

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOPRAK KAYNAKLI HAVA AKIŞKANLI ISITMA VE
SOĞUTMA İÇİN KAYNAK KARAKTERİSTİĞİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özlem BABLAK ERGUN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa ÖZDEMİR

Haziran 2019

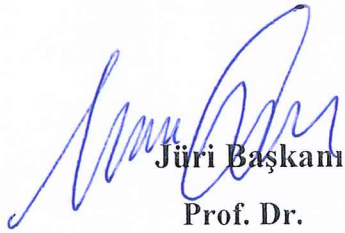
T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK KAYNAKLI HAVA AKIŞKANLI ISITMA VE SOĞUTMA
İÇİN KAYNAK KARAKTERİSTİĞİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

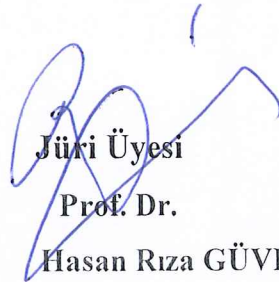
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özlem BABLAK ERGUN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

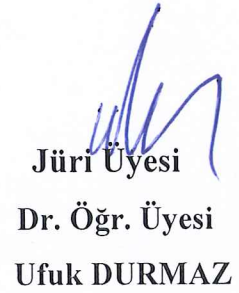
Bu tez 12/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/ oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Jüri Başkanı
Prof. Dr.

Mustafa ÖZDEMİR


Jüri Üyesi
Prof. Dr.

Hasan Rıza GÜVEN


Jüri Üyesi
Dr. Öğr. Üyesi

Ufuk DURMAZ

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Özlem BABLAK ERGUN

10.05.2019

TEŞEKKÜR

Bu çalışma sırasında katkılarını, desteklerini esirgemeyen öğrencisi olmaktan onur duyduğum tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli hocam Prof. Dr. Mustafa ÖZDEMİR'e,

Ayrıca tezin ilerlemesi konusunda teknik bilgileriyle bana yardımcı olan, yol gösteren Doç Dr. Ufuk DURMAZ ve Arş. Görevlisi Orhan YALÇINKAYA' ya,

Çalışmalarım sırasında bana destek olan sevgili eşime,

Yoğun çalışma zamanlarımda yazdığım tez sırasında bana izin veren biricik oğluma,

Bu günlere gelmemde büyük özverileri olan, beni hep motive edip destekleyen, her zaman yanımda olan anne ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2015-01-06-002) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY	viii
 BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
 BÖLÜM 2.	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
 BÖLÜM 3.	
HAVA KAYNAKLI TOPRAK ISI DEĞİŞTİRİCİ SİSTEMLER.....	10
3.1. Genel Tanım ve Temel Prensipler.....	11
3.1.1. Isıtma ve soğutma istekleri	12
3.1.2. Toprak çeşidi ve fiziksel özellikleri	13
3.1.3. Toprak ısı eşanjörünün uygulama derinliğı	14
3.1.4. İklim şartları.....	14
3.1.5. Kış aylarında sistemin üzerine yağın kar miktarı.....	15
3.1.6. Isı değıştirici boruların ölçüsü ve aralarındaki mesafe	15
3.1.7. Isı transfer akışkanının çeşidi ve akış debisi.....	16
3.1.8. Isı pompasının kapasitesi	16
3.2. Isı Değıştirici Tasarımı İçin Fiziksel Esaslar	17

3.3. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları	18
3.3.1. Genel tanım ve temel prensip	18
3.4. Toprak Özellikleri	20
3.4.1. Yoğunluk	20
3.4.2. Nem oranı	21
BÖLÜM 4.	
ÖLÇME TEKNİKLERİ	22
4.1. Temel Bilgiler	22
4.2. Test Düzenegi	23
4.3. Debi Ölçümü	28
BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRMA	31
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	42

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$A \text{ (m}^2\text{)}$	: İki akışkanı ayıran ısı geçiş yüzeyi
COP	: Performans katsayısı
COP	: Ünitenin ısıtma performansı
$C_{\text{hava}} \text{ (J/kg } ^\circ\text{C)}$	: Havanın özgül ısısı
ε	: Toprak-hava ısı değiştirici etkinliği
$Q \text{ (W)}$	: Topraktan çekilen veya toprağa verilen ısı miktarı
$T_{\text{ç}} \text{ (} ^\circ\text{C)}$	: Hava çıkış sıcaklığı
$T_{\text{g}} \text{ (} ^\circ\text{C)}$	: Hava giriş sıcaklığı
TID	: Toprak ısı değiştirici
TKIP	: Toprak kaynaklı ısı pompası
$T_{\text{t}} \text{ (} ^\circ\text{C)}$	: Toprak sıcaklığı
$U \text{ (W /m}^2\text{K)}$	: Isı değiştiricisinin toplam ısı geçiş katsayısı
$\dot{m}_{\text{hava}} \text{ (kg/s)}$	: Havanın kütleli debisi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Afrika Kültür Merkezi Alanı [36]	8
Şekil 2.2. Afrika Kültür Merkezi/ Güney Afrika [36]	8
Şekil 3.1. Toprak ısı direncinin nem ve yoğunluk içeriğine göre değişimi (Ünlü, 2005)	20
Şekil 4.1. Sıcaklık Ölçmek İçin Kullanılan Termokupl.....	24
Şekil 4.2. Yeraltı boru tesisatı ve yapay gölet resmi (Durmaz ve Özdemir 2018).	25
Şekil 4.3. Toprak Hava ısı Değiştirici Sisteminde Toprağa Yerleştirilen Boruların 3 Boyutlu Gösterimi	25
Şekil 4.4. THID Sisteminin Genel Görünümü.....	26
Şekil 4.5. Cıvalı Termometrelerin PVC Borulara Yerleşimi ve Termokupl Cihazı.....	27
Şekil 4.6. Debi hesabı için doldurma.....	28
Şekil 4.7. Debi hesabı için boşaltma.....	29
Şekil 5.1. Ocak Ayının ilk haftasında ortalama sıcaklık.....	32
Şekil 5.2. Isı transfer hızındaki değişim	32
Şekil 5.3. Ocak Ayının ilk haftasında ortalama sıcaklık.....	33
Şekil 5.4. Isı transfer hızındaki değişim	33
Şekil 5.5. Ocak Ayının ilk haftasında ortalama sıcaklık.....	34
Şekil 5.6. Isı transfer hızındaki değişim	34
Şekil 5.7. Ocak Ayının ilk haftasında ortalama sıcaklık.....	35
Şekil 5.8. Isı transfer hızındaki değişim	35
Şekil 5.9. Ocak Ayının ilk haftasında ortalama sıcaklık ve ısı transfer hızındaki değişim	35

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. PVC maddesine ait termofiziksel özellikler	24
Tablo 4.2. 160 litrelik hacmin doldurma ve boşatma süreleri.....	29



ÖZET

Anahtar kelimeler: Toprak enerjisi, Toprak-Hava Isı Değiştirici, Isıtma, Esentepe, Sakarya

Yenilenebilir enerjiler rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, biyokütle, jeotermal enerji ve hidroelektrik santralleri olarak sıralanabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları petrol, kömür ve gaza karşı temiz bir alternatif enerji kaynağıdır. Bununla birlikte tükenmez şekilde doğada bulunur. Yenilenebilir enerjilerin temel prensibi doğada yer alan süreçlerin kullanılmasıyla elektrik, yakıt ve ısı üretilmesidir. Bu enerji kaynakları küresel ısınmanın önüne geçmede önemli rol oynar. Aynı zamanda enerji kaynakları için yaşanan savaşların önüne geçecektir. Bu prensiplerden yola çıkarak Sakarya Üniversitesi Esentepe kampüsündeki enerji laboratuvarında ısıtma ve soğutma deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada ise ısıtma deneyleri yapılmıştır. Toprak kaynaklı ısı değiştirici boruları, 80 m² alana ve 2.5 metre derinliğe sahip yapay bir havuza yerleştirilmiştir. Bu deneylerde proses akışkanı olarak hava kullanılmıştır. Bu çalışmada kış aylarında ısıtma için gerekli enerji maliyetlerinin azaltılması hedeflenmiştir. Ocak ayında gündüz saatlerinde yapılan deneylerde hava debisi belirlendikten sonra hava giriş ve çıkış sıcaklıkları ile toprak sıcaklığı ölçülmüştür. Bu çalışmada toprağın ısı karakteristiği deneysel olarak incelenmiştir. Toprağın ısı veriminin büyük oranda topraktaki nem oranına bağlı olduğu görülmüştür. Bu sistemin sıcaklık farkının daha yüksek olduğu iklimlerde daha verimli çalıştığı tespit edilmiştir. Yapıların plan ve inşaa aşamasında bu model kurulduğunda ısıtma maliyetlerinin düşürülebileceği görülmüştür.

SOIL SOURCE AIR FLOW HEATING AND COOLING EXPERIMENTAL ANALYSIS OF RESOURCE CHARACTERISTIC

SUMMARY

Keywords: Renewable energy sources, Energy efficiency, Soil-based heating and cooling Heat exchanger.

Renewable energies can be listed as wind energy, solar energy, biomass, geothermal energy and hydroelectric power plants. Renewable energy sources are a clean alternative energy source against oil, coal and gas. However, it is inexhaustible in nature. The basic principle of renewable energies is the production of electricity, fuel and heat through the use of processes in nature. These energy sources play an important role in preventing global warming. It will also prevent battles for energy resources. Based on these principles, heating and cooling experiments were conducted in the energy laboratory at the Esentepe Campus of Sakarya University. In this study, heating experiments were performed. The ground source heat exchanger pipes are installed in an artificial pool with an area of 80 m² and a depth of 2.5 meters. Air was used as process fluid in these experiments. In this study, it is aimed to reduce the energy costs required for heating in winter. After determining the air flow rate during the daytime experiments in January, air inlet and outlet temperatures and soil temperature were measured. In this study, thermal characteristics of soil were investigated experimentally. It has been found that the thermal efficiency of the soil depends largely on the moisture content of the soil. It was found that this system works more efficiently in climates where temperature difference is higher. It was seen that the heating costs could be reduced when this model was installed during the planning and construction phase of the buildings.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerji, insanlar ve tüm canlılar için vazgeçilmezdir. Enerjinin çeşitli türleri sadece ısıtma veya aydınlatma gibi temel şartları sağlamakla kalmaz, aynı zamanda endüstriyel üretimi, ulaşımı iletişimi, eğlenceyi ve daha fazlasını sağlar.

Bu nedenle, sürdürülebilir ve çevreye duyarlı bir enerji arzı günümüz için vazgeçilmezdir ve gelecekte de elektrik ve ısıyı kullanabilmemiz için ön şarttır. Çünkü fosil yakıtlara ve nükleer enerjiye dayanan enerji kaynakları uzun vadeli sürdürülebilir değildir. Tükenmekte olan fosil kaynaklar, kirlilik ve küresel ısınma bu enerji kaynağının dezavantajlarıdır. Bu nedenle zararları etkilerinin faydalarından çok daha fazla olduğu giderek daha açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları sürdürülebilir enerji kaynaklarıdır. Bunlar arasında rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, çeşitli biyoenerjiler, hidroelektrik ve jeotermal enerji türleri bulunmaktadır. Yenilenebilir enerjiler yüzyıllardır az miktarda da olsa hep kullanılmıştır. Ancak, özellikle sanayileşmiş ülkelerde fosil yakıtların ve nükleer enerjinin kullanımı ile doğal çevre kalıcı olarak tahrip edilmiştir.

Yenilebilir enerji kaynaklarının önemi aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının, insanların kullanım miktarına göre tükenmemesi
- Yenilenebilir enerji kullanımının yakıt gerektirmemesi (biyoenerji hariç)
- Yenilenebilir enerjinin kullanımı, çok az emisyon ortaya çıkması nedeniyle aktif çevre ve iklim dostu olması
- Enerji ithalatına olan bağımlılığı azaltması
- Doğal ve tükenmeyen kaynaklar olduğu için, insanlara ve çevreye zarar gelmemesi (örneğin tüm alanların tahrip olması ve yerel halkın yeniden

yerleşmesi nedeniyle sızıntı ve tankerlerden petrol çıkarma veya linyit madenciliği gibi).

- Yenilenebilir enerji kaynakları bölgesel ve yerel olarak kullanılır. Örneğin, birçok insan elektrik üretimi ile üretim yerinde oluşan katma değerden faydalanmaktadır. Çiftçiler, ev sahipleri ve tüccarlar elektrik üretecekler ve kooperatif oluşturmak veya kamu güneş enerjisi veya fonlarından pay almak için bir araya gelen vatandaşlar da olacaklar.
- Yenilenebilir enerji kaynakları yerli kaynaklardır. Onların kullanımı, özgür ve demokratik toplumların oluşmasına ve enerji bağımlılığı üzerinden oluşturulan politik bağımlılığın ortadan kalkmasını sağlar.

Bu çalışmada incelenen toprak kaymaklı ısı kullanımı yeni değildir. Ortam havasının sıcaklığı ile toprak sıcaklığının farklı olması birinin diğerine göre daha yüksek enerji seviyesinde olması, toprak kaynaklı enerji ile ısıtılma fikri yaklaşık 150 yıl önce ortaya atılmıştır. İlk olarak, Alman İmparatorluğu patent ofisine 1877 yılında Jeotermal enerji kaynakları kullanılarak hava akışkanı ile ortamın ısıtılıp soğutulması konusunda patent başvurusu yapılmıştır [Fischer und Stiehl].

BÖLÜM 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kuzey yarı kürede yüzeye yakın toprak sıcaklıkları kış aylarında iç mekan için gerekli olan 20-25 °C nin altında olduğu için, toprağın iç enerjisinin doğrudan ısıtmada kullanılması mümkün değildir. Ancak, toprak sıcaklığının dış ortam hava sıcaklığından yüksek olması ve don olayının yaşanmaması sayesinde, toprak ile iç mekan arasında bir ısı pompası çalıştırma fikri bir çok araştırmacıyı bu alana yöneltmiştir.

Literatürde, TKIP (Toprak Kaynaklı Isı Pompası) sistemleriyle ilgili olarak bir çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar içinde yakın geçmişte yapılanları, ülkemizde ve dünyada olmak üzere aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

Toprak kaynaklı ısı pompalarının maliyet ve verimini etkileyen faktörlerin başında ısıtma performans katsayısının geldiği Hepbaşı ve arkadaşlarının 2003 yılında İzmir’de U şeklindeki ısı esanjörlerinde yaptığı deneyler ile incelenmiştir.

Isıtma sezonu olan ilkbahar ve sonbahar aylarında (2002 ve 2003) yapılan deneylerde toprağın 1-2 metre derinliğinde yatay olarak döşenmiş ısı eşanjörlerinin ortalama performans katsayısı 2,66 - 2,81 değerleri aralığında tespit edilmiştir. Yapılan çalışmanın amacı; ısı pompası düzeneklerinin toprak ısı esanjörlerinin toprak altı derinliği ve topraktan alınan ısı ile ısınan akışkanın karakteristik özelliklerini belirlemek olmuştur [2].

Ekserji performansını incelemek için Esen, Pıhtılı ve İnallı toprağın 1 ve 2 m derinliğine iki yatay ısı değiştirici yerleştirmiş ve ısıtma mevsiminde bu ısı değiştiriciye derinliğin ne kadar etki ettiğini gözlemlemiştir. Bu gözlemlerde toprak sıcaklığı arttıkça enerjinin arttığını ve ekserji performansının buna bağlı yükseldiği

gözlemlenmiştir [3].

Şanlıurfa ili 2014 yılı kış şartlarında Hüsametin Bulut, Refet Karadağ, Yunus Demirtaş ve İsmail Hilali toprak – hava ısı esanjörünün verimlilik testleri için çapı 3 m, uzunluğu 20.000 mm olan galvanizli borulardan oluşan ısı esanjörünü toprağın 2 m derinliğine serpantin biçiminde gömmüşlerdir. Hava giriş çıkış sıcaklıkları, havanın hızı, toprak sıcaklığının ölçümü kesikli manuel olarak gündüz saatlerinde 2013 yılı Aralık ayı ile 2014 yılı Şubat ayları arasında gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler ile dış hava ile toprağın sıcaklık farkı en fazla 12,5 °C, ortalama sıcaklık ise 5,8 °C bulunmuştur. Toprak ısı esanjörü düzeneğinde giriş havası sıcaklığı ile çıkış havası sıcaklığı arasındaki fark 11,6 °C ortalama sıcaklık ise 4,8 °C olarak tespit edilmiştir. Bu analizler sonucunda ise COP değeri 1,7 ile 5,9 aralığında olduğu Toprak hava ısı değiştirici etkinliğinin değeri ortalama 0,83 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda toprak hava ısı değiştirici düzeneğinin ısıtma durumunda veriminin yeterli olduğu tespit edilmiş, havalandırma ve ısıtma durumlarında ise ekonomik enerji kullanımına uygun olduğu değerlendirilmiştir [6].

İtalya'nın Imola kentinde bir okul için uzunluğu 2240 m, çapı 0,25 m olan borular ile toprak hava ısı değiştirici düzeneği kurulmuş ve bir yıllık yapılan ölçümler sonucu değerler raporlanmıştır. Bu uygulama İtalya'da kurulan toprak hava ısı değiştirici sistemlerinin en büyüğüdür. Toprak hava ısı değiştirici sisteminin etkinlik değeri 0,69 ile 0,77 arasında ölçülmüş, COP değeri ise 20-105 değerleri arasında bulunmuştur. Temmuz-ağustos ve ocak – şubat aylarında gerçekleştirilen bu deneylerde en dikkat çekici unsurun 2014 yılına kadar yapılan tüm çalışmalardan en yüksek COP değerine ulaşılması olmuştur [7].

Toprak kaynaklı ısı değiştirici sistemi ile Beaucouzè (Fransa) kasabasında 24 ay yapılan ölçümlerde boru sisteminin boyutlandırılması, iklimsel şartlar ve toprak özelliğinin de sistemin verimini etkileyen önemli faktörler olduğu gözlemlenmiştir. Bu faktörlerin yapılacak bir sonraki çalışmalar için referans olması ve analizlerde bu hususların dikkate alınması gerektiği değerlendirilmiştir [8].

Badescu'nun yaptığı çalışmalarda toprak ısı değiştirici sistemi borularının toprağın 2m altına gömülmesinin mevsimsel sıcaklık farkları ve sistemin ilk kurulma maliyeti açısından daha elverişli olduğu gözlemlenmiştir [10].

Farklı mevsimlerde yapılan toprak hava ısı değiştirici deneylerinde ortamların ısıtılması ve soğutulması gözlemlenmiş, mevsimlere bağlı olarak ısıtma ve soğutma aşamalarında farklı veriler alınmıştır. Yaz aylarında daha ekonomik soğutma yapıldığı değerlendirilmiştir [11].

Toprak hava ısı değiştirici sistemi Delhi (Hindistan)'da sera ile birleştirilmiştir. Bu entegrasyon aşamasında toprak hava ısı değiştirici sisteminin verimliliğin artması için kütleli debi, toprak çeşidi, boru uzunluğu ve çapı, toprak derinliği dikkate alınarak sistem geliştirilmiştir. Toprak hava ısı değiştirici sistemi kurulmadan önceki sera ile karşılaştırma yapıldığında ortam sıcaklığının kış aylarında yeni sistem ile birlikte 7-8 °C arttığı, yaz aylarında ise 5-6 °C daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kış aylarında ortam sıcaklığının (seradaki) artırılması için boru çapının düşürülerek uzunluğunun artırılması, toprak altı derinliğinin 4 m'ye yükseltilmesi ve kütleli debinin azaltılmasının uygun olduğu gözlemlenmiştir. Yaz aylarındaki soğutma verimi için ise boru çapının düşürülerek uzunluğunun artırılması, toprak altı derinliğinin 4 m'ye yükseltilmesi ve kütleli debinin azaltılmasının önemli olduğu gözlemlenmiştir [12].

Isıtma ve soğutmada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı günümüzde en ilgi çekici konulardan olmuştur. Fosil kaynaklardan oluşan enerji kaynaklarını yavaş yavaş hayatımızdan çıkarmaya başlamamız gerektiği son dönemlerde yaşanan küresel ısınma kaynaklı doğal afetlerden de anlaşılmaktadır. En iyi alternatif ise toprak altı sıcaklığının en yüksek performansta kullanılması olarak karşımıza çıkmaktadır. Isı pompaları yardımı ile topraktan alınan sıcaklık artırılarak ısıtılmak istenen çevreye verilecek ısı yükseltilebilir [22].

Toprak kaynaklı ısı pompalarının hava kaynaklı ısı pompalarına göre daha ekonomik ve verimli olmasının en önemli etkeni toprak altındaki sıcaklığın hava sıcaklığına nazaran kararlı bir yapıda olması ve uygun aralıkta olmasıdır. Toprak ısı değiştiricilerin belirlenmesinde ve konfigure edilmesinde toprak yoğunluğu, nem miktarı, toprak altı derinliği ve toprağın içeriği önemli faktörlerdendir [23].

Barış Turgay yaptığı çalışmalarda verimi gösteren en belirgin özelliğin Toprak Isı Değiştirici sistemindeki çıkış sıcaklığı olduğunu değerlendirmiştir [8-10].

GLHEPRO yazılımı ile 25 yıl yapılan deneysel çalışmalarda ısı değiştirici verimini etkileyen en belirgin karakteristik özelliğin toprak ısı değiştirici sisteminden gelen dönüş suyu sıcaklığı olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte toprağın kendini yenilediğinin değerlendirilmesinin sebebi ise ilk 5 yıl topraktan dönüş sıcaklığı 0,7 K olarak ölçülüp 25 yıl sonra 1,12 K artması olmuştur [8].

Toprak ısı değiştirici sisteminin performansını etki eden faktörler [24,25];

- İklimsel koşulları ve konum: Toprak kaynaklı ısı değiştirici sistemler bulundukları konumun sıcaklık değişikliklerinden etkilenir. Sıcak iklimli bölgelerde toprak hava ısı değiştirici sistemler ısıtma için kullanıldığında istenilen sonucu vermeyebilir. Buna karşılık ortamların soğutulması için sıcak iklimi olan bölgelerde toprak hava ısı değiştirici sistemleri kullanılabilir.
- Toprak tipi : Toprak hava ısı değiştirici sistemlerinin kurulacağı toprağın iletkenliğinin yüksek olması, ısı hacminin yeterli olması ve yoğunluğunun yüksek olması beklenmektedir. Birim hacimde topraktan çekilecek ve depolanabilecek ısı miktarı toprağın tipine bağlıdır. Yüksek ısı iletkenliğinin enerji depolamada katkısı %79, yüksek toprak yoğunluğunun enerji depolamada katkısı %48, yüksek ısı kapasitesine sahip toprağın enerji depolamadaki katkısı ise %33 olarak tespit edilmiştir.
- Boru özellikleri: Uygulama alanının özelliklerine göre toprak hava ısı değiştirici sisteminin boruları seçilmelidir. Beton boru uygulanacak bölgeye su için izolasyon yapılmalıdır. Beton boruların uygulanacağı toprak çeşidi ise

suya doymuş olmasıdır. Enerjinin depolanma özelliğini kullanan boru malzemesi değiştirmez. En yaygın kullanılan boru malzemeleri PVC ve metal olarak karşımıza çıkmaktadır. Kapasiteyi belirleyen unsurlar arasında boru uzunluğu da bulunur. Yapılan çalışmalarda (Tan ve Love (2013) 0,9 metreden büyük boruların toprak hava ısı değiştirici sisteminin verimini çok az seviyede etkilediği gözlemlenmiştir [26].

- Boru gömme derinliği: Toprak hava ısı değiştirici sistemlerine ait borular toprağın ne kadar derinine gömülürse toprak – hava sıcaklık farkı yükselecek böylelikle enerji alışverişi fazlaşacaktır. Gömme derinliği arttıkça sistemin verimliliği yükselecektir. İdeal derinliğin 3 m olduğunu söyleyenlerin yanında 2 m derinliğe gömülmesinin kazma maliyeti ve yıl boyu oluşan sıcaklık değişiminden dolayı daha uygun olduğunu savunanlar da vardır. Boruların gömme derinliği belirlenirken aynı zamanda maliyet, toprağın kayalık olma özelliği, su kodu faktörleri de göz önüne alınması gereken hususlardır [27].
- Hava debisi: Toprak hava ısı değiştirici sistemlerinin verimini etkileyen parametrelerden biri de hava debisinin yüksek olmasıdır. Hava debisi ne kadar düşük olursa sistemin verimi o kadar artar. Hava debisinin yüksek olması da çıkış sıcaklığını azaltır.

Patent çalışmaları 1877 yılında başlamasına rağmen akışkan olarak havanın seçildiği Jeotermal enerjinin kullanılması geçtiğimiz 10 yıl içerisinde çevresel farkındalık, enerji fiyatlarının yükselmesi, enerji kaynaklarının azalması gibi sebeplerden ilgi görmeye başlamıştır. Büro ve idari binalarda, alışveriş merkezlerinde, büyük atölyelerde düzenli ve verimli olarak çalışan klima sistemlerinin olduğu öngörülür.

Özetle hava kaynaklı ısı değiştiricilere son zamanlarda ilginin artması şu sebeplere bağlıdır [36].

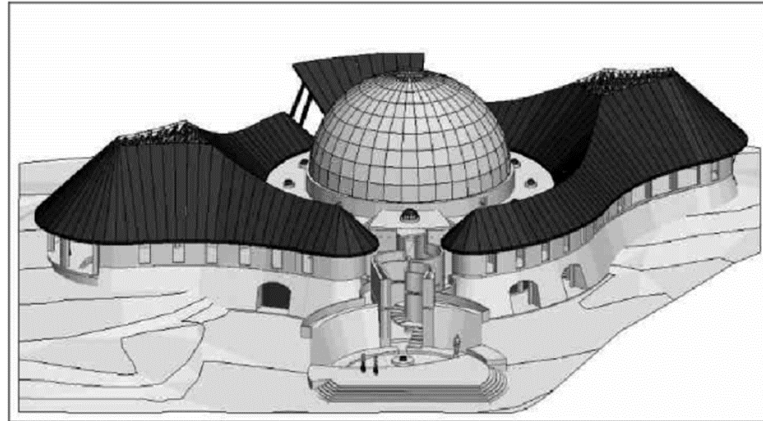
- Ofis binalarının her yıl artarak devam eden soğutma ve soğutma sorunları. İyi bir ısı yalıtım çözümünün maliyeti artırması.

- Mekanik havalandırma (klima) sistemlerinin zorunlu olduğu yerlerde ısı kayıplarını kontrol etmek ve hijyen açısından uygunluğun sağlanması için toprak kaynaklı ısı değıştircileri uygun maliyetli çözümlerdir.
- Yeni enerji tasarrufu yönetmeliklerine göre özellikle Avrupa ülkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi.

Aşağıda, THID (hava aracılığı ile toprak kaynaklı ısıtma) sistemlerinin dünya çapında dağıtımı ve bunların büyük binalardaki farklı uygulamaları için iki örnek sunulmuştur [36].



Şekil 2.1. Afrika Kültür Merkezi Alanı [36]



Şekil 2.2. Afrika Kültür Merkezi/ Güney Afrika [36]

Şekil 2.1. Şekil 2.2., L-EWT kullanarak Güney Afrika'daki Humansdorp'ta yapım

aşamasında olan Afrika Kültür Merkezi'nin tasarımını göstermektedir. İnşa edilecek bina alanı 1.800 m^2 'dir. Hava debisi $70.000 \text{ m}^3 / \text{s}$ 'dir [36].

Kürşat Ünlü 2005 yılında Uludağ Üniversitesinde yaptığı çalışmada toprak kaynaklı ısı pompalarını ele almış detaylı bir inceleme yapmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompalarının amacı yeryüzüne çarpan güneş ışınlarının etkisiyle toprakta biriken ısı enerjisini kullanım alanlarına iletmeektir. Toprak kaynaklı ısı pompalarının kanıtlanan avantajlarından birisi ise toprağın üst yüzeyinden derinlerine inildikçe sıcaklığının belli oranda sabit kalması bu sıcaklığın yaşam alanlarında kullanılan sıcaklığa yakınlığıdır. En soğuk iklim şartlarında bile toprak sıcaklığının bu özelliğinden dolayı toprak kaynaklı ısı pompaları ile yüksek verim elde edilebilir. Hava kaynaklı ısı pompaları ise daha sık kullanılmakla beraber soğuk iklimlerde ve sıcaklık değerleri sık değişen iklimlerde düşük performans göstermektedir. Bu farklılıklardan dolayı hava kaynaklı ısı pompalarının verimi toprak kaynaklı ısı pompalarına göre daha düşüktür [27].

Isı pompaları arasında işletme maliyeti açısından kıyaslama yapıldığında en avantajlı ısı pompasının toprak kaynaklı ısı pompası olduğu görülmektedir. Ancak ilk kurulum maliyetine bakıldığında toprak kaynaklı ısı pompalarının kurulum maliyeti yüksek çıkmaktadır. İlk kurulum maliyetinin yüksek olma sebebi ise ısının taşınımı için toprak kaynaklı ısı eşanjörüne ihtiyaç duymasıdır. Genel olarak değerlendirdiğimizde ise toprak kaynaklı ısı pompaları ek bir ısı değiştirici sistemine ihtiyaç duyduğundan dolayı diğer ısı pompalarından farklıdır (Ünlü, 2005) [27].

Toprak kaynaklı ısı pompalarının toprak derinliğine ve zamana göre gösterdiği değişiklik incelenmiş (Koyun ve Diz), bu incelemenin sonucunda toprak yapısına ve fiziksel özelliklerine göre farklı derinliklerde değişen toprak sıcaklıkları matematiksel olarak hesaplanmıştır (Ünlü, 2005) [27].

Toprak kaynaklı ısı pompaları sisteminde toprağın 2 m derinliğine yatay olarak ısı değiştirici sistemleri yerleştirilmiştir. Borular arasındaki mesafe 300 mm, alan 15 m^2 , boru uzunluğu toplam 50 m'dir (Ünlü, 2005) [27].

BÖLÜM 3. HAVA KAYNAKLI TOPRAK ISI DEĞİŞTİRİCİ SİSTEMLER

Toprak ısı değıştirici sistemlerini yaşam alanlarına kurmak için öncelikle gerekli yüzey alanı ve maliyet hesaplaması gerektiğinden en uygun toprak ısı değıştiricinin uygulanacağı alanı hesaplamak projenin başlangıcında önem arz etmektedir [31].

Toprağın alt katmanlarında bulunan yer altı ısının son zamanlardaki teknolojik gelişmeler ile kullanımının hızla arttığı görölmektedir. Toprağın yüzeye yakın katmanlarının bile enerji tasarrufuna önemli katkı sağladığı teorik olarak bilinmektedir. Hava kaynaklı toprak ısı değıştirici sistemlerinin giderek kullanımının artmasının sebeplerinden biri de toprağın kış aylarında ısınma yaz aylarında ise soğutma amacıyla kullanılabilecek bir enerji kaynağı olmasıdır. Bu enerji sistemi geceleri ve bulutlu havalarda dahi kullanılmaya devam eder. Böyle bir sistem kullanıldığında enerji tasarrufunun yanında karbondioksit salınımını azalttığından çevreci bir sistem olarak da değerlendirilir. Kuzey Ren-Vestfalya Eyaleti Araştırma, Eğitim ve Bilim Bakanlığı 1998 yılında AG Solar NRW kapsamında geleneksel ısıtma ve soğutma yöntemlerine alternatif olarak hava kaynaklı toprak ısı değıştirici sistemlerini geliştirme faaliyetlerine başlamış aynı zamanda teşvik kapsamına alınmıştır [37].

Toprak ısı değıştirici uygulamalarında göz önüne alınacak hususlar [31];

- Isıtma ve soğutma gereksinimleri
- Toprak çeşidi ve fiziksel özellikleri
- Toprak ısı değıştiricinin gömme derinliği
- İklim şartları
- Toprak ısı değıştirici sisteminin üzerini kaplayan kar miktarı
- Borular arasındaki uzaklık ve boruların çapı

- Borular içerisinde geçirilen akışkan ve hızı
- Isı pompasının kapasitesi

Hava kaynaklı toprak ısı değiştirici sistemleri kullanım alanlarına göre iki temel başlıkta incelenebilir.

Kış aylarında binaların ısıtılması: Isıtılması gereken her binada uygulanabilir. Hava kaynaklı toprak ısı değiştirici sistemi buz tutmayacağından herhangi bir ön ısıtma işlemi gerekmez. Sistem direk olarak ısıtma işlemine başlar böylelikle ön ısıtma gibi ek maliyetlerin önüne geçilerek enerji tasarrufu sağlanır. Yaz aylarında yapılacak soğutma işlemi için sistemin yeterli olmadığı zamanlar olabilir [37].

Isıtma ve soğutma gerektiren binalar: Genellikle kamusal alanlar, fabrikalar, alışveriş merkezleri bu gruba girer. Hava kaynaklı toprak ısı değiştirici sistemlerinin amacı yoğun olarak kullanılan geleneksel soğutma ünitelerinin değiştirilmesi yada en aza indirilmesi hedeflenir. Hava kaynaklı toprak ısı değiştirici sistemleri fosil enerji kaynaklarını yenilenebilir enerji kaynakları ile değiştirmede iyi bir çözüm yolu olarak karşımıza çıkar. Binaları ısıtma ve soğutma gerektiren binalar olarak gruplandırdığımızda ortaya çıkan en ayırt edici özellik, ısıtma yapılacak binalar tasarım aşamasında iken ısıtma için hava kaynaklı toprak ısı değiştirici tasarlanabilir ve ısıtmanın yetersiz olduğu durumlarda toprak kaynaklı ısı pompaları tarafından desteklenerek verimli bir şekilde istenilen sıcaklığa ulaşılabilir. Fakat soğutma gerektiren binalar için aynı durum genellikle geçerli olmaz. Yani binanın yapım aşamasında soğutma için THID sistemi tasarlasanız bile yaz aylarında gerekli soğutmayı sağlayamayabilir [37].

3.1. Genel Tanım ve Temel Prensip

Son zamanlarda yayınlanan enerji tasarruf yönetmeliklerinde tanımlanan tüketim sınırlarının azaltılması hedef olarak verilmektedir. Karbondioksit salınımlarının azaltılması amacıyla hava kaynaklı toprak ısı değiştiricilerin kullanımı önemli

alternatiftir.

Hava kaynaklı toprak ısı değiştirici sisteminin çalışma prensibini bir binayı ele alarak özetlersek;

Bir bina yıl içerisinde belirli sınırlarda çeşitli ortam sıcaklıklarına maruz kalır. Yaz aylarında maksimum 26 °C olması beklenen iç ortam sıcaklığının kış aylarında minimum 20 °C olması beklenir. Yaz ve kış aylarındaki beklenen bu sıcaklık sınırları ısıtma ve soğutma ihtiyacını ortaya çıkarır. Belli bir orana kadar olan ısıtma ve soğutma için gerekli olan ısı hava kaynaklı ısı değiştirici sistemleri ile sağlanabilir. Hava kaynaklı toprak ısı değiştirici sistemi dış ortam sıcaklık profilini daraltır [37]. Binalarda hava kaynaklı toprak ısı değiştirici sistemini çalıştırmak için temel prensip binaların yapım aşamasında ya da sonradan ilave edilmiş mekanik bir havalandırma sisteminin olmasıdır. Hava kaynaklı ısı değiştirici sistemlerinde dış hava geleneksel havalandırma yöntemleri ile toprak altına gömülmüş yatay ya da dikey boru sistemlerinden geçirilerek binalara yönlendirilir [37]. Toprak sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı taşınan hava vasıtasıyla binalar için ısıtma veya soğutma etkisi oluşturur. Hava tahrik fanı için kullanılan az miktardaki elektrik enerjisi ile hava kaynaklı toprak ısı değiştirici sistemlerinde istenilen performansa ulaşmak mümkün olabilir. THID sistemleri basit konfigürasyonları ve düşük maliyetle ısıtma kabiliyetlerinden dolayı birçok uygulamada tercih edilir. Toprak altı derinliğine bağlı olarak kış aylarında hava ile toprak sıcaklığı arasındaki fark 25 °C olabilir. Bu sistem ile binaları ısıtırken kış aylarında yetersiz kaldığında ısıtılan hava binalara yönlendirildiği gibi yaz aylarında da bu hava soğutularak binalara yönlendirilebilir. Toprak gün boyu ve yıl boyunca dengeli bir depolama aracı olarak çalışır [37].

3.1.1. Isıtma ve soğutma isterleri

Hava kaynaklı toprak ısı değiştiricileri uygulandığı bölgenin iklim şartlarına ve ısıtılması ya da soğutulması beklenen ortamın büyüklüğüne bağlıdır.

3.1.2. Toprak eşidi ve fiziksel özellikleri

Hava kaynaklı toprak ısı değiştiricisi uygulamalarında, donmamış ve donmuş toprağa ait ısı iletim katsayıları, özgül ısılar, donma gizli ısısı, difüziviteler ve kılcal iletkenlik toprakta aranan özelliklerdendir. Toprak tipi (minerolojik bileşim), gözenek miktarı, doyma derecesi toprağın ısı özelliklerine bağlıdır [30].

Toprak eşidinin Etkisi: Toprak bileşimi geniş bir aralıkta değiştiiğinden toprak kaynaklı ısı pompalarının performansı ile doğrudan ilgilidir. Milli kilden çekilen ısı miktarı kumlu topraktan çekilen ısı miktarına oranla daha küçüktür. Doyma oranı %100 olduğunda değişik özellikteki topraklardan çekilen ısı miktarı hemen hemen birbirine eşit olur [30].

Gözenek Miktarının Etkisi: Topraklar kayalardan daha düşük ısı ve basınç altında meydana gelirler bu sebeple gözenek yapıları daha azdır. Toprak ve kayalardaki gözenek miktarı toprağın ısı özelliğini an fazla etkileyen etkindir. Toprakların ısı iletim katsayısı gözenek yapısının fazla olması sebebiyle kayalara oranla daha düşüktür. Gözenek miktarının azalması ile ısı kapasitesi ve ısı iletimi azalır [30].

Nem Oranının Etkisi: Hava kaynaklı toprak ısı değiştirici sistemlerinde toprak yapısında bulunan nem oranı sistemin verimini etkiler. Toprak kaynaklı ısı pompalarının tasarımı aşamalarında toprağın sahip olduğu nem miktarı, toprağın fiziksel özellikleri, sıcaklık gradyenti, nem gradyenti, yerçekimi göz önüne alınmalıdır. Isı ne nemin akışı sıcaklık gradyentine bağlıdır.

Toprak ısı değiştirici sisteminin uygulandığı toprak sıcaklığı 40 °C'nin çok üzerinde olursa nem gradyentinin etkisi sıcaklık gradyentine göre daha az olur. Bu farklılıktan dolayı sistemin çevresinde kuru toprak meydana gelebilir. Aynı zamanda toprağın fiziksel özellikleri ve kimyasal yapısında farklılar oluşabilir.

Hava kaynaklı toprak ısı değiştirici sistemlerinin verimini etkileyen toprak nem oranı [30];

- Toprakta bulunan nem oranının düşmesi ile COP'ta doymuş hale göre %35'e kadar bir düşüş meydana gelir. Toprağın nem miktarının mümkün olduğu kadar yüksek tutulması verimi artırır.
- Toprak ısı değiştirici sisteminden yüksek verim alabilmek için toprak içindeki nem miktarının %25 doyma değerinden daha yüksek olması gereklidir.
- Toprak ısı değiştirici sistemlerinde nem miktarının %50'den %100'e artırılması COP'ta sadece %1,5 artış oluşturmaktadır.

Buzlanma Derinliğinin Bulunması: Toprak hava ısı değiştirici sistemlerinin hangi derinlikte buz tuttuğunu(z) bulmak için Stefan yaklaşımını kullanmak en kolay metottur.

3.1.3. Toprak ısı eşanjörünün uygulama derinliği

Toprak ısı eşanjör sistemleri toprak altına uygulanırken maliyet, çıkarılan toprağın tekrar kullanılarak sistemin üzerinin kapatılması gibi hususlara dikkat edilmektedir. Kazılan toprak derinliği arttıkça maliyet artar. Sistemin uygulanacağı derinlik arttıkça ısı rezervuar artar ve daha az enerji gereksinimi oluşur. Yatay boru uygulamalarının dikey boru uygulamalarına göre ilk yatırım maliyeti kazılacak alanın büyük olmasından dolayı daha fazladır [30].

3.1.4. İklim şartları

Dış Ortam Sıcaklığın Tahmin Edilmesi: Toprak yüzeyinden derinlere inildikçe dış ortam sıcaklığının ani değişiklikleri azalır ve toprak derinliği arttıkça sabit bir sıcaklığa ulaşılır. Gerçek sıcaklığa bir kosinüs eğrisi uydurmak en uygun yöntemdir.

Kosinüs eğrisi için ortalama değer ve genlik bilinmelidir. Esas olarak 0 °C'nin altındaki sıcaklıklar toprağın donmasını belirlediğinden ilgili bir parametre donma indeksi (F) olabilir [30].

Ortalama dış sıcaklık (T_o) ise diğer önemli parametredir (T_o) [30].

3.1.5. Kış aylarında sistemin üzerine yağın kar miktarı

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde COP değerini arttırmak için sistemin üzerinde bulunan kar miktarı arttırılabilir. Kar iyi bir izolasyon malzemesidir. Kar kalınlığı 10 cm'ye kadar olduğunda COP değerinde önemli ölçüde iyileşme gözlenir, 10 cm'den fazla kar kalınlığı olduğunda ise COP değerindeki değişikliğin çok fazla olmadığı değerlendirilmiştir. Toprak yüzeyindeki ısı direnç kullanılarak kar miktarının toprağa ne kadar etkisi olduğu hesaplanabilir [30].

3.1.6. Isı değiştirici boruların ölçüsü ve aralarındaki mesafe

Toprak kaynaklı ısı değiştirici sistemlerinde pompalama enerjisini ve boru sürtünmesini azaltmak için boru ölçüleri arttırılır. Boru ölçüsünün artması ise yatırım maliyetini yükseltir. Bu sistemler tasarım aşamasında pompalama enerji tüketimi ve maliyet etkenleri göz önünde bulundurularak detaylandırılmalıdır [30] .

Toprak ısı değiştirici sistemleri arasındaki mesafe arttırılarak birbirleri ile etkileşimleri azaltılmalıdır, bu yöntem ölçülendirme sırasında tasarım kısıtları dahilinde uygulanabilir. Yeterli kazı alanının bulunmaması ve maliyetinin etkin olmadığı durumlarda borular arasındaki uzaklığı düzenlemek tasarım açısından önemlidir. Borular arasındaki mesafenin azalmasıyla ısı transfer yüzey alanı artar, böylece ısıtma ve soğutma için harcanacak enerji miktarı da düşer [30].

Borular arasındaki mesafe azalınca sistemde kullanılacak boru miktarı artar. Eğer borular arasındaki mesafe uzak olursa borular daha fazla toprak alanı tarafından ısı olarak beslenir [31, 34].

Yatay borular arasındaki uzaklık 0.5 m'ye yakın bir değerde seçildiğinde borular arası mesafe, maliyeti ve montajı daha uygun olmaktadır [30].

3.1.7. Isı transfer akışkanının çeşidi ve akış debisi

Toprak sıcaklığının 0°C'nin altına düşmediği soğuk iklimli bölgelerde toprak ısı değiştirici sistemlerin donmasını engellemek için antifriz tipinde akışkanlar kullanılır. Seçilecek akışkan, donma noktası ısı eşanjörü sistemindeki giriş – çıkış sıcaklık ortalamasının 5 °C altında olacak şekilde belirlenmelidir. Malzeme, ısı transfer/basınç düşümü karakteristikleri, çevresel etki, maliyet ve bulunabilirlik seçilecek akışkanı belirlerken dikkat edilmesi gereken parametrelerdir. Toprak ısı değiştirici sistemlerin de kullanılacak en uygun ısı transfer akışkanı, ulaşılabilirliği, etkin maliyeti, non-korozif özellikleri dikkate alındığında etilen glikolün olduğu değerlendirilmiştir [30] .

Toprak ısı değiştirici sistemlerinde debinin artmasıyla COP değeri artar ve ısıtma ve soğutma için harcanacak enerji miktarı düşer. Enerji tüketimindeki tasarrufun %4 'den düşük olması sebebiyle önemi kalmamıştır bununla birlikte sirkülasyon pompası için gereken enerji miktarı artmaktadır. Reynold sayısının artması debinin yükselmesine bağlıdır, Reynold sayısının artması toprak ısı değiştirici sisteminde kullanılan akışkan ile toprak arasındaki ısı transferini artırır [30].

Toprak ısı değiştirici sistemlerinde çevrimleri için orta veya düşük seviyede debilerin kullanılması ile maliyet etkin çözümler bulunabilir [31].

3.1.8. Isı pompasının kapasitesi

Düşük kapasiteli ısı pompası seçimi dışarıdan alınacak ısı miktarını ve kullanılacak enerji miktarını artırır. İlk yatırım maliyeti ve yaz aylarındaki soğutma ihtiyacını tam olarak karşılayamaması ise kapasitesi yüksek ısı pompasının dezavantajlarından. Toprak kaynaklı ısı pompalarının ölçülendirilmesi ve konfigürasyonu belirlenirken ısı pompalarının bu özellikleri göz önüne alınmalıdır. Yapılacak mühendislik hesaplamaları ile soğutma kapasitesinin etkilenmeden ve yatırım maliyetini yükseltmeden büyük ölçülerde toprak kaynaklı ısı pompası seçimi yapılmalıdır [31].

3.2. Isı Değiştirici Tasarımı İçin Fiziksel Esaslar

Farklı sıcaklıkta ve birbirinden bir cidar ile ayrılan iki akışkan arasındaki ısı geçişi sağlayan ısı değişicileri çok farklı şekillerde üretilmekte ve çalıştırılmaktadır. Bir ısı değiştiricisinden beklenen, mümkün olan en fazla ısıyı transfer edebilmesi ve bunun için en kolay yöntemle en az malzeme kullanılarak imal edilebilmesidir. Kullanım alanları olarak, güç üretimi, proses, kimya ve gıda endüstrileri, elektronik, çevre mühendisliği, iklimlendirme, soğutma ve uzay uygulamaları alanları sıralanabilir [35].

Genel olarak küçük sıcaklık farkları ve büyük ısı miktarları söz konusu olduğunda büyük ısı transfer yüzeylerine gereksinim duyulmaktadır. Newton soğuma yasası gereği, yüzey alanı küçük tutulmak istendiğinde aynı oranda ısı transfer katsayısının artırılması veya sıcaklık farkı potansiyelinin verimli kullanılması zorunluluğu doğmaktadır. Çeşitli ısı değiştirici tasarımlarında bu iki büyüklüğü yüksek değerlerde elde edebilmek için önlemler alınmaktadır [35].

Bir ortamdan diğer ortama ısı geçişi [35];

$$\dot{Q} = U A \Delta T_m \quad (5.1)$$

Bu denklemde U (W /m²K) ısı değiştiricisinin toplam ısı geçiş katsayısını, A (m²) iki akışkanı ayıran ısı geçiş yüzeyi, ΔT_m (°C) bütün ısı değiştiricisinde etkili olan ortalama logaritmik sıcaklık farkını göstermektedir [35]

Isı değiştiricilerinin ısı hesaplamaları için, akışkanların giriş ve çıkış sıcaklıkları biliniyor veya kolayca hesaplanabiliyorsa ΔT_m doğrudan, aksi durumlarda ise (9-P) veya (ε-N) yöntemleri ile hesaplanır.

3.3. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları

3.3.1. Genel tanım ve temel prensip

Toprak kaynaklı ısı pompaları toprak altındaki enerjiyi ısıtma ve soğutma yoluyla kullanılabilir hale getirir. Isı pompaları çevreyi korur, çevre ısısının dörtte üçünü çekerler ve yine ortamı ısıtmak için pompalarlar. Hava kaynaklı, toprak kaynaklı ve yeraltı sularının kullanıldığı ısı pompası çeşitleri en yaygın kullanılanlardır. Isı pompaları ücretsiz olan toprak altı sıcaklığı, jeotermal kaynaklar ve havayı kullandığından ısı pompası sistemini aktif hale getirmek için az miktarda elektrik enerjisi kullanır [38].

Isı transfer ve taşınımını toprak altına gömülü borular yardımıyla gerçekleştirir. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi kurulurken yapılan mühendislik hesapları ile boruların özellikleri ve ısı taşıyıcı akışkan belirlenerek kullanılır. Kapalı devre akışkanı tarafından ısı, ısı pompası değiştiricisine taşınır. Burada bulunan sirkülasyon pompası akışkanı taşır. Böylece ısı bir yerden bir yere taşınır ve akışkanın devridaim olayı böyle devam eder. Toprak kaynaklı ısı pompaları son zamanlarda çevresi olması, maliyetinin uygun olması ve kurulum şartlarının basit olması sebepleri ile tercih edilir ve ısıtma / soğutma işlemleri için kullanılır [29].

Isı pompası avantajları

- Verim ve kararlılık: Yüksek verimli, uygun maliyetli, kullanım alanı geniş olan ısı pompası kullanımı için kullanılacak alanın özellikleri göz önüne alınarak yapılmış bir ısı pompası tasarımı gereklidir. Toprak kaynaklı ısı pompalarının kararlı bir yapıda olmalarının sebebi ise dış hava sıcaklığı ile bağının çok az olmasıdır.
- Konfor ve hava kalitesi: Toprak kaynaklı ısı pompalarından yüksek verim beklenir. Bunun için kompresörün basma basıncının emme basıncına olan oranı azaltılmalıdır. Böylelikle temiz havas kalitesi artar, ne alma kapasitesi düşer.
- Kontrol elemanları: Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin ilk yatırım maliyeti yüksek olmaktadır. Sistemin performans ve kalitesini değerlendirmek için kurulacak tüm sistemler ek bir maliyet gerektirir. Zaten yüksek olan kurulum

maliyetine bu ekipmanları eklemek sistemin maliyetini attıracağından tercih edilmez.

- Kabul edilebilir bakım maliyeti: Toprak kaynaklı ısı pompaları sistemi toprak altına entegre edildiğinden çevresel şartlardan etkilenmeyeceklerinden öngörülen bir koruyucu bakım maliyeti olmamaktadır. Burada önemli olan kullanılacak boru malzemesinin kaliteli ve uzun ömürlü olmasıdır.
- Ek ısıtmaya ihtiyaç yoktur: Toprak kaynaklı ısı pompası seçimi yapılırken sistemleri kullanılacak ortamın tüm hesaplamaları yapıp buna göre kurulum yapılacağından sonradan çıkacak ek sisteme ihtiyaç olmadığı değerlendirilmektedir.
- Sıcak suyu ısıtma maliyeti: Atık ısının değerlendirilerek kullanılmasıyla ortamların sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılabilir. Isı kazanım serpantinleri bu amaçla kullanılmaktadır.
- Dış ortamda ekipman olmaması: Tamamen toprak altına entegre edildiğinden dış ortamda herhangi bir teçhizat bulunmamaktadır.
- Paketlenmiş ekipman: Toprak kaynaklı ısı pompaları hazır sistemler şeklindedir. Kullanıcıdan kaynaklanacak montaj hatası ve kaçakların önüne geçilmiş olmaktadır.
- Çevre dostu: Emisyon değeri düşük olduğundan çevre dostudur.
- Verimli ömür yaşam döngüsü maliyeti: Düşük enerji kullanımı, minimum düzeyde önleyici bakım maliyeti, toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin bileşenlerinin uzun ömürlü olması ilk maliyetinin yüksek olmasına rağmen bu sistemlerin avantajı olarak öne çıkmaktadır [29].

Dezavantajları

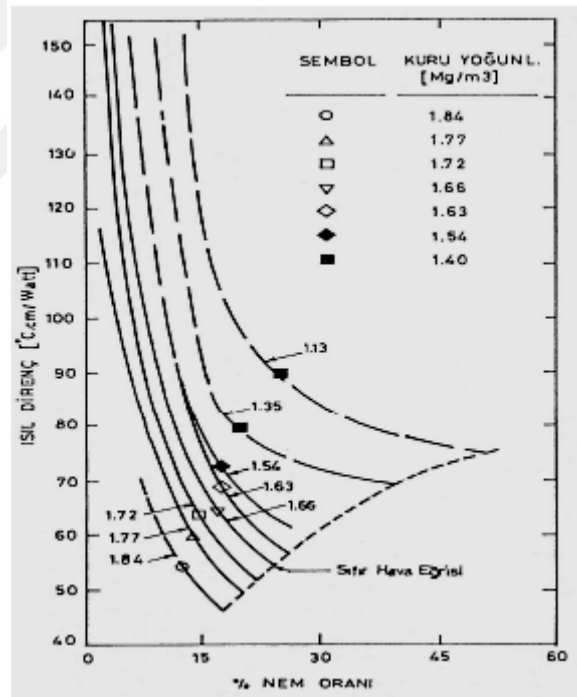
- İlk yatırım maliyetinin yüksek olması: Sistemlerin kurulum maliyetinin yüksek olması ve ilave sistemler maliyeti yükseltmektedir.
- Toprak altındaki borularının verimi etkilemesi: Toprak kaynaklı ısı pompalarının tasarımının etkin şekilde yapılması toprak altına gömülü boruların performansı ile doğrudan ilgilidir.
- Kısıtlı sayıda tasarımcı olması: İnşaat şirketlerinin toprak kaynaklı ısı pompalarını az sayıda kullanmalarının sebepleri arasında yüksek maliyet, bu konuda yetişmiş tasarımcı ve tekniker yetersizliği de vardır (Akçasarı, 2004) [28].

3.4. Toprak Özellikleri

Toprağın yoğunluğu, toprağın yapısı ve toprağın nem oranı toprak ısı davranışını etkileyen unsurlardır. TKIP sistemlerinde topraktan çekilen ısı miktarı en önemli etkenlerdendir [29].

3.4.1. Yoğunluk

Toprağın bileşimi, doğal konumu toprağın yoğunluğunu belirler. Isı iletim katsayısı için, kuru yoğunluk (g) ve nem oranı (ψ) tespit edilmelidir. Kuru yoğunluk değeri toprağın nem oranına karşılık gelir. American Society for Testing Materials (ASTM)' de "Toprak Özellikleri Ölçüm Standartları" mevcuttur (Şekil 3.1.) (Ünlü, 2005).



Şekil 3.1. Toprak ısı direncinin nem ve yoğunluk içeriğine göre değişimi (Ünlü, 2005)

Şekil 5.1.'de yoğunlukları farklı ve buna karşı gelen nem oranlarında, toprağın ısı direnci verilmiştir. Sıfır hava eğrisi, verilen yoğunlukta topraktaki en düşük ısı direnci göstermektedir (Ünlü, 2005) [27].

3.4.2. Nem oranı

Toprağın ısıl direncinin düşmesi belli bir yoğunlukta nem miktarının artışına bağlıdır. Nem miktarı arttıkça ısı iletim katsayısı düşük olan hava su ile yer değiştirir [27].



BÖLÜM 4. ÖLÇME TEKNİKLERİ

4.1. Temel Bilgiler

Yapılan araştırmalarda Toprak Hava Isı Değiştirici Sistemleri üzerinde çeşitli hesaplamalar, deneyler ve çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Hava / toprak ısı değiştiricilerin tüm yıl boyunca performans ve veriminin çeşitli faktörlere ve sınır koşullarına bağlı olacağı öngörülür.

Çevresel Şartlar

Ortam koşulları başlangıçta dış sıcaklıkları veya bölgenin iklimini içerir. Gelen havanın ilk hallerini tespit edilir. Isı transferi için toprak yapısı, toprak sıcaklığı ve nemi kritiktir.

Hava aracılığı ile toprak kaynaklı ısı transferinde toprak parametrelerinin (toprak zemininin sınıflandırılması) belirlenmesi en kritik hususlardan biridir. Bu hususlar toprağın yapısı (tanecikli, pürüzsüz vb.), esnekliği, biçimi (elastik mi, sert mi), akışkanlığı, kayganlığı olarak sınıflandırılır. Bu parametreleri belirlemek uzun zaman alır. Ortam koşulları başlangıçta dış sıcaklıkları veya bölgenin iklimini içerir. Gelen havanın ilk hallerini tespit edilir.

Isı transferi için toprak yapısı, toprak sıcaklığı ve nemi kritiktir.

Hava aracılığı ile toprak kaynaklı ısı transferinde toprak parametrelerinin (toprak zemininin sınıflandırılması) belirlenmesi en kritik hususlardan biridir. Bu hususlar toprağın yapısı (tanecikli, pürüzsüz vb.), esnekliği, biçimi (elastik mi, sert mi), akışkanlığı, kayganlığı olarak sınıflandırılır. Bu parametreleri belirlemek uzun zaman alır.

Tasarım ve İnşa Detayları

Burada öncelikle boruların yerleştirileceği derinlik belirlenir. Derinlik arttıkça maliyet artar. Yerleştirme mesafesi boruların birbiri ile etkileşimini belirler. Kullanılan boruların malzemesi ısı taşınımı ve hava akış şartlarına etki eder.

Özel Şartlar

Havalandırma sisteminin özelliklerine bağlı olarak sistem üzerinden geçen hava debisi değişir. Sistemin verimliliği ve performansı havanın akışkan olarak kullanıldığı toprak kaynaklı ısı değiştiricilerinde toprağın ani ısınması ve soğuması ile etkilenir.

Bu konu ile ilgili Almanya, Avusturya ve İsviçre’de bir veri tabanı oluşturmaya yönelik geniş kapsamlı ve uzun süren deneyler yapılmaktadır. Bu deneyler seçilen ofislerde, fabrikalarda ve evlerde uygulanmaktadır. Bu deneylerin sonuçlarında alınacak veriler değerlendirilerek etkin olarak kullanımı değerlendirilecektir.

Bu çalışmada, Sakarya’da kış iklim şartlarında toprak-hava ısı değiştirici (THID) sisteminin performansı deneysel olarak incelenmiştir.

4.2. Test Düzenegi

Bu çalışmada, bir toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) sisteminin performansı Sakarya /Esentepe Kampüsünde kış şartlarında deneysel olarak incelenmiştir. 80 m²’lik yüzeye 2 m derinliğinde yatay olarak bir toprak-hava ısı değiştiricisi yapılandırılmış Ocak ayı içerisindeki sıcaklık ölçümleri gündüz saatlerinde yapılmıştır. Yatay olarak yerleştirilen borular 100 mm çapında, 10 m uzunluğunda ve 2,4 mm çapında plastik (PVC) özelliğinde seçilmiştir.

Tablo 4.1. PVC maddesine ait termofiziksel özellikler

MADDE	k (W / mK)	ρ (kg / m ³)	C _p (J / kgK)	ν (m ² / s)	Pr
PVC	0.16	1380	900	-	-

PVC malzemesi ile ilgili termofiziksel özellikler Çizelge 3.2.' de verilmiştir. Fanlar yardımıyla hava hareketi sağlanmıştır. Toprağın 2 m altından PVC borulardan geçen sıcaklık değerlerini ölçmek için KISTOCK (KTT 300) Termokupl kullanılmıştır. Boruların 2 m derinlikte gömülmesi yıl boyu sıcaklık, kazma maliyeti ve üniversite yapı işleri mevzuatı açısından uygun olduğu anlaşılmıştır. (Badescu, 2007) [17] Fakat, optimum derinliğin 3 m olduğu literatürde belirtilmektedir (Ascione ve ark., 2011) [18]. En uygun boru uzunluğu iklim koşullarına göre belirlenir. THID sistemlerinde tipik boru çapı 10 cm - 30 cm' dir. Ticari binalar için çap 1 m'ye kadar çıkılabilir (Peretti ve ark., 2013) [19].

Bu çalışmada hava hareketi fanlar yardımıyla sağlanmış, sıcaklık giriş ve çıkışı Termokupl ile kaydedilmiştir. Toprak hava ısı değiştirici olarak toprağın 2 metre derinliğinde 10 cm çapında PVC borular kullanılmıştır.

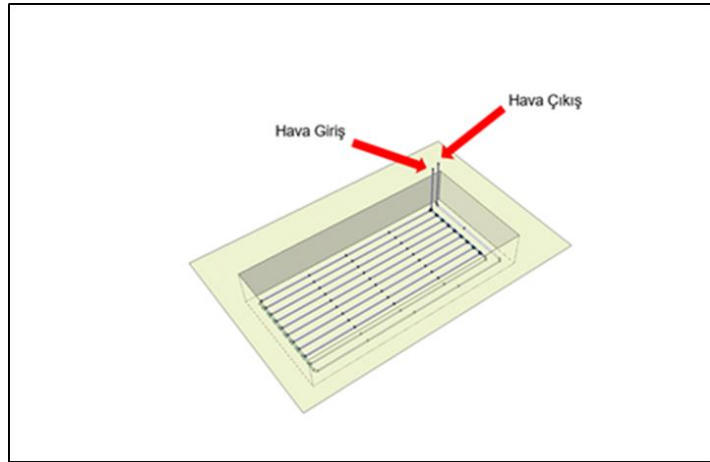


Şekil 4.1. Sıcaklık Ölçmek İçin Kullanılan Termokupl

Yapılacak test için 80 m²'lik bir alan 2 metre derinliğinde kazılarak boru demetleri yapılandırılmıştır. Bu sistem ile toprağın ne kadar ısı alacağı ve ne kadar ısı vereceğinin ölçülmesi hedeflenmiştir.



Şekil 4.2. Yeraltı boru tesisatı ve yapay gölet resmi (Durmaz ve Özdemir 2018).



Şekil 4.3. Toprak Hava ısı Değiştirici Sisteminde Toprağa Yerleştirilen Boruların 3 Boyutlu Gösterimi

Test sisteminin üzeri toprakla kapatılarak giriş ve çıkış havası için boru girişleri bırakılmıştır. Bu borulara gerekli ekipmanlar eklenerek ölçüme hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.4. THID Sisteminin Genel Görünümü

İlk aşamada sıcaklık değerlerinin belli aralıklarla PVC borulara yerleştirilen cıvalı termometrelerle ölçülmesi planlanmıştır. Aynı zamanda Termokupllar sisteme dahil edilmiştir. Cıvalı termometreler çok hassas olması sebebiyle sık sık kırılmış, cıvalı termometrede ölçüler sıcaklık değerleri ile Termik çiftten alınan sıcaklık değerleri birbirini ile eşit olmasından dolayı ölçümlere Termik çift ile devam edilmiştir. Toprak altına yerleştirilen boruların içerisinden geçecek hava hareketi ise 20 W gücünde, 1800 rpm bir fan ile sağlanmıştır.



Şekil 4.5. Cıvalı Termometrelerin PVC Borulara Yerleşimi ve Termokupl Cihazı

Ölçümlerin Ocak ayının ilk haftalarında yapılmasının sebebi havanın sıcaklığının ‘-’ derecelerde olması ve en iyi değerlerin bu sıcaklıklarda alınabilecek olmasıydı. Yağışlardan sistemi koruyabilmek için basit sistemler ile çözümler bulmaya çalıştık. Toprak-hava ısı değiştiricisinin etkinliği ε [20];

$$\varepsilon = \left| \frac{T_g - T_{\check{c}}}{T_t - T_g} \right| \quad (4.1)$$

Bu denklemden T_g (°C), hava giriş sıcaklığı, $T_{\check{c}}$ (°C), hava çıkış sıcaklığı ve T_t (°C) ise toprak sıcaklığıdır. Topraktan çekilen veya toprağa verilen ısı miktarı, Q (W),

$$\dot{Q} = \dot{m}_{hava} C_{hava} |T_g - T_{\check{c}}| \quad (4.2)$$

şeklinde hesaplanır.

Yukarıdaki denklemde;

$\dot{m}_{hava}$ havanın kütleli debisi (kg/s), C_{hava} , havanın özgül ısısı (J/kg °C) şeklinde tanımlanır.

Denklemlerde (denklem 1 ve 2) verilen mutlak değer işaretleri yaz ve kış aylarında giriş havası sıcaklıklarının toprak ya da çıkış sıcaklığından daha yüksek ya da daha düşük olduğu için kullanılmıştır.

Toprak hava ısı değiştirici sisteminde COP değeri;, topraktan çekilen veya toprağa verilen enerji miktarının “ $\dot{Q}$ ”, sistemi çalıştırmak için harcanan güce ($\dot{W}$, fan gücü) oranıdır [21].

$$COP = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}} \quad (4.3)$$

4.3. Debi Ölçümü

Debi hesabı yapabilmek için hacmi 80 litre olan iki adet büyük boy çöp poşetini birbirini içerinden geçirerek yapıştırdık. Böylece hacmi 160 litre olan bir boru sistemi elde ettik.



Şekil 4.6. Debi hesabı için doldurma

Kütleli debi;

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4.4)$$



Şekil 4.7. Debi hesabı için hacmin boşaltılması

Tablo 4.2. 160 litrelik hacmin doldurma ve boşaltma süreleri

	Doldurma süresi (dk)	Boşaltma süresi (dk)
Test 1	7,30	5,25
Test 2	7,01	5,10
Test 3	6,90	4,90
Test 4	6,80	4,95

Hacimsel debi;

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (4.5)$$

şeklinde hesaplanır.

Hacimsel debiyi kütleli debiye ;

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4.6)$$

formülü ile dönüştürdük.

Hacimsel debi birim zamandaki hacimi vermektedir.

$$\dot{Q} = \frac{V}{t} \quad (4.7)$$

Havanın yoğunluğu 1,14 kg/m³ ve doldurma süresi ortalama 7 dk olarak alındığında kütleli debi;

$$\dot{m} = 1,14 \text{ kg/m}^3 \times 160 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / 420 \text{ s}$$

$$\dot{m} = 0,4 \text{ g/s}$$

Havanın yoğunluğu 1,14 kg/m³ ve boşaltma süresi ortalama 5 dk olarak alındığında kütleli debi;

$$\dot{m} = 1,14 \text{ kg/m}^3 \times 160 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / 300 \text{ s}$$

$$\dot{m} = 0,6 \text{ g/s}$$

olarak hesaplanır.

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRMA

Yapılan bu testlerde soğuk ortamın toprak kaynaklı ısı eşanjörü ile ısıtılması amaçlanmıştır.

Bu sebeple toprak kaynaklı ısı eşanjörünün girişindeki hava soğuk, çıkışındaki hava sıcaklığı ise ılıktır. Deneyde kullanılan havanın akış hızı $0.889.10^{-3} m^3/s$ olarak ölçülmüştür. Havanın yoğunluğu ise $1.2 kg/m^3$ 'dür.

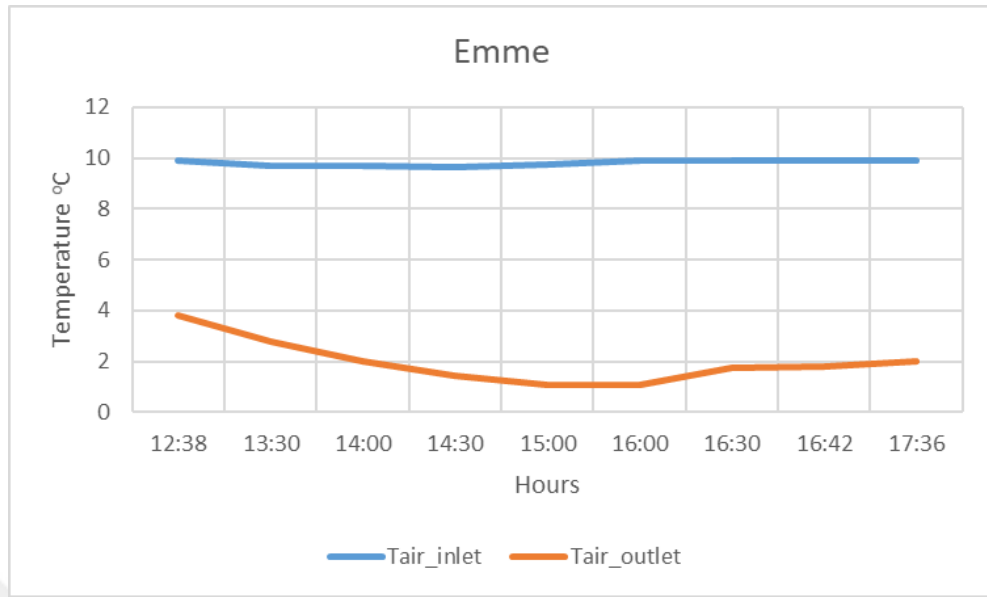
$$\dot{m} = \rho. \dot{V} \quad (5.1)$$

Buradan sistemin kütle akış hızı $1.066.10^{-3} kg/s$ 'dir. Ortalama ortam sıcaklığı 274 K olduğundan havanın C_p değeri termodinamik özellik tablolarından $1.004 kJ / kgK$ olarak seçilmiştir.

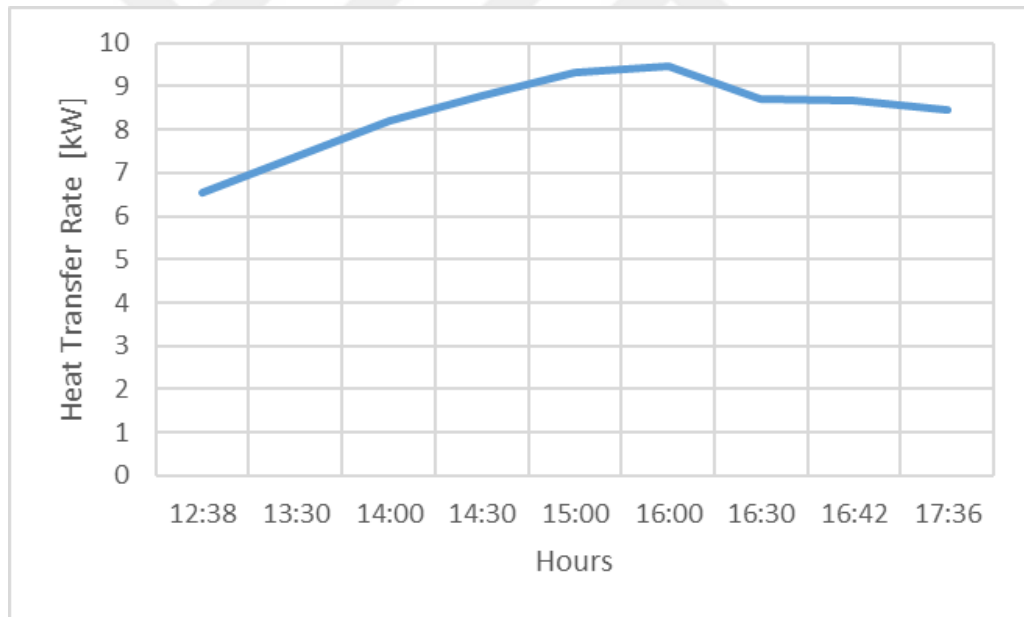
$$Q = \dot{m}. c_p. \Delta T$$

denklemini ile akış hızı elde edilebilir.

Testler, havanın soğuk olmasından dolayı Ocak ayında yapılmıştır.

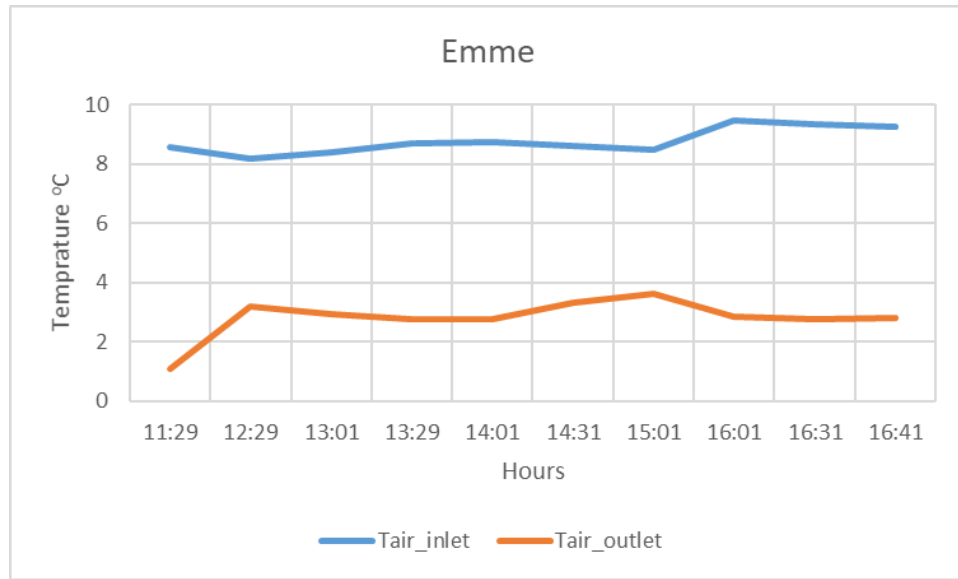


Şekil 5.1. Ocak Ayının ilk haftasında ortalama sıcaklık

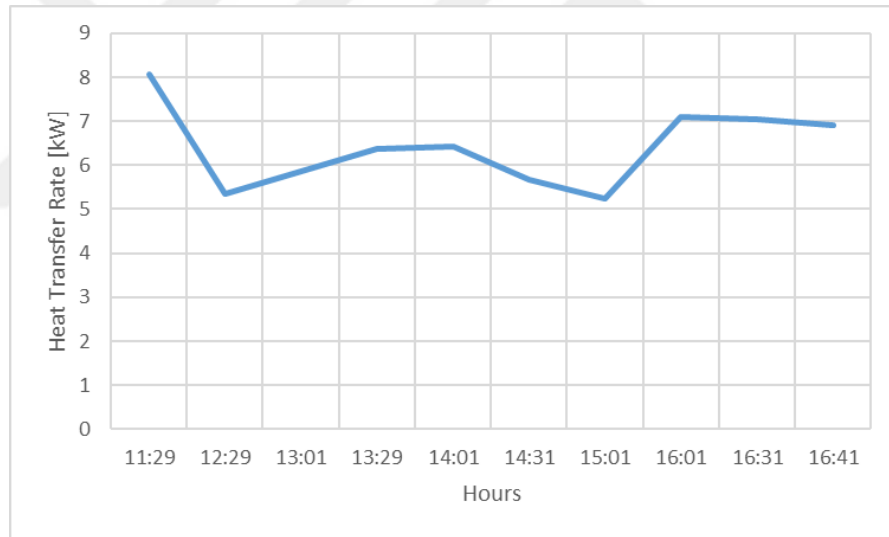


Şekil 5.2. Isı transfer hızındaki değişim

Ocak ayının ilk haftasında farklı günlerde yapılan deneylerde toprak altındaki hava sıcaklığı fan yardımıyla dış ortama alınmış ve ölçülmüştür. Yapılan bu ölçümler farklı günlerin aynı saatlerinde alınmaya çalışılmış böylece sıcaklık farkları karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.3. Ocak Ayının ilk haftasında ortalama sıcaklık



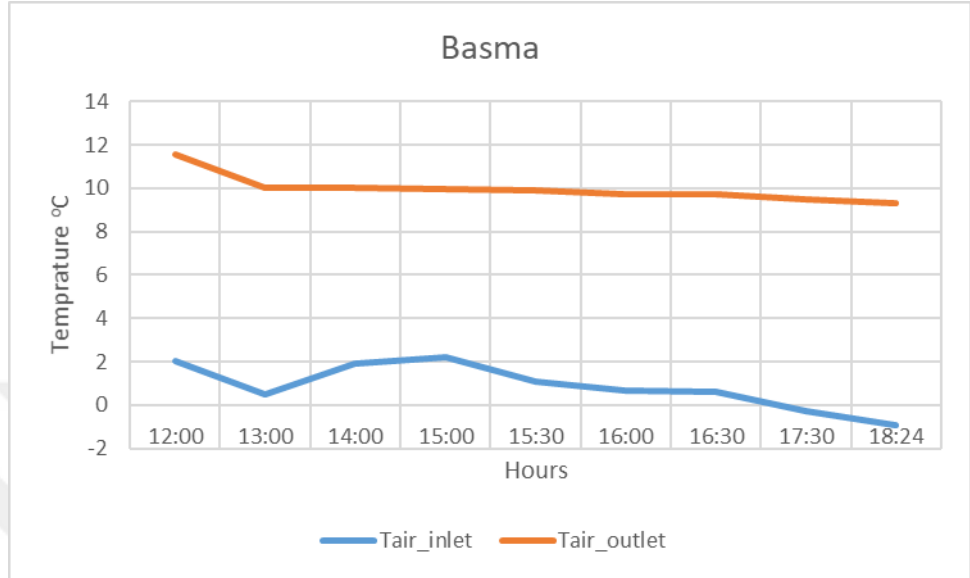
Şekil 5.4. Isı transfer hızındaki değişim

Yukarıdaki deneylerde toprak altındaki sıcaklığın dış ortam sıcaklığından yüksek olduğu görülmüştür.

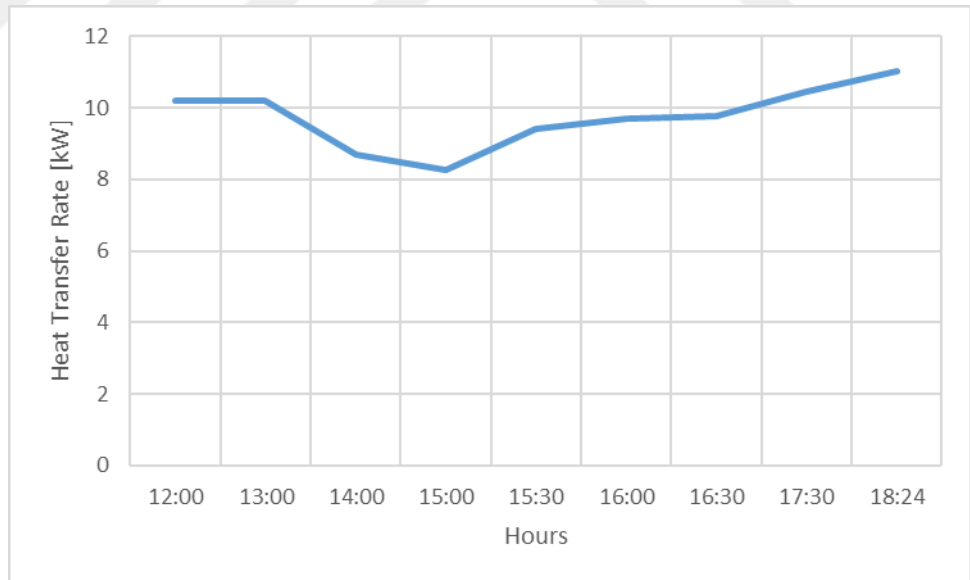
Dış hava sıcaklığının 0 °C ile 3,5 °C olduğu durumda toprak altındaki sıcaklık 9,5-10 °C olarak ölçülmüştür.

Aşağıda verilen grafiklerde ise dış ortamın sıcaklığı yine fan yardımıyla toprak

altında bulunan borulardan geçirilerek ölçülmüş ve toprak altındaki ısı ile dış ortamın sıcaklığı arasındaki farklar gözlemlenmiştir.

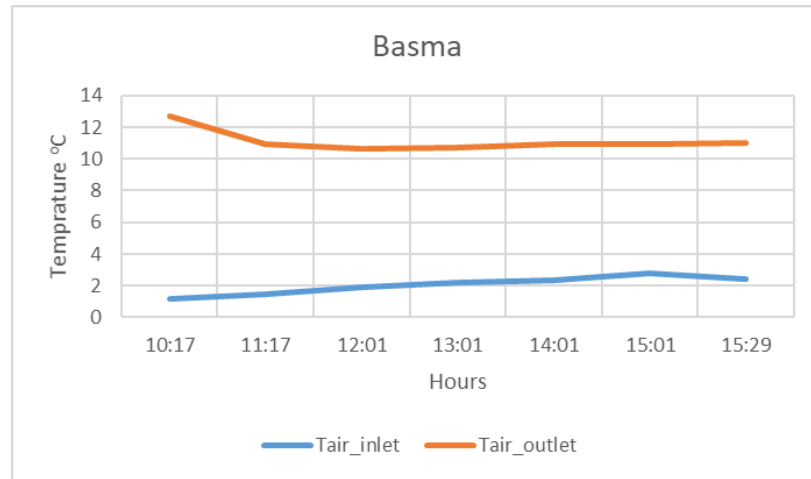


Şekil 5.5. Ocak Ayının ilk haftasında ortalama sıcaklık

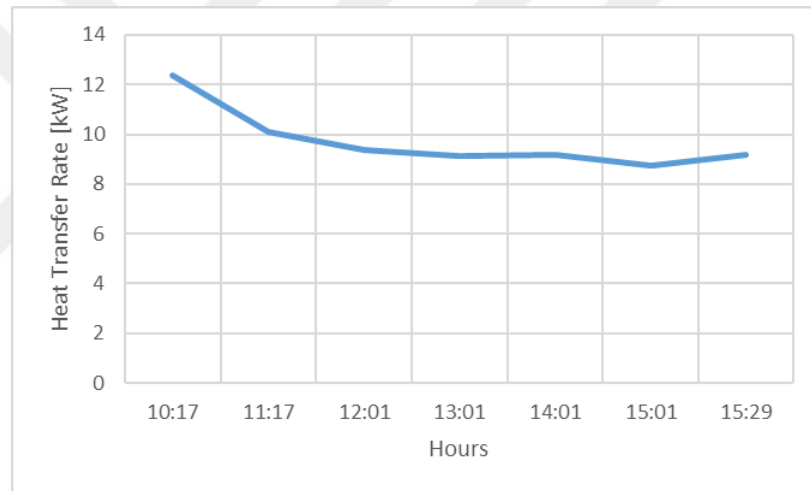


Şekil 5.6. Isı transfer hızındaki değişim

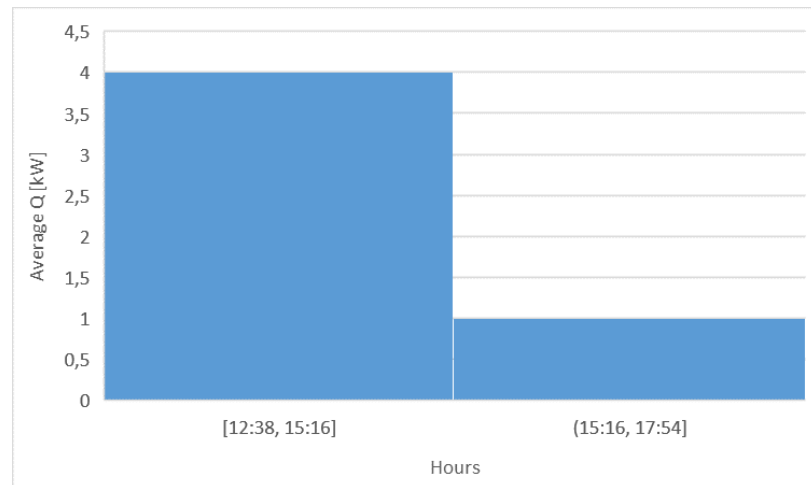
Kış aylarında dış ortam sıcaklığının toprak altındaki sıcaklıktan düşük olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.7. Ocak Ayının ilk haftasında ortalama sıcaklık



Şekil 5.8. Isı transfer hızındaki değişim



Şekil 5.9. Ocak Ayının ilk haftasında ortalama sıcaklık ve ısı transfer hızındaki değişim

Şekil 5.5., ortalama ısı enerjisinin ocak ayında emme ve basma sıcaklıklarının ısı transfer hızlarındaki değişimleri görülmektedir.

Dış ortam sıcaklığının toprak altındaki borulardan ısı transfer hızının toprak altındaki havanın ısı transfer hızından yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Dış ortam sıcaklığı ($-2\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve ($+2\text{ }^{\circ}\text{C}$) aralıklarında olduğunda topraktan alınan ısınn dış ortama çıkış sıcaklığı yaklaşık $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ölçülmektedir. Kış aylarında ortalama bir oda sıcaklığının $22\text{ }^{\circ}\text{C} - 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak düşünüldüğünde bu sıcaklığın yetersiz olduğu ancak ilave yöntemlerle sıcaklığın yükseltilerek kullanılması söz konusu olabilir.

Ayrıca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsünde yapılan deneylerde dış ortam sıcaklığı toprak altındaki sıcaklıktan düşük olduğundan ısı transfer hızının toprak altındaki ısı transfer hızına göre düşük olduğu gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Kış şartlarında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsünde Toprak –Hava Isı Değiştirici sisteminin deneysel incelemesi 80 m²'lik alanda 2 m derinliğe yatay olarak gömülmüş PVC borular yardımıyla yapılmıştır.

Gündüz saatlerinde yapılan bu ölçümler ile;

-Dış ortam sıcaklığı (-2 °C) ve (+2 °C) aralıklarında olduğunda topraktan alınan ısının dış ortama çıkış sıcaklığı yaklaşık 12 °C ölçülmüştür. Kış aylarında ortalama bir oda sıcaklığının 22 °C – 24 °C olarak düşünüldüğünde bu sıcaklığın yetersiz olduğu ancak ilave yöntemlerle sıcaklığın yükseltilerek kullanılacağı,

-Hava kaynaklı toprak ısı değiştirici sistemi buz tutmayacağından herhangi bir ön ısıtma işleminin gerekmediği görülmüştür. Sistemin direk olarak ısıtma işlemine başlamasıyla ön ısıtma gibi ek maliyetlerin önüne geçilerek enerji tasarrufu sağlanacağı görülmüştür. Yaz aylarında ise yapılacak soğutma işlemi için sistemin belirli zamanlarda yetersiz olacağı,

- Toprak ısı değiştirici sisteminden yüksek verim alabilmek için toprak içindeki nem miktarının yüksek olması gerektiği,

- Sistemin verimliliği ve performansı havanın akışkan olarak kullanıldığı toprak kaynaklı ısı değiştiricilerinde toprağın ani ısınma ve soğuması ile etkilendiği,

- Kullanılan bu sistemin enerji tasarrufunun yanında karbondioksit salınımını azalttığından çevreci bir sistem olduğu,

- Yaz ve kış aylarında gece ve gündüz sıcaklık farklarının yüksek olduğu bölgelerde Toprak Isı Değiştirici Sistemlerinin daha verimli çalıştığı görülmüş,

- Binaları ısıtma ve soğutma gerektiren binalar olarak gruplandırdığımızda ortaya çıkan en ayırt edici özellik, ısıtma yapılacak binalar tasarım aşamasında iken ısıtma için hava kaynaklı toprak ısı değiştirici tasarlanabilir ve ısıtmanın yetersiz olduğu durumlarda toprak kaynaklı ısı pompaları tarafından desteklenerek verimli bir şekilde

istenilen sıcaklığa ulaşılabilirdi,

- Soğutma gerektiren binalar için ısı pompası sisteminin genellikle geçerli olmadığı yani binanın yapım aşamasında soğutma için THID sistemi tasarlasanız bile yaz aylarında gerekli soğutmayı sağlayamayacağı,

sonuçlarına varılmıştır. Bulunan bu sonuçlar bir sonraki çalışmalara referans olacak ve Toprak Hava Isı Değiştirici Sistemlerinin daha verimli çalışabileceği ortamlar oluşturulacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] Kadir Bakırcı, Ömer Özyurt, Ömer Çomak, Bedri Yüksel, Güneş-Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Deneysel İncelenmesi.
- [2] Hikmet Esen, Mustafa İnallı, Mehmet Esen, Yatay Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Deneysel Uygulaması.
- [3] Esen, H., İnallı, M., Esen, M., Pıhtılı, K. 2007. "Energy and Exergy Analysis of a Ground-Coupled Heat Pump System with Two Horizontal Ground Heat Exchangers," Building and Environment, vol. 42, p. 3606–3615.
- [4] Windwaerts Energie GmbH, Ein Unternehmen der MVV Gruppe.
- [5] Umweltbundesamt.
- [6] Hüsamettin Bulut, Refet Karadağ, Yunus Demirtaş, İsmail Hilali (2014) Şanlıurfa kış şartlarında bir toprak-hava ısı değıştiricisinin performans analizi.
- [7] Chiesa, G., Simonetti, M., Grosso M., "A 3-Field Earth-Heat-Exchange System For A School Building In Imola, Italy: Monitoring Results", Renewable Energy, 62, 563-570, 2014.
- [8] Turgay, B., "Eahx (Toprak-Hava Isı Eşanjörü)", II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Kitabı, 307-315, 201.
- [9] Turgay, B. 2013. EAHX (Toprak-Hava Isı Eşanjörü). 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Kitabı, 307-315.
- [10] Badescu, V. 2007. Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house, Renewable Energy, 32: 845-855.
- [11] Bojic, M., Trifunovic, N., Papadakis, G. and Kyritsis, S. 1997. Numerical Simulation, technical and economic evaluation of air-to-earth heat exchanger coupled to a building. Energy, 22:12, 1151-1158.
- [12] Ghosal, M.K. and Tiwari, G.N. 2006. Modeling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger integrated with a greenhouse. Energy Conversion and Management, 47: 1779–1798.
- [13] REHAU AG + Co, Erişim Tarihi: 15.02.2019.

- [14] Kennedy, Großmann, Schütze, Erfahrungen mit innovativen Erdwärmetauscher Lüftungsanlagen, Universität Hannover/ Fachbereich Architektur, Hannover März 2001.
- [15] Dibowski/Rittenhofer, Problematik der Bestimmung Thermischer Erdreichparameter, Heizung, Lüftung/Klima, Haustechnik 5/2000.
- [16] <https://ekotec.com.tr/isi-pompasi-ile-ilgili-bilimsel-calismalar/> Erişim Tarihi: 10.02.2019.
- [17] Badescu, V. 2007. Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house, *Renewable Energy*, 32: 845-855.
- [18] Ascione, F., Bellia, L. and Minichiello, F. 2011. Earth-to-air heat exchangers for Italian climates. *Renewable Energy*, 36: 2177,2188.
- [19] Peretti, C., Zarrella, A., De Carli, M. and Zecchin, R. 2013. The design and environmental evaluation of earth-to-air exchangers (EAHE). A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28: 107–116.
- [20] Chiesa G., Simonetti, M. and Grosso M. 2014. A 3-field earth-heat-exchange system for a school building in Imola, Italy: Monitoring results. *Renewable Energy*, 62: 563-570.
- [21] Mongkon, S., Thepa, S., Namprakai, P., Pratinthong, N., “Cooling performance and condensation evaluation of horizontal earth tube system for the tropical greenhouse”, *Energy and Buildings*, 66, 104–111, 2013.
- [22] A. Hepbaşlı, A. Ö. Ertöz, Geleceğin teknolojisi: yer kaynaklı ısı pompaları, *Makine Müh. Odası Bildirisi, Teskon Program Bildirileri* 31, 1999.
- [23] B. Kılış, Kent dışı konutlarda ısı pompası kullanımında toprak ısısından yararlanma yöntemleri, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 4, 1, 21-25, 1981.
- [24] Abbaspour-Fard, M. H., Gholami, A., Khojastehpour M., “Evaluation Of An Earth-To-Air Heat Exchanger For The North-East Of Iran With Semi-Arid Climate”, *International Journal Of Green Energy*, 8:4, 499-510, 2011.
- [25] Peretti, C., Zarrella, A., De Carli, M., Zecchin, R., “The Design And Environmental Evaluation Of Earth-To-Air Exchangers (Eahe). A Literature Review”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews* 28, 107–116, 2013.
- [26] Tan, L., Love, J. A., “A Literature Review On Heating Of Ventilation Air With Large Diameter Earth Tubes In Cold Climates”, *Energies* 6, 3734-3743, 2013.
- [27] Ozgener, O., Ozgener, L., Tester, J. W., “A Practical Approach To Predict Soil Temperature Variations For Geothermal (Ground) Heat Exchangers Applications”, *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 62, 473–480, 2013.

- [27] Ünlü, K., (2005) Hava Ve Toprak Kaynaklı Isı Pompalarına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi.
- [28] Akçasarı, E., (2004) Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Termo-Ekonomik Analizi FBE Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Proses Programında Hazırlanan Yüksek Lisans Tezi.
- [29] Demirtaş, Y (2016) Toprak Hava Isı Değiştirici Performansına Etki Eden Parametrelerin Deneysel İncelenmesi, Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [30] Termodinamik.info/bilimsel/soguk-iklim-bolgelerinde-toprak-su-kaynakli-isi-pompalari-2.
- [31] Healy, P. F., Ugursal V. I., 1997. Performance and economic feasibility of ground source heat pumps in cold climate. International Journal of Energy Research, 21, 857-870.
- [32] Viessmann Planlama Kılavuzu, 2000. Isı pompası sistemleri. Viesmann Isı Teknikleri Tic. A.Ş. Gebze/Kocaeli.
- [34] Sanner B., 2003. Ground Heat Sources for Heat Pumps (classification, characteristics, advantages). International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy. Institute of Applied Geosciences, Justus-Liebig-University Diezstrasse 15, D-35390 Giessen, Germany.
- [35] Özdemir M., Pehlivan H., (Temmuz 2002) , Ayırıştırma ve Kanal Verimliliğinin Araştırılması, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6.Cilt, 2. Sayı.
- [36] Institut_für_Technische Thermodynamik, Solarforschung, Luft-Erdwärmetauscher L-EWT, Planungsleitfaden Teil 2, Standardisierte Datenblätter, Version 0.9 Januar 2004.
- [37] Dipl.-Ing. Gerd Dibowski, Dipl.-Ing. Ralph Wortmann, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., DLR Solare Energietechnik, Köln.
- [38] Bundesverband Waermepumpe e.V , www.waermepumpe.de, Erişim Tarihi: 08.05.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Özlem Bablak Ergun 1981 Adapazarı'nda doğdu. Rostock Üniversitesi (Almanya) Gemi ve Makine Fakültesi Makine Mühendisliği mezunudur. Rational Technische Lösungen'de (Rostock) Tasarım bölümünde firmalara özel çözümler kapsamında spesifik makinalar tasarımında, Nordex Wind Energie Rostock Firmasında Kalite Biriminde hata türleri üzerine (FMECA, MTBF, MTTR) kalite mühendisi, Schuler Konstruktion (Ravensburg) tasarım mühendisi, OTOKAR Otomotive Savunma Sanayi Şirketinde Tank projesinde Entegre Lojistik Uzman Mühendisi olarak çalışmıştır. 2014 yılı Kasım ayından itibaren TÜMOSAN Motor ve Traktör A.Ş'de Ürün Teknik Yönetimi Müdürü olarak çalışmaktadır. Ürün Teknik Yönetimi Müdürlüğü bünyesinde; Entegre Lojistik Destek Birimi, Konfigürasyon Yönetimi Birimi ve Bilgi Teknolojileri Birimi bulunmaktadır.