

FARKLI İKLİM KOŞULLARINDA HAVA KAYNAKLI ISI POMPASI İLE YOĞUŞMALI
KOMBİNİN TERMO-EKONOMİK ANALİZİ

Ali Can ÖZEN

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ümran ERÇETİN

Ekim – 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ali Can ÖZEN tarafından hazırlanan “Farklı İklim Koşullarında Hava Kaynaklı Isı Pompası ile Yoğuşmalı Kombinin Termo-Ekonomik Analizi” adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

30/10/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Ramazan KÖSE
Anabilim Dalı Başkanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Ümran ERÇETİN
Danışman, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Sınav Komitesi Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ümran ERÇETİN
Makine Mühendisliği, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Çisil TİMURALP
Makine Mühendisliği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ERBAŞ
Makine Mühendisliği, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi











ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 3 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.



Dr. Öğr. Üyesi Ümran ERÇETİN



Ali Can ÖZEN

FARKLI İKLİM KOŞULLARINDA HAVA KAYNAKLI ISI POMPASI İLE YOĞUŞMALI KOMBİNİN TERMO-EKONOMİK ANALİZİ

Ali Can ÖZEN

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ümran ERÇETİN

ÖZET

İklimsel değişikliklerden ve çevresel faktörlerden dolayı enerji tüketimi konusu günümüzde geçmişe kıyasla daha sıkı denetlenir hale gelmiştir. Temiz ve verimli enerji kullanımının önemi her geçen gün artmakta olup hükümetler bireysel ve endüstriyel enerji tüketiminde yasalar ve kanunlar ile ısıtma, soğutma ve havalandırma alanında ileri teknoloji ürünlerin kullanımını zorunlu hale getirmektedirler.

Bu ileri teknolojik ürünlerin başında çevreye zararlı etkilerinin çok az olduğu ve bireysel ya da kurumsal olarak kullanılabilen yüksek verimli iklimlendirme ürünleri olan ısı pompaları gelmektedir. Hava Kaynaklı Isı Pompaları (H.K.I.P.) bu ürün ağacında montaj kolaylığı ve enerji verimliliği açısından günümüzde en popüler ısı pompası çeşididir.

Bu çalışmada, Budapeşte, Ankara, İstanbul, İzmir ve Erzurum şehirleri için, farklı iklim koşullarında H.K.I.P. (H.K.I.P. verimlilik değerleri dış ortam sıcaklığına direkt olarak bağlı olduğu için) ürünlerinin yeterli verimlilikte çalışıp çalışmadığı incelenmiştir. Bu inceleme yapıldıktan sonra sonuçlar aynı koşullarda yoğuşmalı kombi kullanımı ile kıyaslanmıştır. Bu çalışmada seçilen 99 m²lik apartman için ısı gereksinimi üzerinden toplam harcanan enerji miktarı hesaplanmıştır. Şehirler için toplam ısıtma saatleri, ısıtma eğrileri çizilerek sunulmuştur. Isı pompasının (COP) ve kombinin verimlilik değerleri Türkiye’de ve Macaristan’da da bilinen, dünya çapında önde gelen bir firmadan alınmıştır.

Ayrıca yıllık toplam harcanan enerjiyi ilk yatırım harcamaları ile birleştirerek ekonomik yönden de değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ankara, Budapeşte, Enerji Maliyeti, Erzurum, Hava Kaynaklı Isı Pompası, Isı Pompası, İstanbul, İzmir, SCOP, Verimlilik, Yoğuşmalı Kombi.

THERMO-ECONOMIC ANALYSIS OF AIR SOURCED HEAT PUMP VERSUS CONDENSING BOILER IN DIFFERENT CLIMATE CONDITIONS

Ali Can ÖZEN

Mechanical Engineering, M. Sc. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Dr. Ümran ERÇETİN

SUMMARY

Due to environmental changes, energy consumptions' policies are needed to be more strict than past. Clean and efficient energy usage gain much more importance and governments start putting regulations to push both residential and industrial sectors to use high technology products to heat/cool /ventilate the closed areas.

Heat pumps are one of the brand new technology which can lower harmful outcomes from residential/industrial heating to the environment with effective energy usage. Air Source Heat Pumps are the most popular heat pump systems, in use, in these days due to low installation costs and environmental friendly way of heating.

In this paper, five cities –Budapest, Ankara, Istanbul, Izmir and Erzurum, are compared according to weather conditions (since ASHP-Air Source Heat Pumps' efficiency depends on outdoor temperature directly) if it is efficient enough to use the ASHP or not. For doing this, The Heat Pump system is compared with using condensing boiler in same conditions. For this case study, the heat demand of 99 m² apartment is calculated and COP values of the ASHP is collected from one of the well-known heating manufacturer.

Also economical perspective of the usage of ASHP is discussed by considering the initial costs of the products and are calculated return on investment.

Keywords: Air Source Heat Pumps, Ankara, Budapest, Condensing Boilers, Efficiency, Energy Cost, Erzurum, Heat Pumps, Istanbul, Izmir, SCOP.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında kapıları her zaman bana açık olan ve telefon, e-posta ya da yüz yüze görüşerek desteklerini benden hiçbir zaman esgirmeyen öncelikle tez danışmanım Sayın Dr. Ümran Erçetin'e (Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü) ve Sayın Dr. Csoknyai Tamás'a (Budapeşte Teknoloji ve Ekonomi Üniversitesi, Bina Servis ve Proses Mühendisliği Departmanı Bölüm Başkanı) değerli yardımları için çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmada güvenilir ve doğru veri toplamamda yardımcı olan;

Sayın Norbert Fördös – Proje Müdürü, Vaillant Group, Budapeşte Ofisi,

Sayın Dr. Peter Paal – Ülke Direktörü at Vaillant Group, Budapeşte Ofisi,

Sayın Amer Oudeh, Mr. Rodrigo Faria, Mr. Karl Gutbrod – Meteoblue AG,

Sayın Selim Ergün – Ergün Isıtma Soğutma, Ankara,

Sayın Turan Amcaoğlu – Proje Lideri, Vaillant Group, Bozüyük Fabrikası,

Sayın Tolga Yılmaz – Ürün Geliştirme Mühendisi, Vaillant Group, Bozüyük Fabrikası,

Sayın Yalçın Kıranlı – SAP Uzmanı, Vaillant Group, Bozüyük Fabrikası,

Sizlerin de değerli yardımları olmadan bu çalışmayı bitirebilmem mümkün değildi. Dolayısıyla sizlere de ayrı ayrı teşekkür ederim.

Son olarak, aileme ve arkadaşlarım; Harun, Melanie, Emma ve Murat'a bana bu yoğun çalışma döneminde gösterdikleri sabır ve değerli yardımları için teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. ISI POMPALARI VE KOMBİLER.....	7
3.1. Isı Pompaları	7
3.1.1. Isı pompalarının çeşitleri.....	8
3.1.2. Hava kaynaklı ısı pompasının çalışma prensibi	9
3.1.3. Isı pompalarının ısıtma-soğutma sistemlerine kıyasla avantajları ve dezavantajları.....	10
3.1.4. Isı pompalarının dünya'daki geleceği ve pazar payı.....	13
3.2. Kombiler	15
3.2.1. Kombilerin çeşitleri.....	16
3.2.2. Yoğuşmalı kombi çalışma prensibi	17
4. TERMO-EKONOMİK ANALİZ	19
4.1. Araştırma için Seçilen Ürün Bilgileri.....	19
4.1.1. Isı pompası	19
4.1.2. Yoğuşmalı kombi	20
4.2. Türkiye ve Macaristan için Hava Sıcaklık Değerleri	20
4.3. Genel Varsayımlar	26
4.4. Isı Pompasının Yıllık Ortalama Verim Katsayısının (SCOP) Hesaplanması	26
4.5. Yoğuşmalı Kombi için Yıllık Verim Değerini Hesaplama	30
4.6. Seçilen Apartman için Yıllık Enerji Tüketimini Hesaplama	32
4.7. Seçilen Ürünlerin İlk Yatırım ve Yıllık Enerji Tüketim Maliyetleri	38
4.8. Kısıtlamalar.....	39
5. SONUÇLAR	41

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	45
ÖZGEÇMİŞ	



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Carnot çevrimi, HFC-134a.....	10
3.2. Premix eşanjörlü yoğuşmalı kombi detay görünümü.....	18
4.1. Budapeşte sıcaklık – ısıtma saati eğrisi.....	23
4.2. Ankara sıcaklık - ısıtma saati eğrisi	24
4.3. İstanbul sıcaklık - ısıtma saati eğrisi	24
4.4. İzmir sıcaklık - ısıtma saati eğrisi	25
4.5. Erzurum sıcaklık - ısıtma saati eğrisi	25
4.6. Yoğuşmalı kombi - verimlilik ve dış ortam sıcaklık eğrisi	31

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Isı pompasının enerji tüketim değerlerinin diğer enerji kaynakları ile karşılaştırılması	11
4.1. Farklı yerler için toplam ısıtma saatleri	21
4.2. aroTHERM 105/5 AS ürünü COP değerleri (72 rps 30/35 °C)	28
4.3. Şehirler için SCOP değerleri	29
4.4. EcoTEC plus 156/5-5 ürünü verimlilik değerleri	30
4.5. Şehirler için yıllık verimlilik değerleri	31
4.6. Budapeşte için ısı pompası ve yoğuşmalı kombi enerji tüketim değerleri	33
4.7. Ankara için ısı pompası ve yoğuşmalı kombi enerji tüketim değerleri	34
4.8. İzmir için ısı pompası ve yoğuşmalı kombi enerji tüketim değerleri	35
4.9. İstanbul için ısı pompası ve yoğuşmalı kombi enerji tüketim değerleri	35
4.10. Erzurum için ısı pompası ve yoğuşmalı kombi enerji tüketim değerleri	36
4.11. Isı pompasının toplam enerji maliyeti	38
4.12. Yoğuşmalı kombinin toplam enerji maliyeti	38
4.13. Ürün birim fiyatı ve montaj maliyeti	39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AS	Air-split
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği
COP	Coefficient of Performance – Performans Katsayısı
ERP	Energy Related Products - Enerji İlişkili Ürünler
EU28	28 Avrupa Birliği Ülkesi
H.K.I.P.	Hava Kaynaklı Isı Pompası
Mtoe	Ton eşdeğer petrol
RPS	Rotate per Second - Saniyedeki Devir Sayısı
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance – Dönemsel Performans Katsayısı
S.K.I.P.	Su Kaynaklı Isı Pompası
SPF	Seasonal Performance Factor – Dönemsel Performans Faktörü
T.K.I.P.	Toprak Kaynaklı Isı Pompası

1. GİRİŞ

Bugünlerde enerji tüketimi ve çevre kirliliği konularının popüler hale gelmesi sebebiyle enerji harcayan cihazların verimliliği birçok ülkede önemli bir konu haline gelmekle kalmayıp bu cihazlara kanunlar ile düzenlemeler getirilmeye başlanmıştır. Enerji kullanımında tasarruf ve düşük karbon salınımı, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik konularından dolayı kritik konumdadır (Kahraman ve Çelebi, 2009). İnsan konforu için gerekli olan ısıtma/sıcak su tedariki bu sektördeki dördüncü en büyük enerji tüketimine sahiptir. Bu da gelişen endüstriyel dünyada, enerji tüketiminin hızla yükselmesi anlamına gelmektedir. Enerji gereksinimlerimiz her geçen gün arttığı için bu soruna hızlı, yeterli ve verimli bir şekilde cevap verilmesi zorunlu hale gelmiştir (Hepbaslı ve Kalinci, 2009). Bu problemi çözmek amacıyla aynı seviyede elektrik enerjisi harcarak daha fazla ısı üretmek için buhar sıkıştırımlı ısıtma çevrimlerini kullanılarak daha düşük bütçe ile daha efektif enerji üretimi ön plana çıkmıştır (Belo, 2013).

Yerleşimlerde kullanılan enerjinin yaklaşık yüzde 60'lık kısmı, su ve mekân ısıtmasında kullanılmaktadır. Bu yüzden enerji tasarrufu konusu, iklimsel etkilerin ön planda olduğu bir konudur. Konutlarda enerji tüketimini ve CO₂ gibi sera gazları salınımını azaltmak için ısı pompaları özellikle de Hava Kaynaklı Isı Pompalarının (H.K.I.P.) kullanımı günümüzde dikkate alınan önemli bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu ısı pompaları emisyon değerlerini düşürmek ile kalmayıp uzun dönemde aile bütçesine katkıda da bulunabilmektedir (Tabatabaei ve Treur, 2016).

Fosil yakıtlar kullanılarak elde edilen ısı enerjisi ile kıyaslandığında, çok düşük karbon salınımı yapan ısı pompaları evlerde ısıtma sistemi ve sıcak su sağlamak amacı ile alternatif olarak düşünülmektedir. Bir çok örnekte, ısı pompaları güneş paneli ya da elektrikli ısıtıcı gibi diğer sistemlerle birleştirilerek binaların ısı ihtiyaçlarının karşılanması ve karbon emisyonunun minimize edilmesi planlanmaktadır (Steijger vd., 2010).

Isı pompaları, ne kadar yüksek verimli ısıtma-soğutma sistemleri olarak tanınsada, sistemin performansı sistemde kullanılan termal kaynağın özelliklerine çok bağlıdır (Kahraman ve Çelebi, 2009). Bu çalışmada Hava Kaynaklı Isı Pompası kullanılmıştır. Genel olarak kurulum kolaylığı ve diğer avantajlarından dolayı en çok tercih edilen ısı pompası çeşidi olsa da, hava kaynaklı ısı pompalarının çalışması dış ortam sıcaklığına direkt olarak bağlıdır. Karasal iklimde kullanılan hava kaynaklı ısı pompaları, soğuk iklim dolayısı ile verimli bir şekilde çalışamayabilir (Kahraman ve Çelebi, 2009). Yapılmış olan bu çalışma müstakil binalar ve apartmanlar için olup, EU28 bölgesindeki % 66'lık bir kısmı kapsamaktadır (Scoccia vd.,

2018). İklim şartları önemli bir değişken olarak kabul edilip verimlilik hesabında direkt olarak dikkate alınmış, hava kaynaklı ısı pompası değerleri ile yoğuşmalı kombi değerleri, enerji kullanımı açısından kıyaslanmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tüm elektrikli kombiler ve hava kaynaklı ısı pompaları elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Ancak ısı pompalarında harcanan kWh başına üretilen ısı, kombilere göre daha yüksektir. Bu yüzden finansal olarak kullanıcılar, ısıtma için kullandıkları cihazları hava kaynaklı ısı pompları ile değiştirmeyi göz önünde bulundurmaya başlamışlardır. Önceden yapılan bir çalışmada bu ürün değişimlerinin çevresel yönden etkileri araştırılmıştır. Kombilerin hava kaynaklı ısı pompaları ile değişiminde yaşam döngüsü değerlendirmesi için 11 farklı parametre ve 3 farklı ısıtma türü (düşük ısı radyatörleri, geleneksel radyatörler ve yerden ısıtma sistemi) incelenmiştir. Araştırmada değişim sonrası enerji tasarrufu bariz bir şekilde gözlemlenmiştir. Araştırma sonunda hava kaynaklı ısı pompası ve yerden ısıtma sistemi ile 10 yıllık yaşam döngüsü içerisinde çevresel etkilerin kendisini dengeleyebildiği ortaya çıkmıştır. Diğer ısıtma türlerinde bu zaman 33% ve 45% aralığında daha uzun sürse de çevresel etkilerin dengelenebileceği belirtilmiştir (Latorre-Biel vd., 2018).

Yapılan tahminlere göre ısı pompalarının ısıtma ve sıcak su tedariği için kullanımının Avrupa Birliği ülkelerinde 2020'ye kadar önemli bir miktarda yükselmesi beklenmektedir. Özellikle AB'nin yanısıra Çin ve Japonya'da da H.K.I.P. ürünleri, harcadığı elektrikten daha fazla ısı ürettiği için yenilenebilir enerji sistemleri kategorisine alınmıştır (Latorre-Biel vd., 2018).

Araştırmalarda dikkate alınan bir diğer faktör ise H.K.I.P.'lerinin ısıtmanın yanısıra yerleşimleri soğutmak için de kullanılabildiği için avantajlı konumda oldukları söylenmiştir. Çünkü kombilerin kullanıldığı yerleşkelerde soğutma için ilave bir cihaza da ihtiyaç duyulmaktadır (Latorre-Biel vd., 2018).

Isı pompalarında kullanılan akışkanın da ürünün kullanıldığı yer ile bağlantılı olarak performans değerlerini etkilediği bilinmektedir. Bir diğer araştırmada soğuk iklimlerde ısıtma ve sıcak su üretimini sağlamak için tek ve çift aşamalı H.K.I.P. ve Toprak kaynaklı ısı pompaları (T.K.I.P) değerlendirilmiştir. Bu sistemlerin soğuk iklim koşullarında performansları simüle edilmiştir. Çalışmada ısı pomplarının farklı dış ortam sıcaklıklarındaki performansları araştırılmıştır. Sistemde akışkan olarak $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, $\text{NH}_3\text{-LiNO}_3$ ve $\text{NH}_3\text{-NaSCN}$ kullanılmıştır. Araştırma sonucunda $\text{NH}_3\text{-LiNO}_3$ kullanan ısı pompasının aynı çevrimde daha düşük dış ortam sıcaklıklarında performans değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca çift aşamalı ısı pomplarının düşük sıcaklıklarda sıcak su üretiminde daha avantajlı konumda olduğu hesaplanmıştır (Wu vd., 2012).

H.K.I.P. ürünleri kaskad olarak çalıştırıldığında düşük dış ortam sıcaklıklarında sistemin ortam ısıtma ve sıcak su tedarikinde daha verimli çalıştığı görülmüştür. Yapılan bir diğer araştırmaya göre kaskad sistemler doğalgaz ile çalışan kombilerle kıyaslandığında, çalışma maliyetleri açısından avantaj sağlayamada CO₂ salınımı 14% ile 57% arasında azalmaktadır (Lea vd., 2019).

Fosil yakıt tüketen ısıtma sistemlerinin hava kaynaklı ısı pompası sistemleriyle değiştirilmesi ve binalarda kullanımı günümüzde ön planda bulunmaktadır. Bununla birlikte karbon ayak izi göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarının karbon salınımını azaltmak için daha fazla kullanılması gerektiği araştırma sonuçlarında ortaya çıkmıştır. Avrupa Birliğinde toplam karbon emisyonunun % 40'a yakın kısmının yerleşke ısıtma ve sıcak su tedarikinden kaynaklandığı hesaplanmıştır. Ayrıca bu salınımın % 88'lik kısmının ise fosil yakıtların tüketiminden kaynaklandığı belirtilmiştir. Yapılan araştırmalarla birlikte 2050 yılına kadar sera gazı salınımının 1900 yıllarına kıyasla % 80 oranında düşürülmesi planlanmaktadır. Bu yüzden araştırmacılar ve karar verici kurumlar ısı pompalarına odaklanmışlardır (Lea vd., 2019).

Bir diğer çalışmada Türkiye Adapazarı ilinde bulunan 2031 MW güce sahip doğalgaz çevrim santralının yoğunlaşma ünitesinin atık ısısından yararlanılıp ilave ısı pompası tasarımı ile konutların ısıtılması için kombi sistemleri ile maliyet kapsamında karşılaştırılmıştır. Yapılan birim maliyet analizinde; ilk önce ısı pompası sisteminin, yatırım maliyeti, işletme bakım maliyeti, elektrik maliyeti belirlenmiştir. Sonrasında doğalgaz ile çalışan kombi sistemi için birim maliyet analizi yapılmıştır. Isı pompası için yapılan ekonomik birim maliyet analizi ile konut ısıtmasında kullanımının avantajlı durumda olup olmadığı araştırılmıştır. Doğalgaz ile çalışan kombiler ısı pompası ile karşılaştırıldığında, ısı pompasının yoğunlaştırıcısının sıcaklığına bağlı olarak ısı pompasının performans değerleri değiştiği için maliyet değerleri de değişiklik göstermektedir. Isı pompası için birim maliyet 0.007449 \$/kWh'dan başlayarak 0.05553 \$/kWh'a kadar artış göstermektedir. Yoğuşturucu sıcaklığı 60 °C iken ısı pompası avantajlı durumdayken, bu sıcaklık 100 °C'ye yükseltildiğinde kombinin ısıtma birim maliyeti ile ısı pompasının ısıtma birim maliyeti eşit duruma gelmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda kombi sistemleri daha avantajlı hale gelmektedir (Kaya, 2009).

Isı pompalarının konut ısıtılmasında kullanılması ekonomik olarak kazanç sağlamakla birlikte çevre kirliliğini azalttığı için diğer ısıtma sistemlerine göre daha gözde hale gelmiştir. Atık ısının değerlendirilmesi, ısı pompalarının güvenilirliğinin yüksek olması ve bakım maliyetlerinin az olması, diğer sistemlere göre avantajları olarak sayılabilir. Ayrıca uzun ömürlü

ürünler olarak düşük yüklerde bile yüksek verimde çalışması, gelecekte ısı pompalarının sektörde önemli rol oynayacağını göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ısı pomplarında kullanılabilmesi ısı pompalarını diğer sistemlere göre daha avantajlı hale getirmektedir. Örneğin; hava, su, düşük sıcaklıklı jeotermal sular, deniz suyu, göller, güneş enerjisi gibi kaynaklar ısı pompaları için enerji kaynağı olarak kullanılabilir (Kaya, 2009).

Türkiye’de de diğer ülkelerde olduğu gibi ısıtma sektöründe başlıca iki problemden bahsedilebilir. Enerji tüketiminde kullanılan fosil yakıtların azalmasıyla birlikte artan/artacak fiyatların maliyet sorunu yaratması ve diğer çalışmalarda da bahsedilen tüketim sonrasında çıkacak olan CO₂ emisyonunun çevre kirliliği oluşturmasıdır. Bu olumsuzluklardan dolayı yenilenebilir enerji kaynakları gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Ülkemizde yapılan bir diğer çalışmada hava-hava, hava-su, su-su ve su-hava kaynağı olarak çalışan dört farklı ısı pompası için ekonomik analiz yapılmıştır. COP değerleri kıyaslanıp buna bağlı olarak elektrik maliyetleri hesaplanmıştır. Geri Ödeme Süresi Metodu ve Net Bugünkü Değer Metodu gibi ekonomik analizlerle yapılan hesaplamalarda ısı pompalarının hem verimlilik hem de ekonomik yönden elektrikli ısıtıcılara göre daha iyi sonuçlara sahip olduğu ortaya çıkmıştır (Çokgez ve Çomaklı, 2015).

T.K.I.P.’ları da araştırmalarda ön plana çıkan bir diğer ısı pompası türüdür. Bu sistemlerin de ısıtma soğutma alanından kaynaklı çevresel etkileri ve maliyeti azalttığı araştırmalarla kanıtlanmıştır. Bu sistemlerin kurulum maliyetleri çok yüksek olduğu için ancak uzun dönemde ekonomik kazanç sağlayabilmektedirler. Bir diğer çalışmada enerji tüketimi Avrupada’ki altı farklı şehirde üç farklı yerleşim tarzı konut, ofis ve otel olarak incelenmiştir. Araştırmada maksimum ısıtma gerektiren zamanlar ve yıllık ısı ihtiyacı göz önünde bulundurulduğunda, İtalya’da ısıtma için harcanan her euro için CO₂ emisyonunun 216 g CO₂/yıllık değerine kadar düşülebildiği gözlenmiştir. Ancak yapılan yatırım maliyetinin geri dönüşümünün 8 ile 20 yıl arasında değişmesi bu sistemler için dezavantaj oluşturmaktadır. Ancak araştırmacılar gerekli vergi düzenlemeleri ile kullanıcıların temiz enerji kullanımına teşvikinin sağlanabileceğini belirtmişlerdir (Rivoire vd., 2018).

Ayrıca termal yalıtımın iyi olması, 1950’li yıllar ile kıyaslandığında enerji tüketimini 50–70% azaltabildiği ve ısıtma ihtiyacını 70–90% aralığında düşürebildiği gözlenmiştir. Ofis binaları da uzun zaman kullanım dışında bulunan yerler olduğu için akıllı sistemler ile % 30–130 arasında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Bunun yanı sıra otellerde tam tersi olarak farklı zamanlarda farklı oranlarda ısı ihtiyacı meydana gelebilmektedir. Bu durumda ise ısı

pomplarının yıllık çalışma maliyetleri artabilmektedir. Farklı bina çeşitleri ve farklı iklim koşulları, ısı pompalarının hangi durumlarda kullanıma elverişli olduğunu gözlemleyebilmek için önemli bir araştırma konusu olmuştur (Rivoire vd., 2018).



3. ISI POMPALARI VE KOMBİLER

Isı pompaları ve kombiler genel olarak sıcak su tedariki ve ısıtma imkanı sağlayan ürünlerdir. Isı pompalarının temel parçaları klima sistemleri ile olup sadece çalışma amaçları farklıdır. Isı pompaları a kompresör, kondansör, evaporatör ve genleşme valfinden oluşur. Isı pompaları kullandıkları enerji kaynaklarına bağlı olarak;

- Hava Kaynaklı Isı Pompaları
- Toprak Kaynaklı Isı Pompaları
- Su Kaynaklı Isı Pompaları

Isıtma amacı ile kullanılan kat kaloriferi ile ani sıcak kullanım suyu sağlayan şofbenin işlevlerini bir arada yapan (kombine) ürünler kombi olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde kullanılan kombiler;

- Atık gaz atılmasına göre;
- Bacalı Kombiler
- Hermetik Kombiler
- Ürünün içindeki eşanjör adedine göre;
- Bitermik Kombiler
- Monotermik Kombiler
- Ürünün baca gazındaki ısıdan yararlanmasına göre;
- Konvansiyonel Kombiler
- Yoğuşmalı Kombiler

olarak gruplara ayrılırlar.

3.1. Isı Pompaları

Isı pompaları iki ortam arasındaki sıcaklık farkından yararlanarak ısı enerjisini bir ortamdan başka bir ortama taşımaya sağlayan, yüksek verimli, son teknoloji ürünlerdir. Isı pompaları, çalışma prensibi klima sistemlerine benzer olup, temeli Carnot çevrimine dayanan elektrik ile çalışan sistemlerdir. Verimleri çok yüksek sistemler olan ısı pompaları ayrıca kaynak olarak yenilenebilir enerji kaynaklarını kullandıkları için son zamanlarda ısıtma ve soğutma sistemi olarak bir çok yerde kullanılmaya başlanmıştır.

3.1.1. Isı pompalarının çeşitleri

Hava kaynaklı ısı pompaları

H.K.I.P. sistemleri dış ortam havasını enerji kaynağı olarak kullanıp ısıtma ya da soğutma sağlayan ürünlerdir. Günümüzde en çok kullanılan ısı pompası çeşidi olup, bu çalışmada da bir H.K.I.P. ürünü seçilmiştir. Seçilen sistem ve çalışma prensibi sonraki bölümlerde açıklanacaktır. Montaj kolaylığı ve yüksek verimi (dış ortam sıcaklığının çok soğuk olmadığı durumlarda) sebebiyle tercih edilen ısı pompası çeşididir.

Toprak kaynaklı ısı pompaları

Bir diğer önde gelen ısı pompası çeşitlerinden olan T.K.I.P., iki temel sistem altında açıklanabilir. Bunlar;

- Kapalı Devre Sistemler
- Açık Devre Sistemler

Kapalı devre sistem olarak çalışan T.K.I.P.'lerinde toprağa gömülü halde olan ısı eşanjörü içerisinde bulunan soğutucu akışkan hiç bir zaman toprak ile temas halinde değildir. Açık devre sistemlerde, jeotermal sıvı sistem içerisinde dolaşan akışkan olarak kullanılır ve bu sıvı yeraltı suyu olarak toprak altından temin edilir. Açık devre sistemde çevrim tamamlandığında sıvı enjeksiyon kuyusuna geri döner (Perko vd., 2011).

Kapalı ya da açık sistemler dikey ve yatay sistemler olarak kullanılabilirler. Yatay sistemlerin dezavantajı yeraltı sıcaklığının farklı yerlerde değişkenlik göstermesidir. Isıtması yapılacak binanın inşaatında bu sistemin kullanılıp kullanılmayacağına karar verilip, ona göre yeterli alan boş bırakılmalıdır. Ancak T.K.I.P.'ları arasında yatay sistemler dikey sistemlere göre daha ucuz maliyetli sistemlerdir. Ancak açık sistemli dikey T.K.I.P.'ları daha verimli çalışabilmektedirler. 15 metre derinliğinde kuyu kazımı hariç ürün maliyeti diğer sistemlere kıyaslandığında çok pahalı değildir ve yer altı suyunun termal ısını kullanarak çevresel etkileri daha aza indirmektedir (Perko vd., 2011).

Su kaynaklı ısı pompaları

Su kaynaklı ısı pompaları (S.K.I.P) yerleşke çevresindeki gölleri, nehirleri ya da yeraltı sularını enerji kaynağı olarak kullanan sistemlerdir. Yeraltı sularının sıcaklığı yıl boyunca çok az değiştiği için daha kararlı bir ısıtma ya da soğutma gerçekleştirilebilir. Daha çok günümüzde

sanayi uygulamalarında kullanılan bu sistemler su kaynağına yakın olması gerekliliğinden uygulama alanları kısıtlı olabilmektedir.

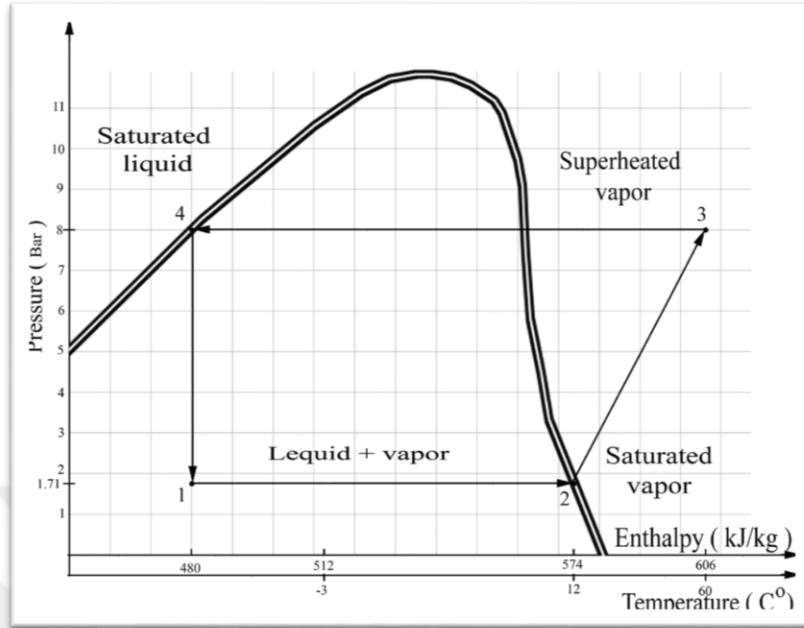
3.1.2. Hava kaynaklı ısı pompasının çalışma prensibi

Hava Kaynaklı ısı pompaları, dış ortamın sıcaklığı ile iç ortamın sıcaklığı arasındaki farktan yararlanarak çalışmaktadır. Aradaki sıcaklık farkı fazla olduğunda enerji transferi daha hızlı gerçekleşmektedir (Perko vd., 2011).

Isı pompasının temel olarak çalışma prensibi aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Buharlaşma aşamasında soğutucu akışkan bulunduğu ortamdan ısı çekerek buharlaşmaya başlar ve tamamen buhar veya kızgın buhar olarak kompresöre girer.
- Kompresöre giren buhar burada sıkıştırılarak basıncı ve sıcaklığı artar ve akışkan kızgın buhar durumundadır.
- Sıkıştırma işleminden sonra yoğuşma (kondansör) işleminde ise kızgın buhar durumundaki akışkan, ısısının bir miktarını başka bir ortama (örneğin eşanjör ile başka bir sıvıya) aktarırken aynı zamanda yoğuşmaya başlar. Tamamen yoğuşan akışkan artık sıvı fazdadır.
- Yoğuşma sonrası sıvı fazda genişleme valfine giren akışkanın burada basıncı ve sıcaklığı düşer ve sonrasında akışkan buharlaştırıcıya gönderilir.
- Sıvı buhar karışımı olarak buharlaştırıcı giren akışkan burada tekrar ısı almaya devam ederken sistem bu şekilde çalışmaya devam eder.

Isıtma amaçlı kullanımda, topraktaki ya da havadaki termal enerji su-antifriz karışımına gönderildikten sonra ısı eşanjörü olarak görev yapan evaporatördeki akışkana (örn. HFC-134a) transfer edilir. Bu işlem Şekil 3.1'deki 1. ve 2. noktaları arasında gösterilmektedir. Buradaki akışkan, yaklaşık 12 °C sıcaklığına ulaştığında kompresöre gidip sıcaklığını yaklaşık olarak 12 °C'den 60 °C'ye, basıncını ise 1.71 bar'dan 8 bar'a yükseltir. Bu işlem de Şekil 3.1'deki 2. ve 3. noktalar arasında gösterilmektedir. Bu aşamada akışkan, ikinci ısı eşanjörü (kondansör) ile karşılaşarak taşıdığı yüksek ısıyı iç ortam sıcaklığını yükseltmek üzere çalışan sıvıya (suya) transfer eder. Sonrasında genişleme valfinden, Şekil 3.1'de gösterilen 4. ve 1. noktalar arasından geçerek basıncını başlangıç seviyesindeki 1.71 bar'a düşürerek döngüyü tekrarlamak üzere bitirir (Perko vd., 2011).



Şekil 3.1. Carnot çevrimi, HFC-134a.

Daha önce söylendiği gibi ısı pompaları, termal enerjiyi çevreden (su, hava, toprak vb.) alıp su ve ortam ısıtması için kullanılmaktadır. Bu ısı ihtiyacını karşılamak için ısı pompaları elektrik enerjisini kullanıp verimli bir şekilde enerji dönüşümü yapmaktadır. Ancak bu elektrik kullanımı ortaya çıkan ısının sadece belirli bir kısmıdır. Hava kaynaklı ısı pompaları (havadaki sıcaklık farklılığından yararlanarak çalışan ısı pompaları) soğuk iklim koşullarında daha düşük verimlilikte çalışmaktadır (Tabatabaei ve Treur, 2016).

Bir çok H.K.I.P. $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ilave ısıtıcıya gerek kalmadan binaların ısı ihtiyaçlarını karşılayıp güvenli bir şekilde çalıştırılabilmektedir. Ayrıca bir çok iklim için düşük hava sıcaklıkları sadece kısa bir dönemi kapsadığı için yıllık COP (SCOP) değerleri yüksek olarak çalışabilmektedir. H.K.I.P. ürünlerinin COP değerleri ortalama 3.5 – 4.0 olarak optimum kompresör hızında 7.0'dan fazla olmayacak bir şekilde çalışmaktadır. Bu sebeple H.K.I.P. ürünleri tasarlanıp projelerde kullanıldığında binanın anlık tüm ısı ihtiyacını karşılayamayabilir. Bu durumlarda ilave ısıtıcı bir sisteme ihtiyaç duyulabilir (Liu vd., 2017).

3.1.3. Isı pompalarının ısıtma-soğutma sistemlerine kıyasla avantajları ve dezavantajları

Genel olarak ısıtma sistemleri su gidiş ve geliş sıcaklıkları $30\text{-}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ veya $60\text{-}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak çalışmaktadırlar. $60\text{-}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ çalışan sistemlerde kullanım sıcak su tedarikinin yaklaşık %

60'lık kısmı elektrikli ısıtıcılarla kalan kısmı ise gaz ve diğer yakıt türleri ile sağlanmaktadır (Zhang vd., 2006).

Isı pompaları dışında bilindiği üzere, alternatif enerji kaynakları kullanan farklı ısıtma sistemleri sektörde mevcut olarak bulunmaktadır. Bu enerji kaynaklarının kullanımı; tedarik etme, depolama, kontrol ve atık yönetimi açısından birim enerji maliyetleri zorluklarına bağlı olarak farklı olabilir. Kahraman ve arkadaşının 2009'da yayınlanan "*Investigation of the Performance of a Heat Pump Using Waste Water as a Heat Source*" adlı makalesinde aşağıdaki Çizelgede gösterildiği gibi ısı pompaları daha iyi COP değerleri ile en düşük enerji birim maliyetine sahiptir (Kahraman ve Çelebi, 2009).

Çizelge 3.1. Isı pompasının enerji tüketim değerlerinin diğer enerji kaynakları ile karşılaştırılması (Kahraman ve Çelebi, 2009).

Enerji Kaynağı	Alt Isıl Değeri	Birim Fiyat	Verim ya da COP _{ısıtma}	Birim Fiyat (Euro/MJ)	Sıralama
Isı Pompası	3598.24 kJ/kWh	0.1108 Euro/kWh	2,61	0.0118	1
Doğalgaz	34518 kJ/m ³	0.406 Euro/m ³	0.91	0.0129	2
Linyit Kömürü	18773.61 kJ/kg	0.149 Euro/kg	0.60	0.0133	3
İthal Kömür	29288 kJ/kg	0.281 Euro/kg	0.65	0.0147	4
Akaryakıt	41317 kJ/kg	0.668 Euro/kg	0.80	0.0202	5
Elektrik	3598.24 kJ/kWh	0.1108 Euro/kWh	0.99	0.0311	6
LPG (Propan)	46442.4 kJ/kg	1.394 Euro/kg	0.92	0.0326	7
Dizel Yakıt	42911 kJ/kg	1.185 Euro/kg	0.84	0.0329	8

Guo vd. (2011)'in Şangay iklim koşullarını hesaba katarak yaptıkları H.K.I.P. ürün tasarımı optimizasyonu çalışmasına göre, ısı pompalarının ısıtma kapasitesi kış aylarında düşerken su giriş sıcaklığı yükselmekte, yaz aylarında ise bu durumun tam tersinin meydana geldiğini açıklamıştır. Bu durum, yoğunlaştırıcı içerisindeki entalpi farkının ısı transferinden daha fazla olmasına kadar devam etmekte olduğunu bildirmişlerdir (Guo vd., 2011).

Sljivac ve arkadaşları ısı pompalarının ısıtma ihtiyacını karşılamak için hava, toprak ve yeraltı sularını kullanarak enerji transferi yapabildiklerini, toprak ve yeraltı sularını kullanan ısı pompalarının yıl boyunca daha kararlı sıcaklık değerli gösterdikleri için, hava kaynaklı ısı pompalarına göre daha kararlı enerji kullanımı sağladıklarını belirtmişlerdir (Sljivac ve Simic, 2008).

Fardoun ve arkadaşları, H.K.I.P. ürünlerinin Carnot çevrimini kullanarak düşük sıcaklıktaki havayı alarak daha yüksek sıcaklıkta bulunan su ile ısı transferinin yapılmasını sağladığını, ayrıca kullanılan enerjinin yalnızca yaklaşık % 30'luk kısmının sistemde mekanik enerji olarak kullanıldığını açıklamışlardır (Fardoun vd., 2011).

Steijger ve arkadaşları, H.K.I.P. ürünlerinin COP değerlerinin dış ortam sıcaklığına direkt bağlı olarak değişmesinin bu ürünlerin dezavantajı olsa da, ilk yatırım maliyetleri, montaj maliyetleri ve montaj süreleri açısından diğer ısı pompası sistemlerinden daha avantajlı olduğunu, havada bulunan nemin sistem çalışırken soğuk havalarda ürün içerisinde donmaya sebebiyet verebileceğini, bundan dolayı kış aylarında dış ortamda yüksek miktarda nem bulunuyorsa, H.K.I.P. ürünlerinin zaman zaman ters çevrimde çalıştırılarak soğuk havalarda donmaya karşı korunması gerektiğini yani nemli soğuk havalarda bu sistemlerin tedbirli olarak çalıştırılması gerektiğini belirtmiştir (Steijger vd., 2010).

Naldi ve arkadaşları, H.K.I.P. ürünlerinin eski binalarda başka sistemler yerine kolay ve ucuz bir şekilde montaj edilip kullanılabildiğini, fakat ısı pompasının performans değerlerinin ısıtma sezonunda sürekli değişkenlik gösterdiği için karar verilmeden önce çok iyi değerlendirilmesi gerektiğini, tüm bu parametreler göz önünde bulundurulduğunda ısı pompasının tasarımı ve kapasitesinin daha iyi verim alabilmek için çok önem arz ettiğini, H.K.I.P. ürünlerinin performanslarının sadece dış ortama sıcaklığına bağlı olmadığını, kısmi yükte çalışan sistemlerin verim değerlerinin de farklı olacağından kullanılacak binanın ısı ihtiyacının da ürünün performansına direkt olarak etki ettiğini ama bir çok durumda, ısı pompaları ısıtma sezonunun bir çok bölümünde yüksek verimde çalıştıklarını yayımlamışlardır (Naldi vd., 2015).

Liu ve arkadaşları, H.K.I.P. ürünleri doğal kaynakları ve atıl ısıları kullanarak tersine Carnot çevrimi yaparak düşük ortam ısısını kullanıp daha az elektrik enerjisi harcayarak ısıtma sağlayabildiklerini, bu yüzden H.K.I.P.'lerinin COP değerleri 1.0'dan daha fazla olduğunu belirtmişler, örnek olarak 3.0 COP ifadesinin 3 kW'lık ısı enerjisinin 1 kW elektrik enerjisi harcanarak elde edilebildiğini, ayrıca H.K.I.P. ürünlerinin montajı ve kullanımı kolay olduğu için dünyadaki en yeni yüksek verimli ve çevre dostu sistemlerden bir tanesi olduğunu, dış ortam sıcaklığı yüksek ise sistemin COP değerinin daha soğuk bölgelere göre daha yüksek olacağını, soğutucu akışkan olarak kullanılan sıvının hacminden dolayı eğer sıcaklık düşerse sistemin ısıtma kabiliyetinin de azalacağını ifade etmişlerdir (Liu vd., 2017).

Aynı zamanda dış ortam sıcaklığının düşmesi ile sistem basıncında dalgalanma olacağını ve karşı basıncın ani olarak düşeceğini, eğer sıkıştırma oranı yeteri kadar büyük ise

bunun da hacimde ve sistem verimliliğinde düşüşe sebep olabileceğini, kompresördeki yağın da sıcaklıktan direkt olarak etkilenmekte olduğunu, sıcaklığın belirli bir seviyenin altına indiğinde yağın viskozitesinin de çok hızlı bir şekilde düşeceğini, bu sebep dolayısı ile H.K.I.P. ürünlerinin, bazı soğuk iklimlerde kullanılmasının tavsiye edilmediğini, sistemin kendini durdurup tekrar çalıştırması esnasında yeterli ısı ihtiyacını karşılamasını engelleyip ürün ömrünü azalttığını, -6 °C ile 5 °C arasında çalışan H.K.I.P. ürünlerinin nem oranı 65%'in üzerinde olan bölgelerde çalıştırıldığında donma tehlikesi ile karşı karşıya kaldığını fakat yeni teknolojiler sayesinde bu durumun iyileştirilebildiğini, ancak sistemin COP değerinin de yüksek olamayabileceğini, H.K.I.P. ürünlerinin düşük ortam sıcaklıklarında efektif bir şekilde çalışabilir duruma gelirse, dünyadaki en popüler ısıtma cihazı haline gelebileceğini çünkü bu sistemin çevre dostu, temiz enerji ile yüksek verimde ısı ihtiyacına cevap verebileceğini ve H.K.I.P. ürünleri ile ilgili tüm araştırmaların bu sorunları çözmek üzere yeni uygulamalar geliştirmeye çalışmak olduğunu belirtmişlerdir (Liu vd., 2017).

3.1.4. Isı pompalarının dünya'daki geleceği ve pazar payı

Evler için enerji tüketimini tarihi açıdan değerlendirmek gerekirse, iki kategori altında inceleyebiliriz. Anlık enerji tüketimi ve Sonraya aktarılabilen enerji tüketimi. Aydınlatma, anlık enerji tüketimi için iyi bir örnek olabilir. Çamaşır makinası, dondurucular, bulaşık makinası ve kombiler, diğer gruba örnek olarak gösterilebilir. Bu günlerde yaşam standardımızı değiştirmeden bu makinaları kontrol etmek daha kolay bir hale gelmiştir. Akıllı uygulamalar sayesinde bu makinaların, programlanarak sadece gerektiği zamanlarda çalışmaları sağlanabilmektedir. Bazı yeni uygulamalar sayesinde ısı ihtiyacı saatlik olarak belirlenip enerji maliyeti minimize edilebilmektedir. Örneğin; evde yaşayanlar hergün akşam saat 20.00'da eve geliyorsa, öğlen saat 14.00'da ısıtmaya ihtiyaç yoktur. Sistem saat 19.00 gibi çalışmaya başlayıp evde yaşayan insanlar eve geldiğinde istenilen iç ortam sıcaklığına ulaşılmış olur. Isı pompaları bu tür akıllı uygulamalar ile uyumlu bir şekilde çalışabilmektedir (Tabatabaei ve Treur, 2016).

Connolly ve arkadaşları tarafından 2013'de yapılan araştırmaya göre EU27 ülkelerinde 2010 yılında kullanılan toplam yakıtın % 44'ü doğalgaz, % 17'si petrol yakıtları, % 10'u yenilenebilir enerji kaynakları ve % 3'ü kömür olarak belirlenmiştir. Araştırmada ayrıca ülkeler arası farklı kaynak kullanım oranlarının yüksek miktarda değiştiği de belirtilmiştir (Connolly vd., 2013).

Yerleşkeleri ve ticari yerleri ısıtmada elektrik kullanımı NO_x, CO₂ vb. diğer zararlı gazların emisyonunu azaltıp hem çevresel hem de sağlık açısından zararlı etkilerinin minimuma

indirgenmesi sağlanabilmektedir. Günümüzde temiz enerji kullanımı, kanun ve düzenlemeler ile devletler tarafından desteklenmektedir. Ayrıca elektrik enerjisinin kullanımı, doğal kaynakların tüketimini azaltmaktadır (Kelly vd., 2016).

Sürdürülebilirlik, günümüzde çok önemli bir konu haline geldiği için ısı pompaları bu konuda hava, su ve toprak gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullandığı ve emisyon açısından temiz olduğu için kilit faktör oynamaktadır. Ayrıca ısı ihtiyacına göre adapte olabilen akıllı enerji depolama seçenekleri bulunduğu için, daha verimli enerji kullanımı sağlanmaktadır (Tabatabaei ve Treur, 2016).

Ev ısıtma sistemlerini, son teknoloji ürünler ile yenilemek oldukça pahalı olabilir. Bu yüzden ev sahipleri, ilk yatırım ve montaj maliyetlerini öncelikli olarak düşünebilmektedirler. Isıtma performansında yeni teknolojiler kullanıcıların tasarruf yapmasını sağlamaktadır, ancak başlangıçta ödeyecekleri fiyat dolayısıyla pazardaki yeni ürünlerin kullanılmaya başlanması daha yavaş gerçekleşmektedir (Kelly vd., 2016).

İlk başta ödenecek miktar anlamında, yoğuşmalı kombi ürünleri, ısı pompalarına göre merkezi ısıtma ve sıcak su tedariki için daha ucuz bir seçenek olarak görülebilir. Bu günlerde özellikle Avrupa ülkelerinde gaz tüketimi ile ısıtma sağlayan ürünlere getirilen verimlilik ve temiz enerji kanunları ve düzenlemeleri sayesinde yoğuşmalı kombiler, kombi pazarında daha popüler hale gelmiş bulunmaktadır (Scoccia vd., 2018).

Avrupa Birliğinde, 2015 yılının Eylül ayında yürürlüğe giren “Ecodesign Directive” ile düşük verimli kombilerin yasaklanması üzerine, yoğuşmalı kombiler Avrupa’da % 78’lik pazar payına sahip olmuşlardır. Bu devreye giren düzenlemeler, çevresel etkiler ve enerji tüketiminin azaltılması ile ilgili insanların bilinçlendirilmesi, tüketicileri ısı pompaları veya kaskad sistemler gibi daha efektif ürünleri kullanmaya teşvik etmiştir. Bu yeni verimli ürünlerin maliyetleri kullanıcıları düşündürsede pazar büyümeye devam etmektedir (Scoccia vd., 2018).

Hollanda gibi daha gelişmiş ülkelerde hükümetler, doğal kaynakların kullanımını azaltıp, temiz enerji ile çalışan daha verimli ürünleri kullanmaya teşvik etmek için, enerji tüketiminde doğal kaynaklara daha fazla vergi getirmiştir. İnsanlar bununla birlikte daha az enerji harcayıp tasarruf ederken, çevre dostu yenilenebilir enerjileri tercih etmeye başlamışlardır. Bu sayede gelişmiş ülkelerde ısı pompalarının satışları artarken diğer sistemlerin pazar payı küçülmeye başlamıştır. Ancak aynı zaman dilimi içinde, eğer doğalgaz birim fiyatı ile elektrik enerji birim fiyatları arasında büyük fark olursa, bu ısı pompası pazarını negatif yönde etkileyebilmektedir. Örneğin, İran ve Türkiye’de elektrik kullanımı, doğalgaz

kullanımından çok daha pahalı olduğu için kullanıcılar gaz yakıt tüketen cihazları tercih etmektedirler (Tabatabaei ve Treur, 2016).

Bu günlerde, son çıkan teknolojik gelişmeler sayesinde artık dünyanın herhangi bir yerinde ihtiyaca yönelik enerji üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu olanaklar ışığında toplumsal değişimlerde söz konusudur. Daha bireysel yaşam tarzına geçtiğimiz bugünlerde enerji dağıtım, üretim ve tüketim yapıları da değişmektedir (Perko vd., 2011).

Araştırmalardan ortaya çıkan bir diğer gerçek ise Avrupadaki ısıtıcı ürün ömürlerinin, 10 ile 30 yıllık olduğu ve yakın zamanda ürünlerin büyük bir kısmının yenilenmesi gerektiğidir. Bu faktörün, CO₂'yi soğutucu akışkan olarak kullanan ısı pompalarının satışını pozitif yönde etkilemesi beklenmektedir. CO₂ ısıtma kapasitesi yüksek ve taşınabilirliği kolay doğal bir akışkandır. 1930'lu yıllarda akışkan olarak kullanılmaya başlayıp sonralarda kloroflorokarbonlar (CFC) ve Hidrokloroflorokarbonlar (HCFC) CO₂'nin yerine geçmiştir. Ancak ozon delinmesi tehlikesi ve küresel ısınma gibi konulardan dolayı CO₂ yeniden klimalarda ve ısı pompalarında potensiyel soğutucu akışkan olarak düşünölmeye başlanmıştır (Zhang vd., 2006).

Araştırmalara göre Avrupa pazarında 2002 ile 2006 arasında satılan ısı pompalarının yüzde oranları aşağıdaki gibidir:

- 19%'lık kısmı İtalya'da
- 17%'lik kısmı İsveç'te
- 13%'lük kısmı Fransa'da
- 13%'lük kısmı İspanya'da
- Ve ısı pompalarının kalan kısmı diğer Avrupa ölkelerinde satılmıştır (Kinab vd., 2008).

Isı pompalarının, dünya genelindeki pazar büyüklüğü 2015 yılı itibariyle 900 000 adet olarak belirtilmiştir. Bunun yaklaşık %33'lük kısmını, bu araştırmada da ısı pompası olarak seçilen Hava Kaynaklı Isı Pompaları oluşturmaktadır. Isıtma için kullanılan ısı pompaları (özellikle toprak kaynaklı ısı pompaları) COP değerleri yüksek olduğu için daha az birincil enerji ile çalışabilmekte, ancak yüksek yatırım maliyeti ve montaj zorluğu oluşturmabilmektedirler (Scoccia vd., 2018).

3.2. Kombiler

Kombiler günümüzde yerleşke ısıtma ve sıcak su tedarığı sağlayan teknolojilerdir. Gerekli temiz hava ile yanıcı gazın (genel olarak doğalgaz ya da LPG) karıştırılarak yanması sonucunda ortaya çıkan ısı, ısı eşanjörü veya eşanjörleri aracılığı ile başka bir ortama transfer

edilir. Yanma sonucunda ortaya çıkan atık gaz baca veya fan yardımıyla dışarı atılır. Son teknolojiler ile birlikte verimli kombiler günümüzde kullanılsada, çevresel etkileri ısı pompalarına kıyasla daha yüksek olan ürünlerdir. Bu çalışma için son teknoloji ürünü olan yoğuşmalı kombi seçilmiştir.

3.2.1. Kombilerin çeşitleri

Hermetik kombiler

Hermetik kombiler yanma sonucu oluşan atık gazı fan sayesinde dışarı atarken gerekli olan temiz havayı dışarıdan alan kombilerdir.

Bacalı kombiler

Yanma sonucu ortaya çıkan atık gazı bir baca sayesinde dışarı atan ancak gerekli temiz havayı kombinin kurulu olduğu ortamdan alan kombilerdir. Bu tip kombiler için yeterli temiz hava miktarı ürün montajı yapılırken dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. 2018 yılında Türkiye’de de yürürlüğe giren ERP (Energy Related Products - Enerji İlişkili Ürünler) direktifi ile bu tip kombilerin kullanımı büyük oranda azaltılmıştır.

Bitermik kombiler

Bitermik kombilerde kullanım suyu ve tesisat suyu ısıtması tek eşanjör aracılığı ile gerçekleşir.

Monotermik kombiler

Monotermik kombilerde ise kullanım suyu ısıtması ve tesisat suyu ısıtması ayrı eşanjörler aracılığı ile gerçekleşmektedir. Bitermik kombilere kıyasla daha yüksek verimli olan bu kombiler son zamanlarda premix yani ön karışım (hava ile gazı eşanjörün bulunduğu yerde karıştırarak) eşanjör sistemleri ile birlikte kullanılmaya başlanmıştır.

Konvansiyonel kombiler

Konvansiyonel yani yoğuşmasız kombilerde atık gazın ısısından yararlanılmaz ve atık gaz sıcaklığı yoğuşmalı kombilere kıyasla çok daha yüksektir.

Yoğuşmalı kombiler

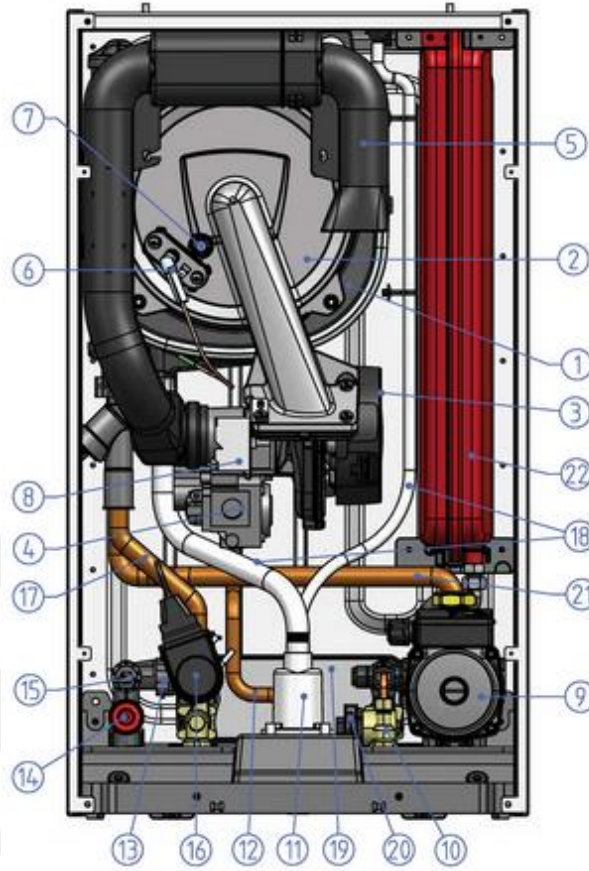
Yoğuşmalı kombiler atık gazın ısısından yararlanarak daha verimli çalışan sistemlerdir. Yoğuşmanın gerçekleşebilmesi için baca gazı sıcaklığı düşük değerlerde tutulur.

3.2.2. Yoğuşmalı kombi çalışma prensibi

Yoğuşmalı kombileri diğer kombilerden ayıran özellik baca gazının gizli ısısından yararlanarak baca gazının içindeki suyun yoğunlaştırılmasıdır. Başka bir şekilde açıklamak gerekirse kombi içerisindeki ısı eşanjörü sayesinde atık gaz sıcaklığını düşürerek atık gaz içindeki su buharının buharlaşma gizli ısısı kullanılır. Diğer kombilerden bir diğer farkı ise kombi içerisinde yoğuşma olduğu için suyu dışarı atmak için yoğuşma gideri bulunur. Hermetik kombilerde baca gazı sıcaklığı 100 °C ve üzeri olabilirken yoğuşmalı kombilerde baca gazının sıcaklığını 20 – 60 °C'lere düşürülmektedir (Koca ve Aksungur, 2018).

Konvansiyonel yani yoğuşmalı olmayan kombilerde yoğuşma istenmeyen bir durum olduğu için atık baca gazı sıcaklığı hep yüksek tutulması gerekmektedir. Minimum güçlerde ve kısmi yüklerde bu yüksek baca gazı sıcaklığı nedeni ile verim değerlerinde düşüş gözükmemektedir. Yoğuşmalı kombilerde ise kısmi yüklerde sistem daha verimli çalışabilmektedir. Premix yani önkarişimli brülöre sahip sistemler yoğuşmalı kombilerde sıklıkla kullanılan brülör çeşididir. Hava ve gaz birbirine karıştırılıp bir başka eşanjör ile baca gazının gizli ısısı sisteme dönüş suyu ile birlikte geri kazandırılır (Koca ve Aksungur, 2018).

Bu çalışma için premix (önkarişimli) eşanjörlü bir yoğuşmalı kombi seçilmiştir ve seçilen premix eşanjörlü kombi için görsel içerik ve parçaları Şekil 3.2'de açıklanmıştır.



Şekil 3.2. Premix eşanjörlü yoğuşmalı kombi detay görünümü (Konya Demirdöküm Servis).

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 1. Premix Eşanjör | 12. Gaz Valfi Borusu |
| 2. Premix Eşanjör Kapağı | 13. Dönüş Hidrobloğu |
| 3. Fan | 14. Emniyet Ventili |
| 4. Gaz Valfi | 15. Su Basınç Sensörü |
| 5. Susturucu | 16. Üç Yollu Vana Motoru |
| 6. Ateşleme Elektrodu/İyonizasyon | 17. Tesisat Gidiş Borusu |
| 7. Alev Gözetleme Camı | 18. Yoğuşma Hortumu |
| 8. Ateşleme Trafosu | 19. Plaka Tip Eşanjör |
| 9. Pompa | 20. Su Akış Sensörü |
| 10. Soğuk su Hidrobloğu | 21. Tesisat Dönüş Borusu |
| 11. Yoğuşma Kabı | 22. Genleşme Tankı |

4. TERMO-EKONOMİK ANALİZ

4.1. Araştırma için Seçilen Ürün Bilgileri

Seçilen ısı pompası ve yoğuşmalı kombi ürünleri, sektörde bilinen bir marka olan son teknolojileri ürünlerinde kullanan Vaillant Group ürün yelpazesinden seçilmiştir. Türkiye’de Demirdöküm, Saunier Duval ve Vaillant markalarıyla bilinen Alman şirketi, merkezi ve bireysel ısıtma ve soğutma aynı zamanda sıcak su ısıtıcı ürünleriyle tüm dünyada bilinmektedir. Almanya merkezli bu şirket, yaklaşık 140 yılı aşkın süredir sektörde önde gelen isimlerden biridir. Araştırma için gerekli ürün teknik bilgileri, Budapeşte’de bulunan Valliant Saunier Duval Kft. ofisinden ve Türkiye Bozüyük Demirdöküm Fabrikalarından alınmıştır.

4.1.1. Isı pompası

Bu çalışmada; önceden de belirtildiği gibi enerji tüketimini göstermek amaçlı hava kaynaklı ısı pompası, aroTHERM 105/5 AS (AirSplit) Isı Pompası, Vaillant Group’taki en son çıkan ürünlerden biri olarak seçilmiştir. Bu H.K.I.P. ürününün 3 kW, 5 kW, 7 kW, 10 kW ve 12 kW güçlerinde seçenekleri olup bu çalışmada yıllık SCOP hesaplaması 10 kW’lık ürün için yapılmıştır. Bu ürün ayrıca 30 °C - 35 °C sıcaklıkta döşemealtı ısıtma sistem montajları için uygun bir üründür.

Bu ısı pompası, yeni inşaa edilen binaların yanısıra Almanya enerji tasarrufu kanunlarında (EnEV) belirtildiği gibi restore edilen binalarda da ısıtma ve soğutma sistemi olarak kullanılabilir. Bu sistemin kolay bir şekilde gaz ile çalışan eski sistemlerin yerine montajı yapılabilmekte olup, eBUS özelliği sayesinde diğer ısıtma sistemleri ile birlikte kombine olarak da çalışabilmektedir.

Merkezi ısıtma özelliği olarak (bu çalışmada kullanılan), aroTHERM 105/5 AS ürünü, 21 Nisan 2017’de Türkiye’de yürürlüğe giren yeni ERP düzenlemesine göre A+ enerji verimliliğine sahiptir. Bu düzenlemenin araştırmanın yapıldığı ülkeler olan Macaristan ve Türkiye’de geçerliliği bulunmaktadır. Soğutucu akışkan olarak üründe R410A akışkanı kullanılmaktadır. Sistem, iç ve dış ünite olarak toplam yaklaşık 191 kg olup, -20 °C ile 20 °C dış ortam sıcaklıkları arasında fonksiyonel olarak çalışabilmektedir. Farklı RPS (saniyedeki devir sayısı) değerleri için COP verileri üretici firma tarafından test edilmiş olup Vaillant Saunier Duval kft.’nin Budapeşte ofisinden alınmıştır.

4.1.2. Yoğuşmalı kombi

Yoğuşmalı kombi olarak ecoTEC plus 156/5-5 ürünü seçilip, ısıtma dönemindeki verimi hesaplanmıştır. Tüm diğer yoğuşmalı kombiler gibi bu kombininde kısmi yükte çalışması durumundaki verimi, tam yükte çalıştığı andaki veriminden daha yüksektir. Yoğuşmalı kombiler, yüksek verimliliğe sahip olup ısıtma sistemlerinde kullanılan en popüler ürünlerden biri oldukları için ısı pompaları ile karşılaştırılmada yoğuşmalı kombiler ile yapılmıştır.

Bu araştırma için seçilen yoğuşmalı kombinin diğer kombilere kıyasla en önemli avantajlarından birisi, ısı eşanjörünün paslanmaz çelikten yapılmış olmasıdır. Bunun önemli olmasının sebebi yakın zamanda ısı eşanjörü paslanmaz çelikten yapılmayan kombilerde ortaya çıkan “black dust” problemi olarak bilinen, eşanjör içerisinde oksitlenmenin sonucu olarak eşanjörün ve dolayısıyla ürünün ömrünü kısaltan ayrıca verimini de olumsuz etkileyen sorunun bu ürünlerde görülmemesidir.

Seçilen ürünün modülasyon aralığı, % 20’den % 100’e kadar mekanın ısı ihtiyacına bağlı olarak otomatik olarak değişebilmektedir. Bu kombi G20 ve G25 gazları ile kullanılabilen bir üründür. Sistem yaklaşık 35 kg ağırlığında olup, bireysel ısıtmada (bu çalışmada hesaplamalar için kullanılan) ecoTEC plus 156/5-5 ERP düzenlemesine göre A seviye enerji verimliliğine sahiptir.

4.2. Türkiye ve Macaristan için Hava Sıcaklık Değerleri

Isıtma sezonu günleri, seçilen şehirler arasında farklılıklar göstermektedir. Beş farklı şehir, farklı iklim koşullarına örnek olması ve farklı dış ortam sıcaklıklarında enerji tüketimi ve ürünün verimliliğinin dış ortam sıcaklığına ne kadar bağlı olduğunu göstermesi amacıyla seçilmiştir. H.K.I.P.’larının COP değerleri dış ortam sıcaklığına doğrudan bağlı olduğu için farklı iklim koşulları ve farklı ısıtma saatleri bu çalışma için önemli bir rol oynamaktadır.

Bu çalışma için seçilen şehirler; Budapeşte, Ankara, İstanbul, İzmir ve Erzurum için dış ortam sıcaklık (iklim) verileri iki farklı kaynaktan toplanmıştır. Türkiye’de seçilen şehirler için <http://climate.onebuilding.org> sitesindeki veriler alınmıştır. Bu internet sayfası, ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) birliğinin onayladığı, yıllık ve aylık tasarım çalışmaları için veriler sağlamaktadır. Türkiye’deki üç büyük şehir (İstanbul – 15 Milyon, Ankara – 5,5 Milyon – İzmir- 4.3 Milyon) ve ülkenin en soğuk şehri olarak bilinen Erzurum seçilmiştir (Onebuilding, 2019).

Çalışmada ayrıca Macaristan'ın başkenti Budapeşte karşılaştırma amaçlı olarak seçilmiştir. Budapeşte şehri için dış ortam sıcaklık verileri <https://www.meteoblue.com> sitesinden alınmıştır. Basel/İsviçre merkezli olan şirket data güvenilirliğini İsviçre kanunlarına göre beyan edip, araştırma amaçlı kullanılmasına izin vermiştir (Meteoblue, 2019).

Veriler toplandıktan sonra, bir yıl içerisindeki saatlik sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Bu yıllık ısıtma saatleri, bir yıl içerisinde 12°C ve -20°C sıcaklık aralığındaki saatlik sıcaklık göstergelerinin toplamından oluşmaktadır. Toplam ısıtma saatleri Çizelge 4.1'de her sıcaklık derecesi için ayrı ayrı gösterilmiştir. Seçilen şehirler için oluşturulan Sıcaklık – Isıtma Saati eğrilerinden bir yıl içerisinde belirli sıcaklık değerlerine kaç saat rastlandığı yine bu eğriler üzerinden hesaplanıp grafikler oluşturulmuştur. Örneğin; Budapeşte şehri için 0°C bir yılda toplam 318 saat kez ölçülmüştür. Ya da Ankara şehri için 7°C bir yılda toplam 320 saat kez ölçülmüştür.

Erzurum için -20°C 'nin altındaki sıcaklıklar ısı pompasının yetersiz geldiği yüzde içerisinde sayıldığı için ısıtma elektrikli ısıtıcı ile yapıldığı varsayılmıştır. En düşük COP değeri -20°C olarak verildiği için toplam ısıtma saati hesaplamasında da -20°C 'nin altındaki sıcaklık saatleri -20°C 'de toplanmıştır.

Çizelge 4.1. Farklı yerler için toplam ısıtma saatleri (Onebuilding, 2019; Meteoblue, 2019).

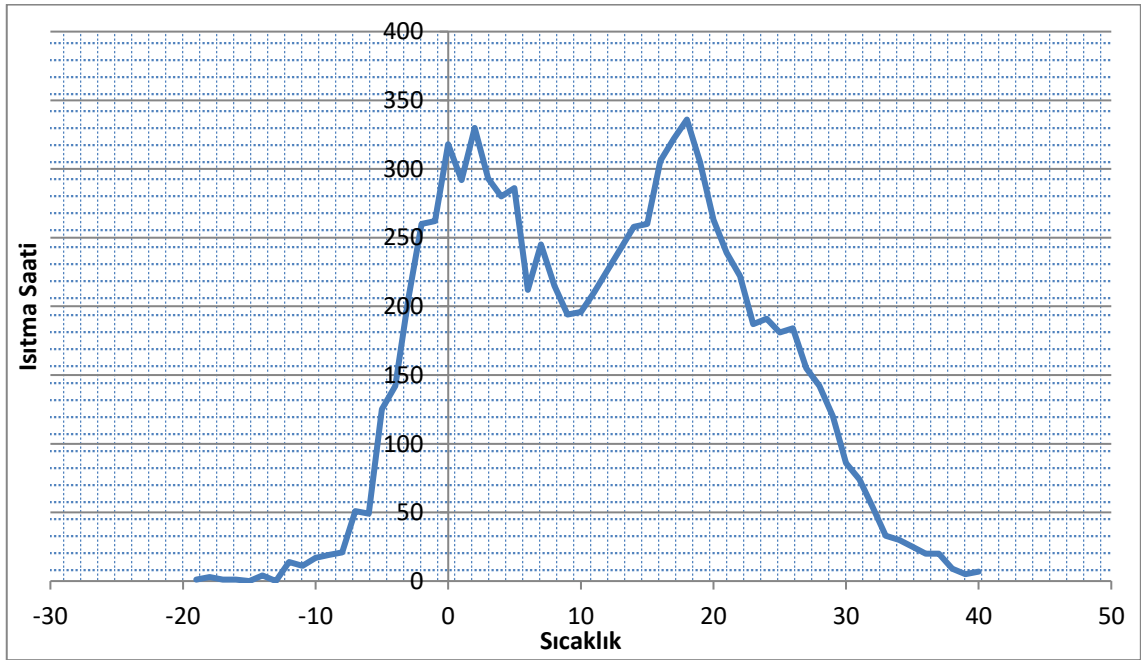
Dış Ortam [$^{\circ}\text{C}$]	Isıtma Saatleri [h]				
	Budapeşte	Ankara	İstanbul	İzmir	Erzurum
-31	0	0	0	0	2
-30	0	0	0	0	3
-29	0	0	0	0	4
-28	0	0	0	0	3
-27	0	0	0	0	9
-26	0	0	0	0	8
-25	0	0	0	0	15
-24	0	0	0	0	20
-23	0	0	0	0	22
-22	0	0	0	0	29
-21	0	0	0	0	33
-20	0	0	0	0	33
-19	1	0	0	0	25
-18	3	0	0	0	41
-17	1	0	0	0	42
-16	1	0	0	0	63

Çizelge 4.1. (devam) Farklı yerler için toplam ısıtma saatleri.

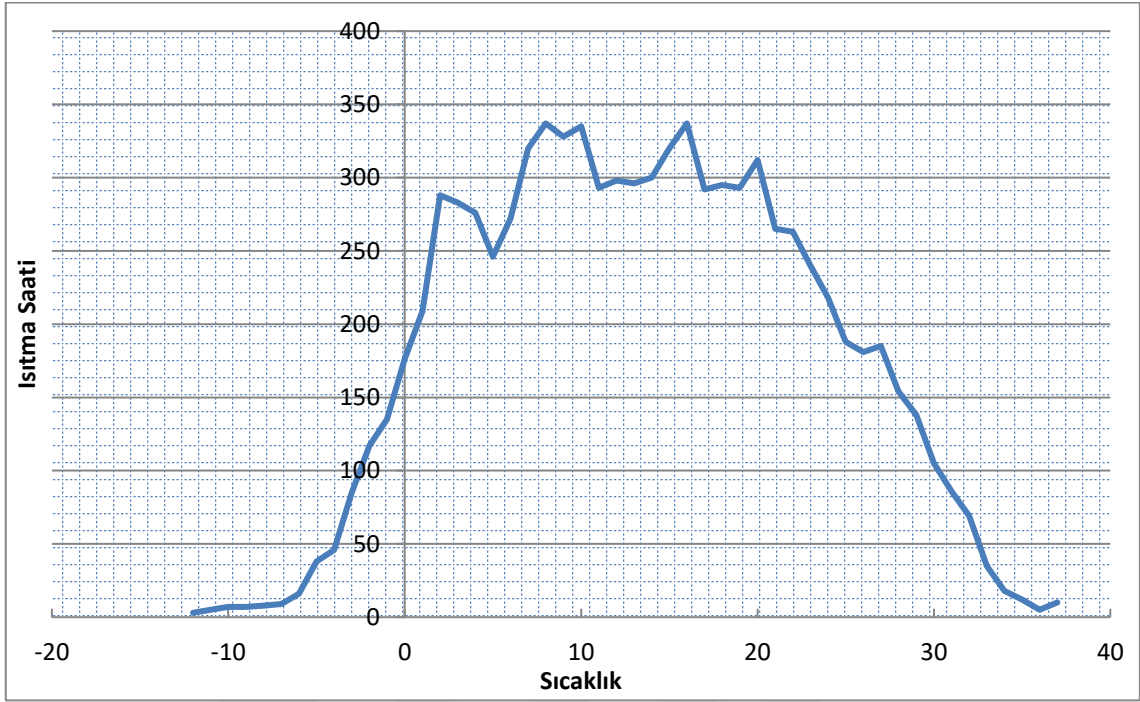
Dış Ortam	Isıtma Saatleri				
[°C]	[h]				
	Budapeşte	Ankara	İstanbul	İzmir	Erzurum
-15	0	0	0	0	86
-14	4	0	0	0	74
-13	0	0	0	0	109
-12	14	3	0	0	85
-11	11	5	0	0	92
-10	17	7	0	0	80
-9	19	7	0	0	104
-8	21	8	0	0	122
-7	51	9	1	0	158
-6	49	16	1	0	142
-5	125	38	3	0	141
-4	142	46	2	0	186
-3	206	85	7	0	193
-2	260	117	37	0	195
-1	262	135	32	0	255
0	318	176	32	0	309
1	292	209	50	2	286
2	330	288	96	15	273
3	293	283	138	45	301
4	280	276	135	102	288
5	286	246	174	124	216
6	212	272	211	153	277
7	245	320	282	221	295
8	215	337	335	245	312
9	194	328	401	250	324
10	196	335	389	332	273
11	210	293	369	402	270
12	226	298	396	403	243
Toplam					
Isıtma Saati	4484	4137	3091	2294	6041
13	242	296	375	364	235
14	258	300	340	409	249
15	260	320	367	370	222
16	306	337	341	402	203
17	322	292	300	358	195
18	336	295	338	287	201
19	305	293	325	316	179
20	263	312	347	298	161
21	239	265	359	271	168
22	222	263	376	284	172

Çizelge 4.1. (devam) Farklı yerler için toplam ısıtma saatleri.

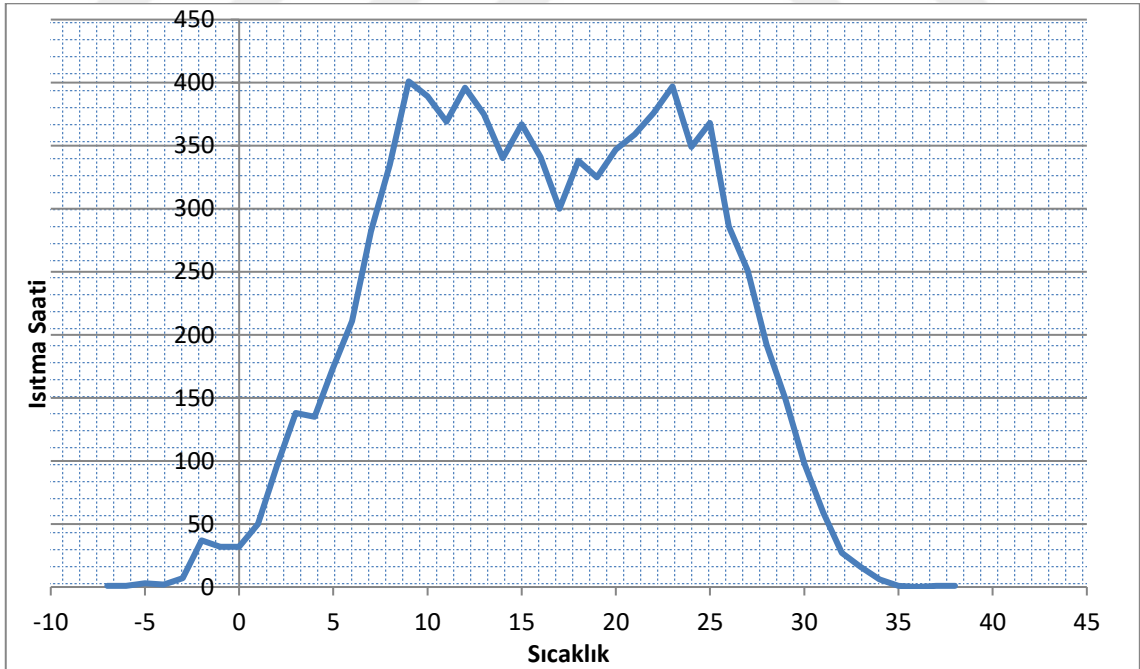
Dış Ortam [°C]	Isıtma Saatleri				
	Budapeşte	Ankara	İstanbul	İzmir	Erzurum
23	187	240	397	293	128
24	191	218	349	341	108
25	181	188	368	375	118
26	184	181	286	355	74
27	155	185	251	377	95
28	142	154	192	310	65
29	120	138	149	260	61
30	86	105	98	200	47
31	74	86	59	220	26
32	54	69	27	155	8
33	33	35	16	119	3
34	30	18	6	59	0
35	25	12	1	30	0
36	20	5	0	11	0
37	20	10	1	2	0
38	9	6	1	0	0
39	5	0	0	0	0
40	7	0	0	0	0



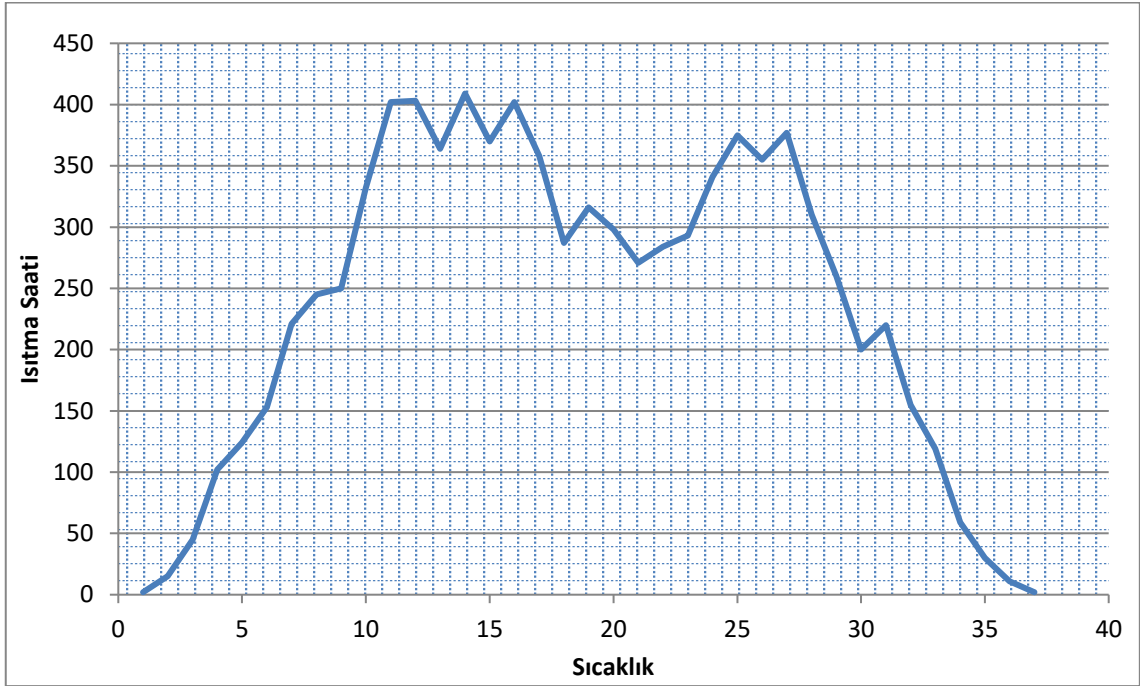
Şekil 4.1. Budapeşte sıcaklık – ısıtma saati eğrisi (Meteoblue, 2019).



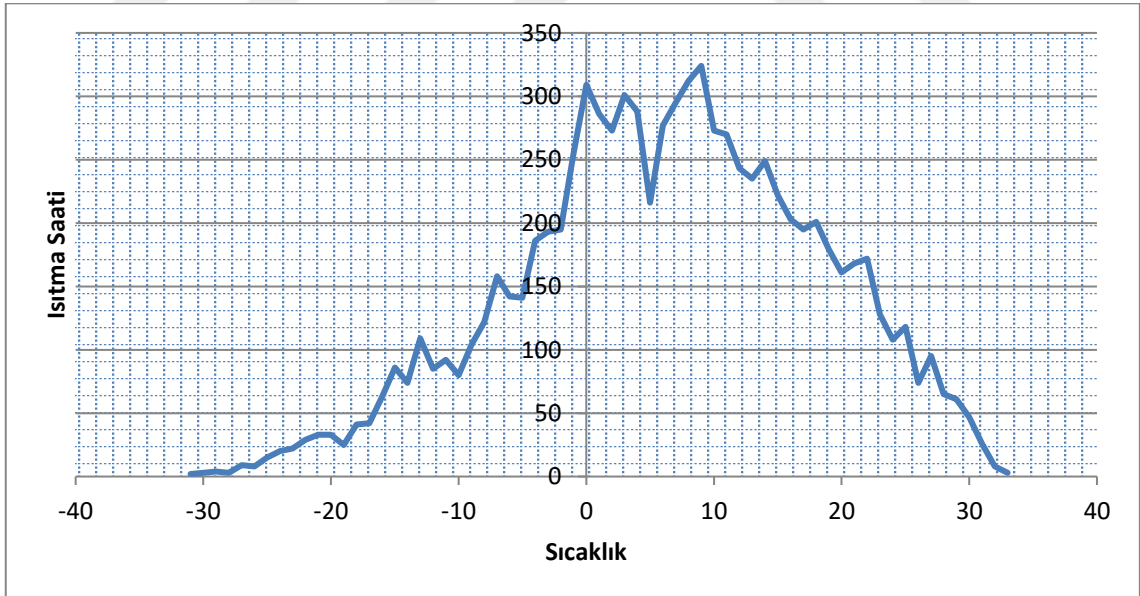
Şekil 4.2. Ankara sıcaklık - ısıtma saati eğrisi (Onebuilding, 2019).



Şekil 4.3. İstanbul sıcaklık - ısıtma saati eğrisi (Onebuilding, 2019).



Şekil 4.4. İzmir sıcaklık - ısıtma saati eğrisi (Onebuilding, 2019).



Şekil 4.5. Erzurum sıcaklık - ısıtma saati eğrisi (Onebuilding, 2019).

Isıtma saatleri ile oluşturulan sıcaklık eğrileri Türkiye'nin 4 farklı iklim kuşağını göstermesi için seçilmiştir. Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili olması ve coğrafik konum olarak geniş bir alanda yer alması, sıcaklık eğrilerini direkt olarak etkilemektedir.

Budapeşte sıcaklık verileri, Ankara şehri ile benzerlik gösterse bile toplam ısıtma saatlerindeki farklılıklar yıllık SCOP değerinin farklı çıkmasına sebep olmaktadır. Bu durum bir sonraki bölümde COP değerleri hesaplanırken açıklanacaktır.

Çizelge 2’de görüldüğü gibi ısıtma saatleri, lokasyonlar arası iklimsel farklılıklardan dolayı farklı değerlere sahiptir. İki ülkenin başkentleri; Budapeşte ve Ankara’nın toplam ısıtma saatleri benzer olsada dış ortam sıcaklık dağılımları farklıdır. Toplam ısıtma saatleri Budapeşte, Ankara, İstanbul, İzmir ve Erzurum için sırasıyla 4484, 4137, 3091, 2294 ve 6041’dir.

4.3. Genel Varsayımlar

Hesaplamalarda iç ortam sıcaklığı tüm günler için 20°C olarak alınmıştır. Elektrik tüketimi ısıtma sisteminin temel çalışanları ile sınırlandırılmış olup, sirkülasyon pompası ve teknolojik sistem kontrol araçlarının tüketimleri göz ardı edilmiştir. Ancak bu harcamalar genel olarak binaya bağlı olduğu için karşılaştırma anlamında sonuca büyük bir etkisi olmayacaktır.

Isıtma sezonu dış ortam sıcaklığı, 12°C ve -20°C arasında tanımlanmıştır. Daha ılıman havalarda ısıtma gerekliliği düşünülürse, yıllık ihtiyaç tekrar hesaplanmalıdır. Daha öncede söylendiği gibi Erzurum için -20°C’nin altındaki sıcaklıklarda ısınma, elektrikli ısıtıcı ile yapıldığı varsayıldı. SCOP değerinin hesaplanması etkilenmediği için -20°C’nin altındaki sıcaklık saatleri -20°C’de toplanmıştır.

Ayrıca sistem dışındaki ısı üreteçleri (örneğin evdeki insan sayısı,ısı üreten cihazlar vb.) kombi ve ısı pompası kıyaslamasında değişmeyen faktörler olduğu için yok sayılmıştır.

Seçilen yoğuşmalı kombi ürünü için verimlilik Çizelgesi üretici firmadan alınmış olup doğalgazın alt ısı değerine göre hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda doğalgaz ve elektrik fiyatları aynı zamanda Türk Lirası ve Euro kuru sabit olarak alınıp, anlık değişimler yok sayılmıştır. Enerji maliyetlerindeki değişiklikler, proje firmaları tarafından yakından takip edilse de bazen son aşamada kullanılacak enerji kaynağı seçiminde değişikliğine gidilebilmektedir. Ayrıca ürünler için gerçekleştirilecek yıllık sermaye değer kaybı yoksayılmıştır.

4.4. Isı Pompasının Yıllık Ortalama Verim Katsayısının (SCOP) Hesaplanması

Hesaplamalarda ısı pompasının üretici firma tarafından -20 °C ile 12 °C arasındaki sıcaklıklar için verilen COP değerleri alınmıştır. Seçilen ısı pompası “Havadan Suya” yani hava kaynaklı ısı pompası olup, inverter kompresöre sahip 10 kW ısıtma kapasiteli bir üründür. Seçilen ısı pompası, seçilen iki ülkede de piyasada aktif ürün olarak kullanılmakta olup,

verimliliği Eurovent veritabanında muadili olan diğer ürünlerle karşılaştırılabilir durumdadır. (<https://www.eurovent-certification.com/en?Lg=en#close>)

Isı pompasının performansı, mevsimsel performans faktörü ‘SPF’ (Seasonal Performance Factor), ki bu aynı zamanda COP (Coefficient Of Performance) olarak da tanımlanır, ısı pompasının çalışması için gerekli elektrik enerjisini (kWh cinsinden) girdi olarak kabul edip, çıktı olarak ısı pompasının oluşturduğu kWh cinsinden ısı enerjisini göz önünde bulundurduğumuzda

$$\text{SPF (COP)} = \frac{\text{Çıkan Isı Enerjisi}}{\text{Giren Elektrik Enerjisi}} \quad (4.1)$$

olarak tanımlanır (Tabatabaei ve Treur, 2016).

H.K.I.P. ürünleri için bu mevsimsel performans faktörü, iklimsel farklılıklara bağlı olarak dış ortam sıcaklığı 10°C ve 20°C arasında 2 ile 7 arasında, dış ortam sıcaklığı 5°C ve 12°C arasında ise 4 ile 5 arasında değişmektedir. Buradaki rakamlardan da görüldüğü gibi ürünün COP değeri dış ortam sıcaklığına bağlı olarak güçlü bir şekilde değişmektedir. H.K.I.P. ürünleri için COP değerlerinin hesaplanmasında araştırmacılar farklı teknik ve formüller kullanmışlardır (Tabatabaei ve Treur, 2016).

Bu araştırma için seçilen ısı pompasının COP değerleri üretici firma tarafından alınmış olup, Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Kompresör hızı COP değerlerini çok fazla etkilemese de üretici firmada çalışan proje müdürünün tavsiyesi ile kompresör hızı 72 rps seçilmiştir. Bu orta seviye kompresör hızının seçimi, ürün ömrü ve ses şiddeti göz önünde bulundurularak seçilmiştir.

Çizelge 4.2. aroTHERM 105/5 AS ürünü COP değerleri (72 rps 30/35 °C).

aroTHERM 105/5 AS			
72 rps – 30/35 °C			
Q _f	t _k	P	COP
kW	°C	kW	-
4,78	-20	2,33	2,05
4,98	-19	2,35	2,12
5,18	-18	2,37	2,19
5,39	-17	2,39	2,25
5,60	-16	2,41	2,32
5,81	-15	2,43	2,39
6,02	-14	2,45	2,46
6,24	-13	2,47	2,52
6,46	-12	2,49	2,59
6,70	-11	2,51	2,67
6,95	-10	2,53	2,75
7,21	-9	2,54	2,83
6,91	-8	2,37	2,92
6,56	-7	2,19	3,00
6,22	-6	2,06	3,01
5,88	-5	1,93	3,04
5,53	-4	1,81	3,06
5,19	-3	1,68	3,08
4,84	-2	1,51	3,20
4,50	-1	1,36	3,32
4,16	0	1,21	3,43
3,81	1	1,07	3,56
3,47	2	0,94	3,70
3,13	3	0,82	3,82
2,78	4	0,71	3,93
2,44	5	0,60	4,04
2,09	6	0,50	4,15
1,75	7	0,41	4,27
1,41	8	0,32	4,37
1,06	9	0,24	4,47
0,72	10	0,16	4,56
0,38	11	0,08	4,66
0,03	12	0,01	4,76

Saatlik sıcaklık verileri ile ürünün COP değerleri üzerinden binanın bir yıllık enerji tüketimi hesaplanmıştır.

SCOP (Yıllık Ortalama Verim Katsayısı), ısı pompasının ortalama verimini hesaplamak için 2 numaralı denklem kullanılmıştır. Basitçe, COP değerinin belirli sıcaklıktaki toplam saat değeriyle çarpılması ve sonrasında toplam ısıtma saatine bölünmesiyle şehirlerin SCOP değerleri hesaplanmıştır (Kinab vd., 2008).

$$SCOP_{şehir_ismi} = \frac{\sum_{t=-20^{\circ}C}^{12^{\circ}C} (COP_t \times Yıllık_Toplam_Saat_t)}{\sum_{t=-20^{\circ}C}^{12^{\circ}C} (Yıllık_Toplam_Saat_t)} \quad (4.2)$$

Hesaplamalarda, seçilen ısı pompasının Ankara, Budapeşte ve Erzurum şehirlerinde -8 °C'nin altındaki dış ortam sıcaklıklarında binanın toplam ısı ihtiyacını karşılayamadığı, bu durumda ilave olarak ısıtıcı bir cihaz gerektiği varsayılarak, -8 °C'nin altındaki sıcaklıklar için elektrikli ısıtıcı ile ısı ihtiyacının karşılandığı varsayılmıştır. Isı pompaları, yoğuşmalı kombiler ve solar paneller gibi diğer cihazlarla da kombine bir şekilde kullanılabilir de, bu çalışma için sadece elektrikli ısıtıcı seçilip, COP değeri de “bir” olarak alınmıştır.

İlave elektrik ısıtıcısının kullanılması gereken saatler ile toplam ısıtma saatlerinin oranları aşağıda gösterilmiştir.

- Budapeşte’de 4484 toplam ısıtma saatinin 71 saatinde yani % 1.58 oranında
- Ankara’da 4137 toplam ısıtma saatinin 22 saatinde yani % 0.53 oranında
- Erzurum’da 6041 toplam ısıtma saatinin 801 saatinde yani % 13.25 oranında

ilave ısıtıcı gerekmektedir.

H.K.I.P.’nın, COP değeri dış ortam sıcaklığına bağlı olarak önemli miktarda farklılık göstermektedir. Bu yüzden farklı iklim koşullarında seçilen şehirler ile detaylı bir şekilde sıcaklık eğrileri oluşturulmuştur.

Çizelge 4.3. Şehirler için SCOP değerleri.

Şehir	Yıllık SCOP
Budapeşte	3,789
Ankara	4,056
Erzurum	3,381
İstanbul	4,331
İzmir	4,451

4.5. Yoğuşmalı Kombi için Yıllık Verim Değerini Hesaplama

Bu çalışmada, H.K.I.P. ürünleri ile karşılaştırma amaçlı yoğuşmalı bir kombi seçilmiştir. Yoğuşmalı kombiler kısmi yüklerde daha yüksek verimlerde çalışabilmektedir. Dış ortam sıcaklığı, yoğuşmalı kombinin verim değerlerini H.K.I.P. ürünlerdeki gibi etkilemesinde farklı dış ortam sıcaklıklarındaki verim değerleri verimlilik ve dış ortam sıcaklık eğrisine bağlı olarak hesaplanmıştır.

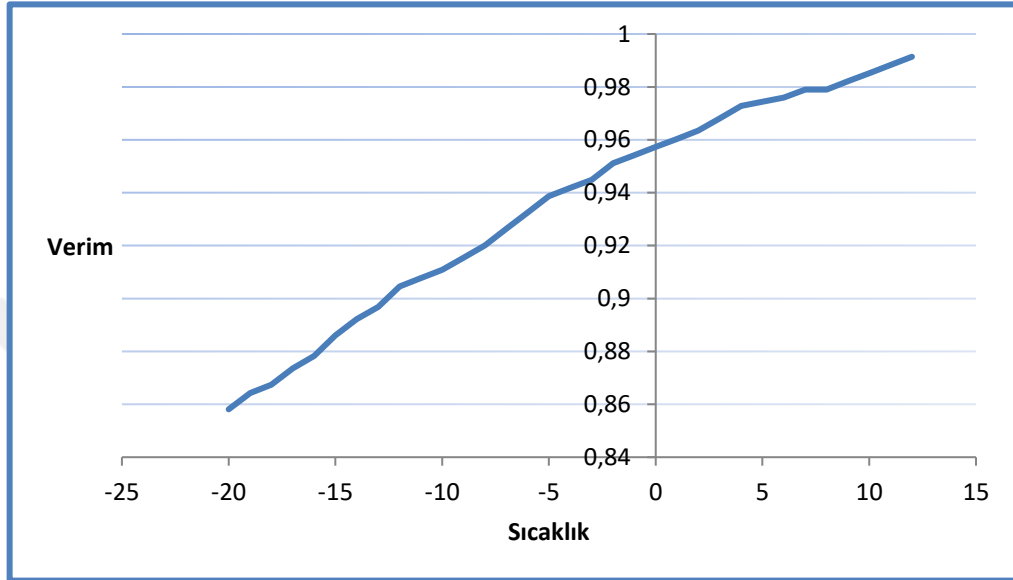
Seçilen ürün için teknik değerler üretici firma tarafından temin edilmiş olup aşağıdaki Çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. EcoTEC plus 156/5-5 ürünü verimlilik değerleri.

Yoğuşmalı Kombi <i>ecoTEC plus 156/5-5</i>				Yoğuşmalı Kombi <i>ecoTEC plus 156/5-5</i>			
Q _f kW	t _k °C	P kW	Verim -	Q _f kW	t _k °C	P kW	Verim -
11,0	-20	12,86	0,8581	5,2	-3	5,49	0,9449
10,7	-19	12,37	0,8643	4,8	-2	5,09	0,9511
10,3	-18	11,93	0,8674	4,5	-1	4,72	0,9542
10,0	-17	11,45	0,8736	4,2	0	4,34	0,9573
9,7	-16	10,99	0,87825	3,8	1	3,97	0,9604
9,3	-15	10,51	0,886	3,5	2	3,60	0,9635
9,0	-14	10,05	0,8922	3,1	3	3,23	0,96815
8,6	-13	9,62	0,89685	2,8	4	2,86	0,9728
8,3	-12	9,15	0,9046	2,4	5	2,50	0,97435
7,9	-11	8,74	0,9077	2,1	6	2,15	0,9759
7,6	-10	8,34	0,9108	1,8	7	1,79	0,979
7,3	-9	7,92	0,91545	1,4	8	1,44	0,979
6,9	-8	7,51	0,9201	1,1	9	1,08	0,9821
6,6	-7	7,08	0,9263	0,7	10	0,73	0,9852
6,2	-6	6,67	0,9325	0,4	11	0,38	0,9883
5,9	-5	6,26	0,9387	0,0	12	0,03	0,9914
5,5	-4	5,87	0,9418				

Seçilen yoğuşmalı kombinin verimlilik değerleri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Kombin -20 °C dış sıcaklık ortamında, % 100 güçte çalıştığı varsayılarak dış ortam sıcaklığı

yükseldikçe, ısı ihtiyacı düştüğünden dolayı kısmi yükte çalıştığı varsayılmıştır. Kombin içerisinde bulunan yüksek verimli hidrolik pompa, otomatik modülasyon uygulaması ile elektrik tüketimini azaltmaktadır.



Şekil 4.6. Yoğuşmalı kombi - verimlilik ve dış ortam sıcaklık eğrisi.

Yoğuşmalı kombi için yıllık verim, H.K.I.P. ürünlerinin SCOP değerleri ile aynı şekilde aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$Yıllık_Verim_{şehir_ismi} = \frac{\sum_{t=-20}^{12} (Verim_t \times Yıllık_Toplam_Saat_t)}{\sum_{t=-20}^{12} (Yıllık_Toplam_Saat_t)} \quad (4.3)$$

Dış ortam sıcaklığı, yoğuşmalı kombilerin verim değerlerini hava kaynaklı ısı pompalarına kıyasla daha az etkiliyor olsada, farklı şehirlerin ısıtma saatlerinin de farklı olmasından dolayı seçilen şehirler arasında yoğuşmalı kombilerin yıllık ortalama verim değerleri (SCOP) de farklılıklar göstermektedir.

Çizelge 4.5. Şehirler için yıllık verimlilik değerleri.

Şehir	Yıllık Verim (%)
Budapeşte	96,6
Ankara	98,0
Erzurum	95,3
İstanbul	97,3
İzmir	98,3

4.6. Seçilen Apartman için Yıllık Enerji Tüketimini Hesaplama

Önceki araştırmalara göre enerji tüketimi için tahminler yapılmıştır. EU28 ülkelerinde binaların kullandığı toplam enerji miktarı 644 Mtoe olup, bu değer toplam enerji tüketiminin % 41'ine karşılık gelmektedir. Bu enerjinin üçte ikisi ev gereçlerinde tüketilirken, bunun da % 80'ine yakın kısmı bireysel ısınma ve su ısıtma için harcanmıştır. Kalan % 20'lik kısım ise pişirme, aydınlatma gibi elektrik harcayan ev gereçleri tarafından harcanmıştır. (Scoccia vd., 2018)

Seçilen 99m²'lik dairenin bireysel ısıtmasında ısı ihtiyacı, -20°C dış ortam sıcaklığında 20°C iç ortam sıcaklığı olması durumunda 11 kW olarak belirlenip gerekli hesaplamalar buna göre yapılmıştır.

Bu araştırmada seçilen dairenin toplam ısı ihtiyacı ve toplam enerji tüketimi farklı şehirler için aşağıdaki Çizelgelarda verilmiştir. Isı ihtiyacı iç ortam sıcaklığının 20°C olması durumu için belirlenmiş olup, şehirler için dış ortam saatlik sıcaklıkları iki güvenilir kaynaktan temin edilmiştir. Saatlik sıcaklık verileri, *Çizelge 3.1'de Farklı Lokasyonlar için Toplam Isıtma Saatleri* bölümünde detaylı olarak verilmiştir. E_{toplam} (harcanan toplam enerji) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$P_{max_t} = \frac{Q_t}{COP_t} \quad (4.4)$$

Q_t : "t" sıcaklığında elde edilen enerji miktarı

P_{max} : Belirli sıcaklıktaki ürünün harcadığı elektrik enerjisi

$$E_{toplam_Şehir_İsmi} = \sum_{t=-20^{\circ}C}^{12^{\circ}C} E_t \quad (4.5)$$

$E_{toplam_Şehir_İsmi}$: Seçilen şehirlerdeki bir yılda ısıtma için harcanan toplam enerji

$$E_t = Toplam_saat_t \times P_{max_t} \quad (4.6)$$

E_t : "t" sıcaklığında toplam harcanan enerji miktarı

Yoğuşmalı kombi için P_{max} değeri de yukarıda belirtilen ısı pompası için yapılan hesaplamaya benzer bir şekilde, üreticiden alınan verim değerleri ile hesaplanmıştır.

$$P_{max_t} = \frac{Q_t}{Verim_t} \quad (4.7)$$

Çizelge 4.6. Budapeşte için ısı pompası ve yoğuşmalı kombi enerji tüketim değerleri.

Budapeşte		Isı Pompası			Yoğuşmalı Kombi		
Isıtma Saatleri	Dış Ortam Sıcaklık	Pmax	E	COP	Pmax	E	Verim
[h]	[°C]	[kW]	[kWh]		[kW]	[kWh]	
1	-19	2,3491	2,3	1,00	12,3655	12,4	0,86
3	-18	2,3697	7,1	1,00	11,9250	35,8	0,87
1	-17	2,3904	2,4	1,00	11,4469	11,4	0,87
1	-16	2,4110	2,4	1,00	10,9949	11,0	0,88
0	-15	2,4316	0,0	1,00	10,5107	0,0	0,89
4	-14	2,4522	9,8	1,00	10,0524	40,2	0,89
0	-13	2,4728	0,0	1,00	9,6170	0,0	0,90
14	-12	2,4933	34,9	1,00	9,1546	128,2	0,90
11	-11	2,5105	27,6	1,00	8,7446	96,2	0,91
17	-10	2,5268	43,0	1,00	8,3375	141,7	0,91
19	-9	2,5430	48,3	1,00	7,9196	150,5	0,92
21	-8	2,3683	49,7	2,92	7,5060	157,6	0,92
51	-7	2,1888	111,6	3,00	7,0846	361,3	0,93
49	-6	2,0635	101,1	3,01	6,6689	326,8	0,93
125	-5	1,9337	241,7	3,04	6,2587	782,3	0,94
142	-4	1,8061	256,5	3,06	5,8731	834,0	0,94
206	-3	1,6817	346,4	3,08	5,4900	1130,9	0,94
260	-2	1,5133	393,5	3,20	5,0928	1324,1	0,95
262	-1	1,3572	355,6	3,32	4,7160	1235,6	0,95
318	0	1,2120	385,4	3,43	4,3416	1380,6	0,96
292	1	1,0718	313,0	3,56	3,9697	1159,2	0,96
330	2	0,9385	309,7	3,70	3,6002	1188,1	0,96
293	3	0,8191	240,0	3,82	3,2278	945,7	0,97
280	4	0,7075	198,1	3,93	2,8590	800,5	0,97
286	5	0,6029	172,4	4,04	2,5017	715,5	0,97
212	6	0,5044	106,9	4,15	2,1455	454,8	0,98
245	7	0,4097	100,4	4,27	1,7875	437,9	0,98
215	8	0,3219	69,2	4,37	1,4364	308,8	0,98
194	9	0,2379	46,1	4,47	1,0819	209,9	0,98
196	10	0,1575	30,9	4,56	0,7295	143,0	0,99
210	11	0,0804	16,9	4,66	0,3794	79,7	0,99
226	12	0,0066	1,5	4,76	0,0315	7,1	0,99
4484		E [kWh] =	4024,5		E [kWh] =	14610,9	
		E [GJ] =	14,488083		E [GJ] =	52,59931395	

Çizelge 4.7. Ankara için ısı pompası ve yoğuşmalı kombi enerji tüketim değerleri.

Ankara		Isı Pompası			Yoğuşmalı Kombi		
Isıtma Saatleri	Dış Ortam Sıcaklık	Pmax	E	COP	Pmax	E	Verim
[h]	[°C]	[kW]	[kWh]		[kW]	[kWh]	
3	-12	2,4933	7,5	1,00	9,1546	27,5	0,90
5	-11	2,5105	12,6	1,00	8,7446	43,7	0,91
7	-10	2,5268	17,7	1,00	8,3375	58,4	0,91
7	-9	2,5430	17,8	1,00	7,9196	55,4	0,92
8	-8	2,3683	18,9	2,92	7,5060	60,0	0,92
9	-7	2,1888	19,7	3,00	7,0846	63,8	0,93
16	-6	2,0635	33,0	3,01	6,6689	106,7	0,93
38	-5	1,9337	73,5	3,04	6,2587	237,8	0,94
46	-4	1,8061	83,1	3,06	5,8731	270,2	0,94
85	-3	1,6817	142,9	3,08	5,4900	466,6	0,94
117	-2	1,5133	177,1	3,20	5,0928	595,9	0,95
135	-1	1,3572	183,2	3,32	4,7160	636,7	0,95
176	0	1,2120	213,3	3,43	4,3416	764,1	0,96
209	1	1,0718	224,0	3,56	3,9697	829,7	0,96
288	2	0,9385	270,3	3,70	3,6002	1036,8	0,96
283	3	0,8191	231,8	3,82	3,2278	913,5	0,97
276	4	0,7075	195,3	3,93	2,8590	789,1	0,97
246	5	0,6029	148,3	4,04	2,5017	615,4	0,97
272	6	0,5044	137,2	4,15	2,1455	583,6	0,98
320	7	0,4097	131,1	4,27	1,7875	572,0	0,98
337	8	0,3219	108,5	4,37	1,4364	484,1	0,98
328	9	0,2379	78,0	4,47	1,0819	354,9	0,98
335	10	0,1575	52,7	4,56	0,7295	244,4	0,99
293	11	0,0804	23,6	4,66	0,3794	111,2	0,99
298	12	0,0066	2,0	4,76	0,0315	9,4	0,99
4137		E [kWh] =	2603,0		E [kWh] =	9930,7	
		E [GJ] =	9,370828012		E [GJ] =	35,8	

Çizelge 4.8. İzmir için ısı pompası ve yoğuşmalı kombi enerji tüketim değerleri.

İzmir		Isı Pompası			Yoğuşmalı Kombi		
Isıtma Saatleri	Dış Ortam Sıcaklık	Pmax	E	COP	Pmax	E	Verim
[h]	[°C]	[kW]	[kWh]		[kW]	[kWh]	
2	1	1,0718	2,1	3,56	3,97	7,94	0,96
15	2	0,9385	14,1	3,70	3,60	54,00	0,96
45	3	0,8191	36,9	3,82	3,23	145,25	0,97
102	4	0,7075	72,2	3,93	2,86	291,62	0,97
124	5	0,6029	74,8	4,04	2,50	310,21	0,97
153	6	0,5044	77,2	4,15	2,15	328,25	0,98
221	7	0,4097	90,5	4,27	1,79	395,05	0,98
245	8	0,3219	78,9	4,37	1,44	351,92	0,98
250	9	0,2379	59,5	4,47	1,08	270,47	0,98
332	10	0,1575	52,3	4,56	0,73	242,21	0,99
402	11	0,0804	32,3	4,66	0,38	152,53	0,99
403	12	0,0066	2,6	4,76	0,03	12,70	0,99
2294		E [kWh] =	593,3		E [kWh] =	2562,16	
		E [GJ] =	2,135873704		E [GJ] =	9,22	

Çizelge 4.9. İstanbul için ısı pompası ve yoğuşmalı kombi enerji tüketim değerleri.

İstanbul		Isı Pompası			Yoğuşmalı Kombi		
Isıtma Saatleri	Dış Ortam Sıcaklık	Pmax	E	COP	Pmax	E	Verim
[h]	[°C]	[kW]	[kWh]		[kW]	[kWh]	
1	-7	2,1888	2,2	3,00	7,08	7,08	0,93
1	-6	2,0635	2,1	3,01	6,67	6,67	0,93
3	-5	1,9337	5,8	3,04	6,26	18,78	0,94
2	-4	1,8061	3,6	3,06	5,87	11,75	0,94
7	-3	1,6817	11,8	3,08	5,49	38,43	0,94
37	-2	1,5133	56,0	3,20	5,09	188,43	0,95
32	-1	1,3572	43,4	3,32	4,72	150,91	0,95
32	0	1,2120	38,8	3,43	4,34	138,93	0,96
50	1	1,0718	53,6	3,56	3,97	198,49	0,96
96	2	0,9385	90,1	3,70	3,60	345,61	0,96

Çizelge 4.9. (devam) İstanbul için ısı pompası ve yoğuşmalı kombi enerji tüketim değerleri.

İstanbul		Isı Pompası			Yoğuşmalı Kombi		
Isıtma Saatleri	Dış Ortam Sıcaklık	Pmax	E	COP	Pmax	E	Verim
[h]	[°C]	[kW]	[kWh]		[kW]	[kWh]	
138	3	0,8191	113,0	3,82	3,23	445,44	0,97
135	4	0,7075	95,5	3,93	2,86	385,97	0,97
174	5	0,6029	104,9	4,04	2,50	435,29	0,97
211	6	0,5044	106,4	4,15	2,15	452,69	0,98
282	7	0,4097	115,5	4,27	1,79	504,09	0,98
335	8	0,3219	107,8	4,37	1,44	481,20	0,98
401	9	0,2379	95,4	4,47	1,08	433,83	0,98
389	10	0,1575	61,3	4,56	0,73	283,79	0,99
369	11	0,0804	29,7	4,66	0,38	140,01	0,99
396	12	0,0066	2,6	4,76	0,03	12,48	0,99
3091		E [kWh] =	1139,5		E [kWh] =	4679,9	
		E [GJ] =	4,1021366		E [GJ] =	16,847534	

Çizelge 4.10. Erzurum için ısı pompası ve yoğuşmalı kombi enerji tüketim değerleri.

Erzurum		Isı Pompası			Yoğuşmalı Kombi		
Isıtma Saatleri	Dış Ortam Sıcaklık	Pmax	E	COP	Pmax	E	Verim
[h]	[°C]	[kW]	[kWh]		[kW]	[kWh]	
181	-20	2,3284	421,4	1,00	12,86	2326,83	0,86
25	-19	2,3491	58,7	1,00	12,37	309,14	0,86
41	-18	2,3697	97,2	1,00	11,93	488,93	0,87
42	-17	2,3904	100,4	1,00	11,45	480,77	0,87
63	-16	2,4110	151,9	1,00	10,99	692,68	0,88
86	-15	2,4316	209,1	1,00	10,51	903,92	0,89
74	-14	2,4522	181,5	1,00	10,05	743,88	0,89
109	-13	2,4728	269,5	1,00	9,62	1048,25	0,90
85	-12	2,4933	211,9	1,00	9,15	778,14	0,90
92	-11	2,5105	231,0	1,00	8,74	804,51	0,91
80	-10	2,5268	202,1	1,00	8,34	667,00	0,91

Çizelge 4.10. (devam) Erzurum için ısı pompası ve yoğuşmalı kombi enerji tüketim değerleri.

Erzurum		Isı Pompası			Yoğuşmalı Kombi		
Isıtma Saatleri	Dış Ortam Sıcaklık	Pmax	E	COP	Pmax	E	Verim
[h]	[°C]	[kW]	[kWh]		[kW]	[kWh]	
104	-9	2,5430	264,5	1,00	7,92	823,64	0,92
122	-8	2,3683	288,9	2,92	7,51	915,73	0,92
158	-7	2,1888	345,8	3,00	7,08	1119,37	0,93
142	-6	2,0635	293,0	3,01	6,67	946,98	0,93
141	-5	1,9337	272,6	3,04	6,26	882,47	0,94
186	-4	1,8061	335,9	3,06	5,87	1092,39	0,94
193	-3	1,6817	324,6	3,08	5,49	1059,57	0,94
195	-2	1,5133	295,1	3,20	5,09	993,09	0,95
255	-1	1,3572	346,1	3,32	4,72	1202,58	0,95
309	0	1,2120	374,5	3,43	4,34	1341,57	0,96
286	1	1,0718	306,5	3,56	3,97	1135,33	0,96
273	2	0,9385	256,2	3,70	3,60	982,84	0,96
301	3	0,8191	246,5	3,82	3,23	971,57	0,97
288	4	0,7075	203,8	3,93	2,86	823,40	0,97
216	5	0,6029	130,2	4,04	2,50	540,36	0,97
277	6	0,5044	139,7	4,15	2,15	594,29	0,98
295	7	0,4097	120,9	4,27	1,79	527,32	0,98
312	8	0,3219	100,4	4,37	1,44	448,16	0,98
324	9	0,2379	77,1	4,47	1,08	350,52	0,98
273	10	0,1575	43,0	4,56	0,73	199,17	0,99
270	11	0,0804	21,7	4,66	0,38	102,45	0,99
243	12	0,0066	1,6	4,76	0,03	7,66	0,99
6041		E [kWh] =	6923,5		E [kWh] =	26304,51	
		E [GJ] =	24,92459		E [GJ] =	94,70	

Seçilen şehirler için enerji tüketim değerleri, ısı pompası ve yoğuşmalı kombi olarak yukarıdaki Çizelgelarda belirtilmiştir. Enerji tüketimi en fazla olan şehir doğal olarak ısıtma saati en fazla ve en soğuk il olan Erzurum çıkmıştır. Erzurum'dan sonra Budapeşte, Ankara, İstanbul ve İzmir sırası ile en yüksekten en düşük enerji tüketimine göre sıralanmıştır. Isıtma saatlerinin yanı sıra sıcaklık eğrilerinin de ürünlerin verimliliğine ve enerji tüketimine direkt olarak etkisi vardır.

Çizelgelerden kolayca görüldüğü üzere ısı pompası gerekli olan ısı ihtiyacını, yoğuşmalı kombiye kıyasla çok daha az enerji harcayarak elde edebilmektedir. Yatırım ve enerji tüketim maliyetlerinin ekonomik açıdan karşılaştırılması sonraki bölümde incelenecektir.

4.7. Seçilen Ürünlerin İlk Yatırım ve Yıllık Enerji Tüketim Maliyetleri

Isıtma sezonunda gerekli ısı ihtiyacı ve ürünlerin bu ihtiyaca karşılık gelen enerji tüketimleri önceki bölümlerde hesaplanmıştı. Ekonomik açıdan incelemek için elektrik ve doğalgaz fiyatları <https://ec.europa.eu> sitesinden 2019 güncel verileri olarak alınmıştır. (Eurostat, 2019) Aşağıdaki Çizelgeler yıllık enerji ihtiyacını, ısı pompası için elektrik tüketim maliyetini ve yoğuşmalı kombi için doğalgaz tüketim maliyetini göstermektedir.

Enerji tüketim maliyeti, yıllık toplam enerji ihtiyacının bir kWh enerjinin Euro cinsinden maliyeti ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.11. Isı pompasının toplam enerji maliyeti.

Toplam Isı İhtiyacına karşılık Toplam Elektrik Maliyeti		Isı Pompası		
	E [kWh]	kWh/Eur	Toplam Maliyet	
Budapeşte	4024,467576	0,1123	451,9477	Euro/Yıl
Ankara	2603,007781	0,0904	235,3119	Euro/Yıl
Erzurum	6923,497183	0,0904	625,8841	Euro/Yıl
İstanbul	1139,482377	0,0904	103,0092	Euro/Yıl
İzmir	593,2982512	0,0904	53,63416	Euro/Yıl

Çizelge 4.12. Yoğuşmalı kombinin toplam enerji maliyeti.

Toplam Isı İhtiyacına karşılık Toplam Doğalgaz Maliyeti		Yoğuşmalı Kombi		
	E [kWh]	kWh/Eur	Toplam Maliyet	
Budapeşte	14610,92054	0,04	584,4368	Euro/Yıl
Ankara	9930,728103	0,02	198,6146	Euro/Yıl
Erzurum	26304,50818	0,02	526,0902	Euro/Yıl
İstanbul	4679,870557	0,02	93,59741	Euro/Yıl
İzmir	2562,155304	0,02	51,24311	Euro/Yıl

Elektrik ve doğalgaz maliyetleri, her iki ülke için de hesaplandıktan sonra, montaj ve ürün maliyeti için Ankara'daki bir bayiiden 100 m² için talep edilmiştir. Toplam proje maliyeti Mayıs 2019'da alınmış olup, detayları aşağıdaki Çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 4.13. Ürün birim fiyatı ve montaj maliyeti.

	aroTHERM Isı Pompası	ecoTEC plus Yoğuşmalı Kombi
Birim Fiyat	€2.671,76	€702,29
Proje	€0,00	€68,70
Montaj Aksesuarı	€38,17	€15,27
Radyatör 8,5m	€374,05	€374,05
8 grup radyatör vanası	€48,85	€48,85
Ocak Hortum Vana	€0,00	€10,69
Kombi Vana Fleks	€0,00	€9,16
Doğalgaz Hattı Borusu Fittings	€0,00	€61,07
Sıcak Soğuk Su Hattı	€15,27	€15,27
Kal. Hattının Çekilmesi	€183,21	€183,21
İşçilik	€183,21	€229,01
Nakliye	€15,27	€15,27
Elektrik Montaj	€45,80	€9,16
İç Dış Ünite Bakır Borulama Montajı	€68,70	€0,00
Baca Uzatma 0,5m	€0,00	€22,90
Toplam Peşin Maliyet	€3.644,27	€1.764,89
%10 Mühendislik	€381,68	€190,84
TOPLAM	€4.025,95	€1.955,73

Yukarıdaki maliyet listesi 1 Euro = 6,55 TRY döviz kuru üzerinden hesaplanmış olup, gelecekteki araştırmalarda ya da günümüz döviz değerlerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Ayrıca proje teklifi tamamen araştırma amaçlı olarak hazırlanmıştır.

4.8. Kısıtlamalar

Daha öncede belirtildiği gibi, bu çalışmada sadece ortam ısıtması üzerine çalışılmıştır. Su ısıtma ve ortam soğutması göz önünde bulundurulmamıştır. Bu yaklaşımda, iç ortam sıcaklığındaki değişimler, hesaplamalarda ihmal edilmiştir. Ayrıca dış ortamdaki nem oranı genel olarak sistem verimliliğini etkileyebilmektedir. Bu yüzden ileride yapılacak araştırmalarda nem oranlarının hesaplamalara dâhil edilmesi daha doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır.

Montaj ve ürün tedariki için yapılan proje çalışması, Ankara şehrinde bulunan bir bayiden alınmıştır. Bu fiyatlandırma Türkiye’de bulunan diğer şehirlerde büyük değişiklikler

göstermese de Budapeşte şehrinde çalışma maliyetleri farklılıklar gösterebilir. Toplam proje fiyatlandırmalarının seçilen şehirlerdeki yerel satış ve servis ofislerinden alınması, fiyat karşılaştırmasının daha hassas olmasını sağlayabilir.

İleride yapılacak olan araştırmalarda farklı dış ortam sıcaklıklarının sistem verimliliğine etkisini daha hassas olarak görmek için daha fazla ülke ve şehir seçilebilir. Isı pompasının COP değerleri çok fazla farklılık göstermesede toplam sıcak saatlerindeki farklılık, yıllık ortalama SCOP değerini etkileyebilir.

Ayrıca kaskat sistemler ile yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı göz önünde bulundurularak daha efektif çözümler üretilebilir. Örneğin hem ısı pompaları hem de yoğuşmalı kombiler, güneş enerjisi panelleri birleştirilerek güneşli iklim koşullarında, daha verimli sistem çözümleri oluşturulabilir.

5. SONUÇLAR

Bu araştırmada, seçilen H.K.I.P. ile Yoğuşmalı Kombinin yıllık performansları Budapeşte, Ankara, İstanbul, İzmir ve Erzurum şehirlerinde farklı iklim koşulları altında karşılaştırılmıştır.

Üretici firmadan toplanan veriler ile birlikte, belirtilen beş farklı şehir için hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçlar; enerji tüketimi, ısıtma saatleri ve maliyet parametreleri olarak incelenmiştir.

Türkiye'nin başkenti Ankara'nın yıllık toplam ısıtma saati 4137 saat olarak belirlenmiştir. Gerekli toplam ısı ihtiyacı H.K.I.P. için 2603 kWh ve Yoğuşmalı Kombi için ise 9930,7 kWh enerji tüketimi hesaplanmıştır. Seçilen H.K.I.P. toplam ısıtma saatlerinin yalnızca % 0,53'lük kısmında ısı talebini karşılamak için ekstra ısıtıcıya ihtiyaç duymaktadır. Hesaplamalar sonunda ısı pompasının yoğuşmalı kombi ile kıyaslandığında yaklaşık olarak yıllık % 74 daha az enerji tüketerek gerekli ısı ihtiyacını karşılayabildiği söylenebilir. Bu yüzden enerji tüketimi direkt olarak kombinin yıllık verimine ve ısı pompasının COP değerine bağlı olarak ortaya çıkmıştır. Toplam enerji maliyeti ısı pompası için 235,312 Euro ve yoğuşmalı kombi için 198,615 Euro'dur. Yoğuşmalı kombi yıllık yaklaşık olarak % 17 daha az tüketim maliyeti ile ısı talebini karşılamaktadır. Bu maliyet değerleri ürünlerin verimine ve ülkedeki gaz ve elektrik fiyatlarına bağlı olarak değişmektedir.

Macaristan'ın başkenti Budapeşte'nin yıllık toplam ısıtma saati 4484 saat olarak belirlenmiştir. Gerekli toplam ısı ihtiyacı H.K.I.P. için 4024,5 kWh ve Yoğuşmalı Kombi için ise 14610,9 kWh enerji tüketimi hesaplanmıştır. Seçilen H.K.I.P. toplam ısıtma saatlerinin yalnızca % 1,58'lik kısmında ısı talebine yetersiz kalıp, ekstra ısıtıcıya ihtiyaç duymaktadır. Isı pompası yıllık yaklaşık olarak, % 72,5 daha az enerji sarf ederek aynı ısı talebini karşılamaktadır. Toplam enerji tüketim maliyeti H.K.I.P. için 451,948 Euro ve Yoğuşmalı kombi için 584,437 Euro'dur. Isı pompası yıllık yaklaşık olarak % 23 daha az tüketim maliyeti ile ısı talebini karşılamaktadır. Bu maliyet hesaplamaları da Macaristan'daki elektrik ve gaz fiyatlarına ve ürünlerin verim değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

İstanbul şehri Türkiye'deki en çok nüfusa sahip olan şehir olup yıllık toplam ısıtma saati, 3091 saat olarak belirlenmiştir. H.K.I.P. ürünü için 1139,5 kWh ve yoğuşmalı kombi için ise 4679,9 kWh yıllık enerji harcayarak gerekli ısı ihtiyacını karşılanmıştır. Seçilen H.K.I.P. ürünü ısıtma sezonunu tam olarak karşılamakta olup, herhangi bir ekstra ısıtıcıya gerek yoktur. Bu veriler ile ısı pompası yaklaşık olarak % 75,7 daha az enerji harcayarak talebe cevap

vermiştir. Toplam enerji maliyeti H.K.I.P. için 103,009 Euro ve yoğuşmalı kombi için 93,597 Euro olarak hesaplanmıştır.

Bir diğer yüksek nüfuslu bir şehir olan İzmir, Türkiye'nin batı bölümünde farklı iklim koşullarını göstermek için seçilmiştir. Yıllık toplam ısıtma saati 2294 saat olarak hesaplanmıştır. Isı pompası toplamda 593,3 kWh enerji harcarken, seçilen yoğuşmalı kombi 2562,16 kWh enerji harcamıştır. Bu şehir içinde sıcaklık eğrisine bağlı olarak ısı pompası tüm ısıtma sezonunda kendi başına yeterli ısı üretip ekstra ısıtıcıya ihtiyaç duymamaktadır. Isı pompası yoğuşmalı kombiye göre yaklaşık % 77 daha az enerji harcamıştır. Toplam yıllık enerji maliyeti H.K.I.P. için 53,634 Euro ve yoğuşmalı kombi için 51,243 Euro'dur. Görüldüğü üzere aradaki enerji maliyeti farkı çok azdır.

Türkiye'de seçilen diğer şehir Erzurum, ülkenin en soğuk iklim koşullarına sahip olarak bilinen şehridir. Toplam yıllık ısıtma saati 6041 olup, H.K.I.P. ile ısıtmada 6923,5 kWh ve yoğuşmalı kombi ile ısıtmada ise 26304,51 kWh enerji harcayarak ısı ihtiyacı karşılanmıştır. Isı pompası toplam ısıtma sezonunun 13,26% kısmında yetersiz gelmektedir ve ekstra ısıtıcıya ihtiyaç duyulmaktadır. Aslında bu yüzde çok büyük olduğunda karşılaştırma tam olarak doğru değildir. Bu yüzdelik kısım yok sayıldığında ısı pompası % 74 daha az enerji harcamaktadır. Toplamda H.K.I.P. 625,884 Euro ve yoğuşmalı kombi 526,090 Euro enerji maliyeti ortaya çıkartmıştır.

Yıllık sıcaklık değerlerine bakıldığında Budapeşte ile Ankara aynı zamanda İzmir ve İstanbul yaklaşık ısıtma saatlerine sahiplerdir. Ancak toplam enerji tüketimlerine bakıldığında, Budapeşte için Ankara'nın yaklaşık 1.5 katı daha fazla elektrik harcandığı, İstanbul'da da, İzmir'in iki katı daha fazla enerji harcandığı görülmüştür. Bu durumu en iyi açıklayan sonuç ısıtma saatlerinin dağılım durumudur. Örneğin; Budapeşte'deki sıcaklık değerleri, Ankara'ya göre daha düşüktür. Yani Budapeşte bir yıl içerisinde Ankara'ya kıyasla daha soğuk olup SCOP değeri daha düşük hesaplanmıştır.

H.K.I.P. ürünleri yeni teknolojiler ve ürün geliştirmeler sayesinde düşük dış ortam sıcaklıklarında bile yüksek COP değerleri ile çalışıp, düşük enerji ile ısı ihtiyaçlarımızı karşılayabilmektedirler. Yakın geçmiş zamanda H.K.I.P. ürünlerinin Ankara, Budapeşte ve Erzurum gibi soğuk iklimlerde kullanılmasının verimsiz olduğu, ancak dış ortam sıcaklığından etkileniyor olsalar bile fonksiyonel olarak düşük sıcaklıklarda da işlevlerini yerine getirebildikleri gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın en önemli sonuçlarından birisi de, seçilen ısı pompasının yoğuşmalı kombiye kıyasla çok daha az enerji harcayabileceği, Türkiye’deki kullanıcılar için ısıtma sözü konusu olduğunda bütçe anlamında tasarruf edemeyecekleridir. Bunun sebebi elektrik fiyatlarının doğalgaz fiyatlarının 4 katından daha fazla olmasıdır. Bu durumda ısı pompasının SCOP değeri çok yüksek olsa da yoğuşmalı kombi ile karşılaştırıldığında son kullanıcının cebinden daha fazla para çıkacağı görülmüştür.

Budapeşte şehri için enerji tüketiminde tasarrufun yanı sıra bütçede de kazanım söz konusudur. Bunun sebebi elektrik ile doğalgaz kullanım fiyatları arasında Türkiye ile karşılaştırıldığında daha az fark bulunmasıdır. Yani kullanıcı yoğuşmalı kombi yerine ısı pompası tercih ettiğinde, ısı pompası için ödenen fazla miktar ilerleyen zamanda kullanıcıya geri dönmektedir. Budapeşte için tasarruf miktarı yıllık yaklaşık 132 Euro (€) olarak hesaplanmıştır. Bu da ısı pompası için ödenen ekstra miktarın yaklaşık 15 yıl içinde tasarruf sayesinde geri kazanılacağını ifade etmektedir.

Kullanıcılar ve bu araştırmayı okuyan araştırmacılar bu çalışmanın sadece bireysel ısıtma için yapıldığını unutmamalıdır. Sıcak su ve soğutma işlevleri de göz önünde bulundurulursa daha farklı sonuçlar elde edilebilir. Bu farklılık, ısı pompasının verimliliğinin yüksek olması ve soğutma özelliğine de sahip olmasından kaynaklıdır ve bu işlevsellik H.K.I.P. ürünlerini pozitif yönde etkileyecektir.

Karşılaştırmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve CO₂ emisyonu da göz önünde bulundurulmalıdır. Yoğuşmalı kombiler bilindiği üzere doğal enerji kaynağını kullanıp emisyon salınımına sebebiyet vermektedir. Bu da gündemde olan çevresel sorunlar doğurmaktadır. Isı pompaları düşük elektrik enerjisi harcayarak daha yüksek enerji eldesinde kullanıldığı için “temiz enerji” olarak tanımlanan ve çevreye zararı daha az olan aynı zamanda güneş enerjisi ile kaskat olarak kullanılabilen ürünlerdir.

Enerji maliyeti anlamında, iki ürün arasında çok büyük bir fark yoktur. Isı pompasının kullanılmasıyla, ısıtma amaçlı enerji kullanımının azalması birçok çevresel problemin çözülmesine yardımcı olabilir. Ekonomik olarak da, eğer ısı pompası daha fazla tercih edilmeye başlarsa, ısıtma amaçlı enerji tüketimi azalacağı için doğalgaz fiyatlarında uzun dönemde arz-talep ilişkisinden kaynaklı düşüş olabilir. Aynı zamanda ısı pompasına olan talebin artması, üretim maliyetlerinin de aşağı düşmesine etken olacaktır.

İlk yatırım maliyeti, yani ürünlerin fiyatları ve kurulumları son kullanıcıların ilk olarak düşündükleri parametre olabilir. Bu çalışma, uzun dönemdeki tam kazancı göstermeyebilir. Tam

ekonomik analiz, bütün olarak ısıtma-soğutma çözümleri ile gerçekleştirilebilir. Farklı sistemler, farklı üretici firmalar ve farklı lokasyonlar, ısı pompaları için ödenen fazla miktarın geri dönüş oranını değiştirebilir.

Özetlemek gerekirse, son kullanıcıların evleri için ısıtma sistemi seçerken aşağıdaki faktörleri göz önünde bulundurmaları tavsiye edilir.

- Ürünün kullanılacağı şehrin sıcaklık eğrisi
- Ürünün kullanılacağı şehrin yıllık ısıtma saatleri
- Elektrik ve doğalgaz fiyatları
- Yoğuşmalı kombinin yıllık ortalama verimi ve ısı pompasının SCOP değeri
- Isıtma sisteminin montaj kolaylığı ve maliyeti
- Çevresel problemlere etkisi (örn. CO₂ emisyonu).

KAYNAKLAR DİZİNİ

Belo, J. (2013), *Air-Water Heat Pumps study*. Instituto Superior Técnico; Technical University of Lisbon.

Connolly, D., Mathiesen, B. V., Østergaard, P. A., Möller, B., Nielsen, S., Lund, H., Persson, U., Werner, S., Grözinger, J., Boermans, T., Bosquet, M., Trier, D. (2013). *Heat Roadmap Europe: Second Pre-Study*. Department of Development and Planning, Aalborg University, Vestre Havnepromenade.

Çokgez Kuş, A., Çomaklı, K. (2015), Farklı Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Ekonomik Analizi . *Tesisat Mühendisliği*, Sayı 148; s.13-21.

Fardoun, F., Ibrahim, O., Zoughaib, A. (2011), Quasi-Steady State Modeling of an Air Source Heat Pumps Water Heater. *MEDGREEN 2011-LB*, s.325-330.

Guo, J. J., Wu, J. Y., Wang, R. Z., Li, S. (2011), Experimental Research and Operation Optimization of an Air-source Heat Pumps Water Heater. *Applied Energy*. C. 88, s.4128-4138.

Hepbasli, A. ve Kalinci, Y. (2009), A Review of Heat Pumps Water Heating Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. C.13, s.1211-1229.

<http://climate.onebuilding.org>, *Ankara, İstanbul, İzmir, Erzurum Hourly Data*. (2019). Retrieved from

<http://www.eurovent-certification.com/index.php?Lg=en>, Certified Product for the Eurovent Certified Performance Website, Available at.

<http://www.konyademirdokumservis.com/demirdokum-arizalari-ve-cozumleri/260-nitron-kombi-detay-g%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%C3%BC.html>, Konya Demirdöküm Servis.

<http://www.meteoblue.com>, *Budapeşte Hourly Data*. (2019). Retrieved from

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics, Eurostat, Electricity prices for Domestic Consumers, Available at.

Kahraman, A., Çelebi, A. (2009), Investigation of the Performance of a Heat Pumps Using Waste Water as a Heat Source. *Energies*, 2, 697-713.

Kaya, M. (2009), Isı Pompası Ve Kombi Isıtma Sistemleri Maliyet Analizlerinin Karşılaştırılması. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(4), s.39-47.

Kelly, J. A., Fu, M., Clinch, J. P. (2016), Residential Home Heating: The Potential for Air Source Heat Pumps Technologies as an Alternative to Solid and Liquid Fuels. *Energy Policy*, 431-442.

Kinab, E., Marchio, D. ve Riviere, P. (2008). Seasonal Coefficient of Performance of Heat Pumps. International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 894.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Koca, T., Askungur, S. (2018), Hermetik ve Yoğuşmalı Kombi Cihazlarının Performanslarının Deneysel Olarak Karşılaştırılması. *International Vocational Science Symposium*.

Latorre-Biel, J., Jiménez, E., García, Jorge L., Martínez, E., Jiménez, E., Blanco, J. (2018), Replacement of Electric Resistive Space Heating by an Air-Source Heat Pump in a Residential Application. *Environmental Amortization. Building and Environment*, 141, s.193–205.

Lea, K. X., Huang, M. J., Shaha, N. N., Wilson, C., Artain, P. M., Byrne, R., 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.

Liu, Z., Wang, Y., Xie, Z., Yu, H., Ma, W. (2017). The Related Problems and Development Situation of Air Source Heat Pumps in the Cold and Serve Cold Climate Areas. *Procedia Engineering*, 205, s.368–372.

Naldi, C., Dongellini, M., Morini, G. (2015). Climate Influence on Seasonal Performances of Air-to-Water Heat Pumps for Heating. *Energy Procedia*, 81, s.100 – 107.

Perko, J., Dugec, V., Topic, D., Sljivac, D., Kovac, Z. (2011). Calculation and Design of the Heat Pumps. 3rd International Youth Conference on Energetics.

Rivoire, M., Casasso, ID, A., Piga, B., Sethi, R. (2018). Assessment of Energetic, Economic and Environmental Performance of Ground-Coupled Heat Pumps. *Energies*, 11, 194; s.1-23.

Scoccia, R., Toppi, T., Aprile, M., Motta, M. (2018), Absorption and Compression Heat Pumps Systems for Space Heating and DHW in European Buildings Energy, Environmental and Economic Analysis. *Journal of Building Engineering*, s.94-105.

Sljivac, D., Simic, Z. (2008), Renewable Energy Sources in Respect to Energy Efficiency. Croatian Chamber of Engineers.

Steijger, L. A., Buswell, R., Smedley, V., Firth, S., Rowley, P. (2010), An Air Source Heat Pump Model for Operation in Cold Humid Environments. 8th International Conference on System Simulation in Buildings, Liege, Belgium, 13th-15th December.

Tabatabaei, S., 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.

Vocale, P., Morini, G., Spiga, M. (2014), Influence of Outdoor Air Conditions on the Air Source Heat Pumps Performance. *Energy Procedia*, 45, s.653- 662.

Wu, W., Zhang, X., Li, X., Shi, W., Wang, B. (2012), Comparisons of Different Working Pairs and Cycles on the Performance of Absorption Heat Pump for Heating and Domestic Hot Water in Cold Regions. *Applied Thermal Engineering*, 48, s.349-358.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zhang, L., Gopalnarayanan, S. ve Siemel, T. (2006), Thermodynamic Cycle Analysis of Air-to-Water CO₂ Heat Pumps. International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 760.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZEN, Ali Can
Doğum tarihi ve yeri : 10.05.1990 – Eskişehir
e-mail : alicanozen@hotmail.com

Eğitim

- Kütahya Dumlupınar Üniversitesi **Makine Mühendisliği Yüksek Lisansı** 2019
 - ERASMUS Değişim Öğrencisi 08/2018 – 06/2019
(Budapeşte Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi)
 - **Tez:** Farklı İklim Koşullarında Hava Kaynaklı Isı Pompası ile Yoğuşmalı Kombinin Termo- Ekonomik Analizi
- Southeast Missouri State Üniversitesi **MBA- Uluslararası İşletme Yüksek Lisansı** 2016
 - **Tez:** İşletmeler arası HVAC Satınalma Sürecini Etkileyen Faktörler
- Eskişehir Osmangazi Üniversitesi **Makine Mühendisliği Lisansı** 2013
 - ERASMUS Değişim Öğrencisi 01/2012 – 06/2012
(Bükrüş Politeknik Üniversitesi)
- Anadolu Üniversitesi **Dış Ticaret Ön Lisansı** 2014

İş Deneyimi

- **Tasarım Mühendisi** - Vaillant Saunier Duval kft. 02/2017 – 07/2019
- **Ar-Ge Mühendisi (Ürün Geliştirme)** - Vaillant Group, Demirdöküm 02/2017 – 07/2019
- **Araştırma Görevlisi** - Southeast Missouri State Üniversitesi 01/2015 – 08/2016
- **AppleCare Teknik Destek Danışmanı** - Apple Inc. Teleperformance 09/2013 – 02/2014
- **Stajyer** - Aydıngör Havacılık 07/2013 – 08/2013
- **Stajyer** – Üntes 07/2011 – 08/2011
- **Stajyer** – Demirdöküm 06/2011 – 07/2011