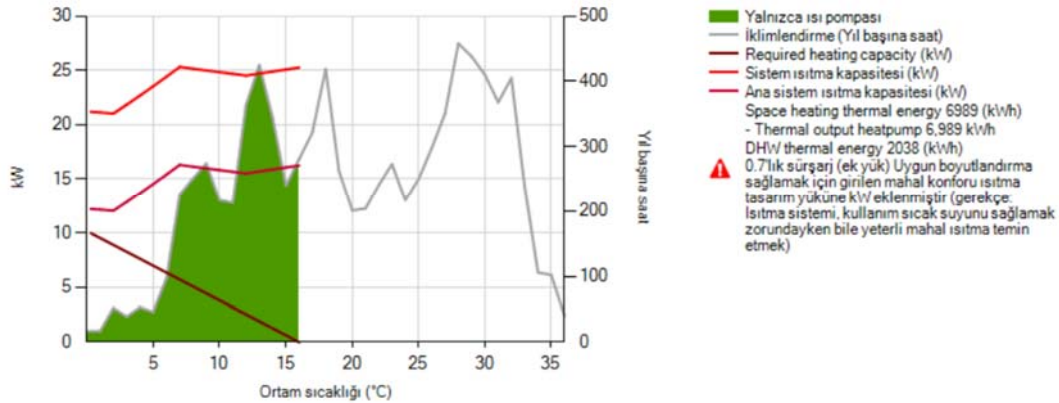


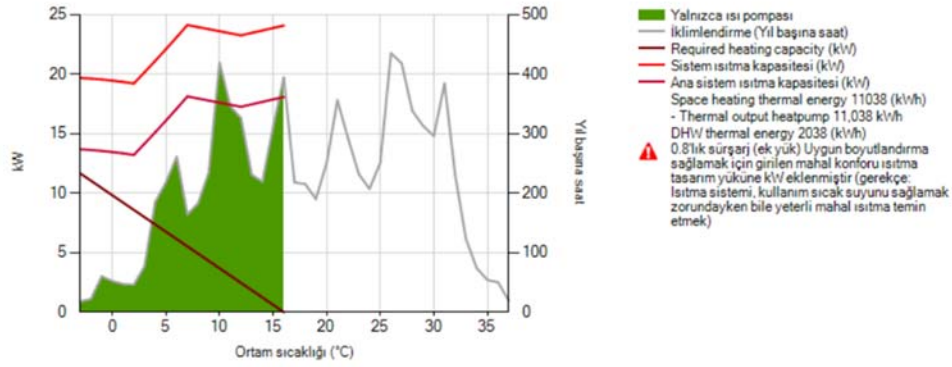
**Tablo 14.** Isı pompalı yerden ısıtma sisteminin sonuçları

	Bodrum'daki villanın ısı pompası	Manisa'daki villanın ısı pompası	Uşak'taki villanın ısı pompası
Gerekli ısıtma kapasitesi	Min. Ambient (0,3 °C): 9,96 kW (9957 W)	Min. Ambient (-3 °C): 11,65 kW (11654)	Min. Ambient (-8,9 °C): 14,69 kW (13940 W)
Çıkış suyu sıcaklığı ısıtma	25 °C - 35 °C	25 °C - 35 °C	25 °C - 35 °C
Isı pompasıyla kapsanan %	100,0 %	100,00%	99,70%
Yedek ısıtıcı tarafından kapsanan	0%	0%	0,3 % 748 W
Isı pompasının ısıtma kapasitesi	Min. Ambient (0,3 °C): 12,2 kW	Min. Ambient (-3 °C): 13,68 kW (13940 W)	Min. Ambient (-8,9 °C): 13,94 kW (13940 W)
Yardımcı ısıtıcı kapasitesi	6 kW	6 kW	6 kW
Yedek ısıtıcı dahil, ısıtmada yedek kapasite	10,49 kW	7,2 kW	1,36 kW
Enerji tüketimi ısıtma	1337,8 kWh	2283,8 kWh	6483,6 kWh
Yıllık mahal ısıtma termal enerjisi	6989 kWh	11038,5 kWh	25910,4 kWh
Tank boyutu	180 L	180 L	180 L
Enerji tüketimi DHW*	754,8 kWh	754,8 kWh	754,8 kWh
Yıllık kullanım sıcak suyu termal enerjisi	2038 kWh	2038 kWh	2038 kWh
Isı pompasının sezonluk verimi	5,22	4,83	4,00
Yıllık hacim ısıtma enerji maliyeti	5.440,72 ₺ (Elektrik 2,6 ₺/kWh)	7.900,34 ₺ (Elektrik 2,6 ₺/kWh)	18.819,98 ₺ (Elektrik 2,60 ₺/kWh)
Isıtma CO2 emisyonu	524,7 Kg	895,7 Kg	2542,9 Kg

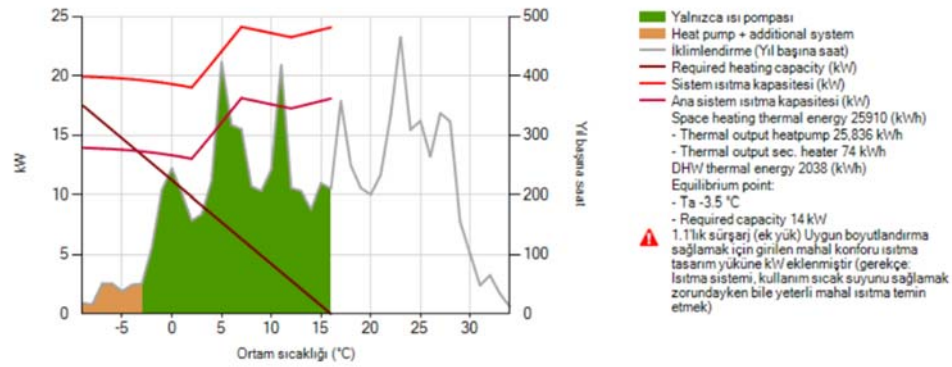
Sistem incelenen şehirlerde 25°C – 35°C sıcaklıklar arasında çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Tablodan ısı pompasının gücü Uşak ili iklim koşullarında yetersiz kaldığı ve yedek ısıtıcının kullanımının gerektiği görülmektedir. Uşak ilinde ısı pompasının sezonluk verimi (SCOP) 4 olarak hesaplanmıştır, diğer şehirlerle karşılaştırıldığında daha düşük verime sahip olduğu görülmektedir. Yıllık kullanılan sıcak su ihtiyacı her şehir için aynı seçilmiştir. Sistemlerin enerji etiketi A++, kullanım sıcak suyu B olarak sınıflandırılmaktadır. Yıllık mahal ısıtma için termal enerjiye bakıldığında Bodrum ilinde 6989 kWh iken Uşak ilinde 25910,4 kWh olduğu hesaplanmıştır.

Isı pompalı yerden ısıtma sistemlerinin ısıtma kapasitelerinin ortam sıcaklığına göre değişimi ve sistemlerin yıl içinde çalışma miktarları incelenen iller için Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmektedir. Isı pompasının yaklaşık 16°C sıcaklıkta çalışmaya başladığı ve 0°C - 16°C sıcaklıklar arasında çalıştığı görülmektedir. Şekil 4'de gösterilen turuncu alanın bulunduğu bölge yedek ısıtıcının çalıştığı bölgeyi göstermektedir. Yedek ısıtıcı sadece Uşak ilinde sıcaklığın -3°C'nin altına düştüğü koşullarda devreye girdiği görülmektedir.

**Şekil 2.** Bodrum ilindeki villanın ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin ısıtma kapasitesi

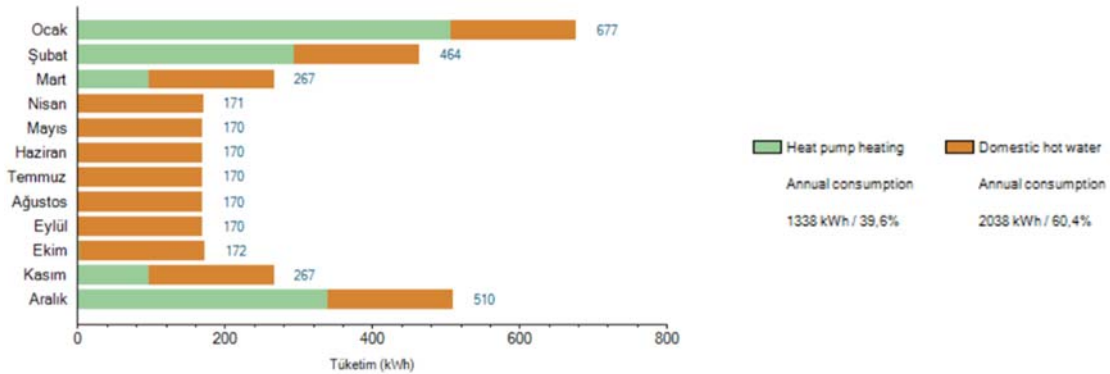


**Şekil 3.** Manisa ilindeki villanın ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin ısıtma kapasitesi

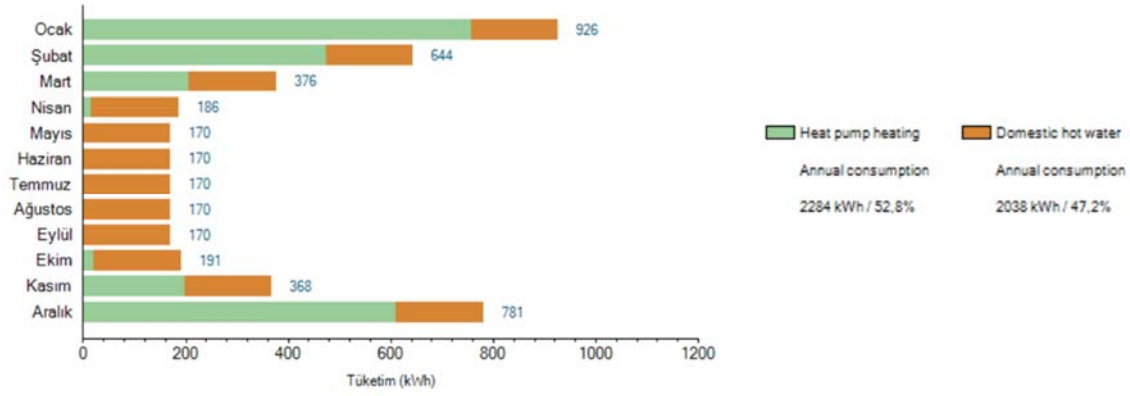


**Şekil 4.** Uşak ilindeki villanın ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin ısıtma kapasitesi

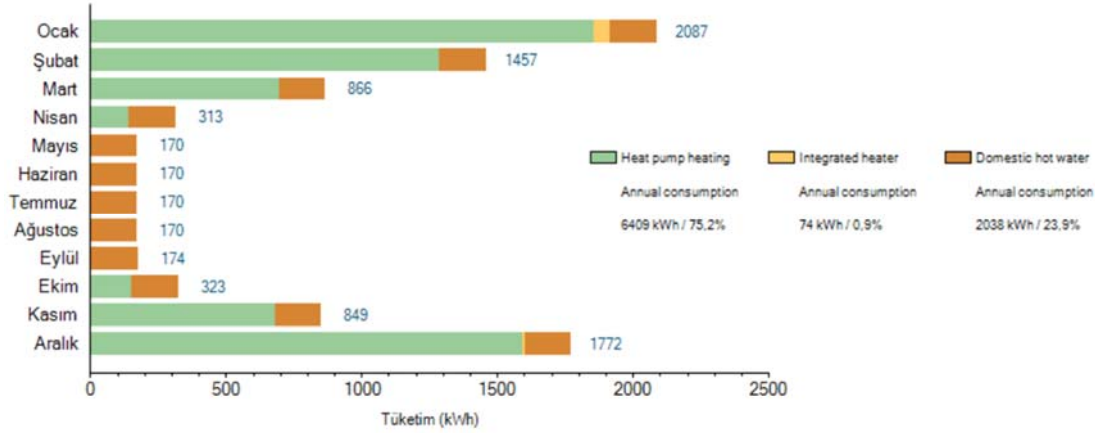
Isı pompalı yerden ısıtma sistemlerinin ay bazında enerji tüketim değerleri incelenen villanın Şekil 5'te Bodrum ilinde, Şekil 6'da Manisa ilinde ve Şekil 7'de Uşak ilinde konumlandırılması durumları için verilmektedir. Isı ihtiyacını karşılamak için sadece villanın Uşak ilinde konumlandırılması durumunda ocak ve aralık aylarında ısı pompasına ek olarak yedek ısıtıcı çalıştırıldığı görülmektedir. Yedek ısıtıcısının ocak ayında 70 kWh ve aralık ayında 4 kWh enerji tükettiği belirlenmiştir. İncelenen şehirler için en yüksek enerji tüketiminin ocak ve aralık aylarında gerçekleştiği görülmektedir. Sıcak su için kullanılan enerji miktarının tüm aylarda aynı olduğu ve yazın ısıtma gerçekleştirilmediğinden enerji tüketimi sadece sıcak su sağlanması için kullanıldığı görülmektedir. Sıcak su kullanımının hesabı için 4 kişilik kullanım ve kişi başına 40 L kullanıldığı dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Sıcak su depolama sıcaklığı 48°C ve soğuk su sıcaklığı 10°C alınarak yapılan simülasyon çalışmalarıyla sıcak su ihtiyacı için aylık 170 kWh enerji tükettiği hesaplanmıştır.



**Şekil 5.** Bodrum ilindeki villanın ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin aylık enerji tüketimi



Şekil 6. Manisa ilindeki villanın ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin aylık enerji tüketimi



Şekil 7. Uşak ilindeki villanın ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin aylık enerji tüketimi

## 2.14. Isıtma Sisteminin Maliyet İncelemesi

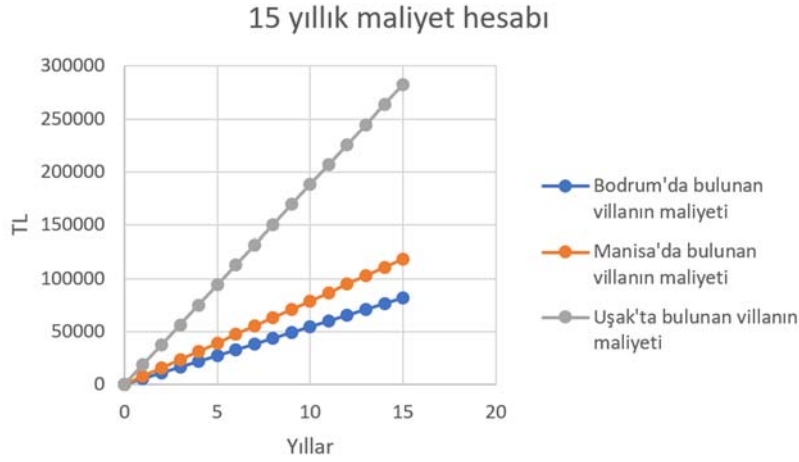
Sistemin maliyet hesaplamalarında 2023 yılının ocak ayının elektrik fiyatları dikkate alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Isı pompalı ısıtma sisteminin maliyetleri 15 yıl için incelenmiştir. Çalışma kapsamında elektriğin maliyeti kWh başına 2,6 TL olarak alınmıştır. Isı pompasının ilk yatırım maliyeti 120.000 TL ve kurulum maliyeti 5.000 TL olarak alınmıştır. İncelenen illerde villanın ısıtma ihtiyacının karşılanmasında ısı pompasının kullanılması durumundaki maliyet değerleri Tablo 15'te verilmektedir.

Tablo 15. İncelenen illerde villanın ısıtma ihtiyacının karşılanmasında ısı pompasının kullanılması durumundaki maliyet değerleri

	Bodrum'daki villanın maliyeti	Manisa'daki villanın maliyeti	Uşak'taki villanın maliyeti
Sistem fiyatı	120.000 TL	120.000 TL	120.000 TL
Kurulum Maliyeti	15.000 TL	15.000 TL	15.000 TL
Yıllık işletme maliyeti	5.440,72 TL	7.900,34 TL	18.819,98 TL
15 yıllık işletme maliyeti	81.610,80 TL	118.505,10 TL	282.299,7 TL
Toplam (TL)	216.610,80	253.505,10	417.299,70

Isı pompalı yerden ısıtma sistemlerinin işletme maliyetlerinin villanın Bodrum, Manisa ve Uşak illerinde konumlandırılması durumları için Şekil 8'de verilmektedir. Kurulacak ısı pompası sistemlerinin aynı bölgede olmalarına rağmen iklim koşullarındaki farklılıklarda dolayı sistem seçimlerinde bu durumların

dikkate alınması gerektiği görülmektedir. İklim koşullarına göre seçimlerin yapılmasıyla performans değerlerinde artışlar sağlanabilmekte ve işletme maliyetleri azaltılabilmektedir.



**Şekil 8.** Bodrum, Manisa ve Uşak illerinde incelen villanın işletme maliyetlerinin karşılaştırması

## SONUÇ

Bu çalışmada, Ege bölgesini temsil eden Bodrum, Manisa ve Uşak illerinde tasarlanan villanın aynı tip ısı pompası kullanılarak ısıtma ihtiyacının karşılanması durumu incelenmiştir. Çalışma kapsamında ısıtma ihtiyacını karşılamak için seçilecek ısı pompası tiplerinin çok önem arz ettiği ve iklim koşullarının dikkate alınarak gerçekleştirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Hava kaynaklı ısı pompasının seçimi esnasında dış ortam şartının ana değişkenlerden bir tanesi olmasına istinaden özellikle bir simülasyon programı kullanılarak, geçmiş dış hava şartlarının ısı pompası seçimine dahil edilmesi önem arz etmektedir. Buna bağlı olarak; sırası ile kış döneminde dış ortam şartları daha iyi olan Bodrum, Manisa ve Uşak illerinde ısı pompasının SCOP (sezonal COP) değerleri düşmektedir, ancak en düşük olan Uşak ilinde dahi ısı pompasının SCOP değeri 4 olarak hesaplanmaktadır. Bu durum dikkate alındığında hava kaynaklı ısı pompalarının performanslarının yüksek olduğu fakat dış iklim koşullarından etkilendiği görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Esen, H., İnallı, M. "Elâzığ İklim Şartlarında Yatay Borulu Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Analizi", Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2003.
- [2] Erdoğan, S., Yılmaz M., Şahin B., Özyurt Ö., "Isı Pompası Sistemin Seçilmesi", Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2006.
- [3] Kıncay, O., Akbulut, U., Ağustos, H., Açıkgöz, Ö., Çetin Ö., "Güneş Enerjisi ve Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Konvansiyonel Sistemlerle Ekonomik Karşılaştırılması", Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2008.
- [4] Çokgez Kuş, A., Çomaklı, K., "Farklı Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Ekonomik Analizi", Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2015.
- [5] Uçkan, İ., Arpacı, E., "Van İklim Şartlarında Su Kaynaklı ve Güneş Enerjisi Destekli Bir Isı Pompası İle Sera Isıtma Simülasyonu", Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 799 – 807, 2020.
- [6] Atmaca, U., "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler", Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2016.
- [7] <https://mgm.gov.tr> (Erişim Tarihi 2022).
- [8] <https://www.ubakus.de/u-wert-rechner/> (Erişim Tarihi 2022)



[9] Isıcam. Isıcam Sistemler K Değerleri. <http://www.seyhancam.com.tr/tr/?i=pages&id=134> (Erişim Tarihi 2022).

## ÖZGEÇMİŞ

### **Batuğhan Rüştü ÖZÇELİK**

2000 yılı Almanya/Worms doğumludur. 2022 yılında Ege Üniversitesinde Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2023 yılında Kaynak Mühendisliği'ni bitirmiştir.

### **Arslan Çağlayan GÜREL**

1983 yılı İzmir doğumludur. 2006 yılı Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimi, 2015 yılında İzmir Yaşar Üniversitesi İşletme Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 2007 – 2014 yılları arasında Baymak Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de sırasıyla; Servis Mühendisi, Ege Bölge Müdürü, Batı Anadolu Satış Müdürü ve Türkiye Projeler Satış Müdürü olarak görev aldı, 2014 yılı itibarıyla de Daikin Isıtma ve Soğutma Sistemleri Sanayi Ticaret A.Ş.'de Ege ve Akdeniz Bölge Müdürü olarak görevini sürdürmektedir. Makine Mühendisleri Odası Şubesi 31. Dönem Yönetim Kurulu üyesi yanı sıra, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD), İklimlendirme Klima İmalatçıları Derneği (İSKİD) ve Mimarlar Odası İzmir Şubesi bünyelerindeki komisyonlarda özellikle ısı pompası ürünleri hakkında çalışmalarını devam ettirmektedir.

### **Özay AKDEMİR**

1975 yılı Ankara doğumlu, evli ve iki çocuk babasıdır. 1997 yılında Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Yüksek Lisans eğitimini 2001 yılında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde ve doktora eğitimini 2007 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde tamamlamıştır. 1998-2007 yılları arasında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2007 yılından beri Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır.