

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZİNCAN İKLİM ŞARTLARINDA JEOTERMAL KAYNAKLI ISI POMPASI
KULLANIMI İLE SERA ISITMA UYGULAMASI

Sümeyye Kevser SAĞIR

Doç. Dr. Sinem UZUN

TEZ JÜRİ ÜYELERİ

Doç. Dr. Sinem UZUN

Doç. Dr. Aslıhan KURNUÇ SEYHAN

Prof. Dr. Adem ACIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERZİNCAN, 2026

© 2026 [Sümeyye Kevser SAĞIR]. Tüm hakları saklıdır.

Kabul ve Onay Sayfası

Doç. Dr. Sinem UZUN danışmanlığında, Sümeyye Kevser SAĞIR tarafından hazırlanan bu çalışma 02.07.2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul oybirliği (3/3) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Aslıhan KURNUÇ SEYHAN İmza:

Üye : Doç. Dr. Sinem UZUN İmza:

Üye : Prof. Dr. Adem ACIR İmza:

Bu tez Enstitü Yönetim Kurulunun / / 20.... tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Kemal Volkan ÖZDOKUR
Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etięe Uygunluk Sayfası

“ERZİNCAN İKLİM ŞARTLARINDA JEOTERMAL KAYNAKLI ISI POMPASI KULLANIMI İLE SERA ISITMA UYGULAMASI” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımca intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiğı gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 02/07/2026

(İmza)

**Sümeyye Kevser
SAĞIR**

ÖZET

ERZİNCAN İKLİM ŞARTLARINDA JEOTERMAL KAYNAKLI ISI POMPASI KULLANIMI İLE SERA ISITMA UYGULAMASI

Sümeyye Kevser SAĞIR

Yüksek Lisans Tezi

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sinem UZUN

2026, 44 sayfa

Enerji, hayatımızın en temel ihtiyacı haline gelmiştir. Yaygın bir şekilde kullanılan fosil yakıt gibi yenilenemeyen enerji kaynakları; temini kısıtlı, sürdürülebilir olmadığı, çevreye ve atmosfere zarar verdiği için alternatifler aranmıştır. Sürdürülebilir, temiz ve güvenilir olması en önemlisi ise doğada var olan kaynakları kullanarak düşük maliyetlerde enerji elde etmek için yenilebilir enerji kaynakları fosil yakıtlara alternatif olmuştur. Doğada varlığı oldukça fazla ve sürdürülebilir olan güneş, hava, su, toprak ve jeotermal kaynaklar yenilebilir enerji kaynaklarına örnektir. Bu kaynaklardan verimli bir şekilde yararlanabilmek için ısı pompaları kullanılmaktadır. Coğrafi şartların uygunluğuna göre kaynak seçimi yapılabilmektedir. Bir ısı pompasının kaynaktan aldığı ısıyı kullanabilmesi için gerekli olan çevrim ısı pompasının ana elemanları ile gerçekleşmektedir. Türkiye bulunduğu konum itibarı ile yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir ülkedir. Türkiye, bir deprem bölgesi olduğu için yeraltı kaynakları bakımından zengindir. Bu da jeotermal enerji potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. Jeotermal enerjinin kullanıldığı çeşitli alanlar bulunmaktadır. Bu alanlardan biri de seracılıktır. Sera kullanımı her geçen yıl artmaktadır. Artan seracılık ile beraber üretim kalitesini arttırabilmek içinde ısı pompaları kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada bir sera tasarlanarak Erzincan şartlarında jeotermal bir kaynaktan ısı pompası yardımı ile çekilen ısının seranın ısıtılmasında kullanılması teorik olarak incelenmiştir. ANSYS-Fluent programı kullanarak sera içindeki sıcaklık dağılımına bakılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, jeotermal enerji, ısı pompası

ABSTRACT

A GREENHOUSE HEATING APPLICATION USING A GEOTHERMAL HEAT PUMP UNDER ERZİNCAN CLIMATIC CONDITIONS

Sümeyye Kevser SAĞIR

Master's Thesis

Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Science and Technology,

Department of Mechanical Engineering

Advisor: Doç. Dr. Sinem UZUN

2026, 44 pages

Energy has become one of the most fundamental needs of our lives. Since non-renewable energy sources—such as fossil fuels, which are widely used—are limited in supply, unsustainable, and harmful to the environment and the atmosphere, alternatives have been sought. Renewable energy sources have emerged as an alternative to fossil fuels because they are sustainable, clean, and reliable, and—most importantly—allow for low-cost energy production using resources found in nature. Examples of renewable energy sources include solar, wind, water, geothermal, and geothermal energy—all of which are abundant in nature and sustainable. Heat pumps are used to efficiently harness these resources. The choice of energy source depends on suitable geographical conditions. The cycle required for a heat pump to utilize the heat it extracts from a source is carried out by the heat pump's main components. Given its geographical location, Turkey is a country rich in renewable energy sources. As Turkey is located in an earthquake-prone region, it is rich in underground resources. This indicates a high potential for geothermal energy. There are various fields in which geothermal energy is used. One of these fields is greenhouse cultivation. The use of greenhouses is increasing every year. Along with this growth in greenhouse cultivation, heat pumps have begun to be used to improve production quality. In this study, a greenhouse was designed to theoretically investigate the use of heat extracted from a geothermal source in Erzincan via a heat pump for heating the greenhouse. The temperature distribution inside the greenhouse was analyzed using the ANSYS-Fluent program.

Keywords: Renewable energy, geothermal energy, heat pump

TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca bana yardımcı olan Doç. Dr. Orhan KALKAN Hoca'ma, yardımlarını benden hiç esirgemeyen, araştırma sürecinde bana yol gösteren, her türlü konuda yardımcı olan değerli danışmanım ve Doç. Dr. Sinem UZUN Hoca'ma teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen kıymetli annem ve babama, tez yazımı sırasında her zaman yanımda olan sevgili eşime ve canım kızıma teşekkürlerimi sunarım.

Sümeyye Kevser SAĞIR

Temmuz , 2026

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1.GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı	1
1.2. Literatür Özeti	3
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Enerji	4
2.1.1 Yenilenemeyen Enerji	4
2.1.1.1 Fosil yakıtların İnsan sağlığı ve çevre üzerindeki etkisi	5
2.1.2. Yenilenebilir Enerji	5
2.1.2.1 Güneş enerjisi	7
2.1.2.2. Rüzgâr enerjisi	8
2.1.2.3. Biyokütle enerjisi	9
2.1.2.4. Hidroelektrik enerjisi	10
2.1.2.5. Jeotermal enerji	11
2.1.2.5.1. Türkiye 'de jeotermal enerji	12
2.1.2.5.2. Türkiye'nin jeotermal enerji için ulusal enerji stratejileri	15
2.2. Isı pompaları	16
2.2.1. Isı pompası çalışma prensibi	17
2.2.2. Isı pompası elemanları	17
2.2.2.1. Buharlaştırıcı	17
2.2.2.2. Kompresör	18
2.2.2.3. Yoğuşturucu	18
2.2.2.4. Kısılma Vanası	19
2.2.2.5. Soğutucu Akışkan	19
2.2.3. Isı pompası çeşitleri	20
2.2.3.1 Su kaynaklı ısı pompaları	20

2.2.3.2. Hava kaynaklı ısı pompaları	21
2.2.3.3. Toprak kaynaklı ısı pompaları	22
2.3. Seralar	23
2.3.1. Sera örtü malzemeleri	24
2.3.2. Sıcaklığın bitki üzerine etkisi	25
2.3.3. Seralarda Isıtma	25
3. YÖNTEM	27
3.1. Sera Kurulumu Yapılacak Bölgenin Özellikleri	27
3.2. Sera Teknik Özellikleri	29
3.3. Isı Hesabı	30
3.4. Ansys Fluent	35
4. BULGULAR	37
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	42
KAYNAKÇA	44

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1 2019-2023 yılları arasında Erzincan'da yetiştirilen örtü altı tarım ürünleri	28
Tablo 2 En genel kullanılan sera malzemeleri için rüzgâr hızına bağlı olarak değişen ısı transfer katsayıları	32

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Yenilenmeyen Enerji Kaynaklarının Dünya Geneline Kullanım Oranları	5
Şekil 2. TEİAŞ kurulu güç raporu.....	7
Şekil 3 Türkiye Güneşlenme Süresi Dağılımı.....	8
Şekil 4 Türkiye Rüzgâr Potansiyeli Atlası	9
Şekil 5 Biyogaz Üretim Prosesi	10
Şekil 6 Türkiye'nin jeotermal kaynaklar ve volkanik alanlar haritası	12
Şekil 7 Türkiye'nin Jeotermal Kaynakları ve Uygulama Haritası	13
Şekil 8 Isı pompasının çalışma prensibinin şematik gösterimi	16
Şekil 9 Yer üstü suyu kaynaklı ısı pompası kullanımının gösterimi.....	20
Şekil 10 Yeraltı suyu kaynaklı ısı pompası çalışma şeması	21
Şekil 11 Genel bir hava kaynaklı ısı pompası kullanımı.....	22
Şekil 12 Yatay ve dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası	23
Şekil 13 Jeotermal kaynaklı ısı pompası ile ısıtılan sera örneği.....	26
Şekil 14 Erzincan ilinin konumu.....	27
Şekil 15 Erzincan ilinin 2012-2022 yılları arasında kasım ayının ortalama sıcaklıkları	28
Şekil 16 Erzincan ilinin 2012-2022 yıllarında Kasım ayında ortalama güneşlenme süresi.....	29
Şekil 17 2012-2022 yılları arasında Kasım ayında Erzincan ilinin toplam güneşlenme süresi	29
Şekil 18 Tasarlanan örnek sera.....	30
Şekil 19 Tasarım için kullanılan seranın bir tünelinin ölçüleri	30
Şekil 20 Bosh marka ısı pompası genel özellikleri	31
Şekil 21 Sera örtü malzemelerinin saatteki hava değişim kat sayıları.....	33
Şekil 22 Erzincan ilinin günlük ortalama güneş radyasyon değerlerini gösteren harita	34
Şekil 23 Ansys Arayüzü	36
Şekil 24 ANSYS-Fluent Geometry bölümünde görünümü.....	37
Şekil 25 Isıtma boruları mesh ağı	38
Şekil 26 ANSY-FLUENT mesh bölümü	38
Şekil 27 Seranın iç kısmında oluşan mesh ağı	38
Şekil 28 Ansys Fluent setup bölümünde geometrinin görünümü	39
Şekil 29 Ansys Fluent yakınsama grafiği	40
Şekil 30 Boru çıkış sıcaklığının değişim grafiği.....	40
Şekil 31 Serada sıcaklık değişimi kontürü	41
Şekil 32 Borularda ki sıcaklık değişimi kontürü.....	41
Şekil 33 Boru içindeki akışın hız çizgileri	41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	Yüzde
°C	Sanrigrad Derece
°F	Fahrenayt
°K	Kelvin
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşmiş Milletler
AR-GE	Araştırma ve Geliştirme
HAD	Hesaplama Akışkanlar Dinamiği
kg	Kilogram
m	Metre
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	Maden Tetkik ve Arama
MWt	Megavat saat
Pr	Prandl Sayısı
T	Sıcaklık
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
yy.	Yüzyıl
ρ	Yoğunluk

1. GİRİŞ

Enerji, günlük yaşamımızda temel ihtiyaçlarımızı bile karşılarken kullanımı zorunlu hale gelmiş olan bir kavram olarak hayatımıza girmiştir. Enerji olmadan yapılabilecek şeyler çok kısıtlı olmuştur. Ulaşım, ısınma, haberleşme vb. gibi ihtiyaçlarımızı bir enerji ile karşılamaktayız. Gün geçtikçe büyüyen ve çoğalan insan nüfusu ile enerji ihtiyacı da artmaktadır. Bu enerji talebini karşılayabilmek devlet yöneticilerinin bir görevi olmuştur. Gelişmiş olan ülkeler kendi ülke sınırları içinde bulunan fosil yakıt kaynaklı enerji ile hem enerji ihtiyacını karşılamakta hem de gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelere bu fosil yakıt kaynaklı enerjiyi pazarlamaktadır. Fosil yakıt olarak; petrol, kömür, doğalgaz gibi örnekler verilebilir. Bu kaynaklar yenilenmeyen enerji kaynaklarıdır. Yani sürekliliği olmayan tükenen kaynaklardır. Gelişmiş olan ülkeler de bu kaynakların tükenme riskine karşılık yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiş ve bunun için yatırımlar yapmışlardır. Bir ülke için enerji, ekonomisi için çok önemli bir kavramdır. Enerjisini dışa bağımlı olmadan üretebilen ülkeler, ekonomik açıdan önemli avantajlar elde etmektedir. Bunun yanında yenilenebilir enerji, çevreye zarar vermeyen ve sera gazı emisyonlarını azaltan temiz bir enerji kaynağıdır.

Yenilenebilir enerji; ulaşım, tarım, turizm, endüstri gibi birçok alanda kullanılabilmektedir. Tarım sektörü, özellikle kontrollü ortam tarımı uygulamalarında önemli miktarda enerji tüketen alanlardan biridir. Bu kapsamda seracılık, yıl boyunca kaliteli ve verimli üretim yapılabilmesi için sıcaklık, nem ve havalandırma gibi çevresel koşulların kontrol altında tutulmasını gerektirmektedir. Seralarda uygun ortam koşulları sağlanırken seraların ısıtılması büyük bir sorundur. Genel olarak fosil yakıt kullanımı ile sağlanan ısıtma yöntemleri yerine yenilebilir enerji kaynakları kullanımı ile seraların ısıtılması sağlanabilmektedir. Böylelikle seralara ısıtmaya harcanan maliyet düşürülmüş ve gelecek nesillerimize daha temiz bir dünya bırakabilmiş olacağız. Bu ısıtma işlemini bir ısı pompası kullanarak bulunan çevreye göre uygun yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi kullanılabilir.

1.1. Araştırmanın Amacı

Günümüzde enerji ihtiyacımızın büyük kısmı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Enerji zorunlu bir ihtiyaç haline gelmiştir. Artan nüfus miktarı ve sürekli gelişen teknoloji ile bu enerji ihtiyacı da sürekli artmaktadır. Enerji için gerekli kaynakları olmayan ülkeler ise enerji ihtiyacını dışarıdan karşılayarak dışa bağımlı bir hale gelmişlerdir. Bu da ekonomik açıdan ülkeleri

zorlamaktadır. Bunun yanı sıra fosil yakıt kullanımı sonucu çevreye ve atmosfere zararlı atık ve gazlar verilmektedir. Bu atık ve gazlar tüm canlı yaşamı için tehlikedir. Fosil yakıtlar sürekliliği olan bir kaynak türü değildir. Sürekliliği olan ve temiz enerji olan yenilenebilir enerji fosil yakıtlar için en iyi alternatif enerjidir.

Yenilenebilir enerji, doğada kolaylıkla bulunabilir. Coğrafi şartlar doğrultusunda ülkeler kendi doğalarında bulunan kaynaklar olan güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik ve biyokütle enerjilerini kullanabilirler. Bu kaynaklar bilinçli şekilde kullanıldığında sürdürülebilir ve temizdir. Fosil yakıtlara göre daha ekonomiktir.

Bir ülke için enerji ne kadar önemli ise gıda güvenirliliği de o kadar önemlidir. Nüfus artışı gıda sektöründe de talep artışına neden olmaktadır. Sektör içinde bulunanlar bu konuda adımlarını atarak talepleri karşılamaya çalışmaktadır. Tarım alanı bu sektörün önemli bir parçasıdır. Küresel iklim krizi yüzünden etkilenen birçok sektörü gibi tarım sektörü de büyük ölçüde etkilenmektedir. İklim krizi tarımdaki ürünlerin gelişimini geciktirmekte veya durdurmaktadır. Tarım alanında sürdürülebilir olma ve istikrar sağlama anlayışı ile büyüme sağlanabilir. Bu anlayışı sağlamak için üreticiler seraları kullanmaya başlamıştır. Seraları ilkel yöntemler ile çalıştırmak iş gücünü fazlasıyla artıracaktır. Havalandırmasını sıcaklığını kontrol altında tutabilmek çok zor olacaktır. Otomasyon sistemleri sayesinde üretici kendisinin kontrol edebileceği şekilde serasını çalıştırabilmektedir. Bu noktada devreye yine enerji girmektedir. Seralarda ısıtma sağlanabilmesi büyük maliyetlere yol açmaktadır. Bu maliyetleri düşürebilmek için enerji ihtiyacını kendi karşılayabilmeleri oldukça önemlidir. Isı pompaları ile seranın yapılacağı bölge şartları göz önüne alınarak hangi doğal kaynakları kullanmak avantajlı olacaksa o tercih edilerek o kaynak kullanılabilir.

Bu tez çalışmasının amacı, jeotermal kaynaklı ısı pompası kullanılan bir sera ısıtma sisteminin termal performansını matematiksel ve sayısal yöntemlerle incelemektir. Bu doğrultuda, ısı pompasının giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları geliştirilen matematiksel model yardımıyla hesaplanmış, aynı sistem ANSYS ortamında sayısal olarak modellenmiştir. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak matematiksel modelin doğruluğu değerlendirilmiş ve jeotermal kaynaklı ısı pompası sisteminin sera ısıtma uygulamalarındaki performansı analiz edilmiştir.

1.2. Literatür Özeti

Sera ısıtma sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması ve sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi amacıyla son yıllarda ısı pompası teknolojileri üzerine çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Özellikle jeotermal kaynaklı ısı pompaları, yüksek enerji verimliliği ve çevre dostu özellikleri nedeniyle sera ısıtma uygulamalarında önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Literatürde, farklı tipte ısı pompası sistemlerinin performans analizleri, enerji tüketimi, ekonomik değerlendirmeleri ve sayısal modellemelerine yönelik birçok araştırma bulunmaktadır. Bu bölümde, sera ısıtmasında kullanılan ısı pompası sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiş ve bu tez çalışmasının literatürdeki yeri ortaya konulmuştur (Arpacı, 2020). Van ilinin iklim şartlarında farklı ayar noktalarındaki seraların ısıtılması için su kaynaklı ve güneş enerjisi ile desteklenen bir ısı pompası sistemi tasarlamıştır. Isı pompalarının sera iklimlendirme sistemlerindeki ısı ve ekonomik etkileri değerlendirmiştir (Ekinci, 2019). Öte yandan (Yılmaz et al., 2025) çalışmalarında düşük kaynağa sahip jeotermal bulunan bölgelerde sera ısıtmasında jeotermal kaynaklı bir ısı pompası kullanımını ele almışlardır. (Kavga et al., 2023) çalışmalarında Ansys Fluentte bir sera simülasyonu oluşturarak doğal olayları simüle ederek LABVIEW ortamında otomatik kontrol sistemlerini ele almışlardır. (Duralıoğlu, 2009) yaptığı çalışmadan sera ısıtmasında jeotermal enerjiden faydalandığında teknik ve ekonomik açıdan analizini yapmıştır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2.1. Enerji

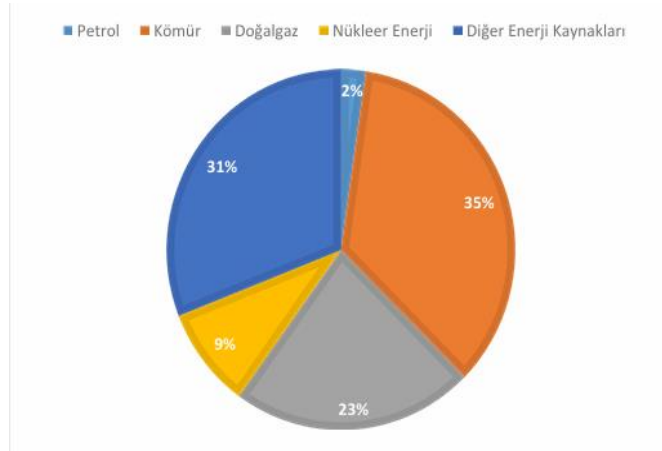
Enerji kavramı, çok değişik formlarda olabilen ve söz konusu olan kişi, nesne vb. için iş yapabilme yeteneğidir. Bu bir insan için yemek ve su içerek enerji depolayıp herhangi bir iş yapabilmesi veya çalıştırılmak istenen cihaza bir güç kaynağı bağlayarak o cihazı çalıştırmakta olabilir. Yani kısaca özetlemiş olursak her an her alanda enerjiye ihtiyaç duymaktayız. İnsanoğlu enerji kaynaklarını 19. yy. başlarında sanayi devriminin de etkisi ile sırasıyla odun, kömür petrol ve doğalgaz gibi maddeleri kullanmaya başlamıştır. İlerleyen süre zarfında insanlar yıllar geçtikçe teknoloji alanında gelişmiş ve kaynaklarında keşfi ile yaşamlarını kolaylaştırmaya çalışmışlardır. Hayatı kolaylaştıran enerjinin sürdürülebilir olması gerektiği ve insanlığın gelecek nesillerinin devamı daha çok enerji kaynaklarına bağlıdır. Enerji, sosyo ekonomik büyümelerini, siyasi alanda gelişmelerini ve şehirleşme bakımından teknolojiye ile bağlantılı olarak önemli bir rol oynamaktadır. Enerjinin bu kadar önemli bir rol oynaması ülkeleri enerji alanında daha fazla çalışma ve kaynak arayışına girmesine yol açmıştır.

Gelişmekte olan ülkeler kendinden daha fazla gelişmiş olan ülkelerin denginde olabilmek, gelişmiş olan ülkeler mevcut durumlarını koruyabilmek için daha fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Gelişmiş olabilmenin yanında ülkelerini daha temiz tutabilmek ve maliyetli bir enerji kullanabilmek için çalışmaktadır (Başaran, 2026). Bu çalışmalar neticesinde enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenemeyen enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmıştır.

2.1.1. Yenilenemeyen Enerji

Sürekli kullanım sağlanmayan, aşırı tüketim sonucunda bitebilen ve devamlılığı olmayan enerji kaynağıdır. Bahsedilen bu özelliklerin genel adı sürdürülebilirliktir. Yani yenilenmeyen enerji kaynakları sürdürülebilir değildir. Gelecek nesiller için bu enerji kaynaklarının var olacağından bahsetmek mümkün değildir. Bu kaynaklara örnek olarak petrol, kömür, doğalgaz ve nükleer enerji kaynaklarını verebiliriz. Dünya geneline bakacak olursak bu kaynakların kullanımı çok yaygındır.(Şekil1) Bunun sebebi ulaşılabilirliği ve kullanımının hem basit hem de düşük maliyetli olmasıdır. Bunların yanı sıra doğaya ve çevreye verdikleri zarar ise çok büyüktür. Bu kaynakların kullanıldıktan sonra atmosfere verdikleri gazlar hem insan sağlığı hem de yaşayan

diğer tüm canlılar için bir tehdit. Bu enerji kaynaklarına alternatifler arayarak kullanımını en aza indirmeliyiz.



Şekil 1 Yenilenmeyen Enerji Kaynaklarının Dünya Geneline Kullanım Oranları (Statistical Review of World Energy, 2024)

2.1.1.1. Fosil Yakıtların İnsan Sağlığı ve Çevre üzerindeki Etkisi

Fosil yakıtlar doğada sınırlı miktarda bulunan ve kendini yenileyemeyen bir enerji türüdür. Bunlara örnek olarak doğalgaz, kömür, nükleer enerji ve petrol verilebilir. Bu yakıtlar milyonlarca yıl önce yaşamış hayvan kalıntılarının yerin altında yüksek basınç ve yüksek sıcaklık ile kimyasal tepkimeler sonucu oluşmuştur. Bu kaynaklar şuan küresel açıdan enerji talebinin büyük bir kısmını karşılamaktadır. Bu kaynakların kullanımı sonucu atmosfere verdikleri sera gazları havamızı kirletirken küresel ısınmaya da sebep olmaktadır. Bu kaynakların giderek azalması sürdürülebilir olmadığının da kanıtıdır. Ekonomik açıdan vatandaşları ve ülke yöneticilerini zora sokan bir enerji kaynağıdır. Bu rezervlerin varlığı her yerde ve aynı miktarda değildir. Buda ülkelerin birbiri arasında bir rekabete ve ekonomik bağımlılığa sürüklemektedir (İmaç Akdaş, 2024).

Atmosfere yaydıkları sera gazları hem iklim değişikliklerine yol açmakta hem de yer kürede yaşayan tüm canlıların sağlığını tehdit etmektedir. Bu kaynakların kullanımı sonrası oluşan atıklar ise çevreyi tehdit eden başlıca unsurlardır. Toprağımıza karışarak tarım sektörünü olumsuz etkilemekte, sularımıza karışarak hem insan hem de suda yaşayan canlıların yaşamını tehdit etmektedir. Nükleer enerji kullanımında yaşanan herhangi bir kaza Chernobyl ve Fukushima gibi tarihte yaşanmış olayları akla getirmektedir. Güvenlik açısından ne kadar titiz davranılsa da oluşabilecek bir risk her zaman bulunmaktadır.

2.1.2. Yenilenebilir Enerji

Tüketildiği zaman yeniden oluşamayan, kullanımı esnasında yanarken tehlikeli gazlar açığa çıkaran yenilenmeyen enerji kaynaklarının aksine yenilenebilir enerji kaynakları kullanıldıkça tükenmeyen, çevreye zarar vermeyen temiz bir enerji türüdür. Bu enerji türüne yeşil enerjide denilmektedir. Yenilenmeyen enerji kaynakları olan petrol, kömür, doğalgaz gibi kaynakların çevremizi çok fazla kirletmesi ve yakın gelecekte tükenme riski olması sebebi ile yenilebilir enerji kaynaklarına yönelim gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları doğada kolayca bulunabilen kaynaklardır. Güneş, rüzgâr, yer altı ve yer üstü suları sayesinde güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji ve hidroelektrik enerjisi üretilebilmektedir. Bu enerji seçimlerinde önemli olan bulunduğumuz çevresel konumdur. Üzerinde yaşadığımız coğrafya da hangi enerji türünden maksimum şekilde verim alabiliyorsak o enerji türünde üretim yapmak mantıklı olacaktır.

İçinde bulunduğumuz yaşamın koşulları, bu koşulların gerektirdiği farklılıklar ile günden güne artan teknoloji ve inovasyon ile enerji kullanımı hız kesmeden artmaktadır. Buda ülkelerin daha fazla enerji tüketmesine ve bu tüketimi karşılayabilmeleri için titiz bir çalışma gerektirmektedir. Enerjide dışa bağımlı olmak bu süreçte ülke ekonomilerini çok fazla yıpratabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ülkeleri dışa bağımlı olmaktan kurtararak ekonomik açıdan da büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Yenilenmeyen enerji kaynaklarının atmosfere salınan sera gazı emisyonları ile dünyamız küresel ısınma ve iklim krizi sorunları ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu sorunları minimuma indirgeyerek atmosferi korumak için yenilenebilir enerji kullanımına teşvik yolları aranmıştır. Karbon fiyatlandırması, karbon vergisi gibi yöntemler örnek verilebilir.

Yenilenebilir enerji kullanımında en yaygın kullanılan kaynaklar şunlardır;

- Güneş enerjisi
- Rüzgâr enerjisi
- Hidroelektrik enerji
- Jeotermal Enerji

2.1.2.1. Güneş enerjisi

Güneş dünyamız için sonsuz bir enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde hem kullanımı en yaygın hem de diğer kaynaklara dolaylı yoldan temel oluşturmaktadır. Güneş enerjisi yeryüzünde en fazla coğrafi ulaşılabilirliğe sahiptir. Güneşlenme süresi fazla olan bölgelerde yüksek enerji potansiyeli söz konusudur. Güneş enerjisi ile elektrik üretimi, ısıtma uygulamalar, endüstriyel alanda kullanım ve enerji depolama gibi çok yönlü bir kullanımı olmaktadır.

Güneş enerjisini kullanılabilir bir enerjiye dönüştürmek için güneş pilleri veya güneş kolektörleri kullanılmaktadır (Kara, 2019). Güneş kolektörleri üzerinde bulunan panellere güneş ışınlarının düşmesi ile güç dönüştürücüler sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Güneş enerjisi yakıt maliyetinin olmaması, işletme maliyetlerinin düşük olması, doğaya ve çevreye karşı zararlı etkisinin olmaması, atık sorununun olmaması, her türlü arazi yapısında yararlanılmasının mümkün olması, tükenmeyen ve kendini yenileyebilme özelliğine sahip olması gibi avantajlara sahiptir. Bu avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. İlk yatırım maliyetinin yüksek olması, iklim ve coğrafi koşullardan etkilenmesi dezavantajlarıdır. Bunlar gelişen teknoloji sayesinde çözümü olabilecek problemlerdir. Enerji santralleri, tarım, ulaşım, ışıklandırma, ısıtma ve kurutma sistemleri gibi birçok endüstriyel alanda kullanım sağlanmaktadır(Orun, 2021).

BİRİNCİL KAYNAKLARA GÖRE SANTRAL ADETLERİ VE KURULU GÜÇ		
BİRİNCİL KAYNAK	SANTRAL ADEDİ	KURULU GÜÇ (MW)
Akarsu	610	8.296,3
Asfaltit Kömür	1	405,0
ATIK ISI	94	387,5
BARAJLI	141	23.275,2
Biyokütle	384	1.921,3
DOĞALGAZ	345	25.345,3
Fuel Oil	9	251,9
GÜNEŞ	9.353	9.425,4
İTHAL KÖMÜR	16	10.373,8
JEOTERMAL	63	1.691,3
Linyit	46	10.191,5
LNG	1	2,0
Motorin	1	1,0
NAFTA	1	4,7
RÜZGAR	358	11.396,2
TASKÖMÜR	4	840,8
TOPLAM	11.427	103.809,3

Şekil 2 TEİAŞ kurulu güç raporu (TEİAŞ)

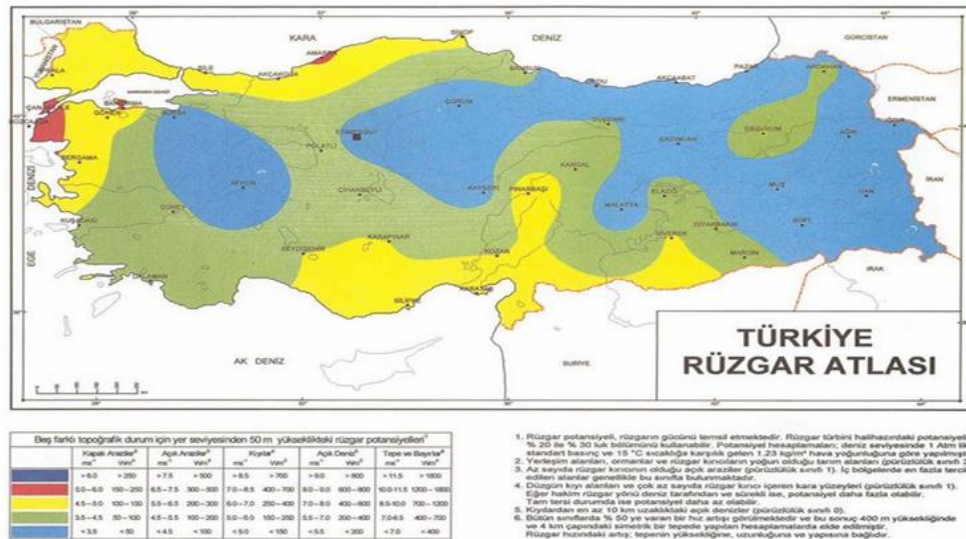
Türkiye’de TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim A.Ş.) ın Aralık 2022 tarihi için paylaştığı verilerde güneş santralleri sayısı 9.353 adet toplam kurulu gücü 9.425,4 MW olarak verilmiştir.



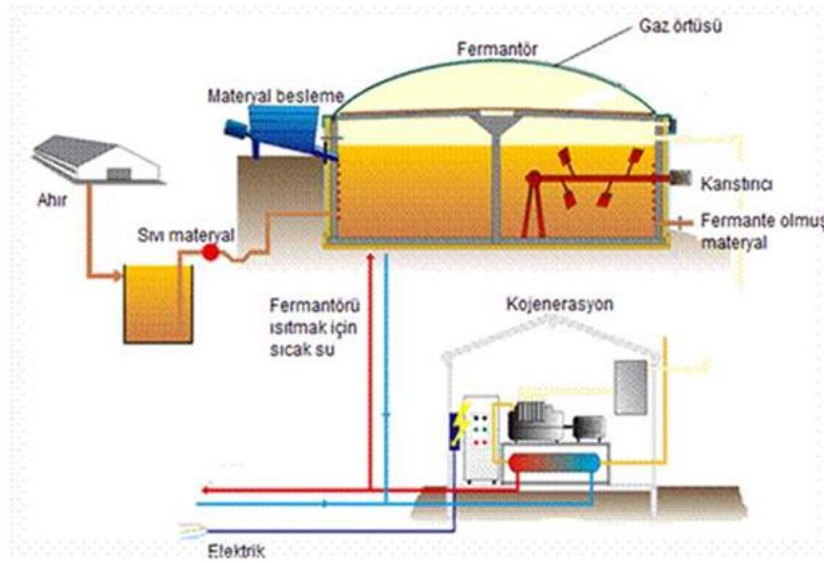
Şekil 3 Türkiye Güneşlenme Süresi Dağılımı (MGM, 2024)

2.1.2.2. Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr yeryüzüne gelen güneş ışınlarının geliş açısındaki farklılıklardan dolayı oluşan sıcaklık ve yüksek hava basıncının alçak hava basıncına doğru hareketinden ötürü oluşan bir hava hareketidir. Rüzgâr santrallerinin ana elemanı olan rüzgâr türbinleri, hareket halindeki havanın kinetik enerjisini mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Rüzgâr türbinlerini geliştirmek için yapılan çalışmalar ile birlikte farklı özelliklere sahip, güç ve boyut olarak geliştirilmiş rüzgâr türbinlerinin üretilmesi rüzgâr enerjisinde önemli gelişmelerin yaşanmasını beraberinde getirmiştir. Bu türbin kanatları rüzgârın enerjisinden maksimum faydalanabilmemiz için önemli bir rol oynamaktadır. Rüzgârın dağılımı ve şiddeti, havanın yoğunluğu gibi faktörler bu türbin kanatlarının performansını etkilemektedir (Kula, 2023).



Biyokütle enerjisinde öne çıkan ülkelerin ortak özellikleri geniş tarım ve ormanlar, biyokütle kaynaklarının fazlalığı, enerji politikaları, teknolojik alt yapı ve biyoyakıt üretimi bakımından uzmanlaşmış endüstri sanayisidir. Bu ülkelerin başlarında ABD, Brezilya, Amerika, Çin, İsveç gibi gelişmiş ülkeler gelmektedir. Biyokütle enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içinde enerji hedefine ulaşip ön plana çıkabilmesi için çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar için AB fonları ve Ar-Ge biyokütle projeleri büyük finansmanlar sağlamaktadır. Avrupa ülkeleri elde edilen biyokütle enerjisini biyoyakıt, elektrik ve ısı üretebilmek için kullanmaktadır (Başaran, 2026).



Şekil 5 Biyogaz Üretim Prosesi (Torunoğlu Gedik, 2015)

2.1.2.4. Hidroelektrik enerjisi

Hidroelektrik enerjisi hareket halinde olan suyun enerjisinden veya gücünden yararlanılmasından elde edilir. Bu enerji, hidroelektrik santralleri sayesinde üretilerek kullanılabilir bir enerjiye dönüşmektedir (Menteşe, 2024). Bu santrallerde akarsuların akış yönü önüne setler çekilerek suyun belli bir yükseklikten düşürülüp potansiyel enerjisi artırılır. Potansiyel enerjisi artan akarsu setlerin içine yerleştirilen ekipmanlar ile türbinlerden geçirilerek kinetik enerjiye dönüşüp türbinlere bağlı olan jeneratörde elektrik enerjisi elde edilebilir (Orun, 2021). Bu elektrik enerjisi santrallerde kolaylıkla depolanıp daha sonra da kullanımı sağlanmaktadır. İşletme ve bakım maliyetleri ucuz, yakıt gideri yok ve yüksek verimlilik sağlamaktadırlar.

2.1.2.5. Jeotermal Enerji

Üzerinde yaşadığımız dünyanın yer küre içinde çeşitli derinliklerinde depolanmış olan sıcak ve basınçlı akışkanları mevcuttur. Bu akışkan sıvı, buhar veya gaz fazda olabilmektedir. Bu akışkanları yeryüzüne çıkararak doğrudan veya dolaylı olarak enerji elde etmek mümkündür. Çıkan akışkanı doğrudan kullanarak ısıtma sağlayabilir ya da elektrik enerjisine çevirebiliriz. Jeotermal enerji doru bir şekilde kullanıldığı takdirde yenilenebilir enerji olarak ele alabiliriz. Doğru bir şekilde kullanımı sağlanmaz kullanılan akışkan tekrar yer kürenin içine geri verilmezse sürdürülebilirliği kaybolur. Jeotermal enerjiden elektrik üretimini 1900'lü yılların başında ilk defa İtalya gerçekleştirmiştir. İlk ticari jeotermal tesisi de yine İtalya 1913 yılında kurmuştur(Özbektaş ve diğerleri,2023).

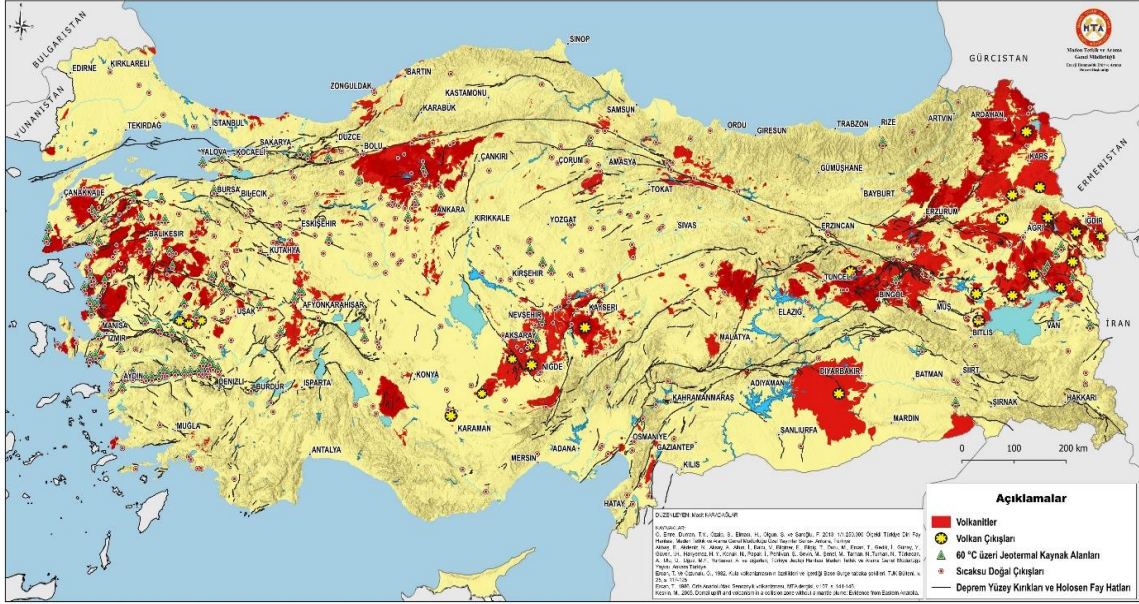
Jeotermal Kaynaklar ile;

- Elektrik enerjisi üretimi
- Merkezi ısıtma, soğutma (air-conditioning), sera ısıtması vb.
- Endüstriyel amaçlı kullanım, proses ısısı, kurutma vb.
- Kimyasal madde ve mineral, karbondioksit, gübre, lityum, ağır su, hidrojen vb. üretimi
- Kaplıca amaçlı kullanım (termal turizm)
- Düşük sıcaklıklarda (30 °C) kültür balıkçılığı vb.
- Mineralli su olarak içilerek kullanımı, gerçekleştirilmektedir (Kahraman, 2022).

Jeotermal enerji kaynakları diğer yenilenebilir kaynaklarına göre daha avantajlıdır. Taşıma masrafı ve taşıma problemleri yoktur, kurulum maliyetlerini de kısa sürede karşılayabilmektedir. İklim koşullarından etkilenmezler. Bulunan enerji kaynağını doğrudan kullanabildiğimiz için kullanımı en hazır kaynaklardandır. Patlama ve yangın riskleri olmadığı için güvenlidir.

Jeotermal enerji, bölge koşullarına ve jeotermal akışkanın yüzeye çıkan sıcaklığına bağlı olarak elektrik elde etmek ve doğrudan kullanım amacı ile değişkenlik gösterir. Günümüzde buhar türbinli santral sistemlerinde sıcaklığı 150-180 °C ve üzerinde olan akışkanlar elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Bunun yanında yeni geliştirilmiş yöntemlerle (Binary Cycle; izobütan ve freon gazı kullanarak) sıcaklığı 80 °C kadar olan akışkanlardan da elektrik

üretilebilmektedir. Elektrik üretimi için kullanılan jeotermal santralleri akışkanın sıcaklığına, akışkanın basıncına ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak farklı çevrimler kullanılır (Yuğaç, 2019).

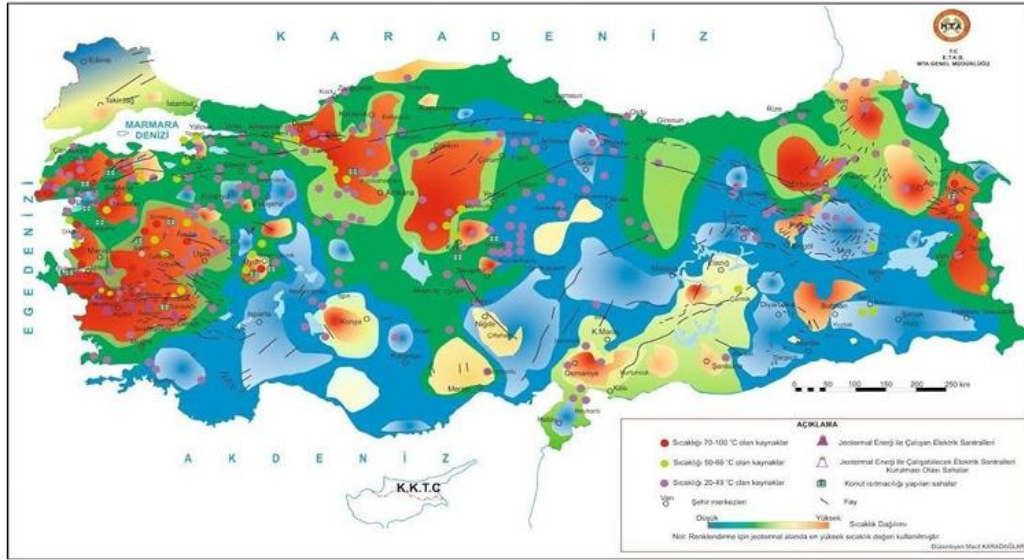


Şekil 6 Türkiye'nin jeotermal kaynaklar ve volkanik alanlar haritası (MTA, 2023)

2.1.2.5.1. Türkiye 'de Jeotermal Enerji

Türkiye 3. jeolojik zamanda oluşmuş olan genç bir ülkedir. Bulunduğu coğrafya itibari ile de tektonik bir kuşağa sahiptir. Bu sebeple jeotermal kaynaklar açısından zengin bir ülkedir. Neredeyse Türkiye'nin her tarafına yayılmış olan yaklaşık 1000 adet doğal çıkış şeklinde farklı sıcaklıklara sahip jeotermal kaynak vardır (TETKB,2023).

Türkiye'de ki jeotermal kaynakların yaklaşık %78'e yakını Batı Anadolu'dadır. Batı Anadolu'yu ise yaklaşık %9 ile İç Anadolu takip etmektedir. Bu kaynakların %90'ı düşük ve orta sıcaklıkta olan kaynaklardır. Bu kaynaklar genellikle doğrudan kullanılan ısıtma, turizm ve mineral eldesi gibi uygulamalarda kullanılmaya uygundur. %90 dışında kalan yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynaklar ise dolaylı kullanım olan elektrik enerjisi üretmek için uygundur (TETKB,2023).



Şekil 7 Türkiye'nin Jeotermal Kaynakları ve Uygulama Haritası (TETKB, 2023)

MTA (Maden Tetkik Arama) Genel Müdürlüğü tarafından jeotermal kaynakların arama ve yürütülmesi çalışmaları kapsamında 1962 yılında başlatılan jeotermal kaynak keşiflerinde günümüze kadar 287,5 °C sıcaklığa ulaşılmıştır.

1990–2004 yılları arasında yürütülen politikalar nedeniyle jeotermal enerji arama faaliyetleri büyük ölçüde yavaşlamıştır. Ancak 2005 yılından itibaren bu çalışmalar yeniden ivme kazanmış, sondajlı aramalar 2.000 metrelerden 28.000 metreye kadar ulaşmıştır. Bu dönemde MTA Genel Müdürlüğüne ayrılan ödenek de yaklaşık on kat artırılmıştır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının desteğiyle 2005 sonrası mevcut kaynakların geliştirilmesine ve yeni alanların araştırılmasına öncelik verilmiştir. Bu süreçte, 2004 yılı sonunda 3100 MWt olan kullanılabilir ısı kapasitesi, 2024 Haziran ayı itibarıyla 5000 MWt seviyesine yükselmiştir. MTA tarafından keşfedilen jeotermal saha sayısı 173'ten 246'ya çıkmış, bunların 16'sı elektrik üretimine uygun yeni sahalar olmuştur. Bugüne kadar gerçekleştirilen 671 sondaj çalışması ile toplamda 472.000 metre derinlikte arama yapılmış ve doğal çıkışlarla birlikte yaklaşık 5000 MWt ısı enerjisi elde edilmiştir.

2007 yılında yürürlüğe giren Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ile özel sektörün de sürece dahil olması, arama ve yatırım faaliyetlerini daha da hızlandırmıştır. Bu gelişmeler sonucunda ülkemizin toplam jeotermal ısı kapasitesi (görünür ısı miktarı) 40.000 MWt düzeyine ulaşmıştır (MTA, 2023).

Jeotermal saha araştırmalarında jeolojik, hidrolojik, jeokimyasal, jeofiziksel, topografik ve meteorolojik bulgular bir araya getirilerek gerekli değerlendirmeler yapılmaktadır. Daha sonra lokasyonunun belirlenmesi ve farklı keşif yöntemleri ile uygun sondaj noktaları bulunmaktadır. Bu teknikler şunlardır;

- a) Jeolojik ve Hidrolojik Teknikler: Çamur havuzları, jeotermal kaynaklar, gayzerler, zeminde buharlaşma gibi yeryüzü göstergelerine bakılarak ön keşif bölgesi seçilmektedir. Bulunan göstergeler kapsamlı bir liste ile derlenmektedir.
- b) Jeokimyasal Teknikler: Sıcak su ve buhar deşarjlarındaki kimyasal veriler keşif bölgesinde yapılan sondaj çalışmaları için ön fizibilite raporu önemli bilgiler içerir. Jeokimyasal, Jeolojik ve hidrolojik teknikler ile edinilen veriler sondaj vurulan yerdeki elde edilen akışkanların kimyasal analizleri, yeraltı akışkanlarının akış yolu hakkında yol göstermektedir. Bulunan rezervuarın sıcaklığı ve akışkanın kimyasına bağlı olarak çalışan kimyasal jeotermometreler, jeotermal enerji potansiyelini değerlendirmek için kullanılmaktadır.
- c) Jeofiziksel Teknikler: Bu yöntem yeraltına ait özellikleri sondaj yapmadan öğrenmemizi sağlayan tek yöntemdir. Bu teknikle diğer teknik özelliklere ek olarak ısı kaynakları, yer altı rezervuarlarının alansal sınırlarını, akışkanın yeryüzüne doğru çıkış zonlarını ve jeotermal kaynakların enerji potansiyeli ile ilgili bilgilere ulaşılabilmektedir. Elektriksel direnç, sismik kırılma, kuyu loglama, termal gradyan ölçmeleri ve gravite günümüzde kullanılmakta olan jeofiziksel yöntemlerdendir.
- d) UA Teknikleri: Geniş alanı kapsayan ve kısa sürede termal göstergeleri belirlemek için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik sayesinde termal anomaliler, hidrotermal alterasyon sonucu ile oluşun minerallerin kümelenmesi ve sıcaklık nedeni ile yeryüzündeki bitki örtüsünün etkilerinin ölçülmesi mümkündür.
- e) Keřif Sondajları: Kaynak araştırmasının son adımı olan keşif sondajı bahsedilen teknikler kullanıldıktan sonra elde edilen bulgular ile yer altındaki durumu anlayabilmek için yapılmaktadır. Bu alışma ile Jeotermal akışkanın akış sistem geometrisi, rezervuar geçirgenliği, Jeotermal potansiyelin sürekliliğinin sağlanması ve yeraltındaki termal anomalilerin belirlenmesi sağlanmaktadır (Yalçın, 2016).

2.1.2.5.2. Türkiye'nin jeotermal enerji için ulusal enerji stratejileri

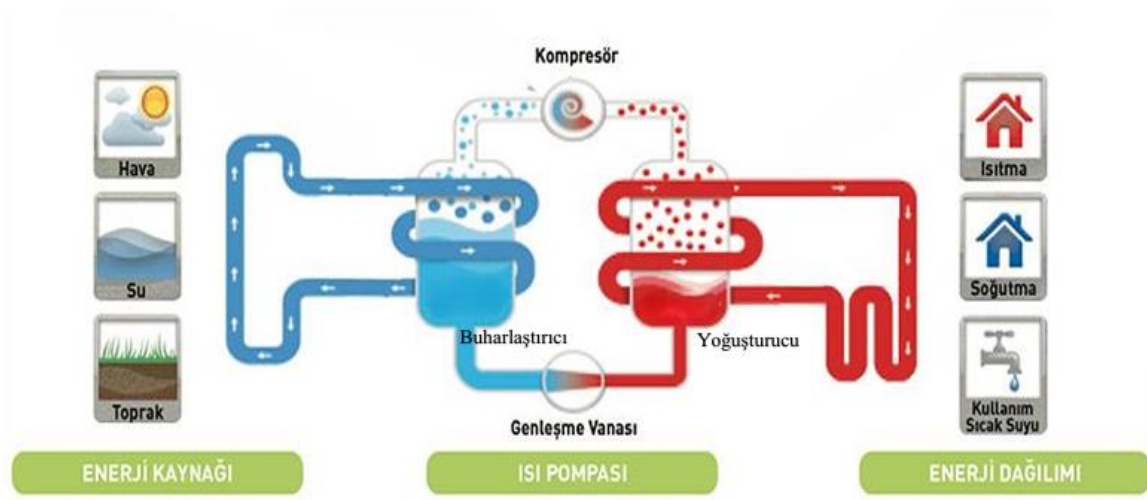
Türkiye sahip olduğu yüksek enerji potansiyeli ile jeotermal kaynaklar açısından zengin topraklara sahiptir. Bu kaynakların kullanımını doğru ve devlet gözetiminde yaparak daha sistemli bir şekilde çalıştırıp ekonomiye katkısı sağlanabilmektedir. Aksi halde hem çevreye büyük zararlar verebilir hem de yatırım maliyetlerini karşılamadığı için ekonomik çöküntülere sebep olabilir. Bu doğrultuda birçok strateji ve politikalar geliştirilmiş ve aşağıdaki başlıklarla özetlenmiştir:

- Özel Sektör ve Yerel Yönetim ile Aktif Olarak Bir Jeotermal Enerji Sektörü Geliştirmek
- MTA, TÜBİTAK, Üniversitelerin, Enstitülerin ve Özel Sektörün Katılımıyla Sektörün Temelini Genişletmek, Birlikte Büyümek ve Ar-Ge Planlamaları Yapmak
- Endüstri Standartlarının Geliştirilmesi, Bilgi Paylaşımı ve Şeffaflık Yoluyla Tüm Değer Zincirinde Sektörün Daha Fazla Profesyonelleştirilmesini Sağlamak
- Enerji Geçişi Bağlamında Jeotermal Enerji Hakkında Toplum İçinde Yerel ve Ulusal Bir Fikir Birliğini Sağlamak 21 • Yasa ve Yönetmelikler ile İlgili Düzenlemeler, İdari Yapılanma, Teşvik Mekanizmaları ve Öneriler Sunmak
- Mevcut Verilerin Değerlendirilmesi ve Yeni Arama- Araştırmaların Yapılması
- Mevcut Sübvansiyon Planının Kentsel Çevreyi Kapsayacak Şekilde Genişletilmesi ve Uygulama Bazında Ayrılmış Sondaj Sigortası
- İzin Başvurularını Hızlı, Açık, SistematiK ve Şeffaf Bir Şekilde İşleme Koyabilmek İçin Merkezi ve Yerel Yönetimde Yeterli Kapasitenin Bulunmasını Sağlamak
- Bölge Düzeyinde En Uygun Doğrudan Kullanım Uygulamalarının Nasıl Seçilmesi Gerektiği Konusunda Yönetmeliklere Dayalı Bir Karar Mekanizması ve Metodolojisinin Belirlenmesi
- Bölge Odaklı Bir Yaklaşım ve Yerel Yönetimlere Koordineli Isı TekliE Temelinde Isıtma Şebekelerinin Kurulması
- Devletin Çeşitli Kurumları Arasında Planlama ve Çevre Politikasını Koordine Etmek ve Optimize Etmek
- Sürdürülebilir Doğrudan Kullanım Uygulamaları ve Sektörel İyileştirmeyi Sağlamak İçin Sabit ve Öngörülebilir Uzun Vadeli Finans Odaklı Enerji Politikasının Belirlenmesi

- Jeotermal Akışkandan Mineral Eldesi ve Yenilikçi Uygulamaların Geliştirilmesi (Şener vd. 2022)

2.2. Isı Pompaları

Isı transferi aralarında sıcaklık farkı olan her ortamda gerçekleşebilmektedir. Bu transfer doğal yollarla olduğunda sıcak ortamdaki soğuk ortama doğru gerçekleşmektedir. Bu durumun tam tersi olarak soğuk ortamdaki sıcak ortama doğru geçiş ise ısı pompaları ve soğutma makinaları ile gerçekleştirilmektedir. Isı pompası ve soğutma makineleri aynı çevrim ile farklı amaçlar için çalışmaktadır. Bir ısı pompasının ısıyı çektiği kaynaklar; hava, su ve topraktır. Bu kaynakları kullanarak bir ısı pompası hem ısıtma hem de soğutma yapabilmektedir.



Şekil 8 Isı pompasının çalışma prensibinin şematik gösterimi (*Endüstriyel Isı Pompası Sistemleri 2026 | %50 Tasarruf - Erdiç Klima*)

Isı pompalarının içinde soğutucu bir akışkan bulunmaktadır. Bu akışkan ısı kaynağından aldığı düşük sıcaklık ile buharlaşabilme özelliğine sahiptir. Isı pompalarının çalışma prensibi Şekil 8’te verilmiştir. Isı transferi buharlaştırıcıda gerçekleştirilerek enerji kaynağındaki ısı soğutucu akışkana verilir. Isıyı alan soğutucu akışkan buharlaşarak kompresöre girer. Kompresörde sıkıştırma işlemi ile buharlaşan gazın sıcaklığı ve basıncı artar. Sıcaklığı ve basıncı artan gaz yoğuşturucuda istenilen ortama ısı vererek yoğunlaşır ve genleşme valfine doğru ilerler. Sıcaklığı düşen gaz genleşme valfinde basıncı düşürerek sıvı hale gelir ve çevrimini tamamlamış olur (Arpacı, 2020).

Soğutma makineleri ve ısı pompaları incelendiğinde çalışma prensiplerinin aynı olduğu görülmektedir. İki sistemde de sıcaklığı yüksek olan bölgeden sıcaklığı düşük olan bölgeye ısı çekilmektedir. Her evde bulunan buzdolabı, derin dondurucular ve klimalar ısı pompası çalışma prensibi ile çalışmaktadır. Isı pompasının bir tarafında soğutma olurken bir tarafında da ısıtma gerçekleşmektedir. Buzdolapları da çalışırken içi soğutulurken buzdolabının arkası ısınmaktadır. Böylece ısı pompası sistemlerinin iki tarafında çalışabileceği görülmektedir (Bıyıklıoğlu, 2024).

2.2.1. Isı pompası çalışma prensibi

Termodinamiğin sıfıncı yasasına göre ısı transferi yüksek olan sıcaklıktan düşük olan sıcaklığa doğru gerçekleşmektedir. Termodinamiğin ikinci yasası ise düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa bir ısı transferi gerçekleşmesi için bir iş yapılması gerekmektedir. Isı pompasında termodinamiğin bu yasalarına göre çalıştığı söylenebilir. Isı pompasına bir iş girdisi ile düşük olan sıcaklıktan yüksek olan sıcaklığa bir ısı transferi olmaktadır. Isı pompası içinde bulunan ekipmanlar ile içinde bulunan soğutucu akışkanın hal değiştirmesi ile sistemin bir döngü halinde çalışarak ısı transferini sağlamaktadır. Bu hal değişimini sağlayan ekipman kompresördür. Kompresörde akışkanın sıkıştırılıp basınç ve sıcaklığı artarak yoğuşturucuya aktarımı sağlanır. Yoğuşturucuya gelen buhar akışkan burada ısısını aktararak sıvı+buhar akışkan haline gelir. Sistemde ilerleyen sıvı+buhar akışkan genleşme valfi ile basıncı düşürülüp buharlaştırıcıya yönelir. Buharlaştırıcıda ortamın ısısını alarak buharlaşan soğutucu akışkan kompresöre geçerek sistemin devamlılığı sağlanır.

2.2.2. Isı pompası elemanları

Isı pompaları buharlaştırıcı, kompresör, yoğuşturucu ve genleşme valfi gibi temel elemanları ile çevrim sağlamaktadır.

2.2.2.1. Buharlaştırıcı

Buharlaştırıcı ısı iletkenliği çok yüksek demir, bakır, çelik ve alüminyum gibi malzemelerden üretilmektedir. Isı pompalarında buharlaştırıcı olarak plakalı ısı değiştiricileri de kullanılabilir. Sistemde bulunan soğutucu akışkan sabit basınçta sıvı olarak girip buharlaşarak gaz fazında çıkmaktadır.

Buharlaştırıcı tipleri bu soğutucu akışkanın çalışma koşullarına, beslenmesine, kontrol tipine ve uygulanmasına göre değişim göstermektedir(Arpacı, 2020). Buharlaştırıcının kullanımı sırasında ısı transfer katsayısının düşerek sistemin verimini negatif yönde etkilememesi için temizliklerinin aksatılmaması gerekmektedir.

2.2.2.2. Kompresör

Buharlaştırıcıdan çıkan gaz fazındaki soğutucu akışkan kompresör yardımı ile sıkıştırılarak yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlara getirilir. Kompresörler ısı pompalarının verimli çalışabilmeleri için önemli bir konumdadır. Çeşitli kompresör türleri mevcuttur;

- i.Pistonlu kompresörler
- ii.Scroll kompresörler
- iii.Vidalı kompresörler
- iv.Rotorlu kompresörler
- v.Santrifüj kompresörler

Isı pompalarında daha çok tercih edilen çeşit scroll kompresörlerdir. Bu kompresörler 2 adet iç içe geçmiş spirallerden oluşmaktadır. Sıkıştırma yapıldığı esnada üstte bulunan spiral sabit kalmakta, alttaki spiral yörüngesel hareket etmektedir. Bu hareket ile soğutucu akışkan spiralin merkezine doğru emme vasıtası ile sıkıştırılmaktadır. Bu spiraller arasında herhangi bir sürtünme olmadığından düşük güç değerinde yüksek verimde çalışabilmektedirler (Karabulut, 2024).

2.2.2.3. Yoğuşturucu

Kompresörde sıkıştırılan soğutucu akışkan kızgın buhar olarak yoğuşturucuya girer. Yoğuşturucuda soğuk akışkan hava ve su olarak kullanılabilir. Kızgın buhar yoğuşturucudan geçerken ısınıp burada soğuk olan akışkana verir ve yoğuşarak ısı kaybeder (İnan, 2014).

Yoğuşturucu içinde genellikle alüminyum borudan oluşan bir bobin bulunmaktadır. Bu bobin

bazen alüminyum kanatlı bakır borudan da imal edilebilmektedir. Yoğuşturucular genel olarak ısıyı aktardıkları ortama göre hava soğutmalı veya su soğutmalı olarak üretilmektedirler.

2.2.2.4. Kısılma Vanası (Genleşme Valfi)

Genleşme valfi ısı pompalarında basıncı düşürmek için kullanılmaktadır. Kızgın buhar olarak yoğuşturucuya girip ısı kaybeden buhar genleşme valfine girer. Genleşme valfinde basıncı düşürülür ve gaz fazından sıvı fazına geçer. Basınç düşümü yapmasının yanı sıra genleşme valfleri buharlaştırıcıya girecek olan soğutucu akışkanın miktarını da ayarlayabilmektedir (İnan, 2014). İklimlendirme ve soğutma sektöründe birçok farklı amaç için kullanılan çeşitli kısılma vanaları aşağıda verilmiştir;

- i. Otomatik genleşme vanası
- ii. Termostatik genleşme vanası
- iii. Elle ayarlama vanası
- iv. Elektronik genleşme vanası
- v. Şmandıralı genleşme vanası
- vi. Kılcal Borulu genleşme vanası (Bıyıklıoğlu, 2024)

2.2.2.5. Soğutucu Akışkan

Isı pompalarında kullanılan birçok farklı soğutucu akışkan bulunmaktadır. Bu soğutucu akışkanlar kloroflorokarbonlar (CFC), propan, freonlar, amonyak, karbondioksit etan vb. akışkanlardır. Bu akışkanlar arasında ısı pompalarında en çok tercih edilen freon grubudur. Soğutucu bir akışkan seçiminde soğutucu akışkanın soğuttuğu ortam ve çevrenin sıcaklığı etkin rol oynamaktadır. Gerekli olan ısı transferini sağlayabilmek için seçilen soğutucu akışkan ile ısı transferinde bulunduğu ortam sıcaklığı arasında 5 °C ile 10°C arasında fark bulunmalıdır. Soğutucu akışkanın yanıcı ve yakıcı olmaması, ucuz ve kolay bulunabilmesi, zehirleyici olmaması, uygun buharlaşma ve hacmine sahip olması dikkat edilmesi gereken hususlardır. Ayrıca yüksek ısı geçirgenliğine sahip bir soğutucu akışkan seçimi ile sistemin değişik sıcaklık koşullarına karşı tepkisi seri olabilmektedir (Arpacı, 2020).

2.2.3. Isı pompası çeşitleri

Isı pompaları kullanılacak olan enerji kaynağına göre değişmektedir. Bunlar su, hava ve toprak kaynaklı olarak sınıflandırılabilir. Bu kaynakların seçimi bulunabilirlik ve maksimum elde edilebilecek verim göz önünde bulundurularak yapılabilir.

2.2.3.1 Su kaynaklı ısı pompaları

Isı pompasında ana ısı kaynağı sudur. Akarsulara yakın alanlarda genellikle tercih edilen bir sistemdir. Suyun sıcaklık derecesi havaya göre daha az değişkenlik gösterir. Düşük hava sıcaklıklarında bile sistemin verimini korumaktadır. Ama havanın çok düşük olduğu durumlarda donma riski mevcuttur ve kurulum maliyetleri oldukça pahalıdır. Su kaynaklı ısı pompaları da kendi içlerinde yerüstü suyu kaynaklı ve yeraltı suyu kaynaklı olarak iki sınıfa ayrılabilir.

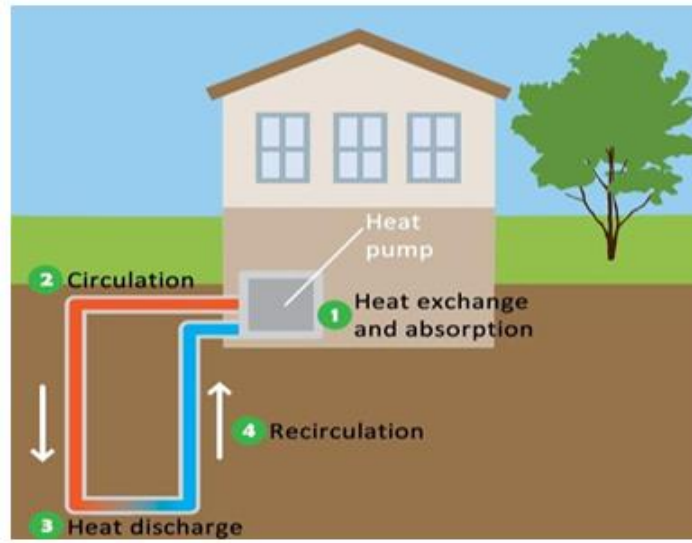
Yer üstü suyu kaynaklarında nehir ve göl gibi su kaynakları kullanılır. Kullanılmak istenen suyun sıcaklığı, 0°C' nin altında olması istenmeyen bir durumdur. Kullanılacak suyun sıcaklığı +8°C ile 12°C arasında olması sistem için yeterli çalışma sıcaklığı aralığıdır. Yerüstü su kaynakları havaya göre değişkenliği az olsa da yeraltı su kaynaklarına göre daha değişkendir (Karabulut, 2024).



Şekil 9 Yer üstü suyu kaynaklı ısı pompası kullanımının gösterimi(Karabulut, 2024)

Yeraltı suyu kaynaklı ısı pompalarında ana kaynak yeraltından temin edilen su ile sağlanmaktadır. Yeraltı sularının sıcaklık değişimi 10 metre ve altında yıl boyunca stabil kalabilmektedir. Bu durum ısı pompaları için bir avantajdır. Yer üstü sularına göre çoğu açıdan avantajlı görünse de yeraltından suyun çıkarılması için yapılması gereken işlemlerin maliyetli olması bir dezavantajdır.

Sondaj yapılarak bulunan su kaynağının ısısından faydalanabilmek için sirkülasyon pompası kullanılarak ısı pompasına iletimi sağlanabilmektedir. Pompa ile çekilen kaynak ısını soğutucu akışkana verdikten sonra enjeksiyon kuyusuna geri basılmalıdır (Şekil10).

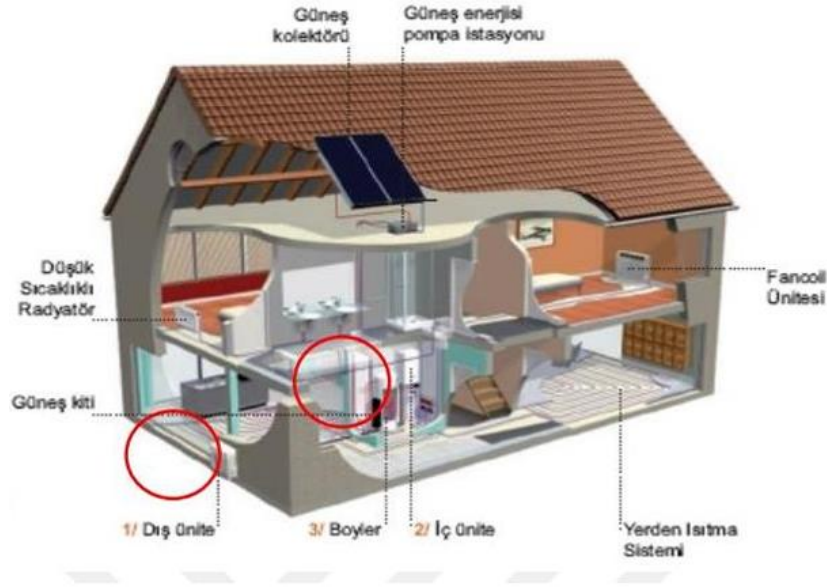


Şekil 10 Yeraltı suyu kaynaklı ısı pompası çalışma şeması (<https://www.pa-geo.org/geobasics>)

2.2.3.2. Hava kaynaklı ısı pompaları

Hava, doğada kolay ve bol bulunabilen düşük sıcaklıktaki bir ısı kaynağıdır. Hava kaynaklı ısı pompalarının verimi dış hava sıcaklığının değişimine bağlıdır. Su kaynaklı ısı pompaları ile karşılaştırıldığında mevsimsel performans oranları %20 civarı daha düşüktür. Hava kaynaklı ısı pompalarının çok fazla yer kaplamaması ve kurulum maliyetini düşük olması avantajları arasındadır. Dış ortam sıcaklıklarının sürekli değişmesi ve buzlanma olasılığı olması ise dezavantajlarıdır.

Hava kaynaklı ısı pompaları ısının alınıp verildiği ortama göre havadan havaya veya havadan suya olarak iki farklı şekilde adlandırılabilir (Kamuray, 2025).



Şekil 11 Genel bir hava kaynaklı ısı pompası kullanımı (Kamuray, 2025)

Isı pompalarında ısıtılmak istenen ortam ile ısı kaynağı arasında sıcaklık farkı artarsa ısı pompasının performansında azalma görülebilir. Kış aylarında dış ortam sıcaklıklarının çok düşmesi ile ısı pompasında arızalar olabilmektedir. Bu arızaların önüne geçebilmek için ek bir elektrikli ısıtıcı kullanımı yapılabilir.

2.2.3.3. Toprak kaynaklı ısı pompaları

Toprak her an her yerde bulunabilecek bir enerji kaynağıdır. Yeryüzüne düşen güneş ışınları ile yerküre ısınmaktadır. Toprağın derinliği de arttıkça içinde tuttuğu sıcaklık sabit kalmaktadır. Toprak diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında sıfırın altına düşmemektedir. Buda onu daha avantajlı hale getirmektedir. Yeraltının belirli bir derinliğine yerleştirilen borulardan soğutucu akışkan geçirilir ve topraktan ısı çekmesi sağlanır. Sirkülasyon pompası ile kapalı çevrimde çalıştırılarak konutların ısıtılması ve soğutulmasında kullanımı sağlanmaktadır (Arpacı, 2020). Toprağa yerleştirilen borular yerleştirilme biçimine göre yatay ve dikey olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 12 Yatay ve dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası (Karabulut, 2024)

Toprak kaynaklı ısı pompasının avantajları olduğu kadar dezavantajları da vardır. Kurulum maliyetleri yüksektir. Kurulum için sağlanacak yeterli bir arazi temini zordur. Kurulum aşamaları karışık ve zorlayıcı olabilmektedir. Bu konuda yeterli bilgi ve birikimi olan kalifiyeli eleman olmadığı için bakım ve servis yaptırmak zordur.

2.3. Seralar

Seralar; cam, plastik, fiberglas gibi örtü malzemesi kullanarak yetiştirilmek istenen bitki için uygun hava, nem ve sıcaklık koşulları sağlanarak yapılan örtülü tarım modelidir. Seralar, iklim koşullarına kısmen bağlı kalmadan ekonomik açıdan yüksek verim sağlayan bir sistemdir. Bu sistemler ile tohum, fide ve fidan yetiştiriciliği yapılabilmektedir. Kullanılan örtü malzemeleri ışık geçirime durumlarına göre sınıflandırılabilir. Seralarda birçok ürün yetiştirmek mümkündür. Bu ürünler arasında yaygın olarak domates, marul, çilek ve salatalık gibi sebzeler yetiştirildiği gibi gül, karanfil ve begonya gibi çiçeklerde yetiştirilmektedir.

Gelişen teknoloji sayesinde sera içine kurulan otomasyon sistemleri ile bitki için olması gereken ısı, ışık, nem, sulama ve gübreleme gibi birçok şeyi otomatik olarak yapmak mümkün hale gelmiştir. Bu sistemlerin kurulum maliyetleri yüksek olduğu için otomasyon sistemleri kullanmadan yapılabilen plastik seraların kullanımı daha yaygındır. Seralarda en çok enerji harcamaları kış aylarında seraları ısıtmak için yapılmaktadır. Enerji kaynaklarının kısıtlı olması sebebi ile bu maliyetlerde artışlar olmaktadır. Bu sebeple maliyeti düşürebilmek için çalışmalar yapılmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru bir yönelim olmuştur (Arpacı, 2020). Ülkemizde seracılığa teşvik etmek ve seracılığı geliştirmek adına destek politikaları uygulanmaktadır.

Seralarda bitki gelişimini etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biri sıcaklıktır. Bitkilerin çimlenme, büyüme, çiçeklenme ve ürün verme süreçleri belirli sıcaklık aralıklarında optimum düzeyde gerçekleşmektedir. Özellikle kış aylarında ve düşük sıcaklığın hâkim olduğu bölgelerde sera içi sıcaklığın istenilen seviyede tutulamaması, bitki gelişiminin yavaşlamasına, verim ve kalite kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle sera içerisinde uygun sıcaklık koşullarının sağlanması, üretimin sürekliliği ve ürün kalitesinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Sera ısıtma sistemlerinin doğru tasarlanması ve enerji verimliliği yüksek teknolojilerin tercih edilmesi, hem üretim maliyetlerinin azaltılmasına hem de sürdürülebilir tarımsal üretime önemli katkılar sağlamaktadır.

2.3.1. Sera örtü malzemeleri

Seralar için kullanılan örtü malzemeleri bitkileri dış ortamdaki rüzgâr, her türlü yağış çeşidi, zararlı ve aşırı güneş ışınlarından koruma amacı sağlamaktadır. Örtü malzemesi sera için bir mikro klima oluşturmaktadır. Bu mikro klima ile bitki gelişiminin hızlanmasına ve uygun sıcaklığın oluşmasına etki etmektedir. Seralar özel çelik konstrüksiyon yapılar ile birlikte özel örtü malzemesi kullanılarak oluşturulmaktadır. Genel olarak cam ve plastik malzemeler kullanılarak seraların örtümü sağlanmaktadır. Plastik seraların kullanımı cam seralara göre daha yaygındır. Bunun sebebi cam seralar plastik seralara göre maliyet açısından daha pahalı olmasıdır. Cam seralar önceden plastik seralara göre daha uzun ömürlü, daha fazla verim sağlanabilir seralardı. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte plastik seralarda cam seralar kadar verim sağlayabilmektedir. Sera örtü malzemesi seçerken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır (Yılmaz, 2022). Bu hususlardan bazıları şunlardır;

- i. Global radyasyon ışık geçirgenliği
- ii. UV (mor ötesi) ışınların geçirgenliği
- iii. Örtü malzemesinde seranın içinde olan kısmında nemden kaynaklı yoğunlaşma olma durumu
- iv. Rüzgâr , dolu ve kar yağışına karşı dirençli olması
- v. Uzun dalga boylu radyasyoların düşük geçirgenliği
- vi. Örtü malzemesinin ısı iletim kat sayısı
- vii. Ekonomik açıdan karşılaştırma

Plastik ve cam sera dışında kullanımı yaygınlaşan bir diğer örtü malzemesi de Polikarbonattır. Bunların çift veya çok katlı olarak üretimi yapılmaktadır. Kalınlığının artırılması ile solar radyasyon geçirgenliği azaltılmak istenmiştir. Bu solar radyasyon geçirgenliği cam kadar iyi olmasa da camdan daha hafif bir malzeme olarak elde edilmesi ön plana çıkmaktadır.

Maliyet bakımından daha uygun ama kalitesi bahsedilen örtü malzemelerine göre düşük seviyede olan Polietilen örtü malzemesi de sıkça ucuz olduğu için tercih edilebilmektedir. Bu malzemelerin kullanım ömürleri de kısadır. Kullanan kişiler bunun bilincinde olarak sadece daha ucuz diye bu malzemeyi tercih etmektedir. Bu malzemelerinde kalitesini biraz artırabilmek için içine katkı malzemeleri (UV katkılı, IR katkılı ve Antifog katkılı) eklenebilmektedir (Çaylı, 2014). Kullanıcılar örtü malzemesini seçerken yetiştirmek istediği ürünün yetiştirme koşullarını iyi araştırarak serasının bulunduğu çevre koşullarına uygun sera örtü malzemesinin seçimini yapmalıdır.

2.3.2. Sıcaklığın bitki üzerine etkisi

Seradan yüksek verim almak tek başına yeterli değildir. Bunun yanında kaliteli verim almakta önemlidir. Kaliteli verim alabilmek için sera içi iklimin uygun şartlarda olması gerekmektedir. Kullanıcılar hem yüksek hem kaliteli bir verim almak istiyorlarsa sera içini yetiştirilmek istenen ürüne uygun koşullara getirmelidir.

Kışın sıcaklıkların 0°C'nin altına düşerek don olmaması için seraların içi ısıtılmaktadır. Her bitkinin yetiştirilme ortamı farklıdır. Uygun sıcaklık durumuna gelmesi için seralar sürekli ısıtılmak durumdadır. Bitki için uygun sıcaklığın çok üstüne çıkıldığı durumda istenmemektedir. Dış sıcaklığın fazla olduğu zamanlarda sera içinin soğutulması için havalandırma iyi yapılmalıdır.

2.3.3. Seralarda ısıtma

Sera içinde yetişen her bitkinin sıcaklık isteği farklıdır. Hangi bitkinin yetiştirilmesi isteniyorsa o bitki için uygun sıcaklık ortamı olması gerekir. Seraların kurulduğu çevre koşulları da göz önünde bulundurulmalıdır. Soğuk kış aylarında yaşanan fazla sıcaklık düşüşleri seralar için istenmeyen bir durumdur. İstenmeyen bir diğer durumda sıcaklığın fazla olmasıdır. Soğuk aylarda serayı ısıtıp sıcak aylarda da seranın içini soğutmak gerekmektedir. Günümüzde

enerjinin oldukça pahalı olması seracılık ile uğraşan çiftçilerimizi zor bir duruma sokmaktadır. Seraları ısıtmak için yaygın olarak kullanılan fosil yakıt kullanımını en aza indirerek enerji tüketimini kâra dönüştürebilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmaya başlanmıştır. Son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan ısı pompaları sayesinde yenilenebilir enerji kaynakları ile maliyeti düşük ve kaliteli ürün yetiştirilebilmektedir. Seralarda ısı pompası ile ısıtma yöntemleri arasında en verim sağlanabilecek olan yöntem jeotermal kaynaklı bir ısı pompası kullanmaktır. Sera içine nizamlı bir şekilde yerleştirilen ısıtma boruları ile sera içini sıcak tutmaya çalışılmaktadır. Verimi yüksek tutabilmek için detaylı ve planlı bir analiz gerekmektedir. Seranın ebatları, sera için kullanılan örtü malzemesi ve serada yetiştirilmek istenilen ürün göz önüne alınarak gerekli hesaplamalar yapılmalıdır.



Şekil 13 Jeotermal kaynaklı ısı pompası ile ısıtılan sera örneği ([Obogrev-3-min.jpg \(1200×800\)](#))

3. YÖNTEM

3.1. Sera Kurulumu Yapılacak Bölgenin Özellikleri

Kuzey Anadolu fay hattı üzerinde bulunan Erzincan doğu-batı ve kuzey-güney doğrultusunda önemli bir konumda bulunmaktadır. Fay hattı üzerinde bulunması sebebi ile jeotermal kaynak bulunabilirliği oldukça yüksektir. Tasarlanan serada kullanılmak istenen jeotermal kaynak için Erzincan ili seçilmiştir.

Erzincan ili yaklaşık olarak 1.190.300 hektar yüzölçümüne sahiptir. Bu yüzölçümünün yaklaşık %18'ini tarımsal alanlar, %27 kadarını orman alanları, %37'si mera ve çayır alanları kalan kısmını ise tarım dışı alanlar kaplamaktadır. Erzincan ovası kalın bir alüvyon tabakası ile oluşan verimli topraklara sahiptir. Etrafının dağlık olması sebebi ile mikroklima özelliği de olan önemli bir tarım havzasıdır (Erzincan İl Tarım ve Orman Müdürlüğü).

Erzincan'da kullanılan Çiftçi Kayıt sisteminde toplam 8.069 işletme gözükmemektedir. İl genelinde tarımsal alandaki en önemli ürünleri; cimin üzümü, dermason fasülyesi, ceviz, dut, buğday, şeker pancarı, elma, armut, domates, salatalık, biberdir.



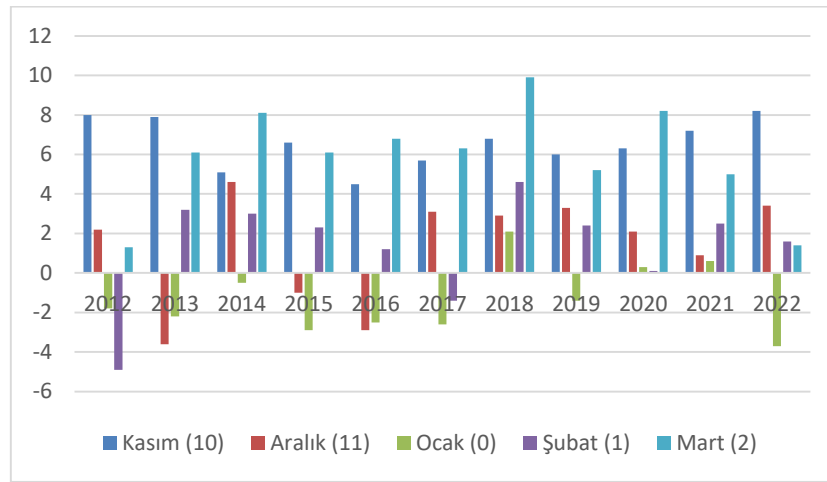
Şekil 14 Erzincan ilinin konumu (<https://kudaka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/erzincan-ilinde-seracilik-sektorel-arastirma-raporu.pdf>)

Erzincan da son zamanlarda seracılık oldukça yaygınlaşmıştır. Erzincan ilinde 2023 yılında il genelinde 505 dekara ulaşılmıştır. Erzincan ili yaz aylarında plastik seralarda kontrollü olarak yapılan örtü altı yetiştiriciliğinde uygun bir bölgedir. Yaz aylarında Marmara, Ege, Akdeniz bölgelerinde yaşanan aşırı sıcaklar seralar için bir dezavantajdır. Bu bölgelere göre daha serin olan Erzincan gibi iller yazın seracılık yapılabilmesi açısından daha avantajlıdır.

Tablo 1. 2019-2023 yılları arasında Erzincan'da yetiştirilen örtü altı tarım ürünleri
(<https://kudaka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/erzincan-ilinde-seracilik-sektorel-arastirma-raporu.pdf>)

Yıl	Toplam (Ton)	Domates (Ton)	Hıyar (Ton)	Pathıcan (Ton)	Biber (Ton)	Marul (Ton)
2019	4.643	2.255	2.388	—	—	—
2020	5.868	3.051	2.723	36	50	8
2021	9.856	6.386	3.033	300	112	25
2022	10.079	6.619	3.002	310	120	28
2023	9.580	5.534	3.544	347	129	26

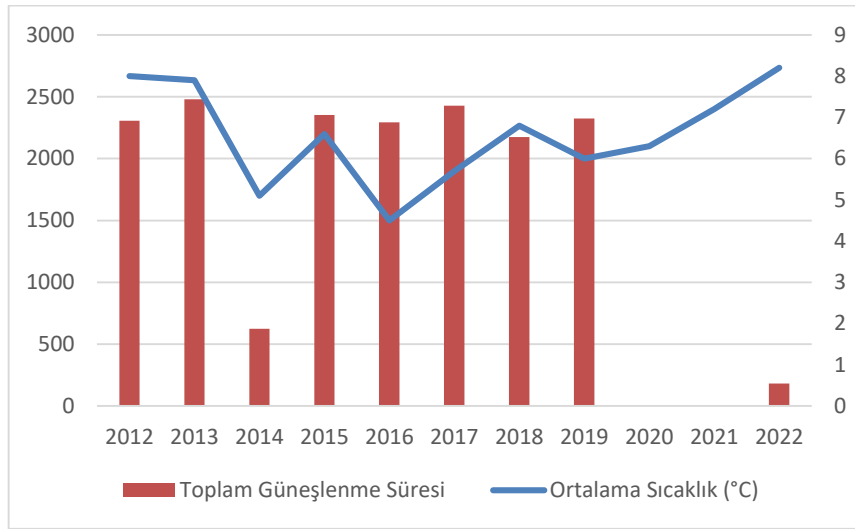
Tablo 1’de verilen bilgilere bakıldığında Erzincan ilinde seralarda en çok yetiştirilen ürün domatestir. Domates genel olarak serada Nisan ve Ekim ayları arasında yetiştirilmektedir. Bunun sebebi kışın çok sert geçmesi yüzünden seralarda domates yetiştiriciliği yapılamamasıdır. Kışın seralarda domates yetiştirmek için serayı ısıtmak gerekmektedir. Seraları ısıtmak için kullanılan en yaygın kaynak fosil yakıtlardır. Bu kaynaklar hem tükenme riski ile karşı karşıya hem de oldukça maliyetlidir. Son zamanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanımı söz konusu olmaya başlamış ve bakanlıklar tarafından çeşitli teşviklerde bu kullanımı yaygın hale getirmeyi amaçlamıştır.



Şekil 15 Erzincan ilinin 2012-2022 yılları arasında kasım ayının ortalama sıcaklıkları (MGM)



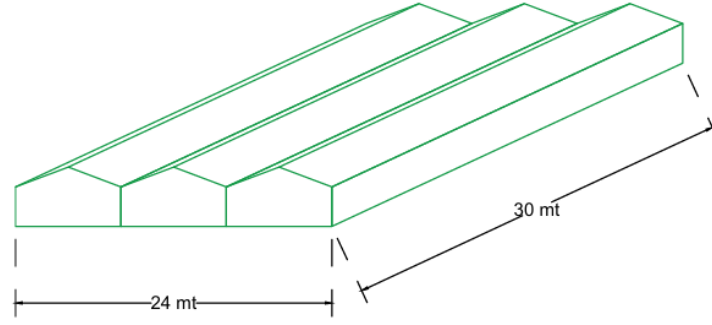
Şekil 16 Erzincan ilinin 2012-2022 yıllarında Kasım ayında ortalama güneşlenme süresi (MGM)



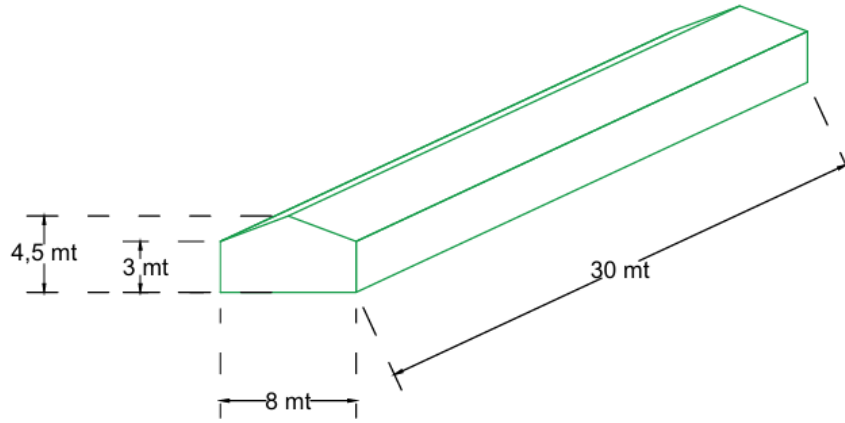
Şekil 17 2012-2022 yılları arasında Kasım ayında Erzincan ilinin toplam güneşlenme süresi (MGM)

3.2. Sera Teknik Özellikleri

Tasarımda kullanılan sera 4 tünel sera olarak tasarımı düşünülmüştür. Şekil 19’ da verilen tünel sera AutoCad programında çizilmiştir. Analizi yapılırken 3 tünel yerine tek tünelmiş gibi düşünülecektir. Tek tünel seranın boyu 30 metre, eni 8 metredir. Yüksekliği 4,5 metredir. Tasarlanan sera için örtü malzemesi çift kat naylon olarak düşünülmüştür. Sera ısıtması için sera içine yerleştirilen borular çelik boru seçilmiştir. Örnek sera yapılacak olan il Erzincan ili seçilmiş ısı hesabında yapılan işlemlerde buna göre ilerlenmiştir



Şekil 18 Tasarlanan örnek sera



Şekil 19 Tasarım için kullanılan seranın bir tünelinin ölçüleri

3.3. Isı Hesabı

Isı hesabını yapmadan önce seranın yüzey alanları bulunmuştur.

- Ön ve arka yüzeyler alanı ;

$$A_{\text{ön,arka}} = 2[(8 \times 3) + \left(\frac{8 \times 1,5}{2}\right)] = 60 \text{ m}^2 \quad (1)$$

- Yan yüzey alanı;

$$A_{\text{yan}} = 2 \times (30 \times 3) = 180 \text{ m}^2 \quad (2)$$

- Üst yüzey alanı;

$$A_{üst} = 2 \times 4,27 \times 30 = 256,2 \text{ m}^2 \quad (3)$$

1 tünel sera için bulunan yüzey alanları toplamı 496,2 m²'dir.

Heating						
Entering Fluid Temp (°F) Source	Entering Fluid Temp (°F) Load	GPM	Discharge Pressure	Suction Pressure	Water Temp Rise °F (Source)	Water Temp Drop °F (Load)
30	60	4	188-208	50-60	7-9	8-10
		8	178-198	57-67	3-5	4-6
	80	4	256-276	55-65	6-8	8-10
		8	243-263	59-69	3-5	4-6
	100	4	335-355	56-66	5-7	8-10
		8	323-343	61-71	3-5	4-6
	120	4	436-456	62-72	5-7	8-10
		8	422-442	67-77	2-4	4-6
	60	4	205-225	79-89	10-12	12-14
		8	190-210	87-97	5-7	6-8
	80	4	272-292	79-89	9-11	11-13
		8	256-276	87-97	5-7	6-8
50	100	4	355-375	83-93	8-10	11-13
		8	338-358	92-102	4-6	5-7
	120	4	457-477	91-101	8-10	11-13
		8	438-458	99-109	4-6	5-7

Şekil 20 Bosh marka ısı pompası genel özellikleri (Bosh)

Şekil 21’de verilen Bosh marka ısı pompası kataloğundan seçilen TW025 tip ısı pompasının özellikleri yer almaktadır. Tasarımda kullanılmak için 50°F kaynak sıcaklığından 120°F sıcaklığı sağlayan ısı pompası seçilmiş ve özellikleri tasarımda göz önüne alınmıştır. Tabloya göre ısı pompasının debisi 4 GPM (Dakikada Galon Akışı) verilmiş. Buda 0,000252 m³/s ‘ye denk gelmektedir.

Sera içinde çelik ısıtma boruları kullanılarak ısıtma işlemi yapılacaktır. Jeotermal kaynağın sıcaklığını kullanarak ısı pompası ile sera içinde borularda sürekli çevrim sağlanacaktır. Kullanılan borunun iç çapı 0,05 m, dış çapı 0,056 m seçilmiştir. Bu doğrultuda çelik boru özellik tablolarından debisi 0,000252 m³/s olarak alınmıştır. Boru içindeki suyun sıcaklığı 50°C olduğu varsayılarak suyun özellik tablolarından yoğunluğu 988kg/m³ dinamik viskozitesi 0,00055 Pa.s , ısı iletim kat sayısı 0,643 W/m.K , Pr sayısı ise yaklaşık 3,6 olarak bulunmuştur. Aşağıda verilen 4, 5, 6, 7 ve 8 numarlı denklemler sera ısı ihtiyacını bulabilmek için kullanılacaktır.

$$\dot{m}_{air} c_{p,air} \frac{dT_i}{dt} = Q_{hw} + Q_{solar} - Q_{loss,kaplama} - Q_{loss,inf} \quad (4)$$

$$Q_{hw} = U_{hw} A_{hw} (T_{pipe_mean} - T_i) \quad (5)$$

$$Q_{loss,kaplama} = U_{kaplama} A_{kaplama} (T_i - T_o) \quad (6)$$

$$Q_{loss,inf} = \dot{m}_{air,inf} c_{p,air} (T_i - T_o) \quad (7)$$

$$Q_{solar} = \tau A_{kaplama} I_{solar} \quad (8)$$

Q_{hw} sera içindeki sıcak su borularından seranın iç havasına aktarılan ısı miktarıdır. U_{hw} sera içindeki ısıtma borularının ısı iletim katsayısıdır. A_{hw} ısıtma borularının alanını ifade etmektedir. T_{pipe_mean} borudaki suyun sıcaklığı, T_i seranın iç hava sıcaklığıdır. $Q_{loss,kaplama}$, seranın yüzeyindeki kaplama malzemesinden (cam, plastik vb.) gerçekleşen ısı kaybıdır. $U_{kaplama}$ örtü malzemesinin ısı iletim katsayısı, $A_{kaplama}$ örtü malzemesi yüzey alanını ifade etmektedir. T_o burada seranın bulunduğu yerin dış hava sıcaklığıdır. $Q_{loss,inf}$ infiltrasyon veya havalandırma ile olan ısı kaybıdır. $\dot{m}_{air,inf}$ havanın debisi, $c_{p,air}$ havanın özgül ısısıdır. Q_{solar} güneşten olan ısı kazancını ifade etmektedir. τ , seranın kaplama malzemesinin güneş ışığını içeri geçirme katsayısıdır. I_{solar} seranın bulunduğu bölgeye birim zamanda düşen güneş enerjisi miktarıdır.

Tasarımda sera örtü malzemesi olarak çift kat naylon kullanılacaktır. Çift kat naylon için ısı transfer kat sayısını bulabilmek için Tablo2 kullanılmıştır.

Tablo 2. En genel kullanılan sera malzemeleri için rüzgâr hızına bağlı olarak değişen ısı transfer katsayıları (Wt/m².°C) (Duralıoğlu, 2009)

Malzeme	0 (m/s)	2.24 (m/s)	4.47 (m/s)	8.94 (m/s)	11.18 (m/s)	13.41 (m/s)
Cam	4.34	5.40	5.91	6.47	6.59	6.70
Fiberglass	3.95	4.91	5.39	5.87	6.01	6.12
Tek kat naylon	4.60	5.68	6.19	6.76	6.87	6.98
Çift kat naylon	3.04	3.58	3.83	4.07	4.13	4.18

Erzincan ili için MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) tarafından yayınlanan veriler doğrultusunda 2012-2022 yılları arasında ortalama rüzgâr hızı 5,61 m/s olarak alınabilmektedir.

Tabloda verilen bilgiler ile interpolasyon yapılarak çift kat naylon için 5,61 m/s hızda ısı transfer kat sayısı 3,89 Wt/m².°C bulunmuştur. Bulunan değerler 9 numaralı denklemde yerine yazılara kaplama malzemesinden oluşan ısı kaybı bulunmuştur.

$$Q_{\text{loss,kaplama}} = U_{\text{kaplama}} A_{\text{kaplama}} (T_i - T_o)$$

$$Q_{\text{loss,kaplama}} = 3,89 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 496,2 m^2 \times [15 - (-10)] = 48,25 kW \quad (9)$$

Sera Kaplama Malzemesi	Hava değişimi/saat
Tek Cam	2.5-3.5
Çift Cam	1.0-1.5
Fiberglas	2.0-3.0
Tek kat naylon	0.5-1.0
Çift kat naylon	0.0-0.5
Tek kat naylon-alçak fiberglass kenarlar	1.0-1.5
Çift kat naylon-alçak fiberglass kenarlar	0.5-1.0
Tek kat naylon-yüksek fiberglass duvarlar	1.5-2
Çift kat naylon yüksek fiberglass duvarlar	1.0-1.5

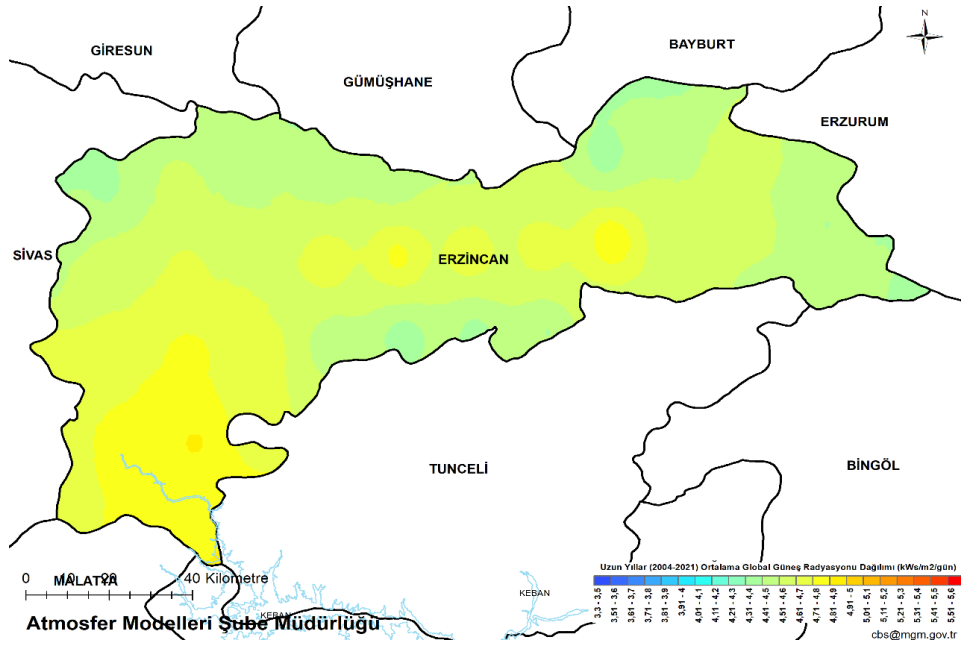
Şekil 21 Sera örtü malzemelerinin saatteki hava değişim kat sayıları(Duralıoğlu, 2009)

Sabit basınçtaki hava için özellik tablolarından özgül ısı değeri c_p değeri 1005 J/kg°C, yoğunluk değeri olan ρ 1,29 kg/m³ olarak alınmıştır. Saatteki hava değişim kat sayısı çift kat naylon için 0,5 olarak seçilmiştir. Bu değerler havalandırma ile olan ısı kaybını bulabilmek için kullanıldığında 11 numaralı denklemdeki sonuç elde edilmiştir.

$$Q_{\text{loss,inf}} = \dot{m}_{\text{air,inf}} c_{p,\text{air}} (T_i - T_o)$$

$$Q_{\text{loss,inf}} = V \text{ SHD } c_p \rho (T_i - T_d) \quad (10)$$

$$Q_{\text{loss,inf}} = \frac{1800 \times 0,5 \frac{1}{h} \times 1005 \frac{J}{kg^\circ C} \times 1,29 \times [15 - (-10)]}{3600} = 13,23 kW \quad (11)$$



Şekil 22 Erzurum ilinin günlük ortalama güneş radyasyon değerlerini gösteren harita (MGM,2025)

Güneşten gelen ısı kazancını bulabilmek için şekil 36 ‘da verilen haritaya göre ortalama değer olarak $4,6 \text{ kW/m}^2/\text{gün}$ 24 saatlik ortalama bir değer olan $191,67 \text{ W/m}^2$ ’ye dönüştürülerek işlem gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjisinin seralarda faydalı enerjiye dönüşme oranı 0,5 olarak kabul edilmiştir.

$$Q_{\text{solar}} = \tau A_{\text{kaplama}} I_{\text{solar}}$$

$$Q_{\text{solar}} = 0,5 \times 191,67 \text{ W/m}^2 \times 256,2 \text{ m}^2 = 24,55 \text{ kW} \quad (12)$$

Q_{hw} ‘yi yani sera içindeki sıcak su borularından seranın iç havasına aktarılan ısı miktarını bulabilmek için sera içindeki ısıtma borusundaki suyun çıkış sıcaklığını (T_r) bulmamız gerekmektedir. Bunun için 13 numaralı denklem kullanılmıştır.

$$Q_{\text{hw}} = U_{\text{hw}} A_{\text{hw}} (T_{\text{pipe_mean}} - T_i) = m_{\text{hw}} C_{\text{hw}} (T_s - T_r) \quad (13)$$

T_s ısı pompasından gelen sıcak suyun derecesidir. Şekil 33 te ısı pompası kataloğundan seçilen değere göre seraya verilen sıcak suyun sıcaklığı 50°C ‘dir. A_{hw} boru ısıtma borusunun alanı πDL formülünden L_{boru} uzunluğu tek hat için 30 mt , $D=0,0056 \text{ m}$ alındığından sonuç $A_{\text{hw}}=5,27 \text{ m}^2$ çıkmaktadır.

$$T_{\text{pipe_mean}} = \frac{T_s + T_r}{2} \quad (14)$$

$$T_r = \frac{T_s (m_{hw} c_{hw} - (U_{hw} A_{hw})/2) + U_{hw} A_{hw} T_i}{m_{hw} c_{hw} + (U_{hw} A_{hw})/2} \quad (15)$$

$$T_r = \frac{50^\circ\text{C} (1 \text{ m}^3 \times 4,186 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} - (0,834 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{C}} \times 5,27)/2) + 0,834 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{C}} \times 5,27 \text{ m}^2 \times 15}{1 \text{ m}^3 \times 4,186 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} + (0,834 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{C}} \times 5,27)/2} \quad (16)$$

$T_r \sim 20^\circ\text{C}$ bulunmuştur.

$$Q_{hw} = U_{hw} A_{hw} (T_{\text{pipe_mean}} - T_i)$$

$$Q_{hw} = 0,834 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{C}} \times 5,27 \text{ m}^2 (17,5^\circ\text{C}) = 76,91 \text{ kW} \quad (17)$$

Bütün bulunan değerler 18 numaralı denklemde yerine yazılırsa,

$$m_{\text{air}} c_{p,\text{air}} \frac{dT_i}{dt} = Q_{hw} + Q_{\text{solar}} - Q_{\text{loss,kaplama}} - Q_{\text{loss,inf}} \quad (18)$$

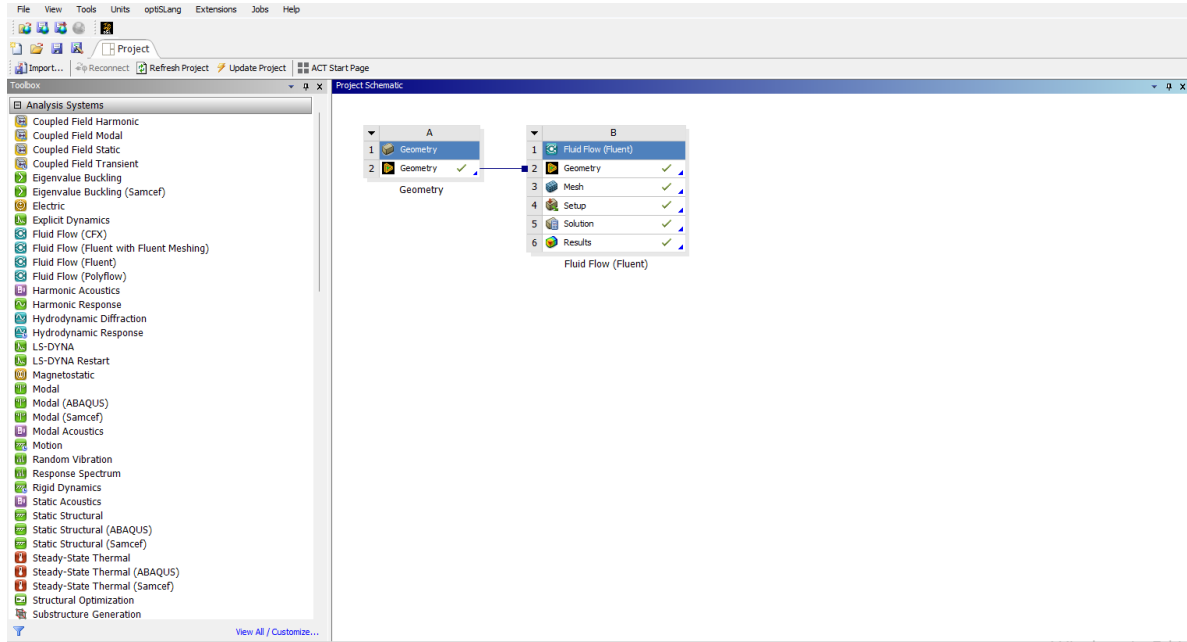
$$m_{\text{air}} c_{p,\text{air}} \frac{dT_i}{dt} = 76,91 \text{ kW} + 24,55 \text{ kW} - 48,25 \text{ kW} - 13,23 \text{ kW} = 39,98 \text{ kW} \quad (19)$$

3.4. Ansys Fluent

Ansys 1970 yılında kurulan çok yönlü analiz yapabilmeyi sağlayan enerji, sağlık, otomotiv, havacılık gibi alanlarda kullanılan bir yazılım programıdır. Program akışkanlar dinamiği simülasyonları, yapısal analiz ve simülasyonları ile elektromanyetik alanda birçok simülasyon yapabilmeyi kullanıcılara sağlamaktadır. Ansys, bir ürün geliştirirken zamandan ve maliyetten kazanç sağlayarak fiziksel prototip ihtiyacını karşılamaktadır. Böylece önceden tasarımın performansını ve karşılaşılabilecek olan sorunları görmemize yardımcı olmaktadır. Ansys'in kendi içinde bulunan Ansys Fluent modülü hava veya herhangi bir akışkanın akışı, HVAC sistemleri ve doğal havalandırma performanslarının simülasyonlarını yapabilmektedir (Ekinci, 2026).

Mühendislikte birçok alanda farklı karmaşık problemler ile karşılaşılabilmektedir. Bu problemlerin çözümünde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi kullanımı yaygınlaşmıştır. HAD sayısal tabanlı bir simülasyondur. Akışkan davranışlarını inceleyerek analiz etmektedir. Akış alanını görselleştirerek inceleme yapılmasını sağlayabilmektedir.

HAD yönteminde kütle, enerji ve momentumun korunumu denklemleri esas alınarak üretilmiş Navier-Stokes denklemleri kullanılmaktadır. Bu denklemler ile hız, sıcaklık, basınç gibi parametre hakkında bilgi edinilebilmektedir. HAD analizi modelleme, mesh işlemi, çözümleme ve sonuç bölümlerinden oluşmaktadır (Şekil25). İlk olarak modelleme kısmında problemi çözebilmek için bir model oluşturulmaktadır. Oluşturulan model iki boyutlu veya 3 boyutlu olarak ele alınabilmektedir. Sonrasında probleme uygun bir mesh ağı oluşturulmaktadır. Mesh ağı ile oluşturulan model çok küçük hücrelere bölünür. Oluşturulan her bir hücre hacim ve sınır tabakayı temsil etmektedir. Bu işlem aşamasında problem için uygun bir mesh tipi seçmek önemlidir. Mesh ağı oluşturduktan sonra çözümleme kısmına geçilmektedir. Bu aşamada oluşturulan modeli programın gerçekçi bir şekilde çözümleyebilmesi için başlangıç ile sınır koşulları programa tanımlanmalıdır. Son aşamada ise model üzerinde şekiller, grafikler, simülasyonlar ve vektörler aracılığı ile analiz sonuçları görülebilmektedir (Gündüz, 2026).

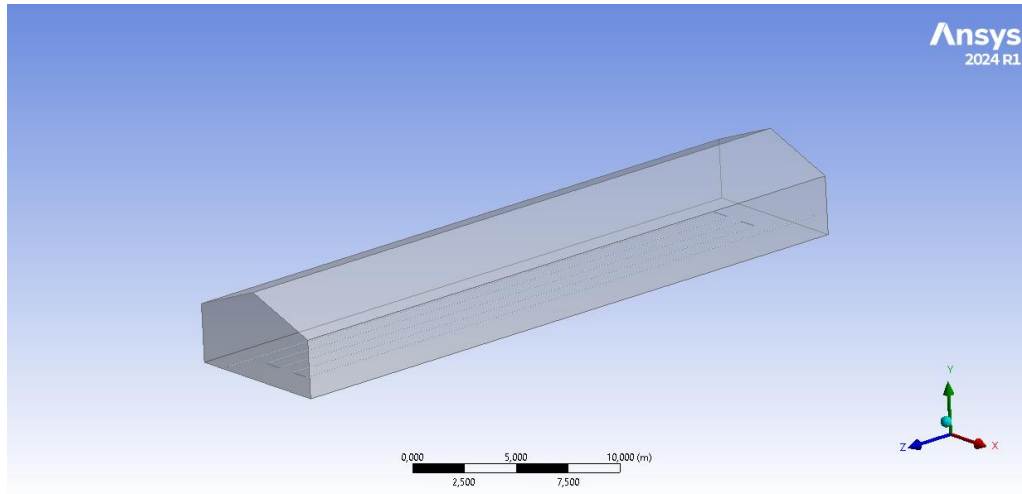


Şekil 23 Ansys Arayüzü

Bu çalışmada Ansys Fluent programının analizlerinden ve simülasyonlarından faydalanılacaktır. Sera sistemleri ısı transferi üzerine kurulmuş olan sistemlerdir. Sera içindeki ısıtma boruları da tam olarak bu görevi görmektedir. Boruların içinde dolaşan suyun kaybettiği ısıyı ve seradan çıkış sıcaklığını görebilmek için bu programın kullanımı tercih edilmiştir.

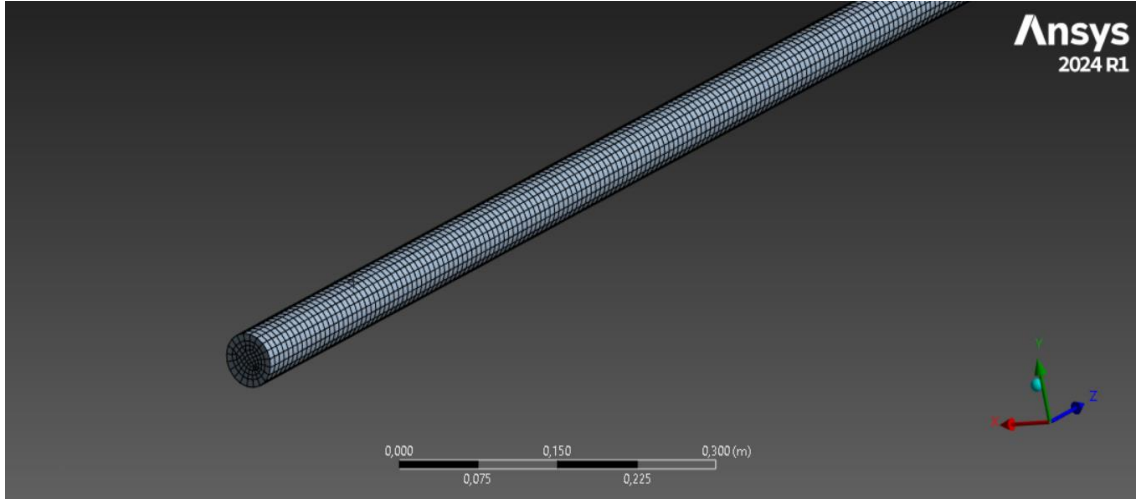
4. BULGULAR

Yapılacak olan seranın tasarımı SolidWorks programında yapılmış ve ANSYS-FLUENT programında sera içindeki ısı davranışını rahat görebilmek için analiz edilmiştir. Analiz aşamasında Solidworks'te çizilen tek tünel sera ANSYS-Fluent programında geometry bölümünde olan Design-Modeler'e aktarılmıştır. Burada gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Sera içindeki borular ve tünel sera doğru çözümleme yapılabilmesi için tek bir Part altında birleştirilmiş ve boolean komutu kullanılarak iki katı cisim bir biri içinden çıkarılmıştır.

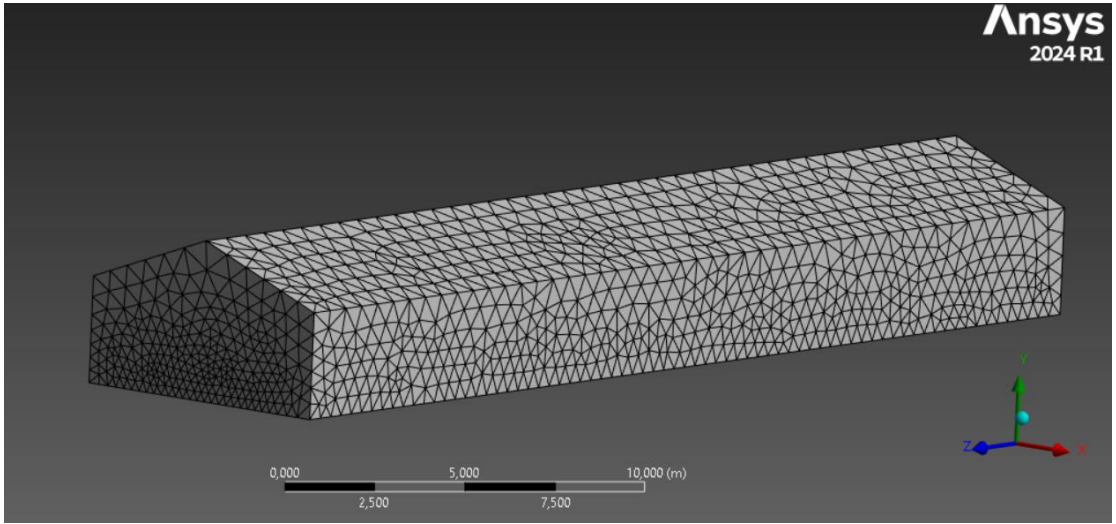


Şekil 24 ANSYS-Fluent Geometry bölümünde görünümü

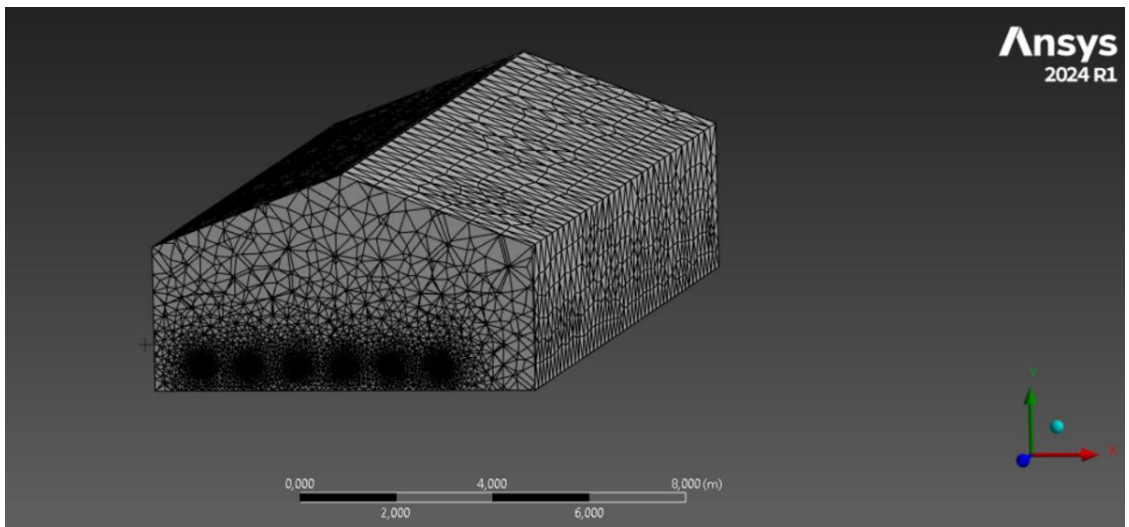
Geometry bölümünden sonra mesh kısmında önce sera içindeki ısıtma borularına mesh uygulanmıştır. Burada ısıtma boruları için mesh tipi automatic olarak seçilerek programın uygun mesh yapısını tanımlaması sağlanmıştır ve generate denildiğinde Şekil27'de verilen mesh yapısı oluşmuştur. Boruların mesh işlemi tamamlandıktan sonra tünel sera içinde generate komutu verilerek mesh ağı tamamlanmıştır (Şekil28) (Şekil29). Burada mesh bölümünden çıkmadan önce modelin sınırlarına isim verilerek sisteme tanıtılmıştır. Isıtma borularının başlangıç girişine inlet, boruların çıkışına outlet, boruların dış yüzeyüne boru_wall ve sera dış yüzeyine sera_wall isimleri verilmiştir.



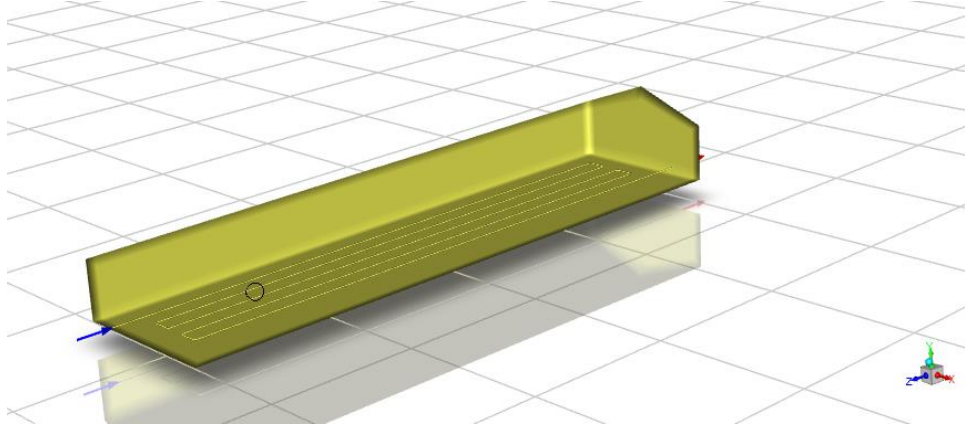
Şekil 25 Isıtma boruları mesh ağı



Şekil 26 ANSY-FLUENT mesh bölümü

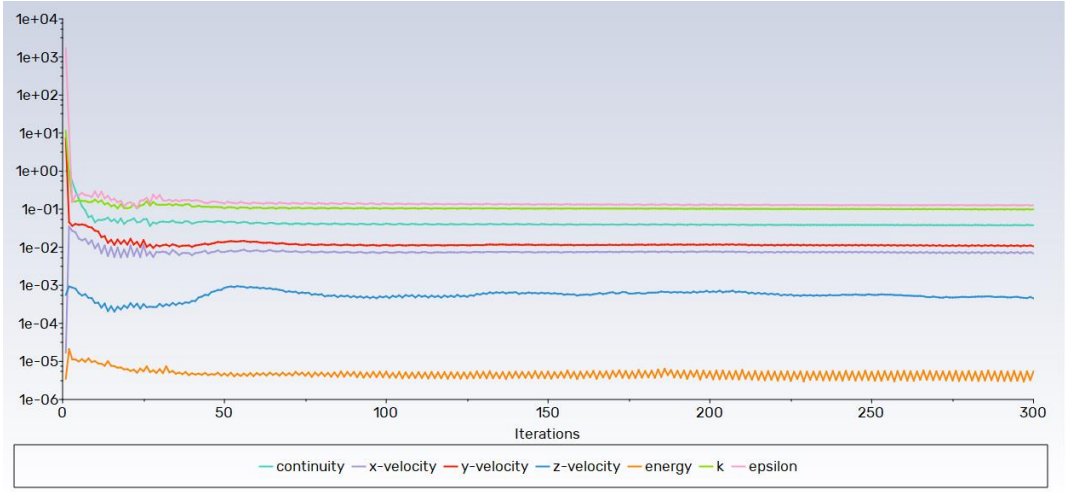


Şekil 27 Seranın iç kısmında oluşan mesh ağı

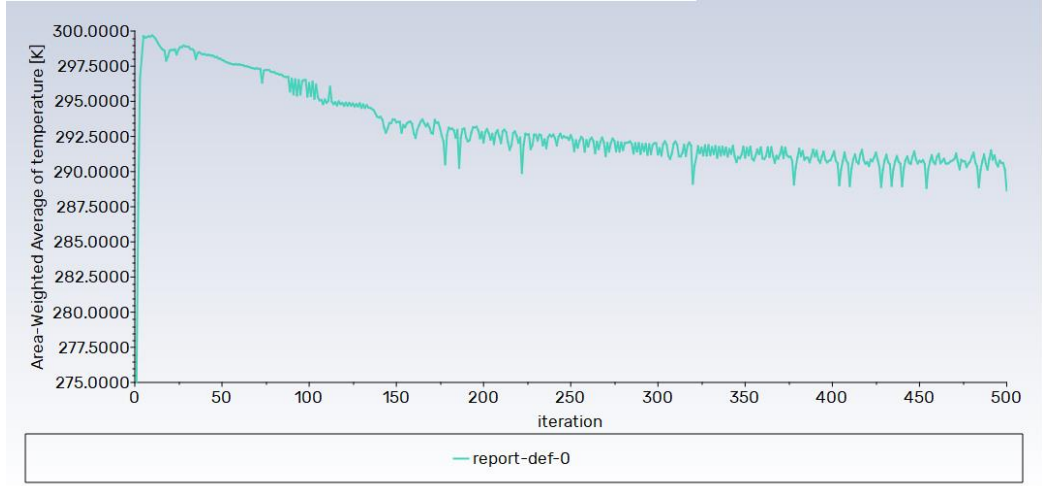


Şekil 28 Ansys Fluent setup bölümünde geometrinin görünümü

Mesh bölümünü bitirdikten sonra çözümleme kısmı olan setup bölümüne geçilmiştir. Setup bölümü sınır koşullarını programa tanımlayarak aslında programdan ne yapması istenen bölümdür. Tasarımda bir ısı transferi söz konusu olduğu için energy modunun off yerine on olması gerekmektedir. Boru içindeki akışkan analizden önce yapılan hesaplamalara göre türbülanslı bir akıştır. Bu yüzden analizde akışkan tipi standart k-epsilon olarak seçilmiştir. Program kendi içinde otomatik olarak sıvıyı hava ve katıyı alüminyum olarak kabul eder. Tasarımda kullanılan malzemeler programda seçilerek eklendi. Boru içinde su dolaştığı için sıvı olarak su, boruların malzemesi çelik olduğu için katı olarak çelik eklenmiştir. Sınır koşullarını eklemeyen önce yer çekimi aktif edilerek -9,81 değeri girilmiştir. Sınır koşulu olarak mesh bölümünde adlandırdığımız sınırların değerleri girilmelidir. Borulara giren suyun sıcaklığı 50 dereceye karşılık gelen 323 K girilmiştir. Çıkış sıcaklığını bilmediğimiz için outlet sınırına bir şey eklemiyoruz. Boruların dış sıcaklığı olarak 275 K ve sera dış sıcaklığında 263 K kabulü yapılmıştır. Bu şartlar Erzincan ilinin kasım ayının en düşük sıcaklığı baz alınarak seçilmiştir. Sınırlar arasında bir ısı transferi olduğunu programa tanımlamak için duvarlara verilen sıcaklık değerleri convection sekmesinde girilmiştir. Var olan sınır koşulları tanımlandıktan sonra initialization sekmesine gidilerek çözüm sürecini başlatmadan önce programın başlangıç değerlerini tanımlamasını sağlanır. Bu adım tamamlandığında run calculation sekmesinde 500 iterasyon girilerek çözüm başlatılmıştır. Ekrana bir çözüm grafiği çıkararak çözümlerin yakınsaması beklenir (Şekil30). Çözüm yakınsayınca analiz tamamlanır.

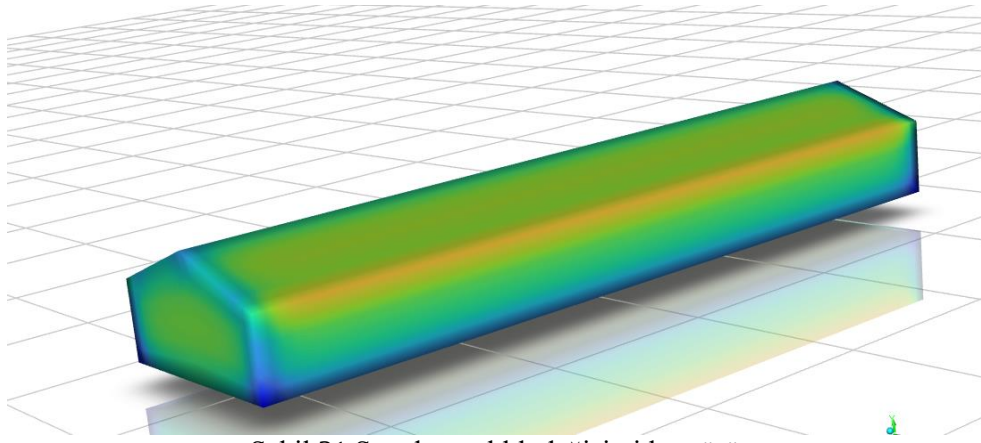


Şekil 29 Ansys Fluent yakınsama grafiği

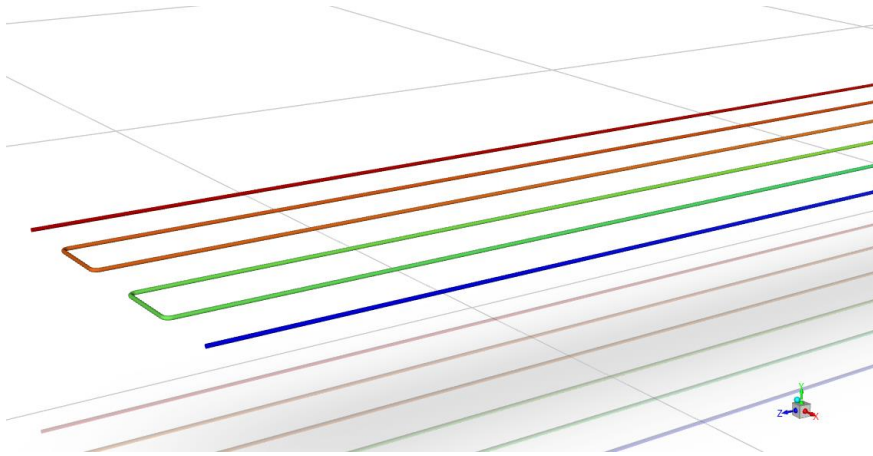


Şekil 30 Boru çıkış sıcaklığının değişim grafiği

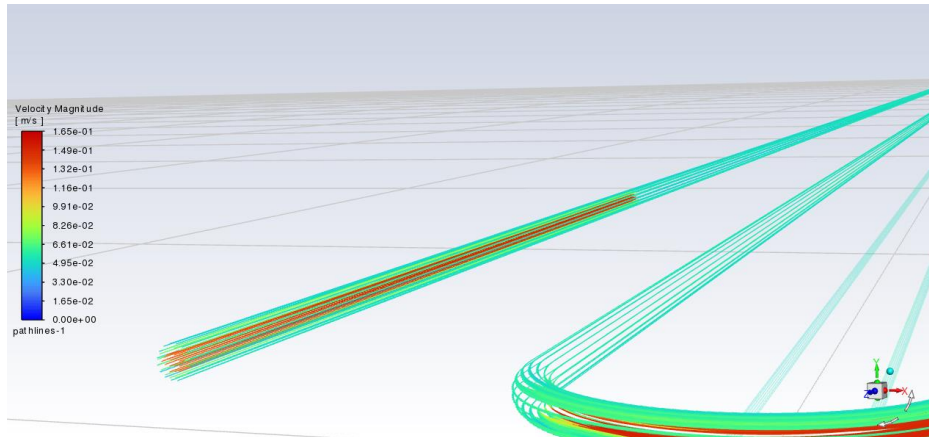
Analiz tamamlandıktan sonra setup kısmında sol alt bölümde yer alan graphics bölümünde contours sekmesi ile serada ve borularda yaşanan ısı değişimi Şekil33 ve Şekil34'te verilen görsellerde görülmektedir. Setup bölümü tamamlandığında solution bölümünde tamamlanmış olur ve result bölümü açılır. Result bölümünde boru içindeki suyun akışını görebilebilmek için bir streamline bölümü oluşturulmuştur. Burada başlangıç olarak sıvının boruya girişi olarak tanımladığımız inlet seçilmiş boru çıkışında outlet kısmına kadar olan boru içindeki akışkanın hız çizgilerinin görülmesi istenmiştir. İstenilen çizgileri oluşturması istendiğinde Şekil35'teki gibi bir simülasyon oluşturulmuştur.



Şekil 31 Serada sıcaklık değişimi kontürü



Şekil 32 Borularda ki sıcaklık değişimi kontürü



Şekil 33 Boru içindeki akışın hız çizgileri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yenilenemeyen enerji kaynağı olan fosil yakıtların çok sık ve bilinçsiz kullanılması nedeni ile rezervlerinin azalması ve çevreye verdiği kirlilik yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi zorunlu hale getirmiştir. Yenilenmeyen enerji kaynaklarına göre maliyeti daha uygun ve güvenilir bir enerji olduğu kaçınılmaz bir gerçektir. Çevre koşulları ve coğrafi konum göz önüne alındığında hangi yenilenebilir enerji kaynağını kullanmak daha avantaj sağlayacak ise o enerji kaynağını seçerek kullanım sağlayabiliriz.

Sera ısıtmalarında yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı fosil yakıtlara kıyasla daha düşük maliyetli, daha yüksek verimli ve kaliteli ürün alımına olanak sağlamaktadır. Erzincan ilinde, Kasım ayında ürün elde edilmek istenildiğinde bu ayda düşük sıcaklıkların seyredildiği görülmektedir. Mevcut jeotermal kaynağın sıcaklığı tek başına sera ısıtması için yeterli olmadığı bir durumda ısı pompası kullanılabilir. Isı pompası ile düşük ısıdaki jeotermal kaynağın sıcaklığından yararlanarak daha yüksek sıcaklıklarda bir akışkan elde ederek bunu serayı ısıtmada rahatça kullanabiliriz. Sera içinde oluşacak olan ısı dağılımını daha iyi görebilmek için ANSYS/FLUENT yazılımından yararlanılmıştır. Bu sayede daha doğru bir planlama yapılmıştır. Erzincan ilinin jeotermal potansiyelinden maksimum düzeyde faydalanarak hem ekonomik hem de çevre dostu bir tarım modelinin hayata geçirilebileceği ön görülmektedir.

Sayısal hesaplamalar sonucunda sera içerisindeki ısıtma borularının çıkış sıcaklığı yaklaşık 20 °C olarak belirlenirken, ANSYS Fluent analizlerinde bu değer yaklaşık 16 °C olarak elde edilmiştir. İki yöntem arasında yaklaşık 4 °C'lik fark bulunmasına rağmen sonuçların aynı mertebede olması, geliştirilen hesaplama yaklaşımının kabul edilebilir düzeyde güvenilir olduğunu göstermektedir. Hesaplamalar ile CFD analizleri arasındaki farklılığın; modelde yapılan kabuller, sınır şartlarının idealize edilmesi, akışın türbülans karakteristiği, ısı kayıpları ve gerçek sistemde meydana gelebilecek fiziksel etkilerin tam olarak temsil edilememesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Çalışma sonuçları, Erzincan gibi düşük kış sıcaklıklarına sahip bölgelerde jeotermal enerji ile desteklenen ısı pompası sistemlerinin sera ısıtmasında uygulanabilir ve sürdürülebilir bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, ilerleyen çalışmalarda farklı sera geometrileri, farklı boru yerleşim düzenleri, değişik debi ve çalışma sıcaklıkları ile farklı bitki

türlerinin sıcaklık gereksinimleri dikkate alınarak deneysel doğrulama çalışmalarının gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Böylece geliştirilen modelin doğruluğu artırılabilir ve sistemin enerji verimliliği ile ekonomik performansı daha kapsamlı şekilde değerlendirilebilecektir.

KAYNAKÇA

- Arpacı, E. (2020). *Soğuk Bir İklimde Su Kaynaklı Ve Güneş Enerjisi Destekli Bir Isı Pompası İle Sera Isıtma Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi*. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 629341).
- Başaran, C. (2026). *Türkiye'nin Enerji Potansiyeli, Stratejileri ve Enerji Arz Güvenliği*. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 996971).
- Bıyıklıoğlu, O. (2024). *Türkiye'de Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Kullanılabilirliği Ve Verimliliğinin Araştırılması*. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 869118).
- Çaylı, A. (2014). *Plastik Seralarda Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi ve Isı Artırım Önlemlerinden Isı Perdelerinin Etkinliğinin Araştırılması*. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 374617).
- Duralıoğlu, U. (2009). *Jeotermal Enerjiden Yararlanarak Isıtma Sisteminin Tasarımı ve Yöresel Uygulaması*. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 243573).
- Ekinci, M. (2026). *Ofis mekânlarında ısı konfor parametrelerinin simülasyon tabanlı analizi*. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 1007973).
- Gündüz, M. C. (2026). *Ortaöğretim Kurumlarında Galeri Kullanımının Doğal Havalandırmaya Etkisinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi ile Değerlendirilmesi; Muş İli Örneği*. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 1000557).
- İmaç Akdaş, B. N. (2024). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Sürdürülebilir Kalkınma- Brics-T Ülkeleri İçin Panel Veri Analizi. In *Yüksek Lisans Tezi* (Vol. 15, Issue 1). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 850023).
- Kahraman, S. (2022). Türkiye'de jeotermal enerji ve elektrik üretimi. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 33, 29–34.
- Kamuray, G. (2025). *Hava Kaynaklı Isı Pompası Sisteminde Alternatif Bir Defrost Yönteminin İncelenmesi*. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 915997).
- Kara, Ö. (2019). Yalova Üniversitesi Kampüsü İçin Enerji Görünümünün Çıkartılması Ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Desteklenme İmkanının Araştırılması. In *Chemical Reviews* (Vol. 8, Issue 5).
- Karabulut, N. (2024). *Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompasının Bir Villa Projesine*

- Uygulanması ve Termodinamik Analizi*. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 884822).
- Kavga, A., Thomopoulos, V., Pischinas, E., Tsiplanitis, D., & Nikolakopoulos, P. (2023). Design and simulation of a greenhouse in a computational environment (ANSYS/FLUENT) and an automatic control system in a LABVIEW environment. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 129(September), 102837. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2023.102837>
- Kula, M. (2023). *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Ekonomik Büyümeye Etkisi: Türkiye Örneği*. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir (Tez No.820890).
- Menteşe, A. (2024). *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Ekserjetik Analizi* (Vol. 2).
- MGM. (2024). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*. https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx
- MTA. (2023). *Maden Tetkik Arama Jeotermal Enerji Araştırmaları*. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>
- Orun, A. F. (2021). *Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırımlarına yönelik teşvikler ve yenilenebilir enerjinin ekonomik etkileri*. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No.673623).
- TETKB. (2023). *Jeotermal Enerji*. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-jeotermal>
- Torunoğlu Gedik, Ö. (2015). *Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri* (Vol. 151). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 398008).
- Yalçın, M. (2016). *Jeotermal Alanların CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile Araştırılması*. Doktora Tezi.
- Yılmaz, N. (2022). *Sera İç Ortam Mikroklimasına Örtü Malemesi Etkisinin Termal Kamera İle Belirlenmesi* (Issue 0). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 724937).