



YAPILARDA ENERJİ KAYNAĞI OLARAK TOPRAĞIN KULLANILMASI

Nazila SALİMİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2018

Nazila SALİMİ tarafından hazırlanan “YAPILARDA ENERJİ KAYNAĞI OLARAK TOPRAĞIN KULLANILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi MİMARLIK Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Cüneyt KURTAY

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Atilla BIYIKOĞLU

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL

Mimarlık Anabilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 16/08/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Nazila SALİMİ

16/08/2018

YAPILARDA ENERJİ KAYNAĞI OLARAK TOPRAĞIN KULLANILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Nazila SALİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2018

ÖZET

Fosil yakıtların rezervlerinin gitgide azaldığı günümüzde yenilenebilir enerji kaynakların kullanılmaya yönelik çalışmalar hergün artmaktadır. Bu yüzden, dünya ve çevresini bir enerji kaynağı olarak kullanmak için sık sık yapılan tüm uygulamalar yoğunlaşmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklardan birisi olan "toprak kaynaklı ısı", genelde bir projenin enerji tüketimini azaltmak için kullanılmaktadır. Bu sebeple, toprak kaynaklı ısının değişken çıktısı ve enerji kullanımına etkisi göz önüne alınmalıdır. Toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP), topraktan ısıyı çekebilmek için kullanılır. Sistem, dış hava sıcaklığı yerine yeryüzünün sabit sıcaklığını kullanır. Bu ısı daha sonra ısıtma sistemlerinde kullanılabilir. Bu çalışmada, konutlar için toprak kaynaklı ısı pompalarının fizibilite analizi yapılmıştır. Öncelikle toprak kaynaklı ısı pompaları çalışma prensibi ve elemanları hakkında bilgi verilmiş, daha sonra farklı kaynaklı ısı pompaları tanıtılıp, teorik bilgiler verilmiştir. Örnek çalışma olarak Ankara'da yer alan bir konutun ısı enerji ihtiyacı hesaplanmıştır. Bu ihtiyacı toprak kaynaklı ısı pompasından karşılama potansiyeli araştırılmıştır. Araştırmanın sonucu, Ankara'da örnek olarak ele alınan bir yapının ihtiyaç duyduğu ısıtma enerjisinin yaklaşık % 74'lük kısmının toprak kaynaklı ısı pompası sistemi ile karşılanabileceğini göstermektedir. Bu oran oldukça önemli bir oran olup, söz konusu sistemlerin yaygınlaştırılmasının ülke ekonomisi üzerinde olumlu sonuçlar doğuracağı beklenmektedir.

Bilim Kodu : 80103

Anahtar Kelimeler : Toprak kaynaklı ısı pompası, toprak enerji, enerji kullanımı, yenilenebilir enerji, yapılarda yenilenebilir enerji kullanımı

Sayfa Adedi : 65

Danışman : Prof. Dr. Cüneyt KURTAY

ON THE USE OF GROUND SOURCE ENERGY IN BUILDINGS

(M. Sc. Thesis)

Nazila SALİMİ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2018

ABSTRACT

Nowadays, reserves of fossil fuels are gradually decreasing, the use of renewable energy sources is increasing every day. Therefore, all the frequent applications to use the world and its environment as a source of energy are concentrated. One of the renewable energy sources is a "ground-source heat" that can be used to reduce energy consumption of projects. For this reason, the total energy demand must be taken into account for the variable output of the ground-source heat and its effect on energy use and for cooling and heating a project. Ground source heat pumps (TKIP) are used to extract heat from the soil. The system uses the fixed temperature of the earth instead of the outside temperature. This heat can be used to heating houses. In this study, feasibility analysis of ground source heat pumps for houses was analysed. Firstly, are given information about working principle and elements of ground source heat pumps, then different source heat pumps were introduced theoretically, Then, as a case study, a heat energy requirement of a residence in Ankara is calculated it has been researched how this amount can be obtained by using ground source heat pump. The results indicates that, ground source heat pumps in a house can cover about %74 of building energy consumption compare to the same conventional heating and cooling capacity in Ankara. This ratio is a very important one, and the expansion of such systems will have a positive impact on the country's economy.

Science Code : 80103

Key Words : Ground source heat pump, ground energy, energy usage, renewable energy, usage of renewable energy in building

Page Number : 65

Supervisor : Prof. Dr. Cüneyt KURTAY

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca ve tezimin hazırlanması boyunca desteğini ve katkılarıyla beni yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Cüneyt KURTAY 'a ve hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve destekleyen eőim ve değerli aileme teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ISI POMPASI SİSTEMLERİ VE ÇEŞİTLERİ	7
2.1. Isı Pompasının İşlevi	8
2.2. Isı Pompaları Ve Elemanları.....	8
2.3. Isı Pompasının Kaynaklarına Göre Sınıflandırılması	10
2.4. Isı Pompası İle İlgili Standartlar, Yönetmelikler ve Teşvikler.....	15
3. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPALARI	19
3.1. Tarihçe.....	19
3.2. Genel Tanıtım ve Temel Prensipler.....	20
3.3. Toprak Özellikleri	22
3.4. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Çeşitleri.....	24
4. ÖRNEK ÇALIŞMA.....	31
4.1. Örnek Binanın Tanıtımı	31
4.2. Hesap Yöntemi	34
4.2.1. TS825'e göre binanın ısı enerji ihtiyacı hesap yöntemi.....	35
4.2.2. Isı pompası ile topraktan çekilen enerji miktarının hesap yöntemi	35

	Sayfa
4.3. Örnek Binanın Enerji İhtiyacının TS'825e Göre Hesaplanması.....	36
4.4. Örnek Binan İçin Toprak Kaynaklı Isı Pompsının Sağladığı Enerji Miktarının Hesaplanması	44
5. DEĞERLENDİRME	55
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ	65



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Topraktaki bazı materyallerin ısı karakteristikleri	23
Çizelge 3.2. Toprak türlerinin ısı karakteristikleri	24
Çizelge 3.3. Tesisat için tavsiye edilen değerler	27
Çizelge 4.1. Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörü.....	40
Çizelge 4.2. Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerji geçirme faktörü	41
Çizelge 4.3. Farklı aylarda ısıtma enerji ihtiyacı	43
Çizelge 4.4. Ortalama dış sıcaklığı ve saatlik ısıtmak için ısı enerji ihtiyacı.....	44
Çizelge 4.5. Ankara için dış hava sıcaklığına bağlı 'BİN' saatleri	47
Çizelge 4.6. Isı pompaların seçilebilecek olan modelleri	50
Çizelge 4.7. Bin metodu ile ısı pompası enerji hesabı	51
Çizelge 5.1. Farklı pencere alanları için binanın ısıtma aylarındaki ısıtma enerji ihtiyacı.....	57
Çizelge 5.2. Farklı duvar geçirgenlik katsayıları için binanın ısıtma aylarındaki ısıtma enerji ihtiyacı	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Isı pompası elemanları.....	9
Şekil 2.2. Isı pompası çalışma prensibi.....	10
Şekil 2.3. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi çalışma şeması	12
Şekil 2.4. Hava kaynaklı ısı pompası.....	12
Şekil 2.5. Su kaynaklı ısı pompası (ısıtma,soğutma)	13
Şekil 3.1. Toprak ısıl direncinin değişimi.....	22
Şekil 3.2. Topraktaki normal yıllık sıcaklık değişimleri.....	23
Şekil 3.3. Açık çevrimli sistem örneği.....	25
Şekil 3.4. Toprak altında kullanılan ısı değiştiricisinin tasarımı	26
Şekil 3.5. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası	26
Şekil 3.6. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası şeması	28
Şekil 3.7. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası	28
Şekil 4.1. Örnek binanın vaziyet planı ve görünüşleri.....	31
Şekil 4.2. Örnek binanın zemin kat planı.....	32
Şekil 4.3. Örnek binanın 1.kesiti.....	32
Şekil 4.4. Örnek binanın 2.kesiti.....	33
Şekil 4.5. Örnek binanın sağ yan görünüşü	33
Şekil 4.6. Örnek binanın sol yan görünüşü	34
Şekil 4.7. Örnek binanın ön görünüşü	34
Şekil 4.8. TS'825e göre hesap yöntemi diyagramı	35
Şekil 4.9. Topraktan çekilen enerji miktarının hesap yöntemi diyagramı	35
Şekil 4.10. Ankara yıllık ortalama sıcaklık değerleri	44

Şekil	Sayfa
Şekil 4.11. Toprak sıcaklığının derinliğe bağlı değişimi	45
Şekil 4.12. Örnek binanın ısıtma yükü profili.....	46
Şekil 4.13. Seçilen ısı pompası performansı	51
Şekil 5.1. Ankara için soğuk aylarda topraktan alınan enerjinin binayı ısıtmak için ihtiyaç olunan enerji ile karşılaştırılması	55
Şekil 5.2. Topraktan alınan enerjinin yüzdesi.....	56
Şekil 5.3. Topraktan alınan enerjinin soğuk aylar toplam yüzdesi	56



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
m^3	Metreküp
j	Joul
k	Kelvin
m^2	Metrekare
w/m^2k	Watt bölü metrekare kelvin
w/k	Watt kelvin
A_n	Bina kullanım alanı
A_i	'i' Yönündeki toplam pencere alanı
H_T	İletim ve taşınım yoluyla ısı kaybı
H_V	Havalandırma yoluyla ısı kaybı
U	Isıl geçirgenlik katsayısı
$V_{brüt}$	Binanın ısıtılan brüt hacmi
$\phi_{S,ay}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı
$r_{i,ay}$	'i' Yönünde saydam yüzeylerin gölgelenme faktörü
$g_{i,ay}$	'i' Yönündeki saydam elemanların güneş geçirme faktörü
$I_{i,ay}$	'i' Yönünde dik yüzeylere gelen güneş şiddeti
F_w	Camlar için düzeltme faktörü
$g.$	Laboratuvar şartlarında ölçülen güneş enerjisi geçirme faktörü
η	Kazanç kullanım faktörü
KKO_{ay}	Kazanç/kayıp oranı
$\theta_{i,ay}$	Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı

Simgeler**Açıklamalar** $\theta_{e,ay}$

Aylık ortalama dış hava sıcaklığı

 $\phi_{i,ay}$

Aylık iç kazançlar

 Q_{ay}

Aylık ısıtma enerji ihtiyacı

 EWT_H

Isıtma su giriş sıcaklığı

 EWT_{MIN}

Minimum su giriş sıcaklığı

 EWT_{MEAN}

Ortalama su giriş sıcaklığı

 TA_{MEAN}

Ortalama dış hava sıcaklığı

 TA

Dış hava sıcaklığı

Kısaltmalar**Açıklamalar****ABD**

Amerika birleşik devletler

AIEE

American institute of electrical engineers

ASHRAE

American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers.

BREEAM

Bre environmental assessment methods

LEED

Leadership in energy and environmental design

TKIP

Toprak kaynaklı ısı pompası

1. GİRİŞ

Enerji, günümüzde en vazgeçilmez iş yapabilme kabiliyeti kavramıdır. Talep edilen enerji miktarının hızla arttığı dünyamızda, fosil kökenli enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükeneceği tamin edilmektedir. Buna ek olarak nüfus artışı ve enerji kullanımına bağlı olarak dünya emisyon değerlerinin bugünkü sınırlar içinde tutulması mümkün gözükmemektedir. Bu sebeple tüm dünyada enerji üretimi için yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim kaçınılmaz hale gelecektir. Yenilenebilir kaynaklar başlıca; Güneş enerjisi, hidroelektrik enerji, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, toprak enerjisi, biokütle enerji ve hidrojen enerjisi olarak sınıflandırılabilir. Yenilenebilir enerji üretim sistemleri, enerji üretim sırasında çevreye zarar vermemektedir. Bu kaynakların doğada tükenmeyecek ve geri dönüşüme sahip olması bir avantaj oluşturmaktadır. Taşıma, depolama, kullanma gibi aşamalarında problem çıkarmayan ve daha fazla sürdürülebilir ve bitmeyecek olan yenilenebilir enerji kaynakları çok iyi bir şekilde yönetilip ve kullanılmalıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajları:

- Bağımsız kaynak olmaları ve İthal edilen yakıtlara olan bağımlılığı azaltması,
- Hava, Kara ve Su kirliliğini azaltmaları
- Sera etkisini azaltmaları
- Sürdürülebilir olmaları
- Yerli üretim sonucu istihdamı artırması,
- Sürdürülebilir ekonomik gelişme ve büyümeye imkân sağlaması,
- Ekonomik olmaları
- İşletme maliyetlerinin az olması
- Enerji talebini karşılamada sağlanan güvenlik ile enerjiyi kullanan sektörleri olumlu yönde etkilemesi ve yatırımları teşvik etmesi,

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP) toprak altında depolanmış olan enerjiyi kullanan sistemlerdir. Toprağın altına yerleştirilen tesisat ile ısıyı alarak, iletim sistemi ile ısının kullanım noktasına taşınmasını sağlar. Isı pompası teknolojisi çok uzun yıllardan beri gelişmekte olan ülkelerde, konutların ve ticari yapıların ısıtılması/soğutulması ve sıcak su eldesinde yaygın olarak kullanılmasına karşın, ülkemizde çok az kullanılmaktadır. Isı pompalarının bazı uygulamaları ülkemizde (örneğin

toprak kaynaklı ısı pompaları) yaklaşık 10 yıldır piyasada uygulanmaya başlanmıştır.

Araştırmanın önemi

Tüm dünyada hızlı bir artış gösteren enerji gereksiniminin büyük bir kısmı, bir süre daha fosil yakıtlar ve hidrolik enerji ile karşılanabilecektir. Fosil yakıtların kısa bir dönemde tükenmesi ve bir süre sonra bunların yerini yeni enerji kaynaklarının alması beklenmektedir. Son yıllarda bütün ülkeler yeni enerji kaynaklarının geliştirilmesine özen göstermektedir. Fosil yakıtların ve nükleer enerjinin yüksek maliyetleri ve çevreye olan zararları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları üzerindeki araştırmalara ve yatırımlara öncelik verilmektedir.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan toprak kaynaklı ısı pompaları ele alınmış, uygulama olanakları ve verimlilikleri araştırılmıştır.

Sınırlıklar

Bu çalışmada, enerji hesabı için sadece TS825 Türk standartları kullanılmış ve bir örnek bina üzerinde çalışılmıştır.

Araştırmanın amacı

Yenilenebilir enerji kaynakların yanı sıra Toprak Kaynaklı Isı Pompası sistemleri son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Binalarda enerji korunumu ve iklimsel konfor sağlanması gerekliliği karşısında, mimarlara düşen en önemli görev, inşaat ve kullanım aşamasında minimum enerji gerektirecek ve aynı zamanda iklimsel konfor koşullarını sağlayabilecek bir yapma çevre tasarlamaktır.

Bu çalışmada, fosil yakıtların gittikçe artan maliyetlerinin yanında ömrünün kısa olması ve küresel ısınmaya sebep olan sera gazı etkisi yaratma özelliği sebebiyle yönelinen yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan “toprak kaynaklı ısı pompası” sisteminden elde edilecek ısı enerjisiyle, bir konutu ısıtmak için ihtiyaç duyulan enerjinin ne kadarının topraktan elde edilebileceği araştırılmıştır.

Araştırmanın yöntemi

Araştırmada öncelikle teorik olarak ısı pompaları ve çalışma prensipleri hakkında bilgiler verilerek, farklı kaynaklı ısı pompaları tanıtılmıştır. Binanın ısı ihtiyacı ve topraktan çekilecek enerji miktarının hesaplama yöntemleri verilmiştir. Uygulama aşamasında iklimsel verilere göre, Ankara şartlarında, bir örnek yapı üzerinde çalışılarak, bir konutun enerji ihtiyacı TS'825 yardımı ile hesaplanmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanılarak elde edilebilecek enerji miktarını belirlemek için BİN metodu kullanılmıştır. Son bölümde elde edilen enerji miktarının konutun enerji ihtiyacını ne oranda karşıladığı ortaya konmuştur.

Literatür taraması

Literatürde, TKIP Sistemleriyle ilgili olarak ulaşılan çalışmalar aşağıda açıklanmıştır.

Pandolf, K. B., Givoni, B. ve Goldman, R. F tarafından yapılan “Predicting energy expenditure with loads while standing or walking very slowly” adlı araştırmada; Güneşten elde edilen enerjinin yeraltında boyutları belirlenmiş toprak tabakasında depolanmasını incelenmiştir [1].

Catan, M. A., ve Baxter, V. D tarafından yapılan “An optimized ground-coupled heat pump system design for northern climate applications” adlı araştırmada; uygulamalarında TKIP'lerinin kuzey iklim bölgesindeki uygulamalarını ekonomik açıdan incelenmiştir [2].

Goswami, D. Y., ve Dhaliwal, A. S. “Heat transfer analysis in environmental control using an underground air tunnel” adlı araştırmada; geliştirilen bir bilgisayar simülasyonu yardımıyla 1,83 m veya daha fazla derinlikteki yeraltı toprak sıcaklığını kullanan sistemin ısı transfer analizi yapılmıştır. [3].

Eskilson, P., ve Claesson, J. “Simulation model for thermally interacting heat extraction boreholes” adlı araştırmada; Toprak kaynaklı ısı pompalarında, toprak içerisine yer alan ısı değiştiricilerinin analizi yapılarak, boyutlandırma kuralları araştırılmıştır. [4].

Healy, P. F., ve Ugursal, V. I. “Performance and economic feasibility of ground source heat pumps in cold climate” adlı araştırmada; bir bilgisayar modeli kullanarak, soğuk iklimler

için kullanılan diğer sistemlerle, TKIP' larının performansını karşılaştırarak ekonomik analiz yapılmıştır [5].

Phetteplace, G., ve Sullivan, W. "Performance of a hybrid ground-coupled pump system" adlı araştırmada; Toprak Isı değiştiricisi ve soğutma kulesinin ikisinin kullanıldığı (böylece gerekli olan toprak ısı değiştiricisinin miktarının azaltıldığı) hibrit bir ısı pompasının performansı incelenmiştir [6].

Yurt dışında yürütölen çalışmalara paralel olarak Türkiye de bazı çalışmalar yapılmaktadır.

Özdemir, M. B., ve Özkaya, M. G. "Ankara İli şartlarında Düşey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi", adlı araştırmada; 35 m³'lük hacme sahip bir odayı ısıtmak ve soğutmak için 40 m sondaj derinliğine sahip düşey tip toprak kaynaklı bir ısı pompası (TKIP) kurulmuştur. Kurulan TKIP sisteminin enerji analizi ve ekserji analizi, sondaj derinliğinin fonksiyonu olarak ısıtma ve soğutma sezonu için belirlenmiştir [7].

Ayhan, T., Çomaklı, Ö., ve Kaygusuz, K. "Experimental investigation of the exergetic efficiency of solar assisted and energy storage heat pump systems", adlı araştırmada; Konut ısıtması amaçlı, güneş enerjisi destekli ısı pompasının yeterliliği araştırılmıştır. [8].

Kıncay, O., ve Temir, G. "Toprak ve Hava Kaynaklı, Isı Pompalı Sistemlerin Ekonomik İncelenmesi" adlı araştırmada; İstanbul'da bir konutun ısıtma ve soğutması için kullanılacak dikey tip toprak kaynaklı ısı pompasının boyutlandırma hesapları yapılmıştır [9].

Hepbaşlı, A. "Performance evaluation of a vertical ground-source heat pump system in Izmir, Turkey" adlı araştırmada; Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin soğutma performansı İzmir, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde 65 m²'lik bir odaya kurulup ve performansı incelenmiştir [10].

Babacan, Z. tarafından yazılan "köekli yerleşkesinde toprak kaynaklı ısı pompası kullanılabilirliğinin araştırılması" adlı yüksek lisans tezinde Muğla Üniversitesi Kampüsü mevcut ısıtma sisteminin toprak kaynaklı ısı pompası sistemine dönüştürölmesi incelenmiş ve maliyet analizi yapılmıştır [11].

Erdim, B. tarafından yazılan “Binalarda enerji korunumu açısından ısı pompalarının farklı iklim bölgelerinde uygulanması” adlı yüksek lisans tezinde binalarda enerji korunumunu sağlamak amacıyla farklı iklim bölgelerinde, farklı bina formları için, hava ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin enerji performanslarının değerlendirilerek, ısı pompası sistemi seçimi hakkında mimarlara rehberlik edebilecek bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu amaca uygun olarak geliştirilen yaklaşımda hava ve toprak kaynaklı ısı pompalarının enerji performans değerlendirilmesi Türkiye`nin beş farklı iklim bölgesini temsil eden şehirlerde, farklı bina formları için gerçekleştirilmiştir [12].

Başkal, A. tarafından yazılan “Duvardan ısıtma ve soğutmalı toprak kaynaklı ısı pompasının performansının incelenmesi” adlı yüksek lisans tezinde dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası kullanılarak elde edilen enerjinin duvardan ısıtma ve soğutma sistemindeki etkinliği incelenmiştir. [13].



2. ISI POMPASI SİSTEMLERİ VE ÇEŞİTLERİ

Isı pompaları, düşük sıcaklıktaki bir ısı kaynağını kullanarak daha yüksek sıcaklıktaki bir ısı kaynağına ısı geçişini sağlayan termodinamik sistemlerdir. Isı pompası adını, ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama “pompalama” veya “taşıma” özelliğinden alır [14].

Günümüzde enerji verimliliğine verilen önem nedeniyle ısı pompaları yaygınlaşmakta ve ısı pompalarını konu alan çalışmalar artmaktadır. Isı pompalarının satınalma ve kurma bedelleri diğer iklimlendirme sistemlerine göre daha yüksektir, fakat uzun dönemde ısıtma faturalarının düşük olması, bu sistemlerin bazı bölgelerde kazançlı olmasını sağlar. Isı pompalarında fosil yakıtlar kullanılmadığı için alternatif ısıtma sistemi olarak da adlandırılır [15]. Isı pompası basit olarak ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama taşıyan ve elektrikle beslenen bir sistemdir. Bilindiği üzere enerji vardan yok, yoktan var edilemez, sadece ya biçim değiştirir ya da bir yerden bir yere taşınır [16]. Isı pompası teknolojisi çok uzun yıllardan beri gelişmekte olan ülkelerde, konutların ve ticari yapıların ısıtılması/soğutulması ve sıcak su eldesinde yaygın olarak kullanılmasına karşın, ülkemizde çok az kullanılmaktadır. Isı pompalarının bazı uygulamaları ülkemizde (örneğin toprak kaynaklı ısı pompaları) yaklaşık 10 yıldır piyasada uygulanmaya başlanmıştır. Bununla birlikte ısı pompalarının birleşik ısı ve güç sistemleri ile entegrasyonuna ilişkin ülkemizde pek fazla çalışma yürütülmemektedir [17].

Isıtma sektörüne yeni katılan ısı pompaları evlerimizdeki buzdolabı, klima, nem giderici ve dondurucular ile aynı mantığın ürünüdürler. Soğutma amaçlı kullanılan makineler ısıtma veya soğutma gibi iki farklı amaçla kullanıldıklarında ısı pompası adını alırlar. Örneğin soğutucuların iç ortamı soğuktur, ancak arkasındaki borular vasıtası ile aldığı ısıyı ortama bıraktıklarından çevreyi ısıtırlar. Yani ısıyı ve soğuğu aynı anda üretirler. Isı pompası fikri mantık olarak ilk kez 18.yy.' da oluşmuş, günümüze kadar hızla yükselen grafiğe sahip olmuş ve gelecekte de ısıtma amaçlı kullanımda önemli bir rolü olacaktır [17].

Isı pompası uygulaması için yeraltının ısı kaynağı olarak kullanılmasının patenti ilk olarak 1912 yılında İsviçre'de Zoelly tarafından alınmıştır. 1940'ların sonu ve 1950'lerin ilk yarısında ABD'de yer kaynaklı ısı pompaları ile ilgili birçok deneysel çalışmalar yapılmış ve yayınlanmıştır. Bunun yanında 1950'lerde farklı toprak cinslerinden elde edilebilecek ısı akışının ölçüldüğü deneyler hem ABD hem de Kanada, İngiltere ve Almanya'da yapılmıştır.

Bu çalışma ve uygulamalardan sonra yer kaynaklı ısı pompası sistemlerine olan ilgi o zamanlarda fosil kaynakların ucuz olarak elde edilmesi sebebiyle azalmış ancak 1973'te petrol fiyatlarındaki büyük artışla beraber yer kaynaklı ısı pompaları araştırmaları hız kazanmıştır.

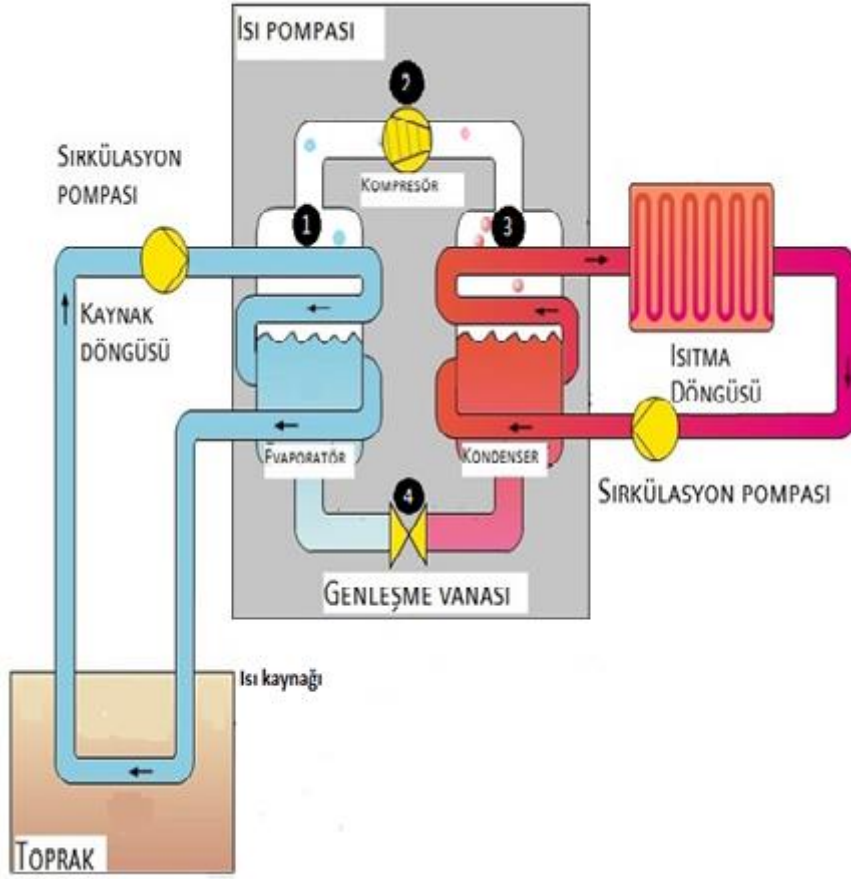
2.1. Isı Pompasının İşlevi

Isı geçişinin her zaman sıcaklığın azaldığı yönde olduğu bilinen bir gerçektir, başka bir deyişle ısı geçişi yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama olur. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi ancak soğutma makinelerinin kullanımıyla olanaklıdır. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı enerji aktaran bir başka makine de ısı pompasıdır.. Isı pompasının amacı bir ortamı sıcak tutmaktır. Bu amacı yerine getirebilmek için düşük sıcaklıktaki bir ısı enerji kaynağından çeşitli yöntemlerle alınan ısı, ısıtılmak istenen ortama aktarılır.[18]. Buhar sıkıştırmalı çevrimin tipik bir uygulaması olan ısı pompası, esas olarak soğuk kaynak ısısından yararlanmayı amaçlar [19]. Isı enerjisi, kışın düşük sıcaklık kaynağından yüksek sıcaklıktaki kuyuya aktarılarak ısıtma, yazın yine düşük sıcaklık kaynağından yüksek sıcaklıktaki kuyuya aktarılarak soğutma sağlanır.

2.2. Isı Pompaları ve Elemanları

Isı pompası tanımı:

Isı pompası; ısının herhangi bir kaynaktan alınarak, başka bir yere aktarımını gerçekteşiren makine olarak bilinir. Isı pompaları ve soğutma sistemleri mekanik olarak aynı elemanları kullanırlar. Aralarındaki tek fark kullanım amacıdır. Isı pompasının amacı, özellikle ısıtma aylarında düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından ısıyı alarak yüksek sıcaklığa ulaştırmak ve hedeflenen ortamın ısıtılmasını sağlamaktır. Şekil 2.1'de ısı pompasının elemanları şeması verilmiştir.



Şekil 2. 1. Isı pompası elemanları

1. Evaporatör 2. Kompresör 3. Kondenser 4.expension(genleşme) vanası

Isı pompalarının görevleri aşağıdaki gibidir;

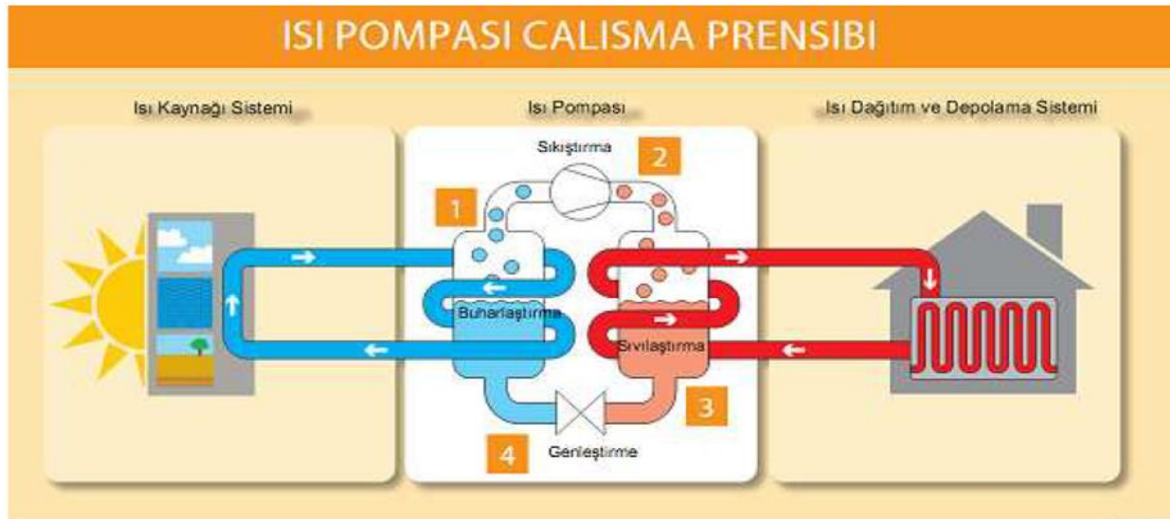
1. Evaporatör: Isı kaynağından ısıyı alarak soğutucu akışkan çevrimine aktararak soğutucu akışkanın sıcaklığını artırır ve buharlaştırır.
2. Kompresör: Soğutucu akışkanın basıncını ve sıcaklığını artırır.
3. Kondenser: Gaz halindeki akışkanı yeniden yoğuşturarak sıvı hale dönüştürür ve ısıyı ısıtma tesisatına iletir.
4. Genleşme vanası: Soğutucu akışkanın basıncını düşürür.

Soğutucu akışkan: Isıyı, buharlaşmayla ya da sıvı halden buhar hale kaynatarak soğutan ve sıvı halden buhar hale yoğuşarak geri bırakan kimyasal bileşimlerdir.

Isı pompalarının çalışma prensibi aşağıdaki adımlarla gerçekleşmektedir:

- Isı kaynağından ısı alınması: Evaporatörde bulunan akışkanın basıncı ve sıcaklığı düşüktür.
- Isı kaynağından alınan ısı enerjisi ile oluşan sıcaklık farkı ile akışkanın sıcaklığı artar ve devamında buharlaşır.
- Kompresörde sıcaklık artırılması: Kompresöre buhar halinde gelen akışkan, sıkıştırılarak sıcaklığı ve basıncı artırılır.
- Isıtma sistemine ısı aktarılması: Buhar fazındaki soğutucu akışkanın yoğuşma sıcaklığı, kondenserdeki ısıtma suyunun sıcaklığından daha fazla olduğu için, soğutucu akışkan ısınıp ısıtma suyuna aktararak tekrar sıvı hale geçer.
- Genleşme valfinda kısılma: Soğutucu akışkanın kompresörde kazandığı basınç, genleşme valfindan geçerek azalır. Böylece soğutucu akışkanın tekrar düşük sıcaklık ve basınçla evaporatöre girmesiyle çevrim tamamlanmış olur.

Bu işlemlerin tam tersi gerçekleştiği zaman ise soğutma sağlanmaktadır. Şekil 2.2’de ısı pompası sistemlerinin çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2. 2. Isı pompası çalışma prensibi

2.3. Isı Pompasının Kaynaklarına Göre Sınıflandırılması

Isı pompası sistemlerinde, ısının alındığı ortamlara "ısı kaynakları" denir. Isı pompasının kullandığı kaynağın verimli olarak kullanılabilmesi şartları aşağıda belirtilmiştir.

Isı kaynağı;

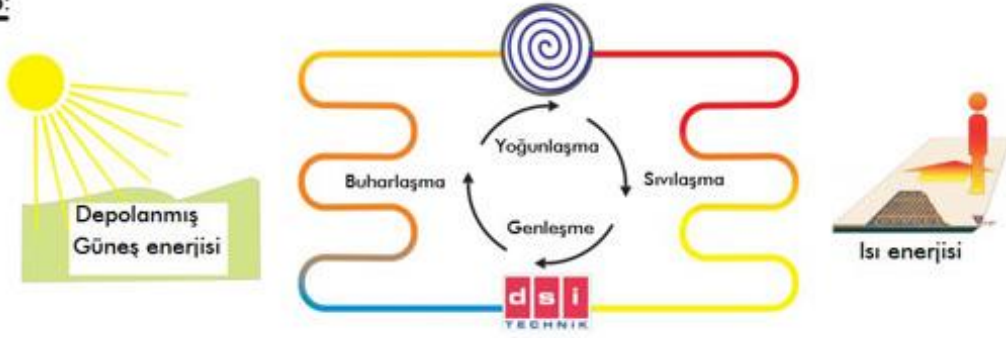
- Isı kaynağı ısıtma ve soğutma mevsimi boyunca yüksek ve kararlı sıcaklığa sahip olmalı.
- Yeteri kadar ve kolay bulunabilir olmalı, meteorolojik koşullardan mümkün olduğunca az etkilenmeli.
- Tesisatı aşındırıcı ve kirletici etkisi olmamalı.
- Uygun ısı özelliklerine sahip olmalı.
- Kaynaktan yararlanma için yapılacak yatırım maliyeti düşük olmalıdır.

Isı pompaları kaynaklarına göre aşağıdaki gibi sıralanabilir [20].

1. Toprak kaynaklı ısı pompası
2. Hava Kaynaklı Isı Pompası
3. Su kaynaklı ısı pompası
4. Atık hava kaynaklı ısı pompası
5. Atık sıvı kaynaklı ısı pompası
6. Güneş kaynaklı ısı pompası

2.3.1. Toprak kaynaklı ısı pompası

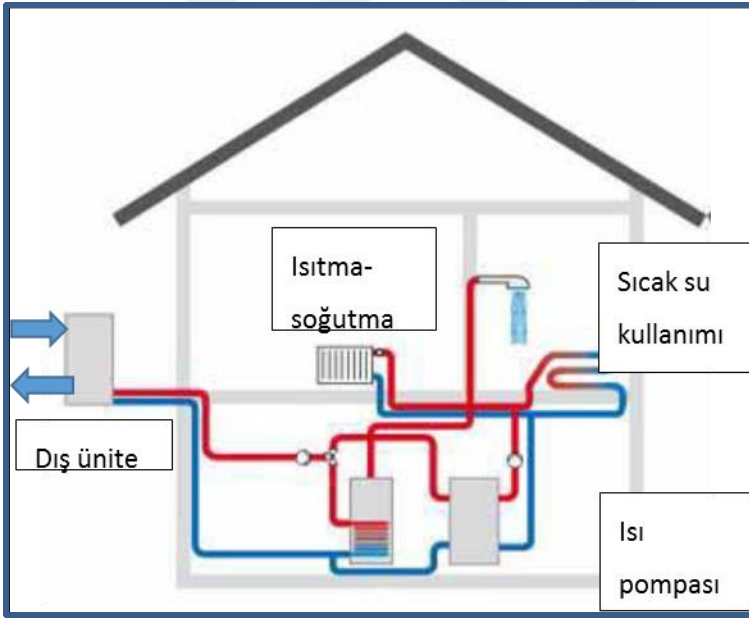
Isı değiştiricileri yerin altına gömölerek toprak ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Toprak, güneşten aldığı ısıyı soğutucu akışkana iletir, soğutucu akışkan ise topraktan aldığı ısı enerjisini bina içerisine ileterek binada ısıtma sağlanmaktadır. Tam tersi durumda ise soğutucu akışkan yardımıyla bina içindeki ısı toprağına atılarak bina içi soğutma sağlanmaktadır. Toprak dış ortam şartlarına göre her zaman enerjinin en iyi depolanma şekillerinden biridir. Enerjinin depolandığı toprak, kışın dış ortam sıcaklığından daha sıcak, yazın daha soğuktur ve erişilmesi kolay olduğu için diğer sistemlere göre kullanılabilirliği daha fazladır. Güneş ısı toprak altında uzun bir süre depolandığı için bütün bir yıl boyunca hemen hemen sabit bir sıcaklık seviyesi sağlanarak, toprak kaynaklı ısı pompaları işletmesi için yüksek etkinlik katsayısı elde edilmektedir [21]. Toprak kaynaklı ısı pompalarının seçimi ve sistemin tasarımında; mevcut toprak alanı, toprağın bileşimi, yoğunluğu, içerdiği nem miktarı, boruların toprağına gömölme derinliği gibi faktörler önemlidir. Sistem örnek olarak Şekil 2.3’de verilmiştir.

Presip:

şekil 2. 3 Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi çalışma şeması

2.3.2. Hava kaynaklı ısı pompası

Hava kaynaklı ısı pompaları doğada en kolay bulunabilen ısı kaynağı olan evre havasındaki enerjiyi kullanarak, şekil 2.10'da gösterildiği üzere mahalde ısıtma veya soğutma yaparlar. Havadan aldıkları enerjiyi suya aktardıklarında dōřemeden veya radyatörle ısıtma, havaya aktardıklarında fan-coiller ile soğutma yapabilmektedirler [21].



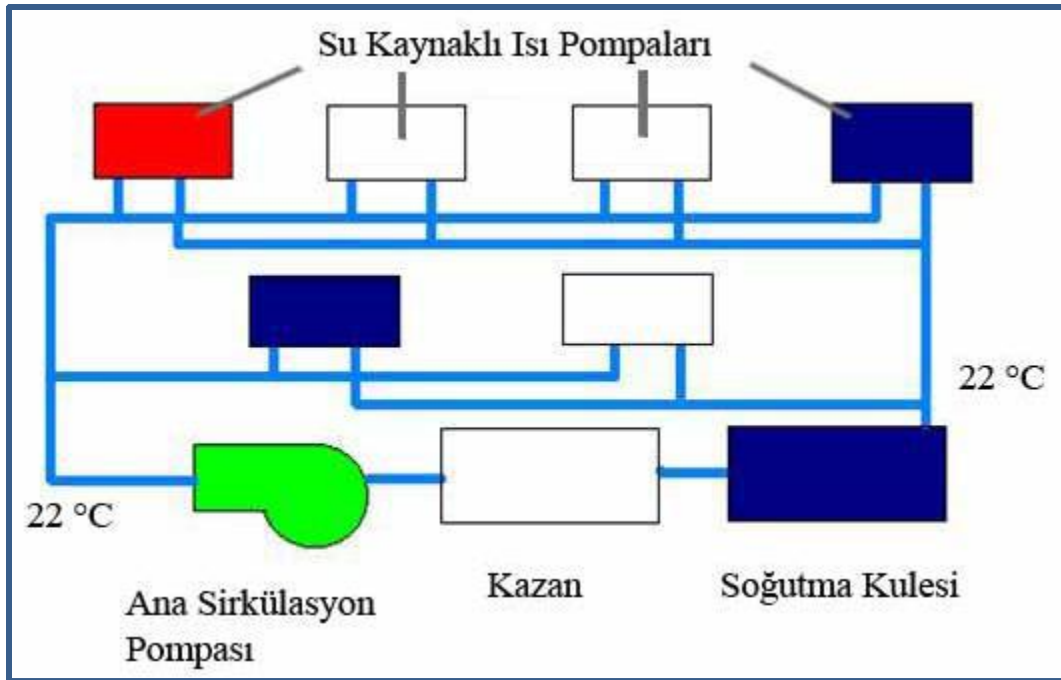
şekil 2. 4. Hava kaynaklı ısı pompası [20]

Hava kaynaklı ısı pompası dış ünitesi ile birlikte ısıtmada, havadan düşük sıcaklıktaki ısıyı alarak sıcaklığını artırır ve soğutucu akışkan vasıtasıyla hava kaynaklı ısı pompası i ünitesine aktarır. İç ünite, ısıtmada soğutucu akışkandaki enerjiyi, dōřemeden ısıtma sisteminde, radyatörlerde ve sıcak kullanım suyu boylерinin serpantininde dolaşan suya;

soğutmada ise fan-coillere aktarılır. Dış hava sıcaklığının değişken olmasından dolayı, hava kaynaklı ısı pompalarında enerji tüketimini azaltmak için kullanıcının ihtiyacına göre ayarlanabilen gelişmiş otomatik kontrol sistemleri de kullanılmaktadır [22]. Hava kaynaklı ısı pompalarının, ısı kaynağına kullanım kolaylığı, düşük maliyet, kolay kurulum ve daha az bakım ihtiyacı gibi avantajları olmasına karşılık, ısı kaynağı olan havanın kararlı bir sıcaklığa sahip olmamasından dolayı etkinlik katsayıları diğer ısı pompalarına göre daha düşüktür.

2.3.3. Su kaynaklı ısı pompası

Su kaynaklı ısı pompaları, yeraltı suyu ve yüzey suyu kaynaklı ısı pompalarından farklı olarak, ısı pompası cihazlarının bağlandığı bir kapalı su dolanım devresinden oluşmaktadır. Kaynak olan su, bina üzerinde sonradan yerleştirildiği için doğal bir kaynak özelliği taşımamaktadır. Su kaynaklı ısı pompalarının ısıtma işletiminde, kaynak devresindeki ısı, her cihazda soğutucu akışkan çevrimine, buradan da hacimden havaya aktarılır. Soğutma işletiminde ise, hacimden çekilen ısı, soğutucu akışkan çevrimin üzerinden kapalı devredeki suya aktarılır. Cihazlar her an ısıtma veya soğutma işletimi yapabilirler [16].



Şekil 2. 5. Su kaynaklı ısı pompası (ısıtma+soğutma)

Su kaynaklı ısı pompası sistemleriyle, binalarda aynı anda hem ısıtma hem de soğutma sağlanabildiği için, su kaynaklı ısı pompası sistemleri alışveriş merkezleri başta olmak üzere ticari uygulamalarda tercih edilmektedir. Su kaynaklı ısı pompalarının avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Eş zamanlı ısıtma ve soğutma işletim ile ısı geri kazanımı sağlanmasından dolayı, binadaki enerji harcamalarını en aza indirmeyi mümkün kılmaktadır.
- İlk yatırım sadece kule, küçük bir kazan ve yalıtımsız su boruları olacağından, ilk yatırım maliyeti düşük olur, düşük enerji harcaması sayesinde de minimum işletim maliyeti oluşur.
- Sistemdeki her cihaz termostat ile bina otomasyonuna bağlanabildiği için bakım işlemleri kolaylıkla diğer cihazlar etkilenmeden yapılabilmektedir.
- Bina dışında ısı pompaları yer almadığından mimari açıdan görünüm kirliliği yaratmazlar.
- Geniş kanallar kullanılmadığı için mimari projede geniş saftlar ön görmek gerekmez.
- Isı pompaları, yatay, dikey, konsol tipi ve çatı tipi olmak üzere çeşitli uygulamalarla mimari projeye en uygun şekilde yerleştirilebilmektedirler. Bu yüzden kullanıcının isteği doğrultusunda yerleşim imkânı vardır.
- Kullanıma uygun şekilde kapasite artırımı ya da azaltma imkânı vardır. Bu yüzden ortaya çıkabilecek değişimlerde diğer kullanıcılar bu farklılıklardan etkilenmezler.

2.3.4. Atık hava kaynaklı ısı pompası

Atık hava ile çalışan ısı pompaları, kullanılmış havanın ısınısını geri kazanmak suretiyle iç ortamın havasını ısıtır veya sıcak su elde ederler. Ortam havasını ısıtmak için kullanılan atık hava kaynaklı ısı pompaları iç ortamın ılık havasını ısı kaynağı olarak kullanarak soğutucu akışkan vasıtasıyla havalandırma sisteminden gelen taze havayı ısıtır ve bu havayı iç ortama vererek ısıtma yapabilirler. Ancak bu sistemin uygulanabilmesi için binada havalandırma sisteminin olması şarttır. Sıcak su elde etmek amacıyla kullanılan atık hava kaynaklı ısı pompalarında ise ortam havasının ısınısı, ısı pompası içerisinde dolanım yapan akışkana verilmekte ve akışkan buharlaştırılıp ısınısını suya verilerek suyun ısıtılması sağlanmaktadır [15].

2.3.5. Atık sıvı kaynaklı ısı pompası

Atık sular, arıtılmış veya arıtılmamış kanalizasyon suları, endüstriyel sıvı atıklar, endüstriyel proseslerin motorların kompresörlerin soğutma suları ve soğutma makinelerinin yoğuşma suları bu tip ısı pompalarının ısı kaynaklarını oluşturmaktadırlar. Bu ısı kaynaklarının en büyük avantajı nispeten yüksek ve sabit sıcaklıklara sahip olmaları, en büyük dezavantajları ise miktarlarındaki değişkenliktir. Bu yüzden ısı pompalarının düzenli çalışmasını temin etmek amacıyla depolama tanklarına gereksinim duyulabilmektedir. Atık su ve sıvı atıkların gerek miktarlarındaki düzensiz değişimler ve gerekse uzaklık nedeniyle evlerde ve ticari/kurumsal binalarda ısı kaynağı olarak kullanımları genellikle sınırlıdır. Ancak atık sular ve sıvı atıklar endüstriyel işlemlerde enerji tasarrufu sağlayan endüstriyel ısı pompaları için ideal ısı kaynaklarıdır [24].

2.3.6. Güneş kaynaklı ısı pompası

Isı pompalarında güneş enerjisi tek başına kullanılabilceği gibi daha çok diğer ısı kaynaklarının yanında destek olarak kullanılmaktadır. Güneş kaynaklı ısı pompaları güneş enerjisinden doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde yararlanmaktadır. Güneş enerjisini doğrudan kullanan sistemlerde kollektör, buharlaştırıcı görevi yapmakta ve soğutucu akışkan güneş enerjisi ile doğrudan buharlaştırılmaktadır. Dolaylı sistemlerde ise kollektör içerisinde geçirilen su veya hava ısı taşıyıcı olarak kullanılmakta ve buharlaştırıcıda ısısını soğutucu akışkana vermektedir. Güneş kaynaklı ısı pompalarının en büyük avantajı buharlaştırıcıda daha yüksek sıcaklık, dolayısıyla da yüksek ısıtma etkinlik katsayısı elde edilmesidir. Ancak hava sıcaklığının düşük olduğu, yani ısınma ihtiyacının fazla olduğu günlerde güneş enerjisi de az olduğundan ek ısıtma sistemine gerek duyulmaktadır. Bu durum ise güneş kaynaklı ısı pompası sistemlerinin maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır [23].

2.4. Isı Pompası ile İlgili Standartlar, Yönetmelikler ve Teşvikler

Çevremizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan ısı pompası sistemlerine olan talep, yüksek performans katsayıları, düşük enerji tüketimleri ve CO₂ gazı emisyonunun azaltılmasındaki katkılarından dolayı gün geçtikçe artmaktadır. Bunun sonucunda, gerek yurtdışında gerekse yurtdışında, verimli çalışan ısı pompası sistemleri uygulamalarının

artmasını sağlamak için bu sistemlere yönelik standartlar ve yönetmelikler oluşturulmaktadır. Henüz ülkemizde mevcut olmamakla birlikte, yurtdışında ısı pompası uygulamalarının kullanımını arttırmak için kullanıcılara yönelik teşvikler sağlanmaktadır. Isı pompası sistemlerinin avantajlı kullanımlarının yaygınlaşabilmesi ve kullanıcıların bilinçlendirilmesi, bu sistemlerin standartlaşmasıyla birlikte, kullanıcılara sağlanacak teşviklerle mümkündür.

Standartlar ve yönetmelikler

- Yurtiçinde, ısı pompası sistemleri hakkında, mekanik olarak deney metotlarını, performans raporlarını, ısı pompası cihazlarıyla ilgili terimleri ve sınıflandırmaları içeren Türk Standartları Enstitüsü'nün oluşturduğu standartlar mevcuttur.

Bunların içinde ısı pompası sistemlerinin tasarımı anlamında dikkat çeken Avrupa standartlarından biri olan TS EN 15450 Binalarda Isıtma Sistemleri-ısı pompa ısıtma sistemlerinin tasarımı, ısı pompası sistemlerinin binalarda ısıtma amacıyla kaynaklarına göre ilgili tanım ve terimlerle birlikte, tasarım parametreleri, gereksinimleri ve hesaplama metotlarını içermektedir.

Ayrıca ülkemizde, 05.12.2009 tarihinde yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde "Yenilenebilir enerji kaynaklarının ısı pompası, kojenerasyon ve mikrokojenerasyon sistemlerinin kullanımı" başlığı adı altında 2010 yılında yapılan revizyona göre, "Yeni yapılacak olan ve yapı ruhsatına esas kullanım alanı 20.000 m²'nin üzerinde olan binalarda ısıtma, soğutma, havalandırma, sıhhi sıcak su, elektrik ve aydınlatma enerjisi ihtiyaçlarının tamamen veya kısmen karşılanması amacıyla, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı, hava, toprak veya su kaynaklı ısı pompası, kojenerasyon ve mikrokojenerasyon gibi sistem çözümleri tasarımcılar tarafından projelendirme aşamasında analiz edilir. Bu uygulamalardan biri veya birkaçı Bakanlık tarafından yayınlanan birim fiyatlar esas alınmak suretiyle hesaplanan binanın toplam maliyetinin en az yüzde onuna karşılık gelecek şekilde yapılır." maddesi yer almaktadır.

- Yurtdışında, ısı pompası sistemlerinin ve ekipmanlarının performansları, bu sistemlerle ilgili terimleri ve tarifleri, değerlendirme yapabilmek için yapılan deney şartlarını, hesaplama metotlarını kapsayan birçok standart bulunmakla birlikte, kaynaklarına göre

ısı pompası sistemleriyle ilgili konuları ele alan, kullanıcılara yol gösteren kılavuzlar da bulunmaktadır.

Örneğin, EN 15450 “Heating Systems in Buildings-Design of heat pump heating systems” Standartı, diğer ülkeler tarafından da kullanılmakta, ısı pompası sistemlerinin ısıtma amacıyla tasarımını, terimlerini, hesaplama metotlarını içermektedir. ASHRAE ısı pompası sistemleriyle ilgili kullanıcıları yönlendirmek, tasarımcıları bilinçlendirmek için bu sistemlerle ilgili grafikler, fotoğraflar, uzman kişilerin yorumlarını, sistemin olumlu ya da olumsuz yanlarını içeren yayınlar yapmaktadır. Bunlardan ASHRAE 90376, ticari ve kurumsal binalarda yer kaynaklı ısı pompalarının toprak ısı değiştiricilerinin, ekipmanların, kaynak olarak yeraltı suyu olduğu zaman sistemin tasarımına yönelik dikkat edilecek hususları, hesaplama metotlarını şekil ve grafiklerle anlatmaktadır. Ayrıca, ASHRAE AN-0453, sıcak ve nemli iklim bölgelerinde hava kaynaklı ısı pompalarının sistemlerinin tasarımını bu konuyla ilgili gerçekleştirilen deneylerle birlikte anlatmaktadır.

Teşvikler

Isı pompası sistemleriyle ilgili, ülkemizde mevcut olmasa da, ısı pompası sistemlerinin kullanıldığı ABD, Kanada ve Avrupa ülkelerinde, binalarda enerji tasarrufunun sağlanmasıyla birlikte hava kirliliğinin azaltılması amacıyla, devlet bu sistemlerin kullanımını yaygınlaştırmak için, yatırımcılara ve kullanıcılara ucuz elektrik kullanımı, düşük faiz oranları gibi teşvikler sunmaktadır. Ayrıca bina sertifikasyon sistemleri, ısı pompalarının kullanımıyla ilgili bu tür sistemleri kullanan binalara puan kazandırdıkları için, binaların yatırım anlamında değerlerinin yükselmesini sağlamaktadır. Bina sertifikasyon sistemlerinden LEED ve BREEAM’de, standartlara uygun ısı pompası sistemlerinin kullanımı, binalara puan anlamında kazanım sağlamaktadır.

LEED’de özellikle konut projelerine, enerji ve atmosfer başlığı altında, bir değerlendirme sistemi olan ENERGY STAR onaylı ve belirli etkinlik katsayılarını sağlayan bir ısı pompasının kullanımıyla, 2 ile 4 puan arasında bir kazanım söz konusudur [25]. BREEAM’de ise konut başta olmak üzere diğer bina tiplerinde, ısı pompası sistemlerinin toprak, hava, yeraltı suyu gibi yenilenebilir kaynakları ısı kaynağı olarak kullanması durumunda düşük karbon teknolojileri olarak nitelendirilmektedir. Ayrıca hava kirliliği başlığı altında, belirlenen standartlara göre belirlenen elektrik tasarrufunu sağlayarak zehirli

gaz emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunan ısı pompası sistemlerinin kullanımı, binaya 3 kredi kazandırmaktadır [26].

ABD’de ısı pompası sistemleriyle ilgili teşvikler, eyaletlere göre değişmekle birlikte, binada kullanılan ısı pompasının etkinlik katsayısı gibi bazı teknik şartları yerine getirmesine bağlı olarak, kullanıcılara daha ucuz elektrik ve ekipman sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Kanada’da ise uygun teknik şartları sağlayan ısı pompası kullanımında uygulanacak düşük elektrik ve ekipman sağlanmasıyla ilgili teşvikler, binanın yeni ya da eski olmasına, bina tipine göre değişmektedir. İsveç, Norveç, Fransa, İngiltere, Almanya ve daha birçok Avrupa ülkelerinde ısı pompaları hakkında teşvikler her ülkenin şartlarına ve eyaletlerine göre değişmektedir. Bazı Avrupa ülkelerinden;

- İngiltere’de ısı pompası sistemlerinin ilk yatırım maliyetinde yapılan ve daha sonra belirli bir süre devam eden, her çeşit ısı pompası sistemine göre değişkenlik gösteren teşvikler, ısı pompası sistemlerinin kullanımında kullanıcılara kolaylık sağlamaktadır.
- Almanya’da belirlenen standartlara göre minimum etkinlik katsayısını sağlayan ısı pompalarının 2009 yılından önce ve sonra inşa edilen ya da yenileme çalışmalarının yapıldığı binalarda, farklı ısı pompası kullanımlarına göre gerekli maliyetin bir kısmı devlet tarafından karşılanmaktadır.
- Avusturya’da eyaletlere göre kullanılan ısı pompası uygulamasına bağlı olarak devlet tarafından yardımlar yapılmakla birlikte, ucuz elektrik kullanımı sağlanmaktadır.
- Fransa’da belirlenen standartlara göre minimum etkinlik katsayısını sağlayan ısı pompalarının kullanımında, ısı pompasının vergi indirimiyle birlikte maliyetin %40’ı karşılanmaktadır.
- İrlanda’da ise yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşabilmesi için geliştirilen teşviklerde, ısı pompalarının ticari binalarda kullanımında maliyetin %30’u sağlanmakla birlikte, konutlarda ısı pompasının uygulanmasında veya yeniden güçlendirilmesi durumunda devlet tarafından yardım yapılmaktadır [27].

3. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPALARI

3.1. Tarihçe

Isı pompalarının temel prensipleri; 1824 yılında Nicholas Carnot tarafından ortaya atılan teori, 1850'de Lord Kelvin'in soğutma makinelerinin, ısıtma amacıyla kullanılabilirliğini teklif etmesi ile gerçekleştirilebilmiştir. Lord Kelvin, iş yapan akışkan olarak havayı kullanmak suretiyle bir ısı pompası yapmıştır. Bu makinede, çevre havası silindire çekilerek genişletilmiş; böylece havanın basınç ve sıcaklığı düşürülmüştür. Bu düşük sıcaklık ve basınçtaki hava, dışarı yerleştirilen bir havadan havaya ısı değiştiricisinden geçirilerek çevre havasından ısı çekmiştir. Binanın içine ısıtılmış hava verilmeden önce, hava atmosferik basınca kadar tekrar sıkıştırılarak, sıcaklık çevre havasının üzerine çıkartılmıştır [28].

Toprak kaynaklı sistemlere olan ilgi, Oklahoma Eyalet Üniversitesi'nde, güneş enerjisi takviyeli ısı pompası sistemleri üzerine yapılan araştırmalar sırasında ortaya çıkmıştır. Isı pompalarını enerji depolamada takviye etmek ve toprakla temas sonucu fazladan enerji depolamak amacıyla; gömülü depolar tasarlanması sonucunda, yüzey alanı/hacim oranı büyük olan sistemlerin daha verimli olduğunu anlaşılmıştır.

TKIP üzerinde ilk çalışmalar, ikinci dünya savaşından sonra başlamış ve son 20 yıl içerisinde bu konu üzerindeki çalışmalar iyice yoğunlaşmıştır. 1950'lerde, önce Ingersoll daha sonra Penrod topraktan, borular vasıtası ile ısı çekilmesinin matematik olarak modellenmesi üzerinde çalışmış ve topraktaki sıcaklık dağılımlarını iyi bir yaklaşıklıkla elde etmiştir. Son yıllarda Baker da konutlar için toprak kaynaklı ısı pompaları uygulamalarında, toprak ısı değiştiricilerinin tasarımı üzerinde çalışmış ve yaptığı deneysel çalışmada elde ettiği sonuçların, teorik olarak elde edilen sonuçlara uygunluğunu göstermiştir [29].

Son yıllarda bu konuda özellikle Amerika Birleşik Devletleri, İsveç ve Kanada'da çalışmalar yapılmıştır. ABD'de Kavanaugh dikey toprak ısı değiştiricilerinde ısı geçişini incelemiş, ayrıca U-tüp ve eş eksenli dikey ısı değiştiriciler üzerinde çalışmalar yapmıştır. Eş eksenli dikey ısı değiştiricileri üzerinde, ayrıca Oklahoma Eyalet Üniversitesi, Kuzey Carolina Eyalet Üniversitesi ve Louisiana Eyalet Üniversitesi'nde araştırmalar yapılmıştır. İsveç'te ise çalışmalar, bölünmüş tip ısı değiştiricileri üzerinde yoğunlaşmıştır [29].

Yine ABD'de, Bose çeşitli şekillerde yerleştirilmiş yatay toprak ısı değiştiricileri üzerinde çalışmıştır. Bose toprak kaynaklı ısı pompalarının, güneş enerjisinden kaynak olarak faydalanan ısı pompalarıyla birlikte çalışmalarını da incelemiştir. Yine bu konu üzerinde Avrupa Ekonomik Topluluğu Komisyonu, bir fizibilite çalışması yaptırarak, sistemin Kopenhag, Paris ve Marsilya'da uygunluğunu araştırmıştır [29].

3.2. Genel Tanım ve Temel Prensip

Toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP) yeraltındaki depolanmış enerjiyi kullanmak için tasarlanmış olan ısıtma/soğutma sistemleridir. Toprağın altına gömülü olan boru sistemi ile ısı alır ve aktarıcı organları ile ısının taşınmasını ve transferini sağlar. Sistemde toprağın altından ısıyı belirli hesaplamalar sonucunda uzunlukları belli olan polietilen kaplı ve içinden ısı taşıyıcı soğutucunun geçtiği borular vasıtasıyla alır. Buradan ısı kapalı devre akışkanı tarafından ısı pompası eşanjörüne taşınır. Bu devrede akışkanı taşıyan sirkülasyon pompası da bulunur. Akışkanın devridaim olayı böylelikle devam ederek ısı bir yerden bir başka yere transfer olmaktadır.

TKIP günümüz şartlarında alternatif bir sistem olarak konutların, iş yerlerinin v.b yapıların ısıtma ve soğutma olaylarını gerçekleştirir.

Avantajları

Yüksek verim ve kararlılık kapasitesi: TKIP sistemleri iyi tasarlandığı ve uygun bir şekilde uygulandığında diğer sistemlere göre daha verimli ve ekonomik sonuçlar verir. Toprak kaynaklı ısı pompaları dış hava sıcaklıklarından etkilenmediklerinden dolayı kapasitelerinde kararlılık söz konusudur.

Konfor ve hava kalitesi: TKIP sistemleri gizli soğutma etkilerini karşılamadan yüksek verim yakalayabilirler. Yüksek verimi yakalamanın bir başka yolu kompresörün basma basıncının, emme basıncına oranının azaltılmasıyla da elde edilir. Bu sonuç nem alma kapasitesini düşürerek konfor ve iç ortam hava kalitesine neden olmaktadır. Bu durumun yaşandığı yapılar genellikle ofisler ve çok kişinin çalıştığı kamu binalarıdır.

Düşük bakım maliyeti: TKIP toprak altına yerleştirildiklerinden dolayı dış ortandan etkilenecek bir sorun olmaz. Yani sistem iç ünite olarak yerleştirilmiştir.

Yardımcı ısıtmaya ihtiyaç yoktur: TKIP sistemleri uygulandığı bölümün ısı ihtiyacını karşılayacak şekilde yapıldığından dolayı ek bir ısıya gerek duymaz.

Düşük kullanma sıcak suyu ısıtma maliyeti: çoğu yapıda iç yüklerden dolayı ortaya çıkan fazla ısı söz konusudur. Bu ısı sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılabilir. Bu nedenle ısı kazanım serpantinleri kullanılır.

Dış ünite ekipman olmaması: dış ünite ekipman olmaması nedeniyle dışarıda yer işgal etmemektedir.

Paketlenmiş ekipman: TKIP sistemleri paket halde bulunmaktadır. Bu yüzden bir kaçak olması, yanlış bağlantı gibi sorunlar söz konusu değildir.

Çevre dostu: çevre kirliliği ve zararlı madde emülsiyonları düşüktür.

Mükemmel ömür ve döngü maliyeti: TKIP sistemleri yüksek maliyetine karşılık 3 temel karakteristiğinden ötürü ömür ve döngü maliyeti açısından üstündür; düşük enerji, az bakım, uzun süre ekipman ömrü.

Dezavantajları

Yüksek ilk yatırım maliyeti: konutlardaki standart fiyatların iki katı daha fazlasına mal oluşları, ek işlemler maliyetin yüksek olmasına neden olmaktadır.

Performansın toprak altı borularına bağlı olması: TKIP sistemleri verimliliği toprak altında bulunan ısı taşıyıcı borulara bağlıdır. Bu yüzden çok iyi bir tasarım söz konusu olmalıdır.

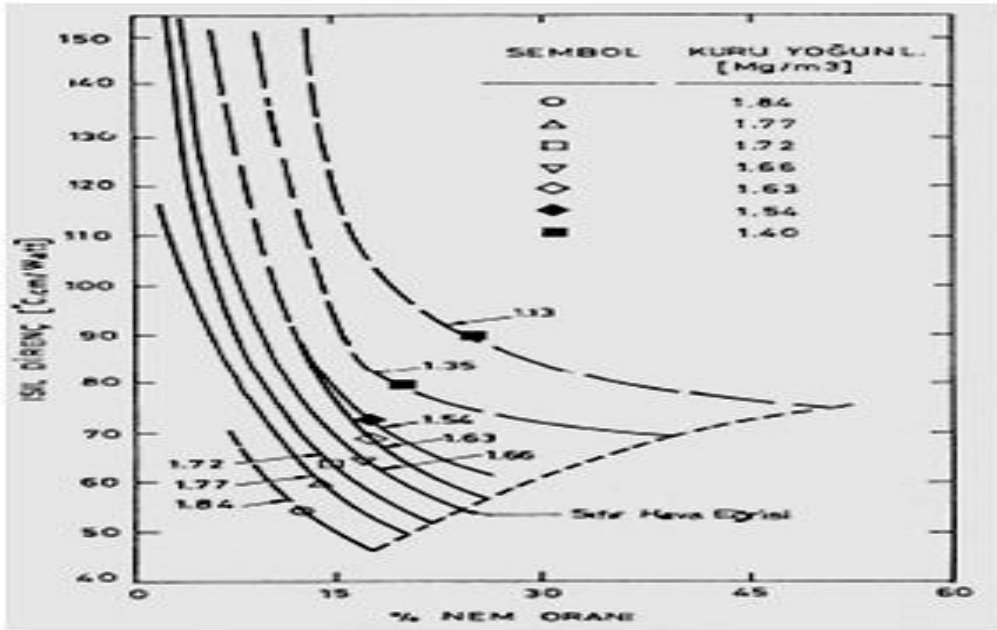
Ehliyetli tasarımcıların sınırlı sayıda olması: TKIP sistemleriyle ilgilenen teknikerlerin sayıları dünya üzerinde sınırlı ülkemizde ise yok denecek kadar azdır. Bu yüzden müteahhitlerin yüksek maliyetten sorumlu tutulması ve bu işten uzak durmalarına neden olmaktadır.

3.3. Toprak Özellikleri

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde en önemli parametre, topraktan çekilen ısıdır. Bu bağlamda toprak özellikleri temel etkindir. Toprak ısı davranışını etkileyen en önemli üç özellik yoğunluk, nem oranı ve toprak taneciklerini oluşturan materyallerdir.

Yoğunluk

Toprağın yoğunluğu, bileşimine ve doğal konumdaki yerleşme veya yerleştirme şekline bağlıdır. Isı iletim katsayısını tahmin edebilmek için, kuru yoğunluk (g) ve nem oranı (%) belirlenmelidir. Toprağın nem oranına bağlı olarak buna karşılık gelen bir kuru yoğunluk değeri vardır. Toprak Özellikleri Ölçüm Standartları American Society for Testing Materials (ASTM)' de mevcuttur (Şekil 3.1).

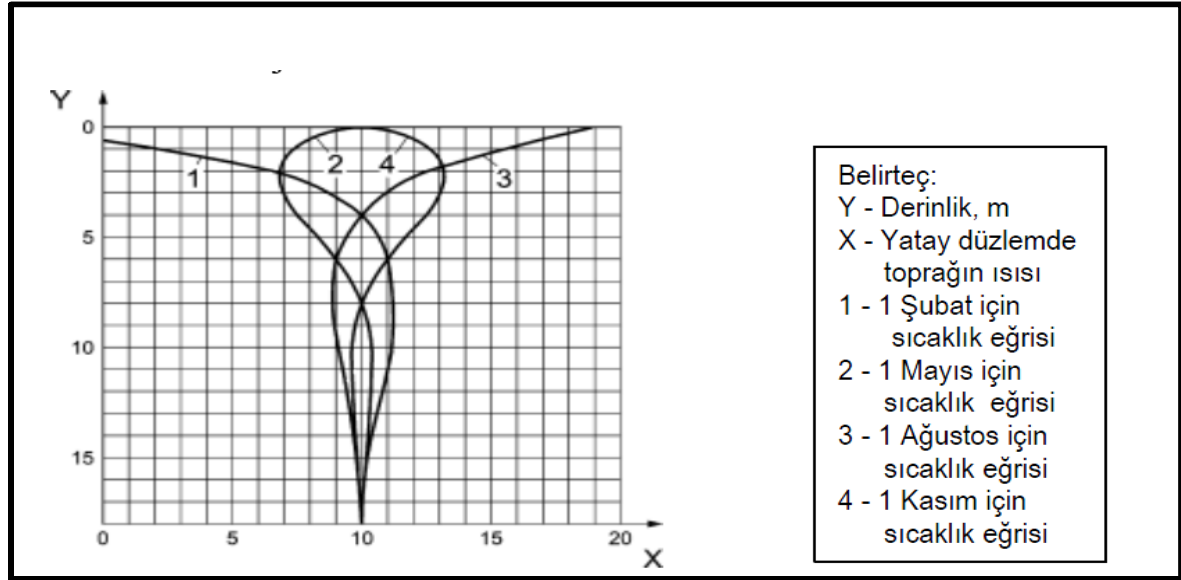


Şekil 3.1. Toprak ısı direncinin değişimi [30]

Şekil 3.1'de değişik yoğunluklarda ve buna karşı gelen nem oranlarında, toprağın ısı direnci gösterilmektedir. Sıfır hava eğrisi, verilen yoğunlukta topraktaki en düşük ısı direncini göstermektedir.

Nem oranı

Belli bir yoğunluk için nem miktarının artışı, toprak ısıl direncinin düşmesine sebebiyet vermektedir. Çünkü sabit kuru yoğunlukta, nem oranı arttıkça, daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olan hava, yerini suya bırakır [28].



Şekil 3. 2. Topraktaki normal yıllık sıcaklık değişimleri [30]

Tanecik materyalleri

Toprağın ısıl davranışını, katı taneciklerin ısıl iletkenlikleri önemli ölçüde etkiler. Çizelge 3.1'de toprakta bulunan bazı materyallerin ısıl karakteristikleri verilmiştir [28].

Çizelge 3.1. Topraktaki bazı materyallerin ısıl karakteristikleri [28]

Materyal	Isıl direnç (mC°/W)	Isı İletim Katsayısı (W/mC°)
Kartz	0.11	9.2
Granit	0.25-0.28	4.0-3.6
Kireç Taşı	0.45	2.2
Kum Taşı	0.58	1.7
Mika	1.70	0.59
Organik Materyaller Islak/Kuru	4.7	0.25-0.14
Su	1.65	0.6
Hava	41.00	0.025
Buz	0.78	2.23

Yüksek yoğunluğu ile kuartz tercih edilen bir materyaldir. Bu materyal nem tutucu özelliğe sahip olduğundan ve kil bağlantılı olarak bulunmasından ötürü; killi topraklar tercih edilen topraklar arasında ilk sırayı alırlar [31].

Toprak özelliklerinin tipik karakteristikleri AIEE tarafından belirlenmiştir. Bu değerler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Toprak türlerinin ısı karakteristikleri (AIEE)

Materyal	Isıl direnç (mC°/W)	Isı İletim Katsayısı (W/mC°)
Gevşek Kuru Kum	1.75	0.57
Nemli Kil	0.8-0.9	1.25-1.11
Nemli Kumlu Kil	0.8-0.9	1.25-1.11
Sıkı Kum	0.8-0.9	1.25-1.11
Kul Dolgu	2.00	0.50

3.4. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Çeşitleri

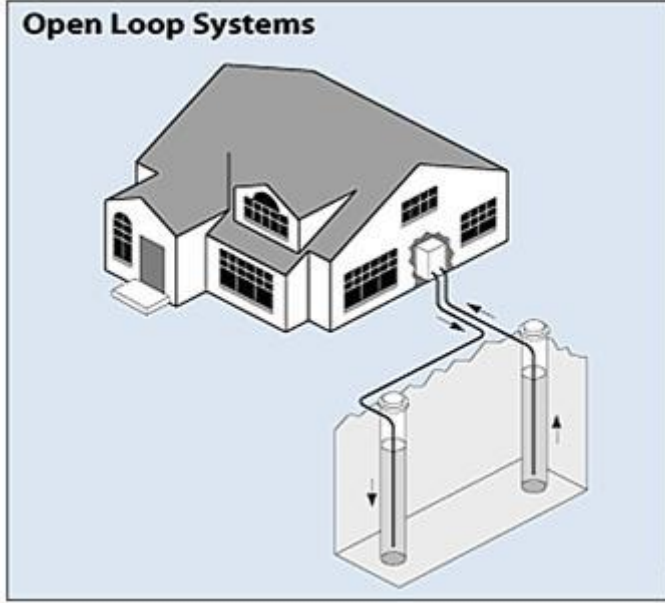
Toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri 2 gruba ayrılmaktadır,

- Açık çevrim sistemler
- Kapalı çevrim sistemler

3.4.1. Açık çevrim sistemler

Açık çevrimli sistemler kapalı çevrimli sistemlere göre daha az tercih edilmesine karşılık kaynak suyunun bol olduğu yerlerde kullanılabilirler. Amaç maliyetin daha az olmasını sağlamaktır. Sistemde toprağa gömülü olan borunun içinden akan sıvı akışkan yerine, göl, kuyu gibi kaynaklardan gelen su kullanılır. Yeraltında bulunan su bir kuyudan çekildikten sonra ısı değiştiriciye ısı transferi yapıldıktan sonra tekrar geri boşaltılır. Bu boşaltma ya deşarj kuyusuna ya da tekrar alındığı kaynağa verilir. Hem su ihtiyacını karşılayan hem de ısı pompasında kullanılan bir sistemdir. Sistemde deşarj olayı mevcut olduğundan dolayı performansı yüksektir. Yıl boyunca da yer altı su sıcaklığının sabit olması sistemin avantajıdır. Açık sistemlerin en önemli unsuru su kalitesinin yüksek olması gerekesidir. Suda korozyona neden olacak maddelerin bulunmasından dolayı, mineraller ısı değiştiricisinde birikebilir, demir ve diğer kirler dönüşüm kuyusunu tıkeleyebilir. Bu yüzden

suyun aşındırıcılık, asitlik ve mineral içeriği testlerinin yapılması gerekmektedir. Açık çevrimli sistem örneği Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 3. Açık çevrimli sistem örneği

Sistemde çevreye zarar söz konusu olduğundan bazı yerlerde kullanılması yasaklanmıştır. Suyun geri verilmeme durumu, bulaşıcı riskinin taşınması, organik bileşiklerin taşınması gibi olumsuz etkileri vardır.

3.4.2. Kapalı çevrim sistemler

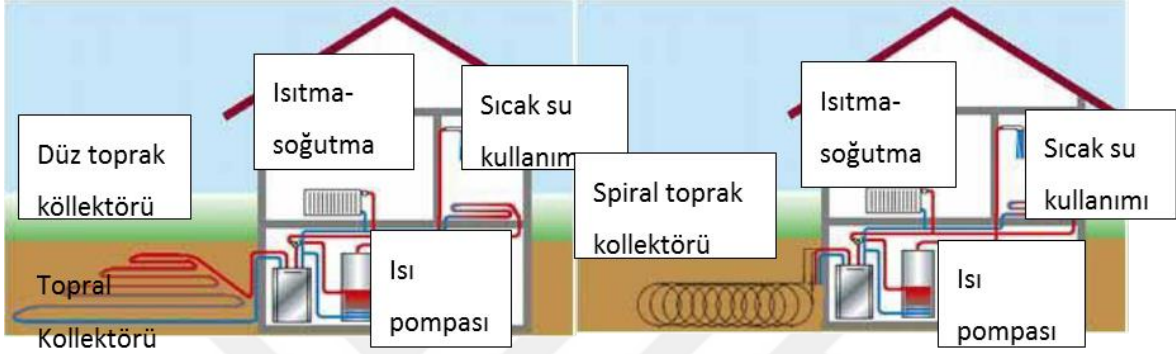
Kapalı çevrim sistemler ekonomik olması, emniyetli olması ve kullanım alanlarının fazlalığı nedeniyle daha çok kullanılan sistemdir. Isı değiştirici olan sıvı akışkan devamlı sirküle olmaktadır. Isı taşıyıcı olarak genellikle su-antifriz karışımı kullanılır ve boru sistemi de en çok tercih edilen polietilen malzemesindedir.

Kapalı devre çevrim sistemleri, toprak ısı değiştirici tiplerine göre iki gruba ayrılırlar.

1. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompaları
2. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompaları

1. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası

Yatay tip kaynaklı ısı pompasında, toprak ısısının çekilmesi; toprak yüzeyine 1,5 - 2 metre derinliğinde, genellikle çok devreli olarak düz veya spiral şeklinde serilen geniş yüzeyli toprak kolektörlerinin yerleştirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Sistemin şematik ifadesi Şekil 3.4. ve 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 4. Toprak altında kullanılan ısı değiştiricinin tasarımı[20]



Şekil 3.5. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası[20]

Boru hatları arasındaki mesafe 0,3-0,6 m arasında tercih edilirler [32]. Literatürde, en yaygın yatay ısı değiştiricilerinin $1\frac{3}{4}$ " , $1\frac{1}{2}$ " lik tek borulu 0,5-2,5 m derinliğe ve birbirinden 0,6-2,5 m aralıklarda döşenmiş yatay ısı değiştiricileri olduğunu belirtilmiştir [28]. Bu tip ısı değiştiriciler, genelde temel kabul edilir ve diğer ısı değiştiricilerinin performans dereceleri bunlara göre mukayese edilir. Yatay toprak ısı değiştiricilerinde tavsiye edilen boru boyu ve çapları çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3. 3. Tesisat için tavsiye edilen değerler [28]

Boru çapı (inç)	Boru uzunluğu (m)
$\frac{3}{4}$	≤ 150
1	≤ 230
$1-\frac{1}{4}$	≤ 900
$1-\frac{1}{2}$	≤ 1200
2	≤ 2500

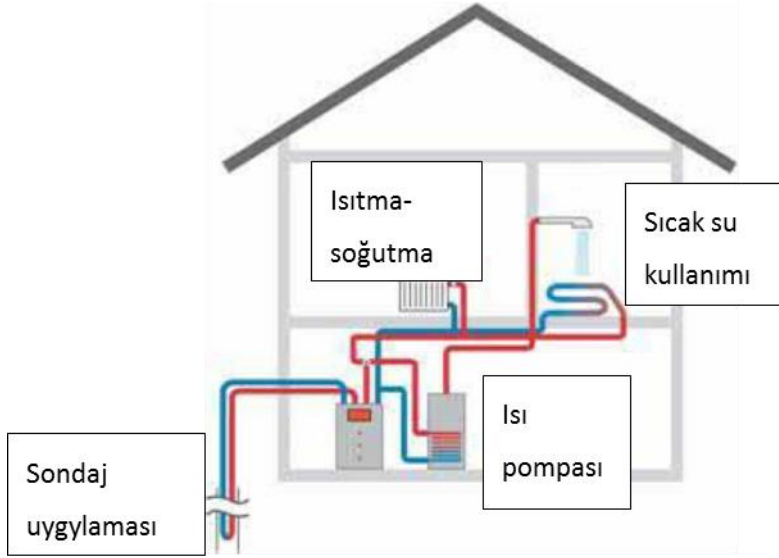
Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompalarının uygulamalarında dikkat edilecek özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bir devrenin uzunluğu, ısı taşıyıcı akışkan sirkülasyonu için gerekli pompa gücünün yüksek olması gerektiğinden 100 m.'yi geçmemelidir.
- Özellikle nemli ve killi topraklarda, topraktan çekilebilecek ısı miktarının artmasıyla ısı pompalarının verimi de artmaktadır.
- Sistem, toprakta oluşan buzlanmadan ve kökü derine inen bitki örtüsünden olumsuz etkilenebilmektedir.
- Boruların topraktaki sivri malzemelerden hasar görmemeleri için kum ile örtülmeleri gereklidir.
- Yağmur sularının sızıntısı engellenmelidir bunun için toprağın üstüne beton dökülmelidir.

Yatay tip kaynaklı ısı pompalarının uygun maliyet ve sahip olduğu yüksek yıllık performans katsayısı gibi avantajları olmasına rağmen, geniş alan gereksinim duyması, uygulanan arazide yapılaşmaya gidilememesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası

Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompasında amaç; yeryüzünün derinliklerinde bulunan kayaçların jeotermal ısısından, ısı pompasının genel çalışma prensibiyle yararlanmaktır. Yeteri kadar toprak alanı olmadığı zaman, sondaj kuyuları genellikle 40-150 m derinliklerinde açılarak gömülebilirler. Şekil 3.6 ve 3.7'de gösterildiği üzere toprak kolektörleri dikey olarak yerleştirilir.



Şekil 3. 6. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası şeması [20]



Şekil 3. 7. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası [34]

Dikey tip kaynaklı ısı pompalarının uygulamalarında dikkat edilecek özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kuyunun derinliği sondaj koşullarına, yapılan hesaplarla elde edilen basınç düşümü ve ısı iletim değerlerine, kullanılacak ekipmanlara ve uygulanacak projenin koşullarına göre değişmektedir. Yüksek ısı kapasite istenildiğinde, açılan kuyular büyük bir kayaç hacmine ulaşıncaya kadar ilerletilir.
- Dikey tip toprak ısı değiştiricilerinin yerleştirilmesi ve tasarımında toprağın özellikleri ve yeraltı şartları dikkate alınmalıdır.

- Dikey tip toprak ısı değiştircileri konusunda uzmanlaşmış elemanlarla çalışmak, malzeme seçimi ve sistemin kurulması açısından önemlidir.

Dikey tip kaynaklı ısı pompalarının az yer gereksinimi ve sahip olduğu yüksek yıllık performans katsayısı, en az boruya ihtiyaç duyma, toprak sıcaklığının mevsimlik değişimlerinden etkilenmemesi gibi avantajları olmasına rağmen, delme makineleri ve ekipmanları gerektirmesi, yüksek yatırım maliyeti, bazı zeminlerde uygulama zorlukları gibi dezavantajları da bulunmaktadır.



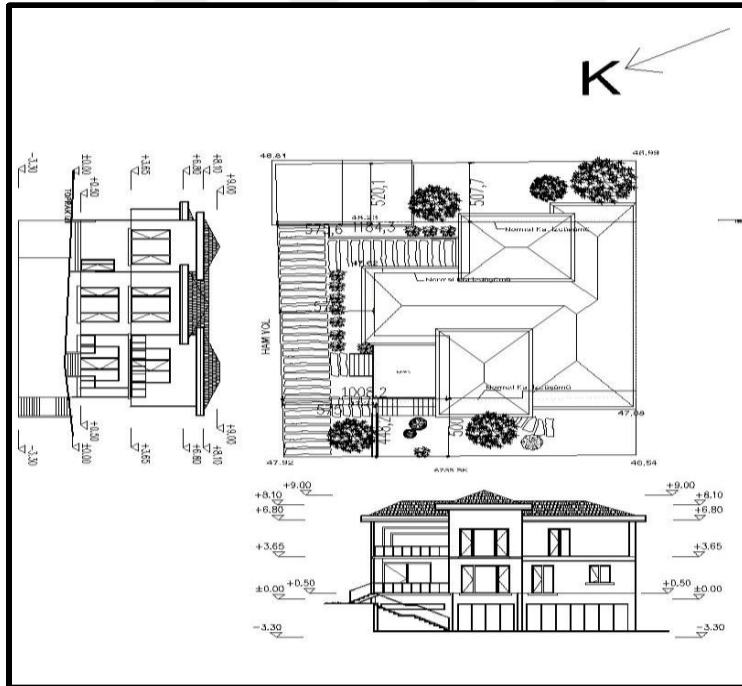


4. ÖRNEK ÇALIŞMA

Şekil 4.1’de vaziyet planı ve görünüşleri verilen, örnek alınacak konutun TS 825 e göre belirtilen tek hacimli binaya örnek olarak ısıtma ihtiyaçları öncelikle hesaplanmıştır. Ankara şartlarında konut olarak kullanılan bir konutu yıl boyunca ısıtmak için gereken enerji miktarı hesaplanarak, ısıtma yük profili çıkarılmıştır. Bir sonraki adımda, toprak kaynaklı ısı pompası kullanılarak, topraktan elde edilebilecek enerji miktarını belirlemek için BİN metodu kullanarak hesaplama yapılmıştır. Son olarak elde edilen enerji miktarının konutun enerji ihtiyacını ne oranda karşıladığı ortaya konmuştur.

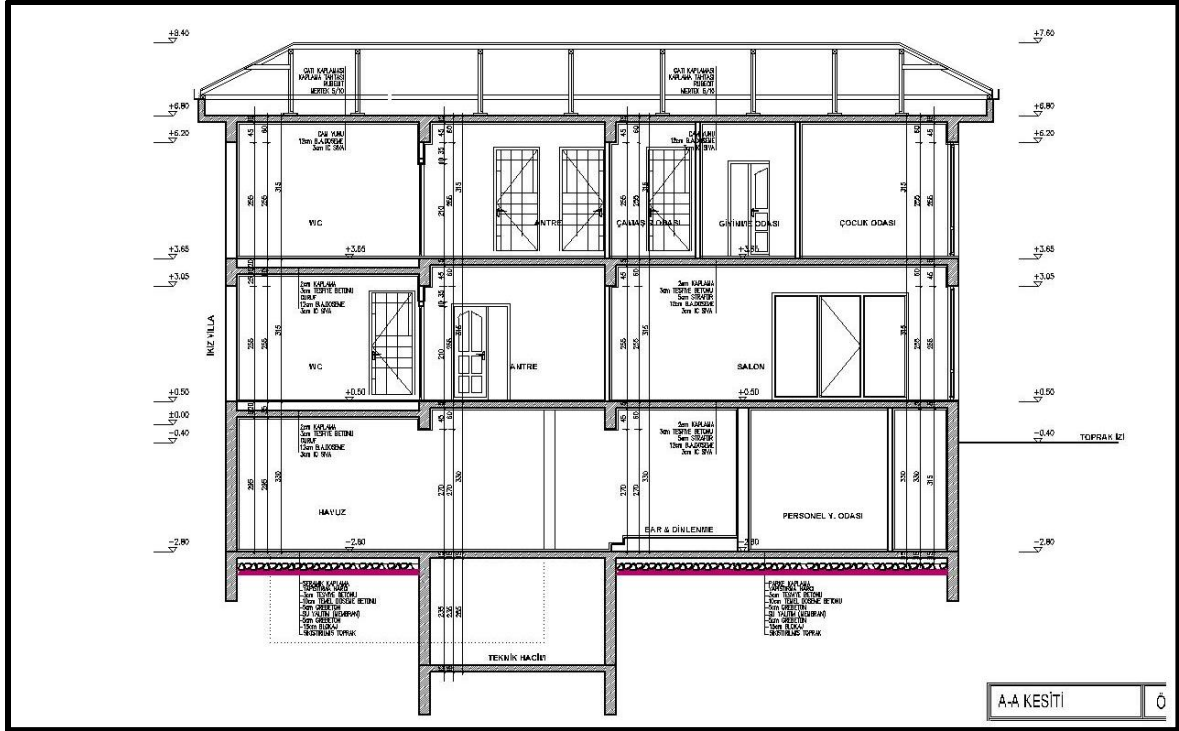
4.1. Örnek Binanın Tanıtımı

Bu bölümde, 3 ‘üncü derece-gün bölgesinde, Ankara’da bulunan ve 15,15 m x 16,12 m boyutlarında ve 7,15 m yüksekliğinde iki katlı bir konut örnek olarak ele alınmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanılması durumunda konutun ısı/enerji ihtiyacının ne kadarının karşılanabileceği hesaplanmıştır.



Şekil 4. 1. Örnek binanın vaziyet planı ve görünüşleri

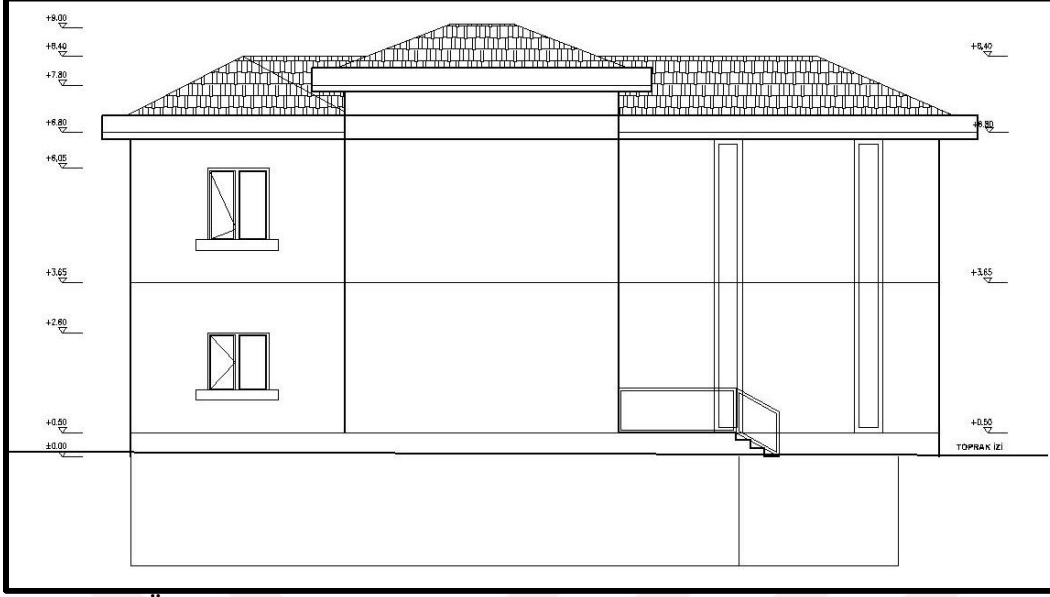
Örnek binanın zemin kat planı, kesitleri ve görünüşleri şekil 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7 de verilmiştir.



Şekil 4. 4. Örnek binanın 2.kesiti



Şekil 4. 5. Örnek binanın sağ yan görünüşü



Şekil 4. 6. Örnek binanın sol yan görünüşü

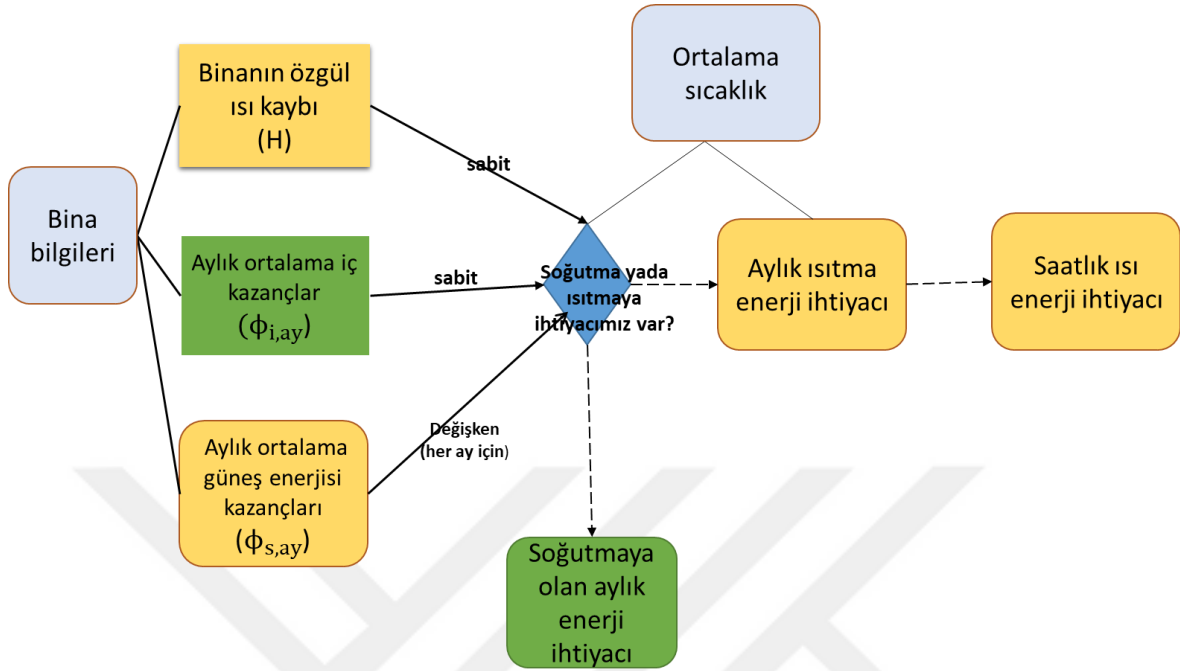


Şekil 4. 7. Örnek binanın ön görünüşü

4.2. Hesap Yöntemi

Bu çalışmada iki ayrı hesap yöntemi kullanılmıştır.

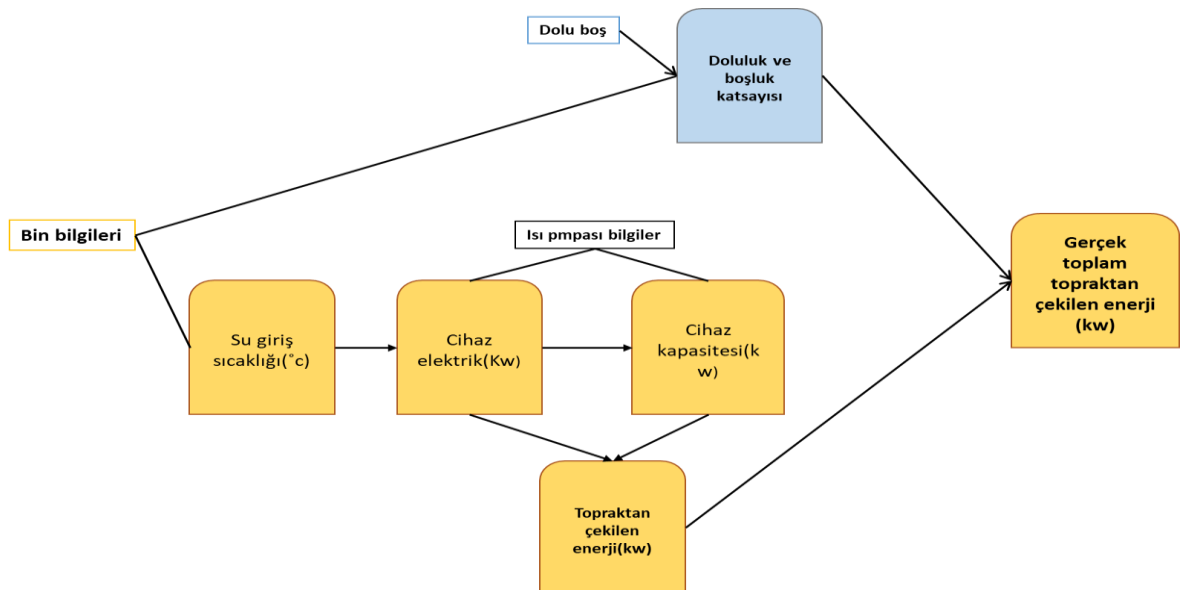
4.2.1. TS 825 e göre binanın ısı enerji ihtiyacı hesap yöntemi



Şekil 4. 8. TS825'e göre hesap yöntemi diagramı

Şekil 4.8 de görüldüğü gibi, kullanılan hesap yönteminde bina bilgilerine dayanarak, binanın özgül ısı kaybı (H), aylık ortalama iç kazançları ($\Phi_{i,ay}$) ve aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ($\Phi_{s,ay}$) hesaplanır. Daha sonra aylık ve saatlik ısı enerji ihtiyacı hesaplanır.

4.2.2. Isı pompası ile topraktan çekilen enerji miktarının hesap yöntemi



Şekil 4. 9. Topraktan çekilen enerji miktarının hesap yöntemi diagramı

Şekil 4.9 de görüldüğü gibi topraktan alınan enerjinin miktarının hesaplaması için BİN metodu kullanılmıştır. Bu metoda göre öncelikle binanın doluluk ve boşluk katsayıları ve su giriş sıcaklığı hesaplanır. Kullanılan ısı pompası firmasından alınan bilgilere göre cihaz elektriği ve cihaz kapasitesi hesaplanır. Daha sonra topraktan çekilen enerji ve son olarak doluluk katsayılarını dikkate alarak gerçek toplam topraktan çekilen enerji elde edilir.

4.3. Örnek Binanın Enerji İhtiyacının TS825 Göre Hesaplanması

Bina elemanlarının alanları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

Pencere alanları

A_p , ön görünüş	A_p , arka görünüş	A_p , sol görünüş	A_p , sağ görünüş	ΣA_p
100,7	bu cephede pencere bulunmamaktadır	19,40	46,15	166,25

Tüm yapı elemanlarının alanları

$A_{\text{kapı 1}}$ m^2	$A_{\text{kapı 2}}$ m^2	ΣA_p m^2	A_D m^2	A_T m^2	A_t m^2	A_{bet} m^2
7,4	2	166,25	368,71	244	244	22,5

* $A_{\text{kapı}}$: kapı alanı * A_p : Pencere alanı * A_D : Dış duvar alanı * A_T : Tavan alanı * A_t : Döşeme alanı * A_{bet} :

Betonarme alanı

A_n : Bina kullanım alanı (m^2)

$$A_n = 0,32 \times V_{brüt}$$

$V_{brüt}$: Binanın ısıtılan brüt hacmi (m^3)

$$V_{brüt} = 7.15 \times 15.15 \times 16.12 = 1746,16 \text{ m}^3$$

$$A_n = 0.32 \times V_{brüt} = 0.32 \times 1746.16 = 558,7712 \text{ m}^2$$

Duvarlarda tuğla ve betonarme üzerine dış taraftan yalıtım malzemesinin kalınlığı 5 cm'dir ($\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$). Pencerelem çift camdır. Çatıda kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığı 12 cm'dir ($\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$). Döşemede kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığı 6 cm'dir ($\lambda = 0,030 \text{ W/mK}$).

İletim ve taşınım yoluyla ısı kaybının hesabı

İletim ve taşınım yoluyla olabilecek ısı kaybı (4.1) no'lu eşitliğe göre hesaplanmıştır.

Binadan iletim ve taşınım yoluyla olan ısı kaybı;

$$H_T = \sum AU + 1U_1 \quad (4.1)$$

$$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + U_K A_K + 0.8U_T A_T + 0.5 U_t A_t + U_d A_d + 0.5U_{ds} A_{ds} \quad (4.2)$$

Bu bağıntıdaki değişkenler;

AU: Isıl geçirgenlik alanda U_D : Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K), U_P : Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K), U_K : Dış kapının ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K), U_T : Çatının ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K), U_t : Zemin döşemesinin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K), U_d : Dış hava ile temas eden döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K), U_{ds} : Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K), A_D : Dış duvarın alanı (m²), A_P : pencerenin alanı (m²), A_K : Dış kapının alanı (m²), A_T : Tavan alanı (m²), A_t : Zemine oturan döşeme alanı (m²), A_d : Dış hava ile temas eden döşemenin alanı (m²), A_{ds} : Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı (m²)'dir.

Yapı elemanlarının “U” değerleri belirtilen klâsik hesap metoduna göre,

$$U_D = 0,471 \text{ W/m}^2\text{K}, \quad U_{Dbet} = 0,575 \text{ W/m}^2\text{K}, \quad U_P = 2,4 \text{ W/m}^2\text{K},$$

$$U_T = 0,305 \text{ W/m}^2\text{K}, \quad U_t = 0,432 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_k = 4 \text{ W/m}^2\text{K}'\text{dir.}$$

$$H_T = 368,71 \times 0,471 + 22,5 \times 0,575 + 166,25 \times 2,4 + 0,8 \times 244 \times 0,305 + 0,5 \times 244 \times 0,432 + 2 \times 4 = 1716 \text{ W/k}$$

Yukarıdaki iletimle olan ısı kaybı hesabı yapılırken, örnek olarak seçilen binada yönetmelik gereği bütün betonarme bölümler ısı köprüsü meydana getirmeyecek şekilde yalıtıldığından (4.1) no'lu eşitlikteki $1 \times U_1$ katkısı ihmal edilmiştir.

Havalandırma yoluyla ısı kaybının hesabı

Havalandırma yoluyla olabilecek ısı kaybı (4.3) no'lu eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$H_V = \rho \cdot c \cdot V \quad (4.3)$$

$$H_V = \rho \cdot c \cdot V = \rho \cdot c \cdot n_h \cdot V_h = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h$$

Bu bağıntıda;

ρ : Havanın birim hacim kütlesi (kg/m^3), c : Havanın özgül ısısı (J/kgK), V : Hacimce hava değişim debisi (m^3/h), n_h : Hava değişim oranı (h^{-1}), V_h : Havalandırılan hacim (m^3)'dir.

“ ρ ” ve “ c ” sıcaklık ve basınca bağlı olarak az da olsa değişir, fakat aşağıdaki denklemde bu durum ihmal edilmiştir. Alınan değerler 20°C ve 100 kPa içindir. Giren ve çıkan hava arasındaki entalpi artışı ihmal edilmiştir. 0,33 katsayısının hesabında kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$0,33 = (\rho \cdot c / 3600) = (1,184 \cdot 1006 / 3600) = 0,33 \text{ Jh}/\text{m}^3\text{Ks} = \text{Wh}/\text{m}^3\text{K}$$

Binadan havalandırma ile olan kayıplar için, mekanik havalandırma olmadığından $H_V = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h$ eşitliği kullanılır. Doğal havalandırma olduğundan “ n_h ” = $0,8 \text{ h}^{-1}$ alınır. Binanın havalandırma hesabında kullanılacak olan hacmi (V_h) ise $0,8 \times V_{\text{brüt}} = 0,8 \times 1746,16 = 1396,9 \text{ m}^3$ bulunmuştur.

Bu durumda;

$$H_V = 0,33 \times 0,8 \times 1396,9 = 368,79 \text{ W/K}'\text{dir.}$$

Dolayısıyla binanın özgül ısı kaybı (H);

$$H = H_T + H_V = 1716 + 368,79 = 2084,79 \text{ W/K}'\text{dir.}$$

Aylık ortalama iç kazançlar ($\phi_{i,ay}$)

İç kazançların başlıca kaynakları aşağıda verilmiştir.

- İnsanlardan yayılan metabolik ısı kazançları,
- Sıcak su sistemi tesisatından dolayı oluşan ısı kazançları,
- Yemek pişirme işleminden dolayı oluşan ısı kazançları,
- Işık kaynaklarından oluşan ısı kazançları,
- Binalarda kullanılan çeşitli ısı üreten araçlardan oluşan ısı kazançları.

Yukarıda bahsi geçen kazançlar yıl boyunca büyük oranda sabit olduklarından ortalama değer olarak alınabilirler. Bu çalışmada sabit olarak kabul edilmiştir. Alınan değerler ise;

Konutlarda, okullarda ve normal donanımlı binalarda $\phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n$ (W)

Yüksek iç enerji kazançlı binalarda $\phi_{i,ay} \leq 10 \times A_n$ (W)

A_n : Bina kullanım alanı (m^2)

$$A_n = 0,32 \times V_{brüt} \quad (4.4)$$

$V_{brüt}$: Binanın ısıtılan brüt hacmi (m^3)

$$V_{brüt} = 7.15 \times 15.15 \times 16.12 = 1746,16 \text{ m}^3$$

$$A_n = 0.32 \times V_{brüt} = 0.32 \times 1746.16 = 558,7712 \text{ m}^2$$

Bina konut olarak kullanılacağı için iç ısı kazançları 5 W/m² olarak alınabilir. Bu durumda örnek bina için iç kazançlar;

$$A_n \times 5 = 558,7712 \times 5 = 2793,85 \text{ W'tır.}$$

Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ($\phi_{s,ay}$)

Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ($\phi_{s,ay}$); Çizelge 4.1'de verilen gölgeleme faktörü ($r_{i,ay}$) değerleri doğrudan alınıp (4.5) no'lu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda pasif güneş enerjisi sistemlerinden sağlanacak kazançlar ihmal edilmiştir.

Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı ($\phi_{s,ay}$) bağıntısı;

$$\phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (4.5)$$

Burada;

$r_{i,ay}$: “i” yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörü, (çizelge 4.1’den alınır)

$g_{i,ay}$: “i” yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü,

$I_{i,ay}$: “i” yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti (W/m^2)

A_i : “i” yönündeki toplam pencere alanı (m^2) dir.

Çizelge 4.1. Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörü ($r_{i,ay}$)

	$r_{i,ay}$
Ayrık (müstakil) ve/veya az katlı (3 kata kadar) binaların bulunduğu yönlerde	0,8
Ağaçlardan kaynaklanan gölgelemenin olduğu ve/veya 10 kata kadar yükseklikteki binaların bulunduğu yönlerde	0,6
Bitişik nizam ve/veya 10 kattan daha yüksek binaların bulunduğu yönlerde	0,6

Güneş enerjisi kazançlarının hesaplanmasında gölgeleme faktör, bina 3 kattan daha az katlı ve etrafı açık olduğundan $r_{i,ay} = 0,8$ alınmıştır. “ $g_{i,ay}$ ” değeri pencere sisteminde çift cam kullanılmış olduğu için g_i değeri 0,75 alınmıştır. $g_{i,ay} = F_w \cdot g_i$ eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Bu örnekte $g_{i,ay} = 0,80 \times 0,75 = 0,60$ ’dır. “ A_i ” değerleri;

$$A_{güney} = 24 \text{ m}^2, A_{kuzey} = 3 \text{ m}^2, A_{doğu} = 28 \text{ m}^2, A_{batı} = 4 \text{ m}^2,$$

“ $I_{i,ay}$ ” değerleri ise her ay için aşağıdaki gibidir.

$$I_{güney,ocak} = 72 \text{ W/m}^2$$

$$I_{kuzey,ocak} = 26 \text{ W/m}^2$$

$$I_{batı,doğu,ocak} = 43 \text{ W/m}^2$$

“ $\phi_{s,ocak}$ ” değeri (4.5) no’lu eşitliğe göre aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\phi_{s,ocak} = 0.8 \times 0.6 \times 72 \times 24 + 0.8 \times 0.6 \times 26 \times 3 + 0.8 \times 0.6 \times 43 \times 28 + 0.8 \times 0.6 \times 43 \times 3 = 1506.6 \text{ w}$$

Güneş enerjisi geçirme faktörü :

$$g_{i,ay} = F_w \cdot g_i \quad (4.6)$$

Bu bağıntıda;

F_w : Camlar için düzeltme faktörü ($F_w = 0,8$)

g_i : Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörüdür.

Ölçü değerlerinin olmaması durumunda “ g_i ” için çizelge 4.2’ de verilen değerler kullanılabilir.

Çizelge 4.2. Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü

Cam türü	g_i
Renksiz tek cam için	0,85
Renksiz yalıtım camı birimi için	0,75
* Isıl geçirgenlik katsayısı 2 W/m ² K’den daha küçük olan diğer ısı yalıtım birimleri	0,50

* Isıl geçirgenlik katsayısı 2 W/m²K’den daha küçük olan diğer ısı yalıtım birimleri için imalatçı firma tarafından belgelendirilmiş geçirme faktörü (g_i) varsa, beyan edilen bu değer alınarak hesaba katılır.

Kazanç kullanım faktörü (η)

İç kazançlar ve güneş enerjisi kazançlarının toplamının tam bir veri olarak kullanılması uygulama açısından gerçeği yansıtmayabilir. Çünkü ısı kazançları ısıtmanın gerekmediği zamanlarda elde edilmiş olabilir. Bu nedenle iç kazançlar ve güneş enerjisi kazançları bir azaltma faktörü ile azaltılır; bu faktör, kazançların ve kayıpların bağıl büyüklüğüne ve binanın ısı kütlesine bağlı olarak belirlenir.

Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/kk_{oay})}$$

(4.7)

Bu bağıntıda;

kko_{ay} Kazanç / kayıp oranı olup, aşağıda verildiği gibi hesaplanabilir.

$$kko_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / (H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})) \quad (4.8)$$

Bu bağıntıda;

$\theta_{i,ay}$: Aylık ortalama iç ortalama sıcaklığı (°C),

$\theta_{e,ay}$: Aylık ortalama dış hava sıcaklığı (°C),

$\Phi_{i,ay}$: Aylık iç kazançlar (W),

$\Phi_{s,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W), dır.

kko_{ay} oranı 2,5 ve üzerinde olduğunda o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilir.

Kazanç kullanım faktörü " kko_{ocak} " (4.8) nolu eşitliğe göre hesaplanır. Bu eşitlikteki Φ_i ve " $\Phi_{s,ocak}$ " değerleri ile H değerleri daha önce hesaplanmış idi.

Bina konut olarak kullanılacağı için θ_i , 19°C alınmıştır.

" $\theta_{e,ocak}$ " ise üçüncü derece gün bölgesi için bu değer -0,3°C'tır.

$$kko_{ocak} = (3648 + 1506.6) / 116.74 \times (19 - (-0.3)) = 0.18$$

kko_{ay} oranı 2,5 ve üzerinde olduğundan o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilmiştir.

Kazanç kullanım faktörü ' η_{ocak} ' ise eşitlik (4.9) e göre;

$$\eta_{ocak} = 1 - e^{-1/kko_{ocak}} = 1 - e^{-0.18} = 1.00 \quad (4.9)$$

Olarak hesaplanır. Bu durumda ocak ayı için ısı kazançları;

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})] \times t \quad (4.10)$$

$$Q_{ocak} = [2084(19 - (-0,3)) - 1(2793,85 + 1527,36)] \times 2592 = 93093227,91 \text{ KJ}$$

Olarak bulunur.

Buraya kadar yapılan hesaplar her ay için tekrarlanarak toplam ısıtma enerji ihtiyacı bulunmuş ve aylara göre dökümü çizelge 4.3 de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Aylık ısıtma enerji ihtiyacı çizelgesi

aylar	H	θ_i	θ_e	η_{ay}	$\Phi_{i,ay}$	$\Phi_{s,ay}$	T	Q _{ay} (kj)	Q _{ay} (KW)
Ocak	2084,79	19	-0,3	1,00	2793,85 4	1527,3 6	2592	93093227,9 1	25879,9 2
Şubat	2084,79	19	0,1	1,00	2793,85 4	1896,4 8	2592	89976679,2 3	25013,5 2
Mart	2084,79	19	4,1	1,00	2793,85 4	2259,8 4	2592	67445070,2 6	18749,7 3
Nisan	2084,79	19	10,1	0,97	2793,85 4	2514,2 4	2592	34752325,5 1	9661,14 6
Mayıs	2084,79	19	14,4	0,81	2793,85 4	2924,6 4	2592	12805758,2 6	3560,00 1
Haziran	2084,79	19	18,5	0,00	2793,85 4	3087,8 4	2592	0	0
Temmuz	2084,79	19	21,7	0,00	2793,85 4	3000,4 8	2592	0	0
Ağustos	2084,79	19	21,2	0,00	2793,85 4	2804,6 4	2592	0	0
Eylül	2084,79	19	17,2	0,52	2793,85 4	2351,5 2	2592	2821486,52 8	784,373 3
Ekim	2084,79	19	11,6	0,96	2793,85 4	1908,4 8	2592	28257725,7 1	7855,64 8
Kasım	2084,79	19	5,6	1,00	2793,85 4	1440,4 8	2592	61450120,3 4	17083,1 3
Aralık	2084,79	19	1,3	1,00	2793,85 4	1337,2 8	2592	84940281,3 9	23613,4

- * H ; Örnek binanın hesaplanan özgül ısı kaybı
- * θ_i ; Örnek binanın hesaplanan aylık ortalama iç sıcaklığı
- * θ_e ; Örnek binanın hesaplanan aylık ortalama dış hava sıcaklığı
- * η_{ay} ; Örnek binanın hesaplanan kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü
- * $\Phi_{i,ay}$; Örnek binanın hesaplanan aylık ortalama iç kazançlar (sabit alınabilir)
- * $\Phi_{s,ay}$; Örnek binanın hesaplanan aylık ortalama güneş enerjisi kazancı
- * t ; zaman (saniye olarak bir ay için 86400×30)
- * Q_{ay} ; Örnek binanın hesaplanan aylık ısıtmak için enerji ihtiyacı

Yukarıdaki çizelgede çıkan sonuçlar ve ankara hava şartlarına göre; ekim, kasım, aralık, ocak, şubat, mart, nisan ve mayıs aylarında ısıtmaya ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Ankara'da bulunan örnek bina için aylık enerji ihtiyacı hesaplandığında ise; ekim, kasım, aralık, ocak, şubat, mart, nisan ve mayıs aylarında ısıtma enerjisine ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır. Toplamda ise ısıtma amaçlı olarak yıllık 113322 kw enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır.

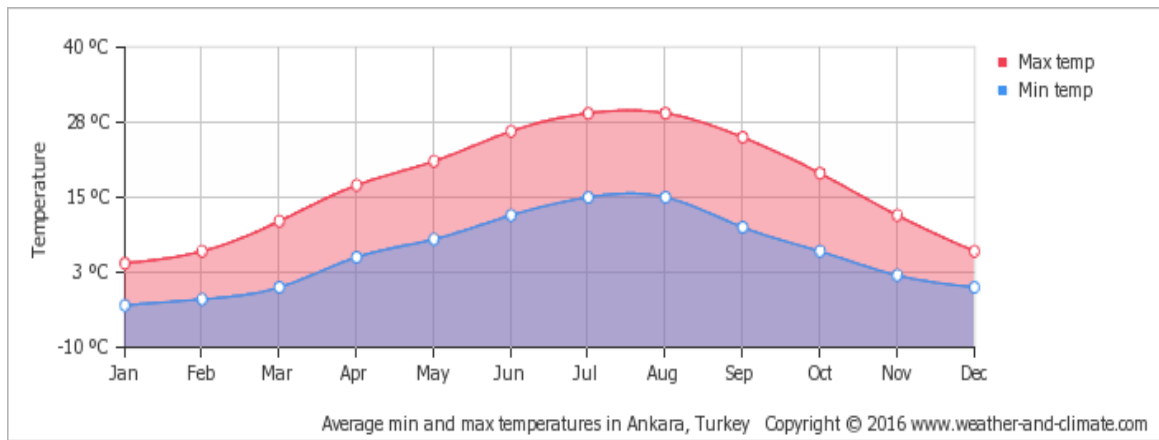
Çizelge 4.4. Ortalama dış hava sıcaklığı ve saatlik ısıtma enerjisi ihtiyacı

Ay	Ortalama dış hava sıcaklığı	Isı enerji ihtiyacı Kw/hr
Ekim	11,6	10,09
Kasım	5,6	23,72
Aralık	1,3	32,79
Ocak	-0,3	35,94
Şubat	0,1	34,74
Mart	4,1	26,04
Nisan	10,1	13,41
Mayıs	14,4	4,09

Çizelge 4.4 de ısıtma ihtiyacı olan aylarda yani ekim, kasım, aralık, ocak, şubat, mart, nisan ve mayıs aylarında ortalama dış hava sıcaklığı gösterilmekte ve saatlik ısı enerji ihtiyacı verilmektedir. Yani örnek olarak ocak ayında dış hava sıcaklığı ortalama $-0,3$ olduğunda, evi ısıtmak için saatte 35,94 kw enerjiye ihtiyac duyulmaktadır.

4.4. Örnek Bina İçin Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Sağladığı Enerji Miktarının Hesaplanması

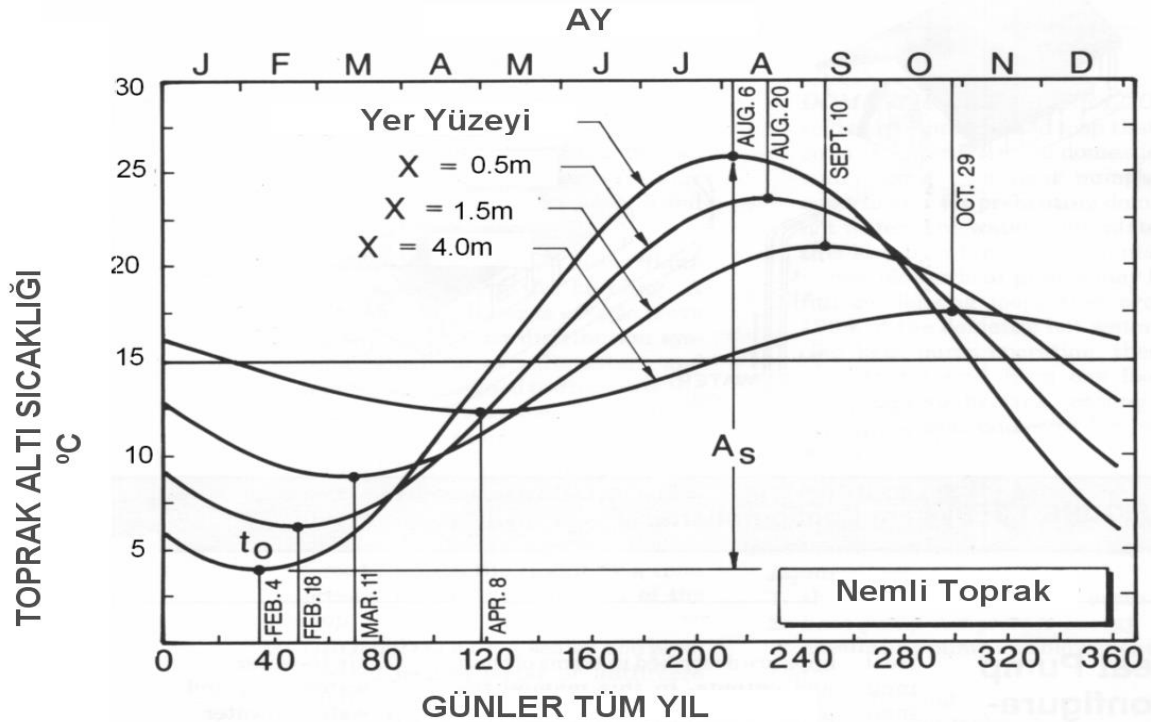
Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde, yatay tip ısı değiştirgeçlerinin yerleştirildiği 1,5-2 metre toprak derinliğinde sıcaklık yıl boyunca çok az değişim gösterir. Bu değişim yıllık ortalama sıcaklığa göre $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ler mertebesinde salınan dış hava sıcaklığından oldukça farklıdır. Ankara için dış hava sıcaklığının yıllık değişimi şekil 4.10'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 10. Ankara yıllık ortalama sıcaklık değerleri

Toprak sıcaklığının yıl boyunca değişik derinliklere bağlı olarak değişimi ise Şekil 4.11. verilmektedir. Isı değiştirgeçlerinin yer aldığı toprak derinliği arttıkça değişim azalmaktadır. Bu nedenle dış hava sıcaklığının kış ve yaz mevsimlerinde fazla değişim gösterdiği bölgelerde TSIP kullanımını büyük avantaja sahiptir.

Toprak sıcaklığı; toprağın yapısına, iklim koşullarına, bitki örtüsüne vb. bağlı olarak, toprak profili boyunca ısısal yayılım ile birlikte farklılık göstermektedir. Çoğu topraklarda ise sıcaklık 10 m.derinlikte hemen hemen sabit olup, yaklaşık olarak üstteki toprağın yıllık ortalama sıcaklığına eşittir [37].



Şekil 4. 11. Toprak sıcaklığının derinliğe bağlı değişimi

Enerji tasarrufu yapmak amacı ile tasarlanmış olan toprak kaynaklı ısı pompasının enerji hesabı için bilinen üç metod öne çıkmaktadır.

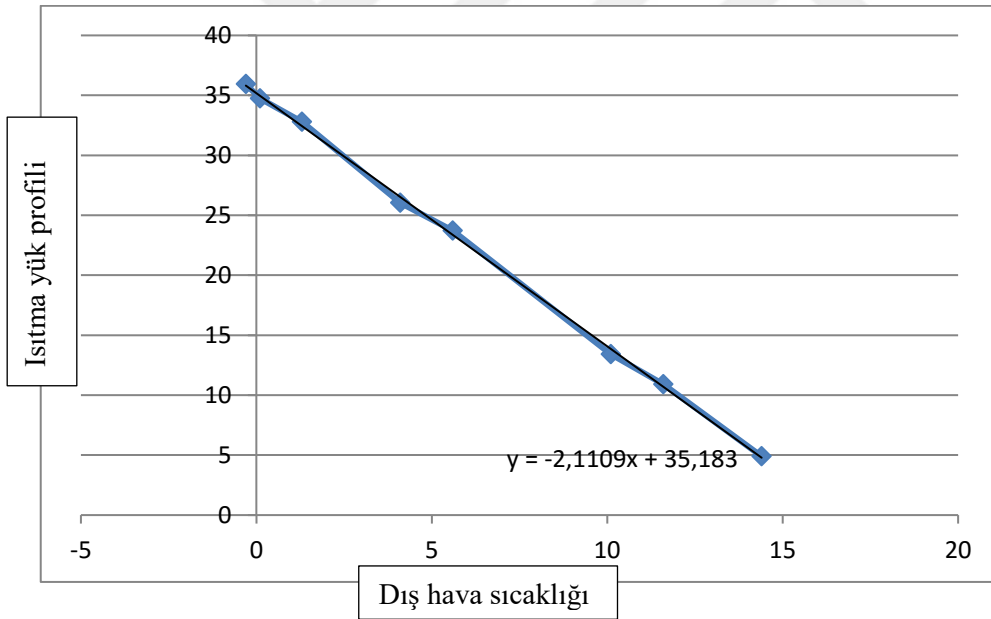
- 1- Derece gün metodu
- 2- “Bin” metodu
- 3- Saat – saat metodu

Derece gün metodu basittir ancak dış hava sıcaklığına bağlı verimin değiştiği sistemlerde güvenilir sonuçlar alınmaz.

“Bin” metodu kısmen basittir, dış hava etkisini ve kısmi yükü dikkate alarak sistem kurmak ve fizibilite yapmak için gerekli verileri sağlayabilir.

Saat-saat metodu genellikle büyük ticari binalarda çok detaylı bilgi gerektiğinde kullanılır [38].

Bu çalışmadaki hesaplarda “Bin” metodu kullanılmıştır. “Bin” metodu belirli sıcaklıkların olduğu zamanların tüm yıl boyunca toplanması esasına dayanır. Her sıcaklık dilimi 3 veya daha fazla °C sıcaklıktan oluşabilir. Bu çalışmada 3'er °C'lik 18 adet “Bin” aralığı oluşturulmuştur. “Bin” metot ile hesap yapılabilmesi için, örnek alınacak konutun ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının öncelikle hesaplanması gerekmektedir. Ankara şartlarında konut olarak kullanılan örnek yapının yıl boyunca ısı kaybı ve ısı kazancı hesaplanarak Şekil 4.12'deki ısıtma ve soğutma yük profili çıkarılmıştır.



Şekil 4. 12. Örnek binanın Isıtma Yükü Profili

Çizelge 4.5. de Ankara Meteoroloji Müdürlüğünden alınan bilgiler doğrultusunda 3 adet 8 saatlik periyodlar halinde yıllık “Bin” saatleri özetlenmiştir. Birinci sütun “Bin” sıcaklık değerlerini, sütun 2, 3 ve 4 ise bu sıcaklıkların üç 8 saatlik zaman diliminde kaç defa aşandığını göstermektedir. Konutun hafta içi günlerde sabah 8:00 ile akşam 18:00 arasında boş olduğu ve diğer saatlerde ve hafta sonu Cumartesi ve pazar günü dolu olduğunu varsayılmıştır.

Bu durumda;

‘a’ zaman dilimi, 24:00 – 08:00 aralığını,

‘b’ zaman dilimi, 8:00 - 16:00 aralığını,

‘c’ zaman dilimi, 16:00 - 24:00 aralığını ifade etmektedir.

“a” zaman diliminde bina dolu olduğu için o halde doluluk katsayısı= $56/56=1$ ($8 \times 7=56$ her bölümdeki saat).

Boş olma katsayısı = $1 - 1 = 0$

‘b’ ve ‘c’ zaman dilimlerinde de binanın dolu olduğu yani ısı enerjisine ihtiyac duyulduğu kabul edilmektedir. Bu sebeple boş ve dolu olma katsayıları bu zaman dilimleri için de aynı ‘a’ daki gibi olmaktadır.

Çizelge 4.5. Ankara için Dış Hava Sıcaklığına Bağlı “Bin” Saatleri

Bin	(1-8AM)a	(9-16)b	(17-24)c	Dolu	Boş
-12	9	0	1	10,00	0,00
-9	14	1	0	14,29	0,71
-6	22	1	2	24,29	0,71
-3	166	26	36	209,43	18,57
0	380	151	244	667,14	107,86
3	365	220	285	712,86	157,14
6	401	272	346	824,71	194,29
9	277	271	326	680,43	193,57
12	314	331	270	678,57	236,43
15	350	262	283	707,86	187,14
18	301	243	339	709,43	173,57
21	235	279	282	596,71	199,29
24	65	326	230	388,14	232,86
27	12	243	139	220,43	173,57
30	0	188	67	120,71	134,29
33	0	59	28	44,86	42,14
36	0	23	8	14,57	16,43
39	0	7	2	4,00	5,00

Bulunan bu katsayılar birinci, ikinci ve üçüncü zaman dilimleri ile çarpılarak 5 ve 6. sütunlardaki dolu ve boş konumların katsayıları bulunur.

Su giriş sıcaklığı

Çizelge 4.7. de toprak kaynaklı ısı pompası ile ilgili teknik bilgiler verilmiştir. Hesaplamalarda önemli bir veri olan su giriş sıcaklığı, birçok faktöre bağlıdır. Bunlar, zaman aralığı, toprak özellikleri, ısı değiştirgeçlerinin boyutları v.s. Ortalama bir toprak derinliği alınarak ve toprak malzemesinin özellikleri ve yoğunluğu gibi veriler kullanılarak su giriş sıcaklıkları bulunur.

Yalnız dış hava sıcaklığına bağlı olarak giriş suyu sıcaklığı 4.11 bağıntısı ile yaklaşık olarak hesaplanabilir. Bu hesaplamalarda en düşük giriş suyu sıcaklığı (EWT_{MIN}), yılın en soğuk gün sıcaklığından 25 °C büyük alınır, bu rakam en az 15°C olmalıdır [38].

Kış (ısıtma)

$$EWT_H = EWT_{MIN} + \left[\frac{EWT_{MEAN} - EWT_{MIN}}{TA_{MEAN} - TA_{MIN}} \right] \times [TA - TA_{MIN}] \quad (4.11)$$

EWT_H Isıtma su giriş sıcaklığı

EWT_{MIN} Minimum su giriş sıcaklığı

EWT_{MEAN} Ortalama su giriş sıcaklığı

TA_{MEAN} Ortalama dış hava sıcaklığı

TA_{MIN} Minimum dış hava sıcaklığı

TA Dış hava sıcaklığı

Toprak kaynaklı ısı pompası seçimi

Türkiyede yapılan firma araştırması bilgilerine göre, toprak kaynaklı ısı pompası üreten iki önemli firma bulunmaktadır. Çizelge 4.6 de bu firmaların ürettiği ısı ppompalarının çeşitleri verilmektedir. Bu çizelge incelendiğinde; genelde konutlar için kullanılan pompalar 8-40 kW kapasite aralığında bulunmaktadır. 50 - 500 KW arası kapasite cihazlar endüstriyel amaçlı kullanılmaktadır. Konutlarda güç kaynağı olarak 220 V kullanmakta olduğundan JK03WR model, B0/W35x1 ve JK05WR modeli pompalar güç kaynağı olarak istenen kriterlere uygundur. Ancak JR03WR ve B0/W35x1 modelinin ısıtma kapasitesi daha az olduğu için, JK25WR ve JK10WR modeller ise 380 volt ile çalıştıkları için örnek konutta

kullanılmaları uygun bulunmamışlardır. Buna karşın JK05WR model ısı pompası çalışmaya uygun bulunmuş ve şekil 4.13 deki verileri kullanılmıştır.

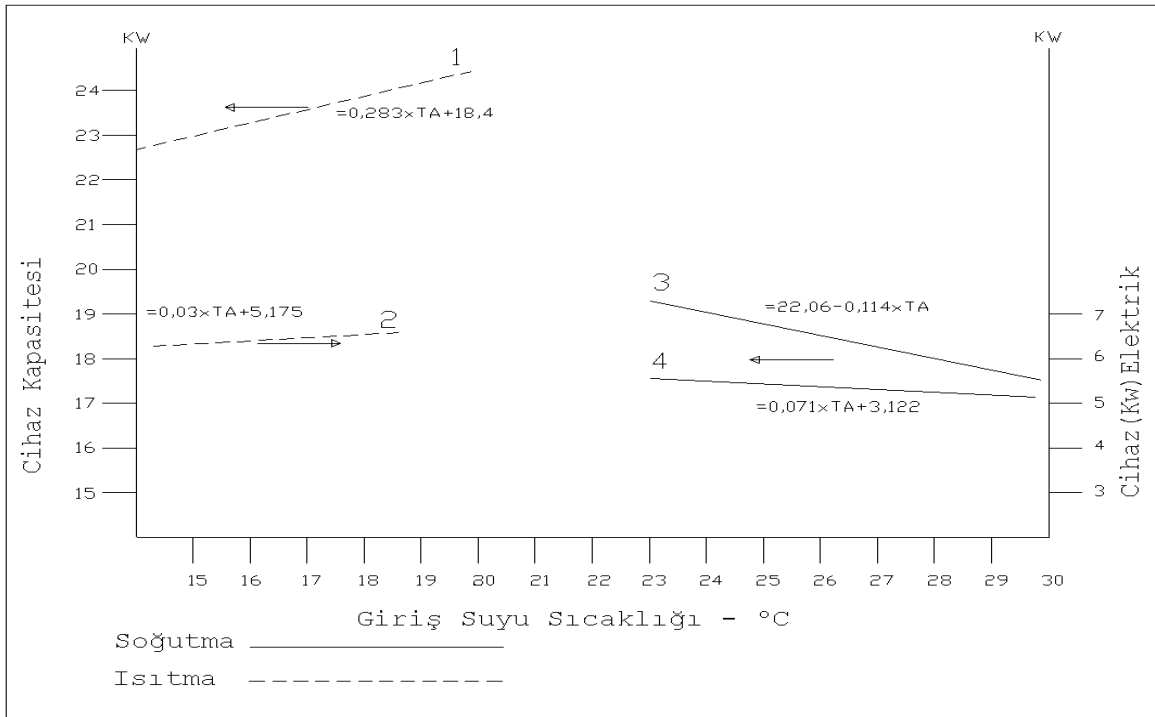


Çizelge 4. 6. Isı pompalarının modelleri [39,40]

Pompaların şekli	Pompanın modeli	Pompanın güç kaynağı	Cihaz elektrik	Isıtma kapasitesi
	<u>JK25WR</u>	380V, 50 or 60HZ	21.5KW	98KW
	<u>JK10WR</u>	380V, 50 or 60HZ	8.8KW	42KW
	<u>JK03WR</u>	220V or 380V, 50 or 60HZ	2.8KW	13.5KW
	<u>JK05WR</u>	220V or 380V, 50 or 60HZ	4.65KW	21KW
	<u>B0/W35x1</u>	220V or 50 Hz	2.80KW	11.9KW

Cihaz kapasitesi ve Elektrik tüketimi

Şekil 4.11 de, firmanın katalog değerlerine dayanarak bahsi geçen örnek için seçilen cihazın performansı görülmektedir[39]. Isı pompasının ekonomik ve teknik performansı kullanılan ısı kaynağının kalitesine bağlıdır. Bu nedenle, bir yapı için, ısı pompasının sistem tipinin seçimi, kullanılacak olan ısı kaynağına ve ısı çukurunun türüne bağlıdır. Sistem tipinin seçiminde yerleşim yerinin konumu, çevre havası sıcaklığındaki değişim, toprak koşulları, yeraltı veya yerüstü sularının bulunabilirliği, mimari yapı gibi çok faktör rol oynamaktadır. Mevcut toprağın bileşenleri, yoğunluğu, içerdiği nem oranı, boruların toprağa gömülme derinlikleri gibi faktörler toprak kaynaklı ısı pompasının ısı değiştiricisinin seçiminde ve boyutlandırmasında önemli rol oynamaktadır [41].



Şekil 4. 13. Seçilen ısı pompası performansı [40]

Yukarıdaki grafikten yararlanarak, cihaz elektrik ve cihaz kapasitesi elde edilir. Kış koşullarında ısıtmaya ihtiyaç duyulduğu için, 1 ve 2'nci denklemler kullanılır. Cihaz elektrik ihtiyacını belirlemek için $=0,03 \times T_A + 5,175$ ve cihazın kapasitesini belirlemek için $=0,283 \times T_A + 18,4$ bağıntıları kullanılır.

Topraktan alınan enerji miktarının hesaplanması

Topraktan alınan enerji miktarının hesaplanması için çizelge 4. 7 oluşturulmuştur.

1. Sütunda 3 °C farkla “Bin” sıcaklıklarını bulunmaktadır. Toplam 18 sıcaklık dilimi vardır.
2. Sütunda bu sıcaklıkların olduğu yıllık toplam saatler bulunmaktadır.
3. Sütunda binanın ısıtma ve soğutma yükleri yer almaktadır. (şekil 4.12’de elde edilmişlerdir)
4. Sütunda su giriş sıcaklıkları (EWT) yer almaktadır. (4.11 nolu eşitlikte elde edilmiştir.)
5. Sütunda, su giriş sıcaklığına (EWT) bağlı olarak saptanan cihaz kapasiteleri yer almaktadır. (şekil 4.13 den yararlanılmıştır.)
6. Sütunda, sütun 3’ü, sütun 5’e (Su giriş sıcaklığı ve cihaz kapasitesi) bölerek teorik çalışma faktörü bulunmuştur. Not; Bilindiği gibi teorik çalışma ile cihazın gerçek çalışması farklıdır ve gerçek çalışma teorikten bir miktar daha fazladır. Bu değer kısmi yük çalışma faktörü olarak isimlendirilir. Binanın ısıtma veya soğutma yükü cihaz kapasitesinin üzerine çıkarsa, ısı pompası tam kapasite çalışacağı için bu faktör 1 olacaktır. Kısmi yük Faktörü: $PLF=1-C_D(1-\text{binanın ısı yükü/Cihaz kapasitesi})$
 C_D azaltma faktörü. Bu faktör cihazın hangi sıklıkla çalış/dur yaptığına bağlıdır. Genel eğilim olarak 0.25 alınır.
7. Sütunda kısmi yük faktörü bulunmaktadır. Bunun için yukarıda verilen kısmi yük faktörü eşitliğinde C_D 0.25 alınarak bulunur.
8. Sütunda gerçek çalışma faktörü bulunmaktadır. (6. sütundaki teorik çalışma 7. sütundaki kısmi yük faktörüne bölünerek bulunur.)
9. Sütunda, şekil 4.13’i kullanarak ısı pompanın çekmiş olduğu elektrik miktarları verilmiştir.
10. Sütunda, sütun 2 deki “Bin” saatleri, 8.sütundaki gerçek çalışma faktörü ve 9. sütundaki cihaz elektrik masrafı ile çarpılarak gerçek toplam elektrik tüketim miktarları bulunmaktadır. Çizelge 4.7 de, 2. sütunda bulunan yıllık bin saatlerinin yerine, çizelge 4.5 de binanın dolu olması durumu için bulunan bin saatlerini yerleştirerek sadece dolu olması hali için enerji miktarı hesaplanır.
11. Sütunda, topraktan alınan enerji özetlenmiştir. Isıtmada topraktan çekilen enerji cihaz kapasitesinden cihazın çektiği gücün çıkartılıp gerçek çalışma faktörü ile çarpılması ile bulunur.

12. Sütunda, topraktan çekilen enerji: 11. sütun ve çizelge 4.5’de verilen binanın dolu olması hali çarpılarak gerçek toplam topraktan alınan enerji bulunur.

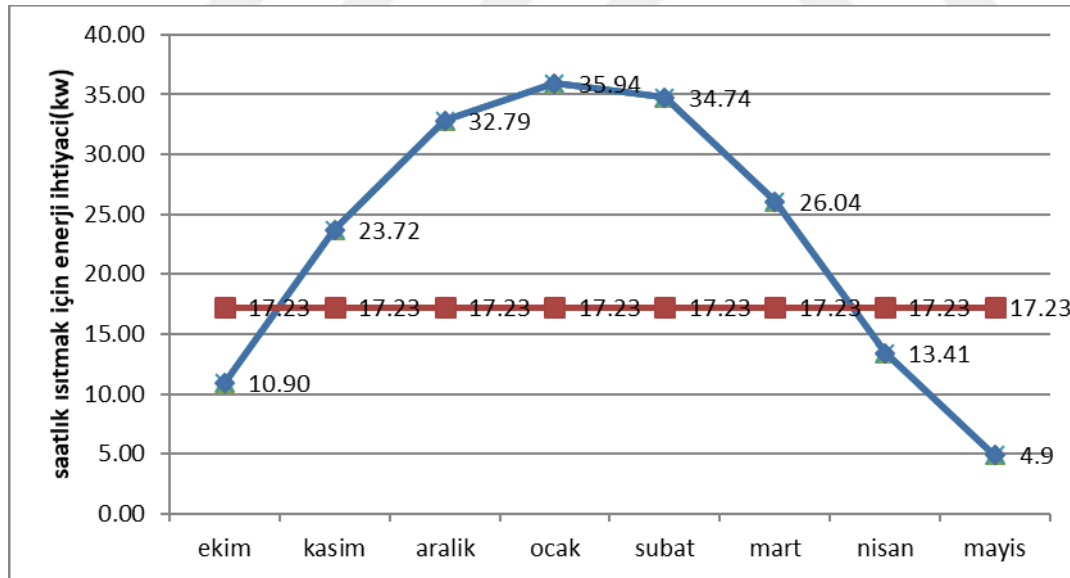


Çizelge 4. 7. Bin Metodu İle Isı Pompası Enerji Hesabı

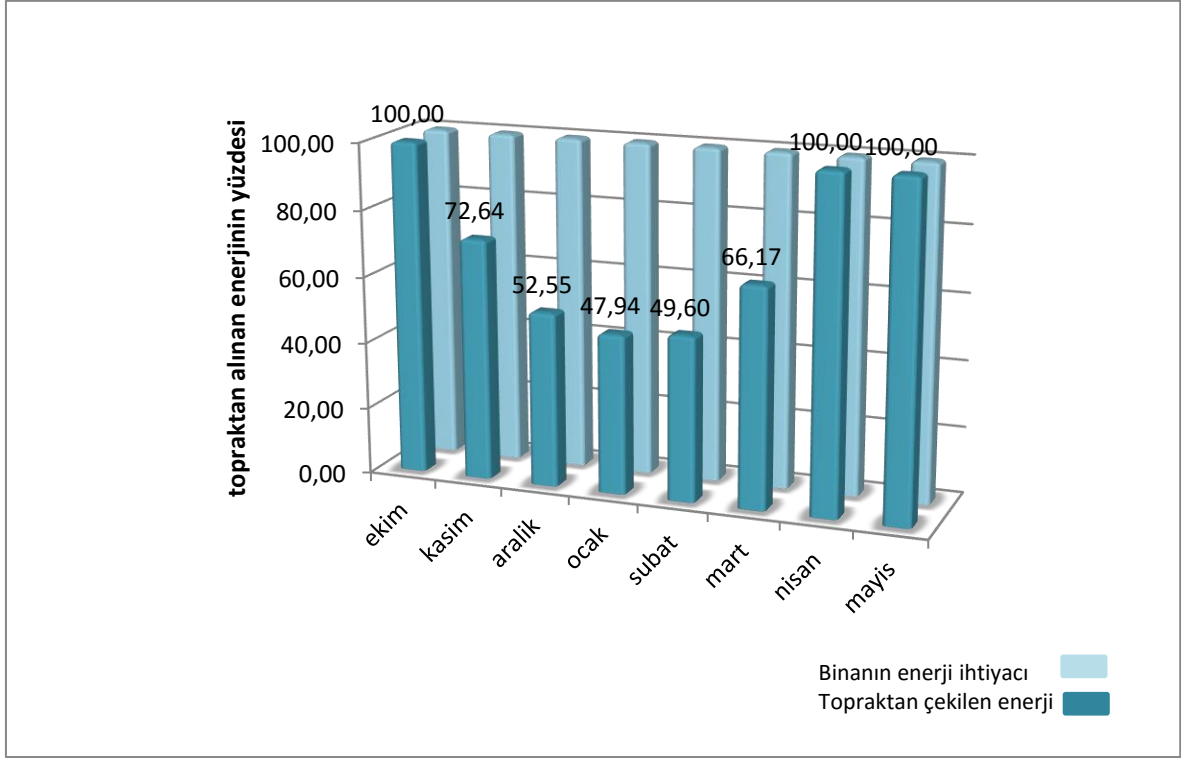
1.farklı sıcaklıklar (°c)	-12	-9	-6	-3	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39
2. Bin saatler	10	15	25	228	775	870	1019	874	915	895	883	796	621	394	255	87	31	9
3.farklı sıcaklıklarda enerji ihtiyacı(KW)	60,26	53,94	47,62	41,3	34,98	28,66	22,34	16,02	9,7	3,38	-2,94	-9,26	-15,58	-21,9	-28,22	-34,53	-40,85	-47,17
4. Su giriş sıcaklığı (°c)	14	14,73	15,46	16,19	16,92	17,65	18,38	19,11	19,84	20,57	-	-	-	-	-	-	-	-
5. cihaz kapasitesi (kw)	22,36	22,57	22,78	22,98	23,19	23,4	23,6	23,81	24,02	24,22	-	-	-	-	-	-	-	-
6. Teorik çalışma faktörü	1	1	1	1	1	1	0,95	0,67	0,4	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-
7. kısmi yük faktörü	1	1	1	1	1	1	0,99	0,92	0,85	0,78	-	-	-	-	-	-	-	-
8. gerçek çalışma faktörü	1	1	1	1	1	1	0,96	0,73	0,47	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-
9. cihaz elektrik(kw)	5,6	5,62	5,64	5,66	5,68	5,7	5,73	5,75	5,77	5,79	-	-	-	-	-	-	-	-
10. gerçek toplam elektrik tüketimleri (kw)	55,95	80,24	136,9	1185,5	3791,1	4066,5	4531,2	2866,7	1859,1	729,75	-	-	-	-	-	-	-	-
11. topraktan çekilen enerji(KW)	16,77	16,95	17,14	17,32	17,51	17,69	17,15	13,24	8,66	3,28	-	-	-	-	-	-	-	-
12. gerçek toplam topraktan alınan enerji(kw)	167,7	242,2	416,2	3627,6	11679	12611	14145	9006,8	5878,4	2322	-	-	-	-	-	-	-	-

5. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada toprak ısısından ısı pompası vasıtasıyla, örnek konutu ısıtmada ısı pompasının ne kadar etkili olduğu değerlendirilmiştir. Bunun için Ankara’da örnek alınan binanın ilk olarak binanın ısıtma enerji ihtiyacı hesaplanmıştır. Bunun için binanın bulunduğu bölge, bina yönü ve yıllık dış hava sıcaklığını ele alınmış, soğuk aylarda binanın ısıtması için saatlik enerji ihtiyacı belirlenmiştir. İkinci etapta ısı pompası yardımı ile topraktan çekilen enerji miktarı hesaplanmıştır. Çizelgede 4.6’de görüldüğü üzere soğuk aylarda topraktan çekilen enerji; dış hava sıcaklığı minimum olduğu -12°C de, 16,77 kw/saat olarak hesaplanmıştır, bu durumda diğer soğuk zamanlara baktığımızda topraktan sağlanan enerji yani toprak altı sıcaklığı çok fazla değişiklik göstermemektedir. Bu değer dış hava sıcaklığı değiştiğinde önemli değişiklik göstermemektedir. Bunun için soğuk aylarda topraktan sağlanan enerjinin ortalaması olan 17.23 kw/hr dikkate alınmıştır. Şekil 5.1 görüldüğü gibi yılın en soğuk ayı olan ocak ayında örnek konutu ısıtmak için saatte 35,94 kw enerji ihtiyaç duyulmaktadır ve bunun 17,23 kw/hr’ı topraktan sağlanan enerji ile karşılanmaktadır.

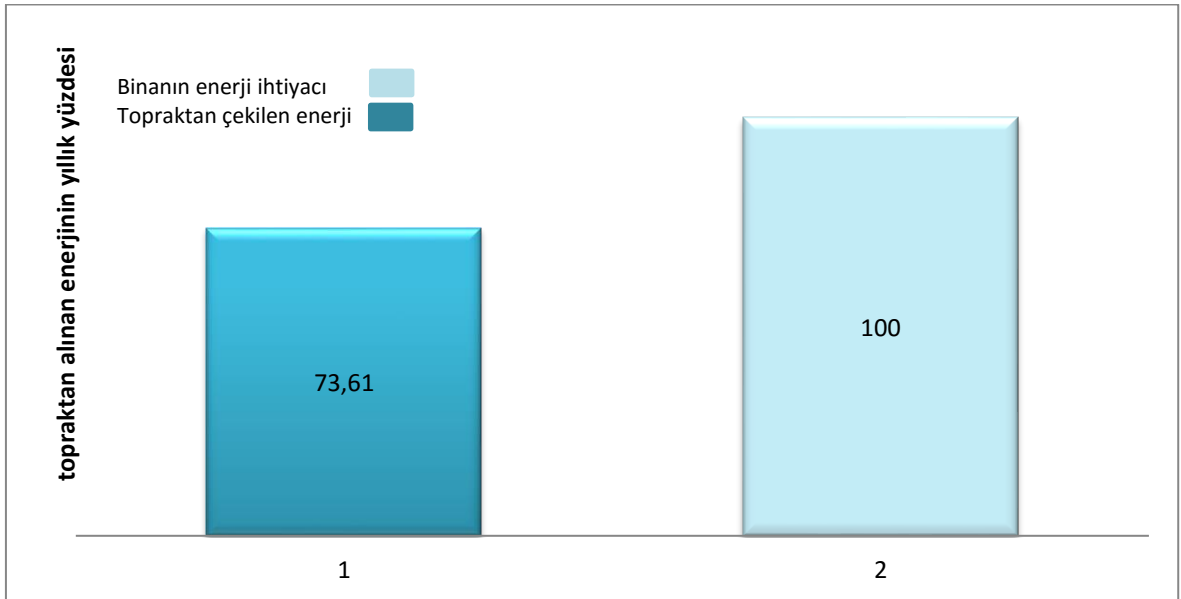


Şekil 5.1. Ankara için soğuk aylarda topraktan alınan enerjinin, binayı ısıtmak için ihtiyaç olunan enerji ile karşılaştırılması



Şekil 5.2. Topraktan alınan enerjinin yüzdesi

Şekil 5.2’de örnek konut için topraktan sağlanan enerjinin farklı aylar için ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama yüzdeleri verilmektedir. Bu oranlar en soğuk ayda % 47,94 ünü karşılarken, ekim, nisan ve mayıs aylarında %100’ünü karşılamaktadır.



Şekil 5.3. Topraktan alınan enerjinin soğuk aylar toplam yüzdesi

Ankara’da soğuk aylar için topraktan elde edilen enerjinin örnek binanın soğuk aylar için toplam ısıtma ihtiyacının %73.61’ini sağlandığı hesaplanmıştır. (Şekil 5.3)

Çalışmada pencere alanlarındaki ve dış duvarın ısı geçirgenlik katsayılarındaki farklılıkların ısı pompasının verimi üzerindeki etkilerini görmek amacı ile örnek çalışmadan farklı verilerle hesaplar tekrarlanmıştır. Bu amaçla örnek çalışmadaki 166 m² olan pencere alanı 100 m² ve 250 m² olarak, 0,47 W/m²K olan dış duvar ısı geçirgenlik katsayısı ise 0,30 W/m²K ve 0,70 W/m²K alınarak tekrarlanan hesaplarda elde edilen sonuçlar çizelge 5.1 ve çizelge 5.2 de verilmiştir.

Çizelge 5. 1. Farklı pencere alanları için binanın ısıtma aylarındaki ısıtma enerji ihtiyacı

Aylar	Örnek çalışma (166 m ² pencere) için Binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı (kw)	100 m ² pencere için Binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı (kw)	250 m ² pencere için Binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı (kw)
Ekim	10,91	9,78	12,35
Kasım	23,73	21,60	26,42
Aralık	32,80	29,98	36,36
Ocak	35,94	32,87	39,83
Şubat	34,74	31,73	38,54
Mart	26,04	23,68	29,03
Nisan	13,42	12,05	15,16
Mayıs	4,94	4,36	5,71

Çizelge 5.1 incelendiğinde örnek çalışmadaki pencere alanı % 40 oranında küçültüldüğünde, binanın ısıtma enerjisi ihtiyacının ortalama % 10 oranında azaldığı ve ısı pompası ile binanın ısıtma enerjisinin % 77,09 oranında karşılandığı saptanmıştır.

Örnek çalışmadaki pencere alanı % 50 oranında büyütüldüğünde ise binanın ısıtma enerjisi ihtiyacının ortalama % 12 oranında arttığı ve ısı pompası ile binanın ısıtma enerjisinin % 69,99 oranında karşılandığı saptanmıştır.

Çizelge 5. 2. Farklı duvar geçirgenlik katsayıları için binanın ısıtma aylarındaki ısıtma enerji ihtiyacı

Aylar	Örnek çalışma ($u_d=0,47$ W/m ² K) için Binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı (kw)	$u_d=0,30$ W/m ² K için Binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı (kw)	$u_d=0,70$ W/m ² K için Binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı (kw)
Ekim	10,91	10,46	11,51
Kasım	23,73	22,88	24,86
Aralık	32,80	31,68	34,29
Ocak	35,94	34,73	37,58
Şubat	34,74	33,55	36,34
Mart	26,04	25,10	27,30
Nisan	13,42	12,87	14,15
Mayıs	4,94	4,71	5,26

Çizelge 5.2 incelendiğinde; örnek çalışmadaki dış duvar ısı geçirgenlik katsayısı % 40 oranında azaltıldığında, binanın ısıtma enerjisi ihtiyacının ortalama % 4 oranında azaldığı ve ısı pompası ile binanın ısıtma enerjisinin % 74,91 oranında karşılandığı saptanmıştır.

Örnek çalışmadaki dış duvar ısı geçirgenlik katsayısı % 50 oranında artırıldığında ise binanın ısıtma enerjisi ihtiyacının ortalama % 5 oranında arttığı ve ısı pompası ile binanın ısıtma enerjisinin % 71,99 oranında karşılandığı saptanmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, konutlar için toprak kaynaklı ısı pompalarının fizibilite analizi yapılmıştır. Öncelikle Toprak kaynaklı ısı pompaları çalışma prensibi ve elemanları hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra farklı kaynaklı ısı pompaları tanıtılıp, teorik bilgiler verilerek örnek çalışma olarak Ankara'da yer alan bir konutun ısı enerji ihtiyacı hesaplanmıştır. Örnek bina için seçilen toprak kaynaklı ısı pompasından sağlanan enerji miktarı hesaplanarak, binanın ısıtma enerjisi ihtiyacının ne oranda karşılanabileceği araştırılmıştır.

Araştırma sonucu elde edilen bilgilere göre;

- Dış hava sıcaklığı ve binanın bulunduğu bölge ve bina yönü, ısı pompanın performansını olumlu ya da olumsuz etkilemektedir. Dolayısı ile binanın bulunduğu enlem, iklim koşulları ve baktığı yön önem kazanmaktadır.
- Isı pompasının çalışma performansı, borularının topraktaki derinliğinden doğrudan etkilenmektedir. Çünkü toprağın derinliği arttıkça dış hava sıcaklığının ısı pompası performansı üzerine etkisi daha azdır. Örneğin toprağın 4 metre derinliğinde sıcaklık yaklaşık olarak farklı aylarda sabit ve çok az farklılık göstermektedir.
- Binanın ısı kayıpları pompanın performansını etkilemektedir. Örneğin çok pencereli bir bina veya dış hava ile temasda olan çok sayıda dış duvarları olan bina veya ısı yalıtımı olmayan binalarda ısı pompanın katkısı azalmaktadır. Örneğin pencere alanlarındaki % 40'luk azalma binanın enerji ihtiyacında % 10'luk azalmaya sebep olmaktadır. Benzer şekilde dış duvar ısı geçirgenlik değerlerindeki % 40'luk bir düşüş, bina enerji ihtiyacında % 4'lük azalmaya sebep olmaktadır. Dolayısı ile ısı pompasının sabit olan katkısı, oran olarak artmaktadır.
- Kullanmış olduğumuz bin metodunda binanın boş veya dolu olma durumu binanın enerji ihtiyacını etkilemektedir.
- Ankara için en soğuk ayda (ocak) ısıtmada kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan enerji miktarının % 47,94'ünün Toprak kaynaklı ısı pompası ile karşılanabileceği saptanmıştır. Bu enerjinin verimli kullanımı açısından büyük bir avantajdır.

Çalışma Ankara'da örnek olarak ele alınan bir yapının ihtiyaç duyduğu ısıtma enerjisinin yaklaşık 73.61% kısmının toprak kaynaklı ısı pompaları sistemi ile karşılanabileceğini göstermektedir. Toprak kaynaklı ısı pompalarının performansları, büyük oranda topraktan

aldıkları ve ilgili cihaz veya mekâna aktardıkları ısıya bağlıdır. Ancak ısı akışında etken olan toprağın özelliği, nem değeri ve toprak altı su hareketlerini net olarak saptamak her zaman mümkün olamamaktadır. Bu nedenle çoğu tasarım; daha önceki deneyimlere ve örnek çalışmalara dayanmaktadır. Bu anlamda konut ve benzeri küçük kapasiteli mekânlar için deneysel sonuçlar bulunabilmekte, ancak ticari boyutla büyük sistemler için veriler yok yeteri kadar bulunamamaktadır. Isı pompalarının kullanımını arttırmak adına ilk yatırım harcamalarının ve amorti sürelerinin belirlendiği çalışmaların yapılması yararlı olacaktır.



KAYNAKLAR

1. Catan, M. A., and Baxter, V. D. (1985). *An optimized ground-coupled heat pump system design for northern climate applications*. Türkiye: ASİL Yayınevi, 91-92.
2. Goswami, D. Y., and Dhaliwal, A. S. (1985). Heat transfer analysis in environmental control using an underground air tunnel. *Journal of Solar Energy Engineering*, 107(2), 141-145.
3. Eskilson, P., and Claesson, J. (1988). Simulation model for thermally interacting heat extraction boreholes. *Numerical Heat Transfer*, 13(2), 149-165.
4. Healy, P. F., and Ugursal, V. I. (1997). Performance and economic feasibility of ground source heat pumps in cold climate. *International Journal of Energy Research*, 21(10), 857-870.
5. Phetteplace, G., and Sullivan, W. (1998). *Performance of a hybrid ground-coupled pump system*. Atlanta: ASHREA Yayınevi, 104, 763.
6. Özdemir, M. B., ve Özkaya, M. G. (2015). Ankara İli Şartlarında Düşey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi, sayfa: 269-280. *Politeknik Dergisi*, 18(4).
7. Ayhan, T., Çomaklı, Ö., ve Kaygusuz, K. (1992). Experimental investigation of the exergetic efficiency of solar assisted and energy storage heat pump systems. *Energy conversion and management*, 33(3), 165-173.
8. Kıncay, O., ve Temir, G. (2002). Toprak ve Hava Kaynaklı, Isı Pompalı Sistemlerin Ekonomik İncelenmesi. *TMMOB Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (68), 31-38.
9. Hepbaslı, A. (2002). Performance evaluation of a vertical ground-source heat pump system in Izmir, Turkey. *International Journal of Energy Research*, 26(13), 1121-1139.
10. Babacan, Z. (2007). *Muğla üniversitesi kötekli yerleşkesinde toprak kaynaklı ısı pompası kullanılabilirliğinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Muğla.
11. Erdim, B. (2010). *Binalarda enerji korunumu açısından ısı pompalarının farklı iklim bölgelerinde uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
12. Başkal , A. (2011). *Duvarдан ısıtma ve soğutmalı toprak kaynaklı ısı pompasının performansının incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
13. Külekçi, Ö. C. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 083-091.

14. Yamaç, Ö.(2005). *Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompalarının Teorik İncelenmesi*,Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Antalya.
15. Erdoğan S., Yılmaz M, Şahin B.,ve Özyurt Ö., (2006). Isı Pompası Sistemlerinin Seçimi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi* ,92, 23-30.
16. Ataman, H. (1991), *Toprak Kaynaklı Bir Isı Pompası Tesisinin Tasarlanması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Fakültesi, İstanbul.
17. Oner, F., (2008). Hava Kaynaklı Isı Pompaları ve Saha Testleri, *TTMD Isıtma Soğutma Havalandırma Klima Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi*, 55,39-48.
18. İnternet: Elibollar, S. Toprak-Su Kaynaklı Isı Pompaları. URL: <http://www.asansorkontrolmerkezi.org/belgelendirilen-urunler/>, Son Erişim Tarihi: 15.10.2017
19. Isısan, Ç. (2009). *Yenilenebilir Enerjiler Alternatif Siteler*. Türkiye: Isısan Yayın Evi, 375-378
20. Kaçikoç, İ. (2008), *Temiz Enerji Evinde Enerji Ekonomisi Uygulamaları*,Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
21. Yamaç, Ö. (2005), *Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompalarının Teorik İncelenmesi*,Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Antakya.
22. Kaygusuz, K., (1992), *Karadeniz'deki Konutların Güneş Destekli Isı Pompalarıyla Isıtılabilirliğinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
23. Şen B., (2005), Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri ve Uygulama Esasları, *Tesisat Mühendisliği Dergisi* (90).
24. İnternet: LEED v4 for Building Design and Construction 2017, USA. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fnew.usgbc.org%2F&date=2018-03-20>, Son Erişim Tarihi: 02.01.2018.
25. İnternet: BREEAM International New Construction 2016, England. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.breeam.com%2F&date=2018-03-20>, Son Erişim Tarihi: 02.01.2018.
26. İnternet: Heat Pump Industry Sets a New Gear on the Road to Decarbonisation 2016, England.URL:<http://www.ehpa.org.org/en-us/speed/rs4?source=firstrun> Son Erişim Tarihi: 03.01.2018.
27. Ünlü, K., (2005) *Hava Ve Toprak Kaynaklı Isı Pompalarına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
28. Akçasarı, E., (2004), *Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Termo-Ekonomik Analizi* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SALİMİ, Nazila
Uyruğu : İRAN
Doğum tarihi ve yeri : 18.04.1988, Zenjan
Medeni hali : Evli
Telefon : 05070986650
E-mail : nanaz.salimi1988@yahoo.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık	Devam ediyor
Lisans	Azad Zenjan Üniversitesi / Mimarlık	2011
Lise	Roshd	2007

İş Deneyimi

-

Yabancı Dil

İngilizce

Türkçe

Yayın

Salimi, N., Kurtay, C. (2018, June). *Feasibility analysis of ground source heat pumps for home applications- a case study from Turkey*, Proceeding 4th International Symposium on Environment and Morals, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.

Hobiler

Yüzme, Gitar, Dans



GAZİ GELECEKTİR..