

TC
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ VE ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ISI DEPOLAYICI MALZEMELER İLE BÜTÜNLEŞTİRİLMİŞ PVT
SİSTEMLERİN MODELLEMESİ, TASARIM ve İŞLETİM
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak MERTOĞLU

AĞUSTOS 2019
UŞAK

TC
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ VE ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ISI DEPOLAYICI MALZEMELER İLE BÜTÜNLEŞTİRİLMİŞ PVT
SİSTEMLERİN MODELLEMESİ, TASARIM ve İŞLETİM
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak MERTOĞLU

UŞAK 2019

Burak MERTOĞLU tarafından hazırlanan “Isı Depolayıcı Malzemeler İle Bütünleştirilmiş PVT Sistemlerin Modellenmesi Tasarım ve İşletim Parametrelerinin Optimizasyonu” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Canan Kandilli

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Disiplinler Arası Enerji ve Çevre Bilimleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Canan KANDİLLİ

(Makine Mühendisliği, Uşak Üniversitesi)

Doç. Dr. Yıldız KALINCI

(Makina Mühendisliği, Dokuz Eylül Üniversitesi)

Doç. Dr. Abdullah YILDIZ

(Makine Mühendisliği, Uşak Üniversitesi)

Tarih: 29/08/2019

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Murat Kemal Karacan

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Burak MERTOĞLU



**ISI DEPOLAYICI MALZEMELER İLE BÜTÜNLEŞTİRİLMİŞ PVT
SİSTEMLERİN MODELLEMESİ, TASARIM ve İŞLETİM
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)**

Burak MERTOĞLU

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ağustos 2019**

ÖZET

Güneş enerjisinden yıllar boyunca basit olarak birçok uygulamada yararlanılmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ise güneşten doğrudan ısı ve elektrik enerjisi elde edilebilen komplike uygulamalara geçilmiştir. Güneşten gelen ışınımı fotovoltaiik uygulamalar ile elektrik enerjisine, termal uygulamalar ile ısı enerjisine dönüştürülerek kullanılmaya 70'li yıllardan sonra yaygın olarak başlanmıştır. Daha sonra bu iki uygulamanın birleştirilmesi ile ortaya fotovoltaiik termal sistemler çıkmıştır. Bu sistemlerin sürekliliğini sağlamak için ise ısıyı tutan malzemeler sistemlere eklenmiştir.

Bu tez çalışmasında Uşak Üniversitesi Mühendislik fakültesinde kurulan ısı depolayan / faz değıştiren malzeme destekli fotovoltaiik termal bir sistem SolidWorks programı ile çizilmiş, analizlerini yapmak üzere ANSYS FLUENT programına aktarılmıştır. Deney düzeneğinden alınan sonuçlar ile bilgisayar ortamından alınan sonuçların karşılaştırması yapıp, determinasyon katsayısı elde edilmiştir. Doğruluğu kanıtlanan model üzerinden bütün değerler sabit tutulup debi, IDM / FDM kalınlığı, boru çapı ve kanal malzemesi parametreleri farklı analizlerde değıştirilerek sonuca etkileri gözlemlenmiştir. Yapılan analizler ile simülasyon ortamında birçok parametrenin sonuçlarını bulmak ve en verimli sisteme ulaşmak hedeflenmiştir. Zeolit kullanılan ısı depolayan malzeme destekli PVT, parafin kullanılan faz değıştiren malzeme destekli PVT sistemler ve konvansiyonel PVT için analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda düşük debilerin akışkanın uzun temas süresinden kaynaklı olarak yüksek hızlardaki fazla

moleköl hareketi ile oluşabilecek ısı transferinden daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Isı iletkenliği yüksek yutucu plaka ve kanal malzemesi kullanmanın ve çap olarak 8 mm dış çap ve 7 mm iç çapa sahip kanal kullanımının verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Malzeme kalınlığı için ise 34 mm hem zeolit hem parafın için en yüksek verimi vermiştir.

Bilim Kodu : 625.05.04.

Anahtar Kelimeler : PVT, FDM, Fotovoltaik Termal Sistemler, Faz Değiştiren Malzemeler, Güneş Enerjisi, Yenilenebilir Enerji

Sayfa Adedi : 96

Tez Yneticisi : Do. Dr. Canan Kandilli

**MODELING OF PVT SYSTEMS INTEGRATED WITH HEAT STORAGE
MATERIALS, OPTIMIZATION OF DESIGN AND OPERATING
PARAMETERS**

(M.Sc. Thesis)

Burak MERTOĞLU

UNIVERSITY OF USAK

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2019

ABSTRACT

Solar energy has been used in many applications for years. However, with the developing technology, direct heat and electrical energy can be obtained from the sun. Since the 1970s, the radiation from the Sun has been used to convert electrical energy to photovoltaic applications and to heat energy with thermal applications. Then, by combining these two applications, photovoltaic thermal systems were produced. In order to ensure the continuity of these systems, heat-retaining materials were added to the systems.

In this thesis, an autovoltaic thermal system combined with heat storage / phase changing material established in Uşak University Engineering Faculty was drawn with SolidWorks program and transferred to ANSYS FLUENT program for analysis. The results obtained from the experimental setup were compared with the results obtained from the computer and the determination coefficient was obtained. On the proven model, all values were kept constant and flow, HSM / PCM thickness, pipe diameter and channel material parameters were changed in different analyzes and their effects were observed. With the analysis, it was aimed to find the results of many parameters in the simulation environment and to reach the most efficient system. Analyzes were made for PVT systems with heat storage material using zeolite, PVT systems with phase changing materials using paraffin and conventional PVT. As a result of the analysis, it is concluded that low flow rates are more efficient than heat transfer which may occur with high

molecular motion at high speeds due to the long contact time of the fluid. It has been concluded that the use of absorbing plates and duct materials with high thermal conductivity and the use of ducts with 8 mm outer diameter and 7 mm inner diameter in diameter are efficient. For material thickness, 34 mm gave the highest yield for both zeolite and paraffin.

Science Code : 625.05.04.

Keywords : PVT, PCM, Photovoltaic Thermal Systems, Phase Changing Material, Solar Energy, Alternative Energy

Number of Page : 96

Supervisor : Assoc. Prof. Canan Kandilli

TEŐEKKÖR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkıları ile beni yönlendiren Doç. Dr. Canan Kandilli hocama, aldığım derslerde ve ders dışında odalarında ziyaret ettiğimde sorularımı cevaplayan ve fikirlerime önem veren anabilim dalı hocalarıma, manevi destekleri ile beni yalnız bırakmayan aileme teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1 GİRİŞ.....	1
2 GÜNEŞ ENERJİSİ.....	4
2.1 Güneş Enerjisi Kısa Tarihi.....	4
2.2 Güneş Enerjisi.....	5
2.3 Güneş Pilleri.....	8
2.4 Fotovoltaik Sistemler.....	10
2.4.1 Fotovoltaik (PV) Sistemler.....	10
2.4.2 Fotovoltaik Termal (PVT) Sistemler.....	11
2.4.3 Isı Depolayan / Faz değıştiren Malzeme Destekli Fotovoltaik Termal Sistemler....	13
3. LİTERATÜR ÖZETİ.....	17
4. TEZİN AMACI, ÖNEMİ VE KAPSAMI.....	25
5. KURAMSAL ANALİZ.....	27
5.1 Isı Transferi Analizi.....	27
6. DENEY DÜZENEĞİ VE BİLGİSAYAR MODELLEMESİ.....	33

6.1 Deney Düzenegi.....	33
6.2 Modelleme ve Tasarım.....	37
6.2.1 Fotovoltaik Hücreler.....	39
6.2.2 Yutucu Plaka.....	39
6.2.3 Boru ve Kanallar.....	40
6.2.4 Isı Depolayan / Faz Değiştiren Malzeme.....	40
6.2.5 Yalıtkan.....	42
6.2.6 Kasa.....	42
6.3 Ağ Örgüsü (Mesh) Aşaması.....	43
7. BULGULAR VE TARTIşMA.....	46
7.1 Doğrulama Analizleri.....	46
7.2 Değişken Debi Analizleri.....	64
7.3 Değişken Faz Değiştiren Malzeme Kalınlığı Analizleri.....	73
7.4 Değişken Boru Malzemesi Analizleri.....	78
7.5 Değişken Boru Çapı Analizleri.....	84
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	88
8.1 Sonuçlar.....	88
8.2 Öneriler.....	89
9. KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİş.....	96

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1 Yenilenebilir enerji kaynakları kurulu güçleri.....	7
Çizelge 2.2 Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yeni yatırımlar.....	8
Çizelge 6.1 Deney düzeneğinde kullanılan PV modülün özellikleri.....	34
Çizelge 6.2 Deney düzeneğinde kullanılan cihazların özellikleri.....	36
Çizelge 6.3 Geometride kullanılan parçaların ölçüleri ve ısı değerleri.....	38
Çizelge 6.4 Zeolit ve Parafin malzemelerinin fiziksel ve ısı özellikleri.....	41
Çizelge 7.1 Parafin için yapılan deney ve analiz sonuçları karşılaştırılması.....	53
Çizelge 7.2 Zeolit için yapılan deney ve analiz sonuçları karşılaştırılması.....	54
Çizelge 7.3 Değişken debi değerlerinde parafin kullanılan modül için alınan çıkış sıcaklıkları.....	65
Çizelge 7.4 Değişken debi değerlerinde zeolit kullanılan modül için alınan çıkış sıcaklıkları.....	68
Çizelge 7.5 Değişken debi değerlerinde konvansiyonel modül için alınan çıkış sıcaklıkları.....	70
Çizelge 7.6 Değişken faz değiştiren malzeme kalınlıklarında parafin için alınan çıkış suyu sıcaklıkları.....	74
Çizelge 7.7 Değişken ısı depolayan malzeme kalınlıklarında zeolit için alınan çıkış sıcaklıkları.....	76
Çizelge 7.8 Değişken boru malzemesi türlerinde parafin kullanılan modül için alınan çıkış sıcaklıkları.....	79
Çizelge 7.9 Değişken boru malzemesi türlerinde zeolit kullanılan modül için alınan çıkış sıcaklıkları.....	81
Çizelge 7.10 Değişken boru malzemesi türlerinde konvansiyonel modül için alınan çıkış sıcaklıkları.....	83
Çizelge 7.11 Değişken boru kalınlıklarında parafin kullanılan modül için alınan çıkış sıcaklıkları.....	85

Çizelge 7.12 Değişken boru kalınlıklarında zeolit kullanılan modül için alınan çıkış sıcaklıkları.....85

Çizelge 7.13 Değişken boru kalınlıklarında konvansiyonel modül için alınan çıkış sıcaklıkları.....86



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1 Güneş ve Dünya arasında uzaklık, çap ve açı değerleri.....	6
Şekil 2.2 Güneş pili çalışma şeması.....	9
Şekil 2.3 Gizli ve duyulur ısı depolama Q-T grafiği.....	13
Şekil 2.4 Isı depolayan / faz değiştiren malzeme destekli fotovoltaik termal sistemin genel kesit görünümü.....	14
Şekil 5.1 Deney şeması ve kontrol hacmi.....	28
Şekil 5.2 Isı Transferi oluşacak katmanlar.....	29
Şekil 5.3 Kanal düzeninin üstten teknik resim görüntüsü.....	29
Şekil 7.1 Parafin için determinasyon eğrisi.....	63
Şekil 7.2 Zeolit için determinasyon eğrisi.....	64
Şekil 7.3 Değişken debinin parafin kullanılan modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi.....	65
Şekil 7.4 Değişken debinin zeolit kullanılan modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi.....	68
Şekil 7.5 Değişken debinin konvansiyonel modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi.....	71
Şekil 7.6 değişken faz değiştiren malzeme kalınlığının parafin kullanılan modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi.....	74
Şekil 7.7 değişken ısı depolayan malzeme kalınlığının zeolit kullanılan modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi.....	77
Şekil 7.8 Değişken malzeme türlerinin parafin kullanılan modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi.....	79
Şekil 7.9 Değişken malzeme türlerinin zeolit kullanılan modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi.....	81
Şekil 7.10 Değişken malzeme türlerinin konvansiyonel modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi.....	83

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1 Olmedilla Photovoltaic Park.....	10
Resim 2.2 Parabolik Oluklu PVT Sistem.....	12
Resim 2.3 Komine PVT üçgen alıcı detayı.....	12
Resim 2.4 Isı depolayan / faz değıştiren malzeme destekli fotovoltaiik termal sistem.....	14
Resim 2.5 Doğal zeolit.....	15
Resim 6.1 Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çatısında kurulu deney düzeneği...33	
Resim 6.2 Deney düzeneğinde kullanılan akışkan dolaşım kanalları.....	34
Resim 6.3 Parafin kullanılan PVT sistemin iç yapısı.....	35
Resim 6.4 Zeolit kullanılan PVT sistemin iç yapısı.....	35
Resim 6.5 Deney düzeneğinde kullanılan kasa ve taşıma ayakları.....	36
Resim 6.6 Deney düzeneğinin ANSYS programına aktarılmış görüntüsü.....	37
Resim 6.7 ANSYS programında parçaların ve modelim uyumluluğu.....	38
Resim 6.8 Fotovoltaiik hücre.....	39
Resim 6.9 Yutucu plaka.....	39
Resim 6.10 Boru ve kanallar.....	40
Resim 6.11 Isı depolayan / faz değıştiren malzeme.....	41
Resim 6.12 Yalıtkan.....	42
Resim 6.13 Kasa.....	42
Resim 6.14 Sistemin mesh görüntüsü.....	43
Resim 6.15 Dar ve çember bölgelerin sıklaştırılması.....	44
Resim 6.16 Kanallar ve IDM / FDM ağ örgüsü.....	44
Resim 6.17 Düğüm ve elemansayıları.....	45

Resim 7.1 Genel program görüntüsü.....	47
Resim 7.2 Mesh kontrolü.....	47
Resim 7.3 Akış modeli.....	48
Resim 7.4 Radyasyon modeli.....	48
Resim 7.5 Akışkanın hız ve sıcaklık değerlerinin girildiği program ara yüzü.....	49
Resim 7.6 Analiz için kullanılacak eşitlik takımları.....	50
Resim 7.7 Monitörde gösterilecek değerler ve sınır şartları.....	51
Resim 7.8 19 Mayıs 2016 Tarihli saat 11:30'da parafin için yapılan analiz sıcaklık ...sonuçları	55
Resim 7.9 19 Mayıs 2016 Tarihli saat 11:30'da parafin için yapılan analiz basınç sonuçları.....	55
Resim 7.10 19 Mayıs 2016 Tarihli saat 11:30'da parafin için yapılan analiz hız sonuçları.....	56
Resim 7.11 19 Mayıs 2016 Tarihli saat 11:30'da parafin için yapılan analiz fdm sıcaklığı sonuçları.....	56
Resim 7.12 01 Haziran 2016 Tarihli saat 12:30'da parafin için yapılan analiz sıcaklık sonuçları.....	57
Resim 7.13 01 Haziran 2016 Tarihli saat 12:30'da parafin için yapılan analiz basınç sonuçları.....	57
Resim 7.14 01 Haziran 2016 Tarihli saat 12:30'da parafin için yapılan analiz hız sonuçları.....	58
Resim 7.15 01 Haziran 2016 Tarihli saat 12:30'da parafin için yapılan analiz fdm sıcaklık sonuçları.....	58
Resim 7.16 27 Nisan 2016 Tarihli saat 15:30'da zeolit için yapılan analiz sıcaklık sonuçları.....	59
Resim 7.17 27 Nisan 2016 Tarihli saat 15:30'da zeolit için yapılan analiz basınç sonuçları.....	59
Resim 7.18 27 Nisan 2016 Tarihli saat 15:30'da zeolit için yapılan analiz hız sonuçları.....	60

Resim 7.19 27 Nisan 2016 Tarihli saat 15:30'da zeolit için yapılan analiz IDM sıcaklık sonuçları.....	60
Resim 7.20 10 Mayıs 2016 Tarihli saat 13:15'de zeolit için yapılan analiz sıcaklık sonuçları.....	61
Resim 7.21 10 Mayıs 2016 Tarihli saat 13:15'de zeolit için yapılan analiz basınç sonuçları.....	61
Resim 7.22 10 Mayıs 2016 Tarihli saat 13:15'de zeolit için yapılan analiz hız sonuçları.....	62
Resim 7.23 10 Mayıs 2016 Tarihli saat 13:15'de zeolit için yapılan analiz IDM sıcaklık sonuçları.....	62
Resim 7.24 Parafin kullanılan modülde optimum debi için sıcaklık konturları.....	66
Resim 7.25 Parafin kullanılan modülde optimum debi için basınç konturları.....	67
Resim 7.26 Parafin kullanılan modülde optimum debi için akış çizgileri.....	67
Resim 7.27 Zeolit kullanılan modülde optimum debi için sıcaklık konturları.....	69
Resim 7.28 Zeolit kullanılan modülde optimum debi için basınç konturları.....	69
Resim 7.29 Zeolit kullanılan modülde optimum debi için akış çizgileri.....	70
Resim 7.30 Konvansiyonel modülde optimum debi için sıcaklık konturları.....	72
Resim 7.31 Konvansiyonel modülde optimum debi için basınç konturları.....	72
Resim 7.32 Konvansiyonel modülde optimum debi için hız konturları.....	73
Resim 7.33 Parafin kullanılan modülde optimum kalınlık için sıcaklık konturları.....	75
Resim 7.34 Parafin kullanılan modülde optimum kalınlık için basınç konturları.....	75
Resim 7.35 Parafin kullanılan modülde optimum kalınlık için fdm sıcaklığı.....	76
Resim 7.36 Zeolit kullanılan modülde optimum kalınlık için sıcaklık konturları.....	77
Resim 7.37 Zeolit kullanılan modülde optimum kalınlık için basınç konturları.....	77
Resim 7.38 Zeolit kullanılan modülde optimum kalınlık için IDM sıcaklığı.....	78
Resim 7.39 Parafin kullanılan modülde alternatif malzeme türü için sıcaklık konturları.....	80

Resim 7.40 Parafin kullanılan modülde alternatif malzeme türü için basınç konturları.....	80
Resim 7.41 Zeolit kullanılan modülde alternatif malzeme türü için sıcaklık konturları.....	82
Resim 7.42 Zeolit kullanılan modülde alternatif malzeme türü için basınç konturları.....	82
Resim 7.43 Konvansiyonel modülde optimum malzeme türü için sıcaklık konturları.....	84
Resim 7.44 Konvansiyonel modülde optimum malzeme türü için basınç konturları.....	84
Resim 7.45 Parafin kullanılan modülde alternatif boru çapı türü için sıcaklık konturları.....	86
Resim 7.46 Zeolit kullanılan modülde alternatif boru çapı türü için sıcaklık konturları.....	87
Resim 7.47 Konvansiyonel modülde optimum boru çapı türü için sıcaklık konturları.....	87

SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler, indisler ve kısaltmalar açıklamalarıyla birlikte aşağıda verilmiştir.

Simgeler	Açıklama
T	Sıcaklık, K
A	Güneş paneli üst yüzey alanı, m ²
G	Güneş ışınlamı, W/m ²
k	Termal iletkenlik, W/mK
h	Entalpi, kg.m ² /s ²
v	Hız, m/s
ρ	Öz kütle, kg/m ³
\dot{m}	Kütleli debi, kg/s
μ	Dinamik viskozite, kg/(s.m)
σ	Stefan-Boltzmann sabiti, 5,67 10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴
σ_s	Saçılma katsayısı
α	Emicilik katsayısı
β	Termal genleşme katsayısı
τ	İletkenlik katsayısı
K	Fazlar arası momentum değişim katsayısı
C	Doğrusal izantropik saçılma katsayısı
S _h	Hacimsel ısı kaynağı
$\bar{\tau}$	Sıvı fazında gerilme deformasyon tensörü
\vec{F}_q	Harici cisim kuvvetleri, N
F _{kaldırma,q}	Kaldırma kuvveti, N
F _{vm,q}	Gerçek kütle kuvveti, N

İndisler	Açıklama
-----------------	-----------------

q	Sıvı
s	Katı
p	Değişken
n	İndeks

Kısaltmalar	Açıklama
--------------------	-----------------

IDM	Isı Depolayan Malzeme
FDM	Faz Değiştiren Malzeme
M.Ö.	Milattan Önce
M.S.	Milattan Sonra
PV	Fotovoltaik
PVT	Fotovoltaik Termal

1. GİRİŞ

Enerjinin genel ve kapsamlı bir tanımı yapmak çok zordur ama genel olarak kullanılan tabir ile iş yapabilme yeteneği veya maddede var olan ısı ışık biçiminde ortaya çıkan güç olarak tanımlanabilir. Enerjinin korunumu yasasına göre ise enerji sadece şekil değiştirir yoktan var edilemez, vardan yok edilemez. Doğada var olan enerjiyi ihtiyacımıza uygun duruma dönüştürmek asıl hedefimizdir. Bu dönüşümü gerçekleştirirken dikkat edilen en önemli alan ise verimdir. Kayıpları ne kadar azaltırsak çalışmamız o kadar bize faydalı enerji sağlayacaktır. Termodinamik olarak ve fizik kanunlarına göre fosil yakıtlardan elde edebileceğimiz toplam verim Carnot ilkeleri ile sınırlandırılmıştır. Bu yaklaşım olarak elimizdeki yarısını ısı yükü olarak kaybetmemiz anlamındadır.

Dünya nüfusunun sürekli olarak artması, teknolojinin gelişmesi dünya üzerindeki enerji ihtiyacının artmasına neden olmuştur. Klasik ve geri dönüşümü olmayan enerji kaynaklarına göz atarsak, bitkisel ve hayvansal kalıntıların yıllarca bekleyip dönüşüme uğraması ile oluşan fosil yakıtlar ve nükleer enerji başlıca kaynaklar olarak öne çıkmaktadır. İnsanlık tarihi boyunca bu ve buna benzer enerji kaynaklarına yakın yerleşimler kurmuş, bu kaynaklara yakın olmayan devletler bölgeyi ele geçirmek için birbirleri ile savaşmışlardır. Birinci Dünya savaşı nedenlerinden birisi olan Fransa Almanya'nın Alsace-Loren bölgesinde bulunan kömür kaynaklarını bölüşmemesi buna örnek olarak gösterilebilir. Ya da devletlerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için sömürgeler bulması da bir örnektir. Bu sömürge düzeni tarihte imparatorlukların coğrafi keşiflere önem vermesine, böylece keşfettikleri bölgedeki enerji kaynaklarını bilinçsizce tüketmesine neden olmuştur. Günümüzde ise dünya üzerinde keşfedilmemiş bölge kalmadığından dolayı ve imparatorlukların yerini ulus devletlere bırakması ya da küçülmesi ile kaynakların çok olduğu alanlarda bölgesel savaş şekline dönüşmüştür. Bunun en önemli örneği ise hemen ülkemizin dibinde bulunan Ortadoğu'daki petrol savaşlarıdır. Kısaca bir tarihe göz attığımızda görüyoruz ki insanlar dünya var olduğundan beri enerji kaynakları için birbirleri ile yarışmıştır. Ama yine de bu kaynaklar insanlık için yetmemiştir. Mevcut kaynaklara ulaşma zorluğu, talebin fazla olması ve mevcut kaynakların bu ihtiyaca cevap vermemesi, tahmini olarak tükenme zamanlarının bilinmesi, eski çağlarda insanların enerji ihtiyacı daha az iken zamanla teknolojiyle

birlikte daha fazla enerjiye ihtiyaç duymaları ve mevcut kaynakların doğaya geri dönüşü olmayan zararlar vermesi insanlığı alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir.

Alternatif enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji ve hidroelektrik enerji başlıca enerji kaynakları olarak öne çıkmaktadır. Bu kaynaklar içerisinde en fazla potansiyele sahip olan ise enerji ihtiyacımızın fazlasına sahip olan ve tükenme tehlikesi bulunmayan güneş enerjisidir. 1970'lerden sonra güneş enerjisine yönelim bu büyük potansiyelin devletler tarafından keşfedilmesiyle daha da artmıştır. Yatırım maliyeti yüksek olan ve gelecek görmedikleri klasik enerji kaynakları yerine, yenilenebilir kaynaklar içersin de en verimli gördükleri güneş için yatırımlar yapmaya başlamışlardır. Buda son yıllarda güneş enerjisi teknolojisinin daha fazla gelişmesine ve popüler olmasına neden olmuştur.

Yazlık bölgelerde sıkça gördüğümüz su ısıtma sistemleri güneş enerjisinden termal olarak faydalanmayı sağlamaktadır. Özellikle ülkemizde Akdeniz ve Ege Bölgesi başta olmak üzere güney bölgelerde çokça görülmektedir. Ayrıca ısı uygulamalarıyla ortam ısıtma ve soğutma ile kazan suyu ısıtma gibi alanlarda da yararlanılmaktadır. Bu tez çalışmasında PVT sistemlerde ısı ve elektriksel uygulamalar birleştirilerek kayıpları önlemek, elektriksel uygulamalardaki atık ısıdan yararlanıp bu ısıyı verimli kullanmak hedeflenmektedir. Fotovoltaik sistemlerde oluşan aşırı ısı yükü panellerin verimini düşürmekte, zamanla yapısını bozmaktadır. PV hücreleri spektral cevap aralığına karşılık gelen dalga boylu ışınları elektrik enerjisine dönüştürürken geri kalan dalga boylu ışınlar bu ısı yükünü oluşturmaktadır. Bu ısıyı sistemden uzaklaştırmayı hedefleyen PVT sistemler, bu etkilerden de fotovoltaik sistemleri korumaktadır. Bu ısıyı sistem içerisinde dolaşan akışkana vererek ısıyı sistemden atmaktadırlar. Akışkana iletilen bu ısı akışkanın sistemden çıkıp kullanım alanına verilmesi ile yararlı bir şekilde kullanılabilir. Bu ısıyı sistemden uzaklaştırmayı hedefleyen PVT sistemler, bu etkilerden de fotovoltaik sistemleri korumaktadır. Bu ısıyı sistem içerisinde dolaşan akışkana vererek ısıyı sistemden atmaktadırlar. Akışkana iletilen bu ısı akışkanın sistemden çıkıp kullanım alanına verilmesi ile yararlı bir şekilde kullanılabilir.

Günümüzde enerjiye günün her anında ihtiyaç duymamızdan kaynaklı olarak enerji ihtiyacının sürekliliği konusu da önem kazanmıştır. Sanayi sektörü başlıca olmak üzere ve diğer çalışma alanlarıyla birlikte ev kullanıcısının bile ihtiyaçları doğrultusunda az ya da çok günün her saatinde enerjiye ulaşması artık bir lüks değil ihtiyaç haline almıştır. Bunu karşılayamayan enerji kaynakları ise ne kadar temiz ve verimli olsa bile popüler olma konusunda sorun yaşamaktadır. Belirli zamanda beklenenden fazla vermesi, belirli zamanda olmaması ya da düşük olması pek hoş karşılanılan bir durum olarak

görülmez. Bu durumda da enerji depolaması veya sürekliliğini sağlayacak sistemler geliştirilmeye başlanmıştır. Güneş enerji sistemlerinde bunun çözümü olarak çeşitli uygulamalar olsa da bu tez çalışmasında sisteme monte edilen faz değıştiren malzeme(parafin) ya da gizli ısı depolayan malzemeler(zeolit) bu sorun için önemli bir çözüm kaynağıdır. Gizli ısı depolama prensibi ile sisteme katılan bu malzemeler ilerde detaylarında bahsedeceğimiz şekilde süreklilik sağlamaktadırlar.

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde fotovoltaik sistemler ve güneş enerjisi hakkında bilgi verilmiştir. Konunun temelleri anlatılan bu bölümde, ısı depolayan malzemelerle destekli fotovoltaik termal sistemler üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde daha önce yapılmış çalışmalara örnek verilmiştir. Dördüncü bölümde tezin amacı, önemi ve kapsamı anlatılmıştır.

Beşinci bölümde fotovoltaik termal bir sistemin ısı transferi analizleri yapılmıştır.

Altıncı bölümde Uşak Üniversitesi üzerinde kurulan deney düzeneği hakkında modelleme ile daha sağlıklı karşılaştırma yapılabilmesi için gerekli bilgiler verilmiştir. Modelleme tasarım detayları anlatılmış, programda kullanılacak ağ örgüsü yöntemiyle birlikte bu konunun öneminden bahsedilmiştir.

Yedinci bölümde yapılan doğrulama ve optimizasyon analizleri hakkında bilgi verilmiş, bu analizlerin nasıl yapıldığı hangi eşitliklerin ve çözüm metodunun kullanıldığı anlatılmıştır.

Sekizinci bölümde çalışmamızda bulunan sonuçlar açıklanmıştır. Bu sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılıp en uygun sistemi bulma konusunda tartışılmıştır. Sistemin optimizasyonu sağlanmıştır.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1 Güneş Enerjisi Kısa Tarihi

Güneş enerjisi insanlığın doğuşundan beri kullanılan en eski enerji kaynaklarından bir tanesidir. Milattan öne 7 yüzyılda Antik Yunanistan ve Roma'da insanlar güneş ışını konsantre ederek ateş yakmak için büyüteç kullanıyorlardı [1]. Bilinen en eski büyük uygulama milattan önce 287 ile 212 yılları arasında yaşayan Arşimet'in yaşadığı şehir olan Sirakuza şehrini kuşatan Roma gemilerini güneş ışınlarını odaklayarak yakmasıdır. Milattan önce 100 ile 1100 yılları arası bilim dünyası bu olayı referans olarak kabul etti. Ancak 1100 yılına gelindiğinde, o dönemde aynaların üretilmeyeceğini düşünen bilim dünyası bu olayı bir efsane olarak eleştirmeye başladı. Yunan filozof Proclus (M.S. 412-485) Arşimet'in yaptığını deneyerek Konstantinopolis'i kuşatan gemileri yaktı. Ancak birçok tarihçi Arşimet'in aynaları kullanmadığını, bunun yerine güneş ışınlarını gemi üzerinde bir noktaya odaklamak için belli bir parabolik düzlem üzerinde askerlerin kalkanlarını kullandığına inanıyor [2]. Sonuç olarak doğru bir forma kavuşturduğumuzda güneş ışınları yüksek enerji verebiliyor.

İnsanlar genellikle milattan sonra on beşinci yüzyıla kadar güneş enerjisini ateş yakmak için ve besinlerin uzun süre bozulmamasını sağlamak için besinlerini kurutma amaçlı kullanmışlardır. On sekizinci yüzyılda fırınlar üzerine ilk büyük uygulamalar başlamıştır. İsviçreli Horace de Saussure 1767 yılında icat ettiği güneş fırınları, yıllarca insanların yemek pişirme ihtiyacını karşıladı [1]. 1774 yılında güneş ışığını yoğunlaştırmak için güçlü lensler kullanan Fransız kimyacı Lavoisier farklı bir güneş fırını üretti [2]. 1839 yılında ise Fransız fizikçi Edmund Becquerel bir malzemenin ışığa maruz bırakıldığında gerilim oluşturduğunu keşfetti [1]. 19. yüzyılda buhar makinalarını çalıştırmak için güneş enerjisi dönüştürme fikri August Mouchot tarafından geldi. Bunlardan bir tanesi Paris'te sergilenmek üzere birçok güneş enerjisi ile çalışan buhar motoru inşa etti [2]. Profesör William Grylls Adams ve öğrencisi Richard Evans Day selenyum bir tabaka ve iki elektrot kullanarak düzenek kurdular. Bu düzeneğe ışık göndermeleri sonucu az miktarda elektrik akımı gözlemlediklerinde 1876 yılına girmiştik. Amerikalı mucit Charles Fritts ise 1983 yılında yüzde 1 verime sahip bir fotovoltaiik panel üretti [1].

Alman fizikçi Heinrich Hertz 1887 yılında fotoelektrik etkiyi keşfetti. Einstein'ın 1905 yılında fotoelektrik etkiyi açıklayan bir makale yazdı. Metal levha üzerine uzun dalga boylu (düşük enerjili) ışın geldiğinde hareket olmazken ışığın miktarı arttığında da bir değişim gözlemlenmemiştir. Kısa dalga boylu (yüksek enerjili) ışın geldiğinde ise elektronlar fotonlar tarafından kopartılıp bir akım oluşmuştur. Einstein 1921 yılında bu makalesi ile Nobel Fizik Ödülüne layık görüldü. Polonyalı bilim adamı Jan Czochralski günümüzde güneş pilleri yapımında kullanılan, kristal malzemeler üretmek için yöntem geliştirdi. Amerikalı kimyager Dan Trivich 1953 yılında farklı bant aralıklarına sahip güneş pilleri için teorik hesaplamalar yaptı. Amerika Birleşik Devletleri Bell Laboratuvarlarında David Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson tarafından teorik hesapların üzerinden tam bir yıl sonra 1954 yılında yüzde 6 verimli silikon bazlı bir güneş pili üretildi [1].

2.2 Güneş Enerjisi

Güneş yoğun, sıcak ve gaz halindeki maddelerden oluşan, kendi ekseni etrafında ki turunu 4 haftada tamamlayan bir küredir. Güneş enerjisinin yüzde doksanın yarıçapının 0,23 katına sahip küresel bir bölgede üretildiği bilinmektedir. Bu bölgenin ortalama yoğunluğu 105 kg/m^3 'dür. Sıcaklık ise 8-40 milyon K arasında değişmektedir. Bu bölgede oluşan füzyon tepkimeleri ile enerji açığa çıkar. Füzyon tepkimelerinde ise 2 hidrojen molekülü çekirdeğinin içinde bulunan toplam 4 proton yaklaşık 10^7 K sıcaklıkta birleşerek bir helyum molekülü oluşturur. 4 hidrojen protonun kütlesi helyum molekülünün kütlesinden fazladır. Aradaki bu kütle farkı Einstein'ın bağlantısı ile enerjiye dönüşür.

$$E = mc^2 \quad (2.1)$$

Bu bölgede meydana gelen füzyon tepkimesi ise alttaki eşitlik ile gösterilebilir.



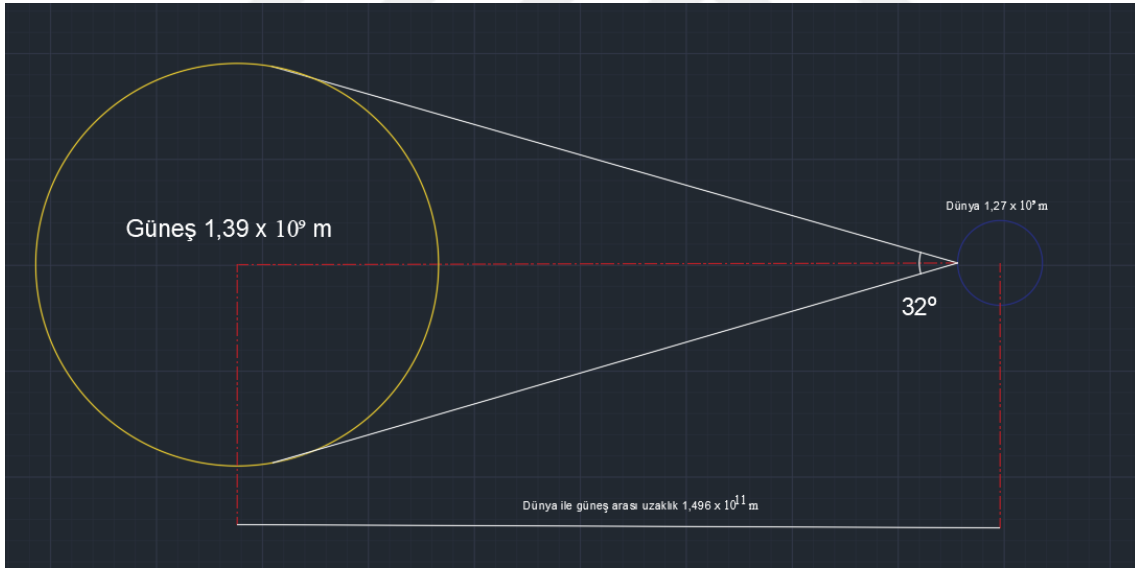
Üretilen enerji ($E = mc^2$) konveksiyon ile güneşin dış yüzeyine aktarılır. Çapının 0,7 katına sahip küresel bölgeye kadar sıcaklık ve yoğunluk düşer. Çapının 0,7 katı ile

çap arasındaki bölgede konveksiyon ısı transferine hakimdir. Bu bölgeye konvektif bölge dış kısmına ise fotosfer adı verilir. Fotosfer daha düşük yoğunluğa sahiptir. Bunun dışında ters katman daha dışarda kromosfer adı verilen tabaka vardır. Bu tabakalara gidildikçe serinlik artarken yoğunluk düşer. Güneş bu noktada 5760 K kara nokta sıcaklığına sahiptir. Enerji artık radyasyon ile uzaya yayılır. Bunu Stefan-Boltzmann tarafından bulunan eşitlik ile hesaplarız [3].

$$E = \epsilon \sigma T_s^4 \quad (2.3)$$

ϵ ışıyım yayma katsayısı, σ Stephan-Boltzmann sabitidir.

$1,39 \cdot 10^9$ çapına sahip güneş ile dünya arasında $1,496 \cdot 10^{11}$ m mesafe bulunmaktadır. Teğet olarak çizilen ışın doğruları arasında da 32° bir açı bulunmaktadır. Bu değerler şekil 2.1 ile gösterilmiştir. Güneş ışıyımını dünyamıza ışık hızıyla ($299.792.458$ m/s) 8,4 saniyede ulaşmaktadır [4].



Şekil 2.1 Güneş ve Dünya arasında uzaklık, çap ve açı değerleri

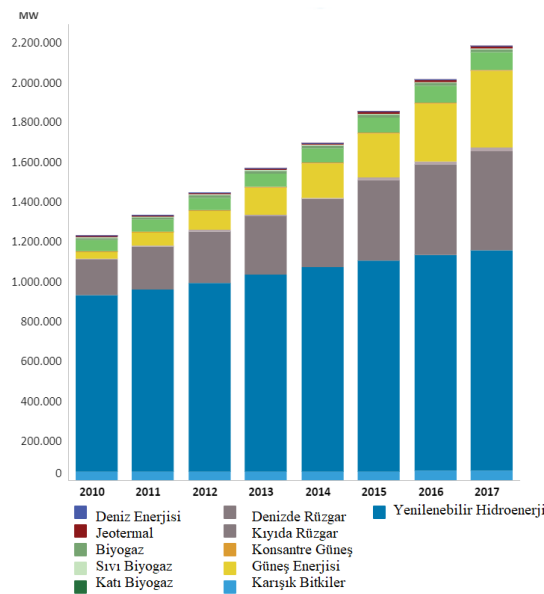
Uzayda dünyanın yörüngesi üzerinde güneş ışınları yüzeye dik geldiği zaman 1366 W/m^2 olarak gözlemlenmiştir. Bu değer güneş sabiti olarak adlandırılır. Bu değer bölgesel faktörler, güneş açıları gibi etkenler ile değişmektedir. Güneşten gelen ışıyımın %25'i atmosferin etkisi ile ve bulutlara çarpıp uzaya geri yansır, yaklaşık %25'i atmosferde dağılmaya uğrar, %15'i bulutlar ve atmosfer tarafından emilir, %8'i

yeryüzünden uzaya geri yansır. Geriye kalan yaklaşık olarak %27'si ise doğrudan yere ulaşır [3].

Dünyada güneş enerjisi kullanım oranları ile ilgili olarak bir değerlendirme yapıldığında, birinci sırada Çin'i 130,646 MW kurulu güç ile görmekteyiz. İkinci sırada Çin'i, coğrafi konumun etkisi ile güneşten faydalanma oranı yüksek olan Japonya 49,040 MW kurulu güç ile takip etmektedir. Üçüncü sırada ise Amerika Birleşik Devletleri yer alıyor. 43,031 MW kurulu güce sahip olan ülke 2017 yılında üçüncülüğe yükselmiştir. Özellikle sera gazlarının etkisini azaltmak için ve küresel ısınma ile mücadele kapsamında, ülkeler bu alanda yatırımlarını artırmışlardır. Türkiye ise bu sıralamada 3,422 MW ile listede 13. sırada yer almaktadır [5].

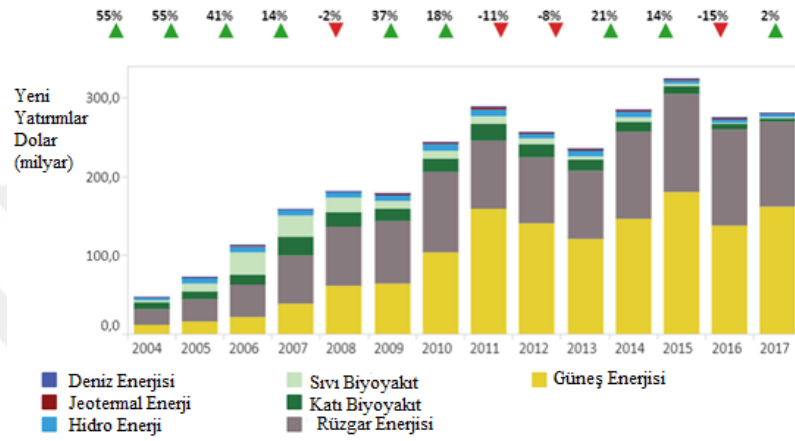
Ülkelerin hangi yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneldiği ve bu kaynakların payları çizelge 2.1 ile gösterilmiştir. 2010 yılından 2017 yılına kadar olan aralıkta yenilenebilir hidroenerji başı çekmektedir. Yenilenebilir hidroenerjiyi bu yıllar içerisinde 2,5 kat büyüme gösteren rüzgâr enerjisi takip etmektedir. Yaklaşık 8-10 kat büyüme gösteren güneş enerjisi ise kurulu güç payı olarak üçüncü sırada yer almaktadır. Bu enerji kaynakları dışında da jeotermal enerji, biyoenerji çeşitleri, deniz enerjisi de artış göstererek ileride enerji üretiminde daha yüksek paya sahip olacaklarının işaretlerini vermektedirler.

Çizelge 2.1 Yenilenebilir enerji kaynakları kurulu güçleri [5]



Finansal olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım ise genel olarak artış göstermiştir. Avrupa kıtasında 2008 yılında yaşanan kriz etkisiyle birlikte yılı yüzde 2 oranında bir azalma ile kapatan kaynaklar, 2009 yılında yüzde 39 oranında bir artış ile aradaki açığı kapatmıştır. Yatırım miktarları çizelge 2.2 ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yeni yatırımlar [5]



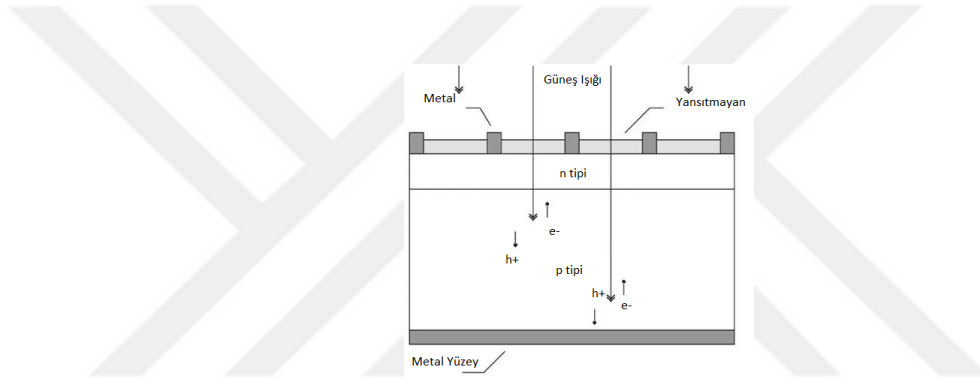
2.3 Güneş Pilleri

Güneş ışığı ve bütün elektromanyetik radyasyon belli miktarda enerji taşıyan foton adı verilen parçalardan oluşmaktadır. Güneş pilleri diğer adı ile güneş panelleri gelen elektrik ışını demetlerini diğer ismi ile fotonları soğurarak verimleri oranında elektrik enerjisine fotovoltaiik etki prensibine göre dönüştüren diyotlardır. Sadece spektral cevap aralıklarına karşılık gelen dalga boyuna sahip ışınları elektrik akımına dönüştürmektedirler. Fotovoltaiik etki ise iki farklı malzemenin birleşme noktasında potansiyel fark oluşmasıdır. 1905 yılında Einstein ışığın iyi tanımlanmış enerji kuantasından yani fotonlardan oluştuğunu varsayarak fotovoltaiik etkiyi açıklayabileceğimizi makalesinde dile getirmiştir. Yüzeyden gelen güneş ışınları panellerin üst kısımlarına gelir. Gelen ışınlar diyotun temas noktalarından birini oluşturan metalik bir ızgara tarafından yarı iletkenine iletilir. Bu sayede güneş ışınları soğrulur ve elektrik enerjisine dönüşür. Izgara üzerindeki yansıma önleyici katman yarı iletken üzerine gelen ışık miktarını artırır. Yarı iletken p tipi ve yarı iletken n tipi katmanlar elektrik akımını oluşturmak için gereklidir. Periyodik cetvelin 5. grup elementlerinden birinin silisyuma eklenmesi ile son yörüngesinde fazla elektron bulunduran n tipi bir yapı

oluşur. Silisyuma 3. grup bir element eklenmesi ile ise son yörüngesinde boşluk olan p tipi bir yapı oluşur. Bu yönde bir elektron hareketi ile de akım oluşturulmuş olur. En altta ise metal levha ile devre son bulur. Yüzeyle ilk gelen foton enerjisi ise aşağıdaki eşitlik ile bulunur [6].

$$E_{\lambda} = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.4)$$

Burada h Planck sabiti, c ışık hızı, λ ise dalga boyunu temsil eder. Bir güneş pilinin çalışma prensibinin anlaşılabilmesi için yerleşim şeması şekil 2.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Güneş pili çalışma şeması [7]

Sadece yarı iletken bant aralığından büyük enerjili elektron boşluk çifti oluşturmaya yeterli enerjisi olan fotonlar elektrik akımı oluşturacaktır. Bu nedenden dolayı spektral cevap aralığı panel tasarımında ve üretiminde çok önemlidir. Güneşin kör nokta sıcaklığı 5762 K ve izantropik bir radyasyon kaynağı gibi davranır. Güneş ile dünya arası mesafe uzak olduğunda dolayı sadece Dünya üzerinde yayılan ışınımlardan enerji üretilebilir. Dünyanın atmosferi hemen üzerinde radyasyon yoğunluğu veya güneş sabiti 1353 W/m² olarak ölçülmüştür ve spektral dağılım hava kütlesi sıfır (AM0) radyasyon spektrumu olarak adlandırılır. Hava kütlesi ise aşağıdaki eşitlik ile bulunur [7].

$$\text{Hava Kütlesi} = \frac{1}{\cos \theta} \quad (2.5)$$

θ geliş açısı olarak alınmalıdır.

2.4 Fotovoltaik Sistemler

2.4.1 Fotovoltaik Sistemler

PV sistemler güneş enerjisi ile elektrik üretmeyi amaçlayan sistemlerdir. Güneş pillerinin seri ya da paralel olarak birbirlerine bağlanması ile oluşan PV modüller üzerlerine düşen ışınımı güneş pili dönüşüm ilkelerine göre elektrik enerjisine dönüştürürler. PV uygulamalarda çeviriciler panelde oluşan doğru akımı alternatif akıma çevirmekte, şarj kontrolörleri akünün tam boşalması ya da dolmasını, pillerin gece boyunca deşarj olmasını engellemekte, sayaçlar üretilen tüketilen elektrik miktarını ölçmektedir. Aküler üretilen enerji doğru akım olduğundan dolayı depolama görevini üstlenmişlerdir Şebekeye bağlı, akü depolamalı şebekeden bağımsız ve karma sistemler olarak üç şekilde PV sistem kurabiliriz.

Şebekeye bağlı sistemlerde, hücreler bir araya geldiğinde çok güçlü bir elektrik kaynağı oluşturabilir. Avrupa ve Amerika kıtalarında uygulanan politik destekler, teşvikler ve bunları düzenleyen yasalar doğrultusunda şebekeye elektrik verip santral mantığı ile çalışan, ürettiği elektriği doğrudan devletlere satan çok büyük uygulamalar sıkça görülmektedir. Üretilen doğru akım alternatif akıma çevrilerek şehir şebekesine bağlanır. Ayrıca ülkelerin elektrik ihtiyacını karşılamak için çok büyük güneş enerjisi tarlaları da kurulmaktadır. Resim 2.1 ile bir örnek olarak, İspanya'da yapımı 2008 yılında tamamlanan ve 60 MW güce sahip Oldemille Photovoltaic Park gösterilebilir [8].



Resim 2.1 Olmedilla Photovoltaic Park [8]

Şebekeden bağımsız sistemler elektrik altyapısının ulaşmadığı bölgelerde elektrik ihtiyacını karşılamak amaçlı uygulamalardır. Üretilen akım depolanarak ihtiyaç anında ya da doğrudan depolanmadan devreye verilerek kullanılabilir. Elektrik ihtiyacına göre doğru akım alternatif akıma dönüştürülebilir. Ayrıca şebekeden bağımsız fotovoltaikler güneş enerjisi ile çalışan aydınlatma sistemleri, radarlar gibi küçük çaplı uygulamalardan başlayıp, büyük bir pazar payına sahip otomotiv sektörüne kadar birçok alanda kullanılabilir. Özellikle dizel ve benzinli motorların yüksek yakıt maliyeti ve karbon salınımı dikkate alındığında otomotiv sektöründe elektrik enerjisine yönelim artmıştır. Bu elektriği sağlayacak kaynaklar arasında da güneş önemli bir yere sahiptir. Üzerlerindeki güneş pilleri ile elektrik üreten ve bunu mekanik güce çeviren araçlar gelecekte sıkça göreceğimiz bir teknoloji olacaktır. Bu alana ilgiyi artırmak için ise World Solar Car Challenge gibi üniversitelerin katıldığı araç yarışları da düzenlenmektedir. Ayrıca elektrik ile çalışan araçları şarj etmek için kaynağı güneş olan elektrik istasyonları da gündemde olan ve uygulanmaya başlanan konulardan birisidir.

Karma bir PV sistem kuran şirket ya da kişiler ürettikleri elektriği doğrudan şehir şebekesine verirlerken, normal bir kullanıcı gibi elektrik tüketmektedirler. Çift yönlü sayaçlar sayesinde ay sonunda ürettikleri elektrik ve tükettikleri arası farka göre devletten para alırlar ya da üretimin az olduğu aylarda devlete para öderler.

2.4.2 Fotovoltaik Termal Sistemler

PVT sistemler ise piller üzerinde oluşan ısı yükünü termal enerjiye dönüştürerek hem atık ısıdan enerji elde etmeyi hem de pilleri optimum çalışma sıcaklığına soğutarak verimlerini arttırmayı hedeflemektedir. Güneş pillerinin sıcaklık arttıkça verimleri düşmektedir. Bu sıcaklığı düşürmek içinde modül üzerindeki ısıyı uzaklaştırmak gerekmektedir. Bunu sağlamak içinde PVT hücrelerin altına termal güneş uygulamalarında olduğu gibi ısı iletim katsayısı yüksek malzemelerden imal edilen, kanatlar veya kanatçıklardan oluşan yutucu tabakalar eklenmektedir. Bu tabakaların altında ısıyı uzaklaştıracak olan akışkanın dolaşacağı bir kanal sistemi yer almaktadır. En alt kısımda ise modülü tamamlayan ve enerji kayıplarını önleyecek bir yalıtkan malzeme bulunmaktadır. PVT sistem uygulamalarında kolektör seçiminde ise yarısaydam kolektörler, opak güneş kolektörlerine göre daha iyi bir elektriksel verim sağladıkları için tercih edilirler. Çalışma sıcaklığını 50 °C de tutmak için tasarlanmış aktif bir parabolik

oluklu PVT sistem resim 2.2 ile gösterilmiştir. Klasik PVT sistemlerden farklı olarak burada soğutma bir yan ürün olarak eklenip sonuç olarak termal enerjiden faydalanılmıştır [9].



Resim 2.2 Parabolik Oluklu PVT Sistem [9]

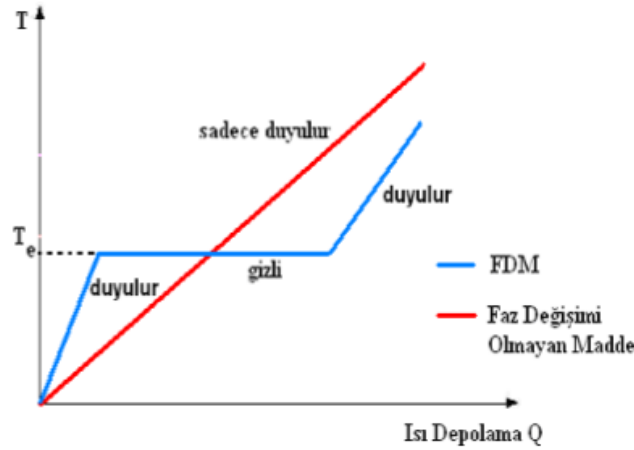
PVT sistemlerin verimini artırmak için parabolik ya da odaklı toplayıcılar kullanılarak da modüller tasarlanabilir. PVT sistemlerden ısıyı uzaklaştırmak için ise genellikle hava ve su dolaşım kanalları kullanılabilir. İlerleyen teknoloji sayesinde ısı iletim katsayısı yüksek olan nanoakışkan malzemelerde dolaşımda kullanılmaktadır. Resim 2.3 ile gösterilen, beş sıra ve üçer kolektörden oluşan bir sistem Amerika Birleşik Devletleri'nde kurulmuştur. 8 kat konsantrasyon oranı veren parabolik reflektörünü oluşturan 24 faset (12 x 2) cam laminat aynalardan oluşan 12 m uzunluğundaki kolektörlerden oluşmaktadır. Her iki yanda alüminyum karo içerisine alınmış PV hücreleri kaplı iki yüzeye sahiptir. Her bir faset için 3 emme kanalı vardır ve kolektörün her bir ucunda da manifold bulunmaktadır [10].



Resim 2.3 Bütünleşik PVT üçgen alıcı detayı [10]

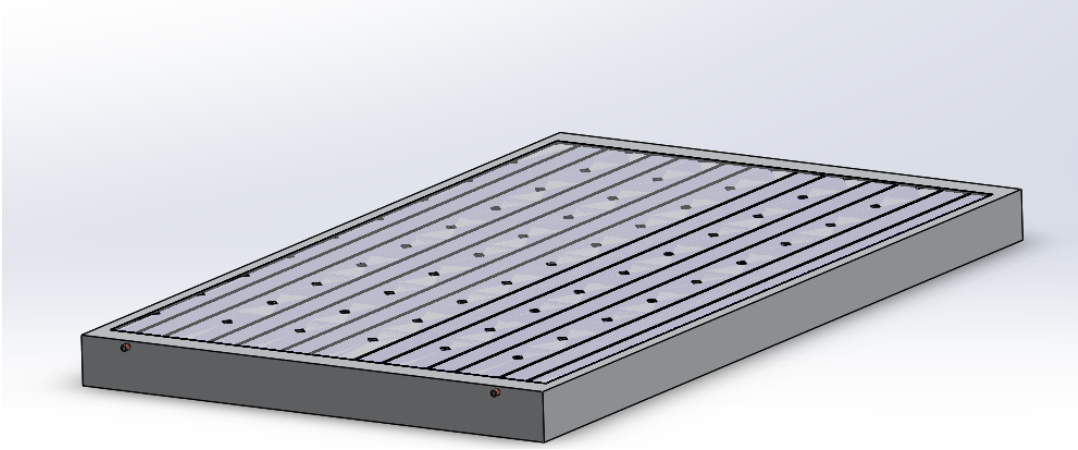
2.4.3 Isı Depolayan Malzeme / Faz Değiştiren Malzeme Destekli Fotovoltaik Termal Sistem

Isı depolayan / faz değiştiren malzeme destekli fotovoltaik termal sistemlerde amaç termal ısıyı belirli bir süre depolayarak termal enerjiyi sürekli bir hale getirmektir. Isı depolamak için genel olarak üç yöntem kullanılır. Gizli ısı depolama, duyulur ısı depolama ve termo reaksiyon ısı depolama bu yöntemlerdir. Gizli ısı malzemelerin faz değişim sırasında çevreden aldığı ya da verdiği ısı olarak tanımlanabilir. Faz değiştirmeye etki eder. Gizli ısı depolamanın daha çok tercih edilme nedeni yüksek enerji depolama kapasitesinin olması ve duyulur ısı depolamaya göre daha az hacimde malzeme ile daha fazla ısı depolayabilmesidir. Malzeme erime sıcaklığına geldiğinde sabit sıcaklıkta kalır ve ortamdan ısıyı soğurur, katılaşma sıcaklığına geldiği zaman ise yine sabit sıcaklıkta ortama ısı yayar. Duyulur ısı ise çevredeki sıcaklık değişimleri etkisi ile malzemelerin çevreden aldıkları ya da çevreye verdikleri ısı olarak tanımlanabilir. Sadece sıcaklık değişimine etkisi vardır. Termo reaksiyon ısı depolamada ise tepkimelerde açığa çıkan ısı depolanır. Şekil 2.3 ile sıcaklığa bağlı olarak gizli ve duyulur ısı türlerinde toplanabilecek ısı miktarı gösterilmiştir.



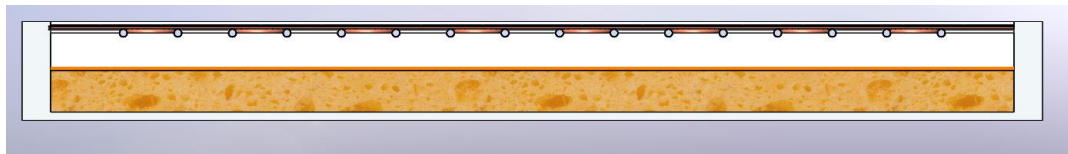
Şekil 2.3 Gizli ve duyulur ısı depolama Q-T grafiği [11]

Resim 2.4 ile ısı depolayan / faz değiştiren malzeme destekli PVT sistemin bilgisayar ortamında çizilmiş modeli gösterilmektedir.



Resim 2.4 Isı depolayan / faz değiştiren malzeme destekli fotovoltaik termal sistem

Isı depolayan / faz değiştiren malzeme destekli fotovoltaik termal sistemin kesit görünümünü aldığımız zaman parçaların yerleşimi Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Parçaların yerleşimi kasa içerisine aşağıdan yukarı olacak Şekilde, en başta yalıtkan daha sonra üzerine ısı depolama malzemesi konularak başlanır. Bu iki malzeme arası tepkime olmaması için bir milimetre kalnlığında ara parça konulması sistemin verimliliği için önemlidir. Isı depolayan / faz değiştiren malzemenin içerisine gömülmüş kanallar ise ısınnın tutulması ve kayıpları azaltmak açısından tasarımda tercih sebebidir. Borular zerindeki bakır tabaka ya da ısı iletim katsayısı yüksek bir iletken, panelden gelecek termal enerjinin aktarılmasında aktif rol oynamaktadır. En üstte ise güneş pilleri modülü tamamlamaktadır.



Şekil 2.4 Isı depolayan / faz değiştiren malzeme destekli fotovoltaik termal sistemin genel kesit görünümü

Optimum tasarım için yerleşimden sonra dikkat edilmesi gereken diğer bir konu ise hava ile taşınım sayesinde oluşacak ısı kayıplarını önlemek için modül içerisinde boşluk bırakmamaktır.

Zeolit

Kristal yapıda hidrasyona uğramış alüminyum silikat minerallerdir. Yapılarında alüminyum, silisyum ve oksijen, gözeneklerinde ise katyon ve su bulunduran kelime anlamı kaynayan taş anlamına gelen kafes yapısında gözenekli kristal katılardır. İlk defa 1756 yılında Zeolitler keşfeden İsveçli bilim adamı Fredrick Cronstedh tarafından verilen bu isim, zeolitleri ısıtmaya başladıktan sonra su köpüğü oluştuğunu görmesi ile bu maddeye verilmiştir.

Doğada lavların deniz veya göl suları ile tepkimeye girmesiyle doğal olarak oluşmaktadırlar. Doğada bulunan bir doğal zeolit örneği resim 2.5 ile gösterilmiştir. Ama endüstriyel olarak da üretilebilmektedirler. Uluslararası zeolit derneği yapı komisyonu tarafından onaylanan 245 adet endüstriyel, 40 adette doğal bulunan zeolit çeşidi vardır. Zeolitler, kimyasal reaksiyonlar için kafes şeklindeki yapısından kaynaklı olarak geniş iç yüzey ve dış yüzey alanına sahiptir. Bu gözenekler hacmin %50'sini kapsar. Zeolitler yüksek iyon değiştirme kapasitesine sahiptirler ve negatif yük ile yüklüdürler. Kafes yapısı ve yüksek iyon değiştirme kapasitesi sayesinde ısıyı tutma ve soğurma özelliğine de sahiptirler. Bu yüzden PVT uygulamalara eklenerek ısı depolama konusunda büyük bir yarar sağlarlar [12].



Resim 2.5 Doğal zeolit

Zeolitler kirlilik önleme, tarım ve hayvancılık, güneş enerji sistemleri ve enerji depolama, inşaat sektörü ve sebze meyve depolama gibi birçok alanda zeolitler kullanılmaktadır.

Türkiye’de hem doğal zeolit yatakları bulunmakta hem de yapay olarak zeolit üretilmektedir. Doğal zeolit rezervlerin en büyüğü ise Balıkesir Bigadiç bölgesinde yaklaşık olarak 500 milyon ton civarındadır. Daha sonra ise 20 milyon ton rezerv ile Manisa Gördes bölgesi gelmektedir. Ülke genelinde ise yaklaşık olarak 50 milyar ton rezerv olduğu düşünülmektedir.

Parafin

Petrol ürünüdür. Faz değiştiren malzemelerle desteklenmiş fotovoltaik termal sistemlerde zeolit gibi sıkça kullanılır. Organik bir faz değiştiren malzeme türüdür. Ortalama ısı depolama yoğunluğuna sahip olması, faz ayrımının olmaması, gizli ısı miktarının istenilen aralıkta olması ve değişken erime katılma sıcaklığına sahip olması parafini öne çıkartmaktadır [13].

Sıkça kullandığımız mumlardan tanıyabileceğimiz parafinler birçok firma tarafından üretilmektedir. Kozmetik alanından inşaat sektöründe ısı yalıtımına, tıp sektöründen güneş enerjisi uygulamalarına kadar birçok alanda kullanılmaktadırlar.

3 LİTERATÜR ÖZETİ

Dincer ve arkadaşları (2009) çalışmalarında, hava dolaşımı fotovoltaiik termal sistemin performansını incelemişlerdir. Hindistan Yeni Delhi iklim şartlarında çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Her iki düzenek içinde aynı giriş sıcaklığı, debi ve ortam şartlarını sağlamışlardır. Performanslarını karşılaştırmak için sistemde kullanılacak PV modülü camdan cama ve camdan tedlara tabakasına olacak şekilde iki türlü kullanmışlardır. Camdan cama olan PV modülün daha iyi ısıl performans sağladığını gözlemlemişlerdir [14].

Agrawal ve Tiwari (2011) çalışmalarında, tasarım olarak sabit kütle debisi altında akışkan olarak hava kullandıkları mikro kanal fotovoltaiik termal sistemin enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. Bu analizleri tek kanallı fotovoltaiik termal sistem içinde tekrarlayarak bu iki sistemin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Hindistan'da dört farklı hava şartlarında değerlendirmelerini yapmış olan ekip mikro kanal olan sistemde termal kazancının, Srinagar, Banglore, Jodhpur ve Yeni Delhi bölgesinde sırasıyla %70,62, %73,88, %74,05 ve %72,59 oranında tek kanallı fotovoltaiik sistemlere göre arttığı sonucuna varmışlardır. Ekserji kazancıda sırası ile %60,19, %63,47, %62,41 ve %60,47 oranında arttığı sonucuna ulaşmışlardır [15].

Tyagi ve arkadaşları (2012) çalışmalarında, fotovoltaiik termal kolektörlerin teknolojisinde ilerlemeleri araştırmışlardır. Su veya hava dolaşımı sağlanarak PV hücrelerden ısıyı uzaklaştırırken, atık ısı termal enerji olarak kullanılabilir ve hücreler optimum çalışma sıcaklığına getirilebilir sonucuna varmışlardır. Bu sistemlerin maliyeti düşürülüp verimleri arttıkça geleceğin teknolojisi olabileceğini bildirmişlerdir [16].

Doğanay (2014) çalışmasında, Kırklareli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Bina'sının elektrik ihtiyacı baz alınarak fotovoltaiik termal bir sistem tasarlamıştır. Bu Sistemi 3 farklı açı ile güneşe bakacak şekilde yerleştirmiştir. Tasarladığı sistemin analizini TRNSYS programı programında yapmıştır. Güneş pili sıcaklığının artmasıyla birlikte yaz ayında elektriksiz verimin düştüğü, artan ısınım ile birlikte elektrik üretiminin arttığı sonucuna varmıştır. Ayrıca açılara göre de hesaplama yapmıştır ve kışın 16 derecede en yüksek elektrik verimine yazın ise 66 derecede en yüksek elektrik verimine ulaşmıştır. Termal enerji veriminin de yaz ayında düştüğü, kış aylarında ise üretimin düştüğü sonucuna varmıştır [17].

Fang ve arkadaşları (2014) çalışmalarında, fotovoltaik termal sistem ve kolektör uygulamalarının performans değerlendirmesini yapmışlardır. Sonuç olarak su veya hava dolaşımı sağlanarak ısının PV hücrelerden uzaklaştırılabileceği ve PV panellerin veriminin artacağı sonucuna varmışlardır. Hava dolaşımli sistemlerin binalarda ısıtma sorununa çözüm olacağını bildirmişlerdir [18].

Khelifa ve arkadaşları (2015) çalışmalarında, güneş enerjisinden elektriksel ve termal olarak faydalanmak ve sonuçlarını görmek için fotovoltaik termal bir kolektörün analizlerini ANSYS programında yapmışlardır. Model çizimlerini ve akışkan alanını program içerisinde bulunan “DesingModeler” ara yüzü ile çizip, mesh geometrisini “meshing” ara yüzü ile oluşturmuşlardır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanarak fotovoltaik termal modülü analiz etmişlerdir. Isı transferi ve akışkan akışı ANSYS üzerinden hesaplanırken, piller ve akışkan arası ısı transferi FLUENT ara yüzü ile yapmışlardır. Güneş radyasyonu ile ısı transferi modellenemeyeceği için kolektör bölgesinde ısı akışı sınırı için koşullar hesaplanırken radyasyonu göz önünde bulundurmuşlardır. Hücre sıcaklığının düştükçe elektriksel verimin arttığını gözlemlemişlerdir. Akışkanı 20 °C sıcaklık ile sisteme vermişlerdir. 40 °C civarında sistemden çıktığını gözlemlemişlerdir. Panel sıcaklığının modülün üst katmanlarında daha yüksek, aşağıya indikçe azaldığını ve akışkan ile sistemi terk eden ısıyı gözlemlemişlerdir. Panel sıcaklıklarının ise 20-83,57 °C arası değiştiğini gözlemlemişlerdir [19].

Browne ve arkadaşları (2015) çalışmalarında, fotovoltaik (PV) modül, yoğunlaştırılmış fotovoltaik (CPV) modül ve bina entegreli faz değıştiren malzeme destekli fotovoltaik termal (BIPV) modülün karşılaştırmasını yapmıştır. Yoğunlaştırmanın sıcaklık artışı ile termal verimi olumlu yönde etkilerken hücre sıcaklığını artırarak elektriksel verimde düşüş neden olduğu, faz değıştiren malzeme kullanılmasının binalarda termal verimi artırdığı sonucuna ulaşmışlardır [20].

Michael ve arkadaşları (2015) çalışmalarında, fotovoltaik termal sistemler için bir referans kılavuzu oluşturmuşlardır. Buldukları sonuçlara göre PV modüle bir termal dolaşım eklendiğinde %80 oranında termal ve %20 oranında elektriksel verim artışı elde edilebilir kanısına varmışlardır. Sıcak ve nemli bölgelerde yani ışıını bol alan bölgelerde kurulan sistemlerde panel sıcaklığı soğutulduğunda en yüksek verimin elde edildiğini yazmışlardır [21].

Khelifa ve arkadaşları (2016) çalışmalarında, ANSYS programı kullanarak fotovoltaik termal bir sistemin hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizlerini yapmışlardır. Panel sıcaklıklarının su dolaşımı sayesinde %15 ile %20 oranında azaldığı sonucuna varmışlardır [22].

Uçman (2017) çalışmasında, fotovoltaik termal sistem ve bina entegreli fotovoltaik termal sistemlerde akışkan seçiminin elektriksel karakteristik üzerine etkisini incelemek için deney düzeneğini doğal hal, hava sirkülasyonlu ve su sirkülasyonlu olmak üzere üç şekilde tasarlamıştır. Değişik tarihlerde 27-32 °C sıcaklıklarda ve 750-950 W/m² ışınımlarda testlerini yapmıştır. Çalışmasında su sirkülasyonu doğal yolla sağlanırken, hava sirkülasyonu için fan kullanmıştır. Isı ile PV panelin veriminin olumsuz etkilendiğini, elde edilen termal enerjinin binanın sıcak su temininde kullanılabileceğini gözlemlemiştir. Hava sirkülasyonlu panelde verimin normal panele göre %3,60 arttığını, su sirkülasyonlu panelin verimin ise normal panele göre %9 arttığını gözlemlemiştir. Çıkış suyu sıcaklığını ise 37 °C olarak ölçmüştür ve ısıtma suyu kullanımında oldukça uygun olduğunu gözlemiştir [23].

Fang ve arkadaşları (2017) çalışmasında, fotovoltaik termal bir sisteme faz değiştiren malzemeler eklemiştir. Farklı erime noktasına sahip farklı malzemelerle maksimum verim elde etmek için çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Faz değiştiren malzeme olmayan, erime noktaları 30 °C, 40 °C, 50°C ve 60°C olan faz değiştiren malzemeleri ekleyerek çalışmalarını yapmışlardır. Tüm bu çalışmalar için kalınlığı değiştirmişlerdir. Işınımın arttığı öğle saatlerinde panel sıcaklığı arttığından dolayı erime noktası 30 °C olan malzeme en yüksek verimi almışlardır. Kalınlık 30 °C erime noktalı FDM için 2,5 cm, 50 °C erime noktasına sahip FDM için 3 cm, 40°C erime noktasına sahip FDM 3,4 cm için en iyi genel verim sonuçlarını almışlardır. 60°C için ise 2,5 cm başlayarak kalınlık arttıkça verim düşmüştür. Termal güç çıkışı ise faz değiştiren malzemenin etkini göstereceği güneşin battığı saatlerde 60 °C erime noktası olan malzeme yüksek iken, zaman geçtikçe en yüksek değer 30 °C erime noktalı malzeme olduğunu gözlemlemiştir. Optimum sonucun ise 3,4 cm kalınlığında erime noktası 40 °C olan malzeme yakalandığını görmüşlerdir [24].

Eyinc (2018) çalışmasında, kütlece %95 faz değiştiren malzeme ve %5 nanopartikül (Al_2O_3) kullanarak faz değiştiren malzeme destekli fotovoltaiik termal bir sistemin elektriksel ve termal davranışlarını enerji ve ekserji analizi yöntemleri ile hesaplamıştır. İlk sistemde ısı depolayan malzeme kullanmamış, ikinci sistemde parafin mum faz değiştiren malzeme kullanmış ve son sistemde nanopartikül parafin karışımı kullanmıştır. En yüksek enerji verimini nanopartikül kullanılan sistemde 15,8 W kazanç ile sağlamıştır Ekserji verimi yalın PVT sisteme göre sırası ile parafin mum kullanılan sistemde %9,2 ve nanopartikül kullanılan sistemde %10 oranında artış gösterdiği sonucuna varmıştır [25].

Benli (2018) çalışmasında, Adana ili iklim şartlarında ve ışınım değerlerinde aynı koşullarda PV sistem ve su kullanılan PVT sistem karşılaştırması yapmıştır. PVT sistemde dolaşan suyun ısıyı panellerden uzaklaştırarak elektriksel verimi PV panellere göre artırdığını ve akışkanın debisini artırmanın termal enerji çıkışını artırdığını gözlemlemiştir. Ayrıca giriş suyu sıcaklığının düşürmenin elektriksel verimi artırdığı sonucuna varmıştır [26].

Serdarabadi ve arkadaşları (2018) çalışmasında, bir PV modülü, nanoakışkan dolaşimli fotovoltaiik termal sistem ve nanoakışkan bazlı faz değiştiren malzeme olarak parafin kullanılan faz değiştiren malzeme destekli PVT sistem kurarak birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Ağustos ve Eylül aylarında İran'da ki Ferdowsi Üniversitesinde kurulan düzeneğin üzerinde yapılan çalışmada faz değiştiren malzeme kullanılmasıyla çıkış termal gücünü %29,60 oranında artırdığını gözlemlemiştirlerdir. Ekserji verimi, PV için 10,73 değerindeyken PVT sistemde 11,48 değerine, faz değiştiren malzeme eklenmesiyle oluşan sistemde ise 12,01 değerine yükseldiğini görmüşlerdir. En yüksek elektriksel gücünde faz değiştiren malzeme eklenmesi ile sağlandığı sonucuna ulaşmışlardır [27].

Kalita ve arkadaşları (2018) çalışmalarında, düz plaka fotovoltaiik modüller için tasarım ve geliştirme üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda karbon salınımlarının azaltılması için ülkelerin güneş enerji sistemlerine yöneldikleri saptamasında bulunmuşlardır. Delikli kanatçık PVT ile gözenekli ortamda doldurulmuş çift kanallı PVT hava ısıtıcıları termal ve elektriksel verim artışı için en uygun sistemlerdir. Ekonomik yöntem için Toleranslı Sermaye Metodunun uygun olduğu ve akışkan seçiminin termal enerji çıkışına önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır [28].

Nasrin ve arkadaşları (2018) çalışmalarında, FEM tabanlı yazılım olan COMSOL Multiphysics ile su dolaşımı ve MWCNT-su nanoakışkan dolaşımı fotovoltaiik termal sistemin 3 boyutlu sayısal hesaplamalarını yapmışlardır. Güneş radyasyonu 1000 W/m^2 giriş sıcaklığı $32 \text{ }^\circ\text{C}$ ve ortam sıcaklığını $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sabit tutmuşlardır. 30-120 l/h arası debi değerlerini kullanmışlardır. 120 l/h debi değerinde elektriksel verimde nanoakışkan kullanımı sayesinde sayısal %10,72, deneysel olarak %12,25 iyileştirme sağlamışlardır. Güneş pili sıcaklığının her 10 l/h debi değeri için sayısal $0,77 \text{ }^\circ\text{C}$, deneysel olarak $0,72 \text{ }^\circ\text{C}$ düştüğünü gözlemlemişlerdir. Nanoakışkan 120 l/h debi değerinde termal olarak sayısal %81,24 deneysel olarak %79,1 termal verim gözlemlemişlerdir. Optimum akışkan oranını ise 0,75 MWCNT-su konsantrasyonunda sağlamışlardır. Her 10 l/h debi değeri için sayısal 7,74 W, deneysel olarak 6,89 W termal enerji artışı gözlemlemişlerdir [29].

Nasibov (2018) çalışmasında, üzerine gelen ışınımı artırmak için tasarlanan yoğunlaştırılmış fotovoltaiik termal bir sistemi incelemiştir. Yoğunlaştırma sayesinde güneş pili üzerine gelen ışınımın arttığını gözlemlerken, artan sıcaklığın pillere zarar verdiğini görmüştür. PV çıkış gücünde uyumsuzluk kaybı olarak adlandırılan PV güç kayıplarını da gözlemlemiştir. Aynı ortam şartları, debi ve basınçta farklı akışkanlarda yaptığı çalışmalarda su için giriş ve çıkış sıcaklığı farkını $8,77 \text{ }^\circ\text{C}$ bulurken, R410A ve R134a akışkanlarında giriş ve çıkış sıcaklık farkı $34 \text{ }^\circ\text{C}$ çıktığını görmüştür. Özellikle ısı transferini artırmak için akış hızının yüksek seçilmesi sonucuna varmıştır. Ayrıca “akışkan giriş sıcaklığının da yüksek olması PV elektrik üretimi için olumsuzdur” sonucuna varmıştır [30].

Fodholi ve arkadaşları (2018) çalışmasında, n oluklu bir fotovoltaiik termal sistemin enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır. Teorik çalışmalarını 385 ve 820 W/m^2 ışınım değerleri ve $0,007$ - $0,07 \text{ kg/s}$ debi değerlerinde yapmışlardır. Oluklu yapıdaki yutucu plakanın ısı transfer alanını artırarak termal enerji çıkışına olumlu bir etki yaptığı gözlemlemişlerdir. Debi artışıyla birlikte PV, termal ve PVT verimlerinin arttığı gözlemlemişlerdir. 385 W/m^2 değerindeki verimlerin bütün debi değerlerinde 820 W/m^2 ışınım değerindeki verime göre daha yüksek olduğu gözlemlemişlerdir. Teorik ve deneysel hesaplamalar arasında ise, PV için ortalama %1,41 termal çıkış için ise %11 oranında bir sapma gözlemlemişlerdir [31].

Yang ve arkadaşları (2018) çalışmalarında uygun maliyetli fotovoltaik termal sistem tasarımı ve deneysel analizlerini yapmışlardır. Verimi artırmak için ayna destekli yoğunlaştırılmış sistem kurarlarken, ısıyı uzaklaştırmak için soğutma suyu panellerin altına yerleştirdikleri iki alüminyum borudan akacaktır. Sonuç olarak %16,6-20 arası elektriksel verim ve %59 termal verime ulaşmışlardır [32].

Hossain ve arkadaşları (2019) çalışmalarında, iki yüzey serpantin boruya sahip akış tabanlı faz değıştiren malzeme destekli fotovoltaik termal sistemin incelemesini yapmışlardır. Sızdırmaz alüminyum folyo paketlerinde bulunan faz değıştiren malzeme olarak kullanılan lorik asidi, uzun süre ısı depolayacak şekilde akış kanalı etrafına yerleştirmişlerdir. Sisteme dakika başına 0,5-4 l/h arası debi göndermişlerdir. En yüksek termal verimi 2 l/h debi değeriinde %87 olarak bulmuşlardır. En yüksek elektriksel verimi ise PV için %9,88 ve PVT-PCM sistem için %11,08 değeriinde 4 l/h debi için bulmuşlardır. Maksimum ekserji verimliliğini de 0,5 l/h debisinde PV için %7,09 ve PVT-PCM için %12,19 olarak bulmuşlardır [33].

Serhaddi ve arkadaşları (2019) çalışmalarında, doğrusal parabolik oluklu fotovoltaik termal sistemin ekserji performansını değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında simülasyon sonuçlarının önceki çalışmalarla paralel olduğunu görmüşlerdir. Kanal çapı ve akışkan hızını değıştirmenin ekserji performans değışiminde çok küçük bir etkiye sahip olduğu ve ihmal edilebileceği sonucuna varmışlardır. Akışkan hızını 0,08 m/s değeriinden 0,43 m/s değeriine çıkarttıklarında elektriksel olarak %1,05 ve ekserji verimi olarak %2,2 verim artışı gözlemlemişlerdir. Soğutucu akışkan giriş sıcaklığı 20 °C'den 90 °C çıkarılması %8,2 ekserji verimliliği sağladığını ama elektriksel ve termal verimde düşüşe neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Işınım değeriinin 50 W/m² değeriinden 1000 W/m² çıkarılması ile ekserji verimi ve elektriksel verimin arttığını gözlemlemişlerdir. Ortam sıcaklığının artmasının da ekserji, elektriksel ve termal verimi artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Alıcı genişliği artmasının da ekserji verimi artırdığı sonucuna varmışlardır [34].

Fang ve arkadaşları (2019) çalışmasında, fotovoltaik termal sistemler üzerine araştırmalar yapmışlar ve yapılan çalışmaları derlemişlerdir. Destek enerji sistemleri eklenmesi, çalışmalar için daha doğru bir şekilde daha fazla çaba gösterilmesi gerektiği ve sistemlerde kullanılacak daha verimli malzemelerin araştırılması gerektiği sonucuna varmışlardır [35].

Ma ve arkadaşları (2019) çalışmalarında, faz değiştiren malzeme destekli fotovoltaiik termal sistemin sayısal ve parametrik analizlerini ANSYS 16.2 programı ile incelemiştirlerdir. Çalışma sıvısı olarak suyu kullanmışlardır. Parametre olarak faz değiştiren malzeme için erime sıcaklığı, füzyon ve iletkenliğini, sistem için güneş ışıını ve kütle debisini değiştirmişlerdir. 3 boyutlu analizlerinde faz değiştiren malzemenin erime ve katılaşmasını modellemek için “enthalpy-prosity” metodunu kullanmışlardır. ANSYS 16.2 programında “Pressure-based” (sıkıştırılmaz akış) ve “transient” (zamana bağılı) seçenekleriyle birlikte sonlu hacim metodunu, hız ve basınç bileşenlerinin birleşmesi için ise “Basic” algoritmasını kullanmışlardır. Faz değiştiren malzeme eklenmesinin güneş pili yüzey sıcaklığını düşürdüğünü ve elektriksel verimi artırdığı sonucuna varmışlardır. Faz değiştiren malzemenin termal iletkenliği arttıkça elektriksel ve termal verimin arttığı sonucuna varmışlardır. Faz değiştiren malzemenin erime sıcaklığının 40 °C’den 65 °C çıkartılması yüzey sıcaklığını artırırken elektriksel verimde azda olsa bir düşüşe, çıkış suyu sıcaklığında yaklaşık 2 °C bir artışa neden olduğu sonucunu bulmuşlardır [36].

Hasanuzzaman ve arkadaşları (2019) çalışmalarında, faz değiştiren malzeme destekli fotovoltaiik termal sistemin analizini teorik olarak ve dış ortamda gerçek zamanlı deneysel olarak yapmışlardır. Teorik analizlerini COMSOL Multiphysics programı ile yapmışlardır. 200 W/m² ve 1000 W/m² ve 32 °C giriş sıcaklığında yapılan sonuçlarda program ve deney düzeneği arası birbirine yakın sonuçlar bulmuşlardır. Sayısal ve deneysel olarak 12,6 °C ve 10,6 °C panelde sıcaklık düşüşü gözlemlemişler ve hesaplamışlardır. Sayısal ve deneysel olarak sırasıyla 200 W/m² ışıını değerinde PV için 13,72 ve 15,56 elektriksel verim, PVT için %13,85 ve %13,74 elektriksel verim ve PVT-PCM için %14 ve %13,87 elektriksel verim sonucuna ulaşmışlardır [37].

Bigorajski ve arkadaşları (2019) çalışmalarında, ılıman iklim koşullarında mikro fotovoltaiik termal bir sistemin analizlerini yapmışlardır. Deneysel sistemlerini Polonya’da en sıcak hava koşullarına benzer Yunanistan’ın Patras bölgesinde kurmuşlardır. Yüksek enlem ülkelerinde sistemin Aralık ve Ocak aylarında elektriksel verinin arttığı sonuna ulaşmışlardır. Yaz aylarında ise termal verimin arttığı, elektriksel verimin düştüğünü gözlemlemişlerdir [38].

Kazem (2019) çalışmasında, fotovoltaik termal bir sistemin analizlerini yapmıştır. Akışkan olarak su kullanmış ve deneysel çalışmasını Umman'da yapmıştır. PVT sistemin PV panele göre ortalama %6 daha fazla genel verime sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır [39].

Bu tez çalışmasında literatürde oldukça az olan zeolit malzemesinin kullanımını ve sonuca etkisini araştırma konusunda diğer örneklerden ayrılmaktadır. Bu tez çalışmasında, literatürde ilk kez zeolitle bütünleştirilmiş ısı depolayan malzeme destekli PVT sistemlerin modellenmesi ve optimizasyonu ele alınmıştır. Ayrıca daha çok deney üzerinde alınan sonuçlara karşılık, bilgisayar ortamında modelleme çalışmalarının az olduğu literatürde göze çarpmaktadır. Bu noktada bilgisayar ortamında birçok deney yapılarak diğer uygulamaya ve araştırmalara göre pratikliği öne çıkmaktadır. Böylece daha fazla işlem ile daha doğru sonuca ulaşmak mümkün olmuştur.

4 TEZİN AMACI, ÖNEMİ VE KAPSAMI

Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan, dünyanın enerji ihtiyacının katbekat fazlasını bize bir saniye gibi kısa bir sürede gönderen güneş konusunda çalışmalar yapıp gelen ışınımı en verimli şekilde kullanmak, verimini en yüksek değerlere getirmek ve bu enerjiyi güneşin olmadığı saatler için depolayarak sürekliliğini sağlamak bu tez çalışmasında hedeflenmektedir. Kullanıcıların istedikleri anda ulaşabilmeleri için güneş enerji sistemlerine eklenmiş ısı depolayan malzeme ya da faz değiştiren malzeme türleriyle oluşturulan sistemleri incelemek, analizlerini yapmak ve deneysel verilerle karşılaştırmak bu tez çalışmasının amaçları arasındadır. Bu tez çalışmasının amacı literatürde örneği olmayan, ülkemiz sınırları içerisinde bolca bulunan ısı depolayan malzeme türü zeolit malzemesini ve en sık kullanılan faz değiştiren malzeme olan parafin malzemesini fotovoltaiik termal sisteme ekleyerek termal enerji kazancını sürekli olarak sağlamak ve elektriksel verimi artırarak, literatüre yeni bilgiler eklemektir.

Deney düzeneği kurularak oluşturulan sistemlerde sistemin yapısını, bir parçanın boyutlarını değiştirmek ya da yeni parça ekleyip çıkartmak zahmetli ve maliyetli bir iştir. Buna ek olarak benzer sistemler tasarlamak ve birden fazla sistem kurmakta maliyeti artırmaktadır. Bilgisayar ortamında oluşturulan sistemlerde ise bu değişimler kolayca yapılabilmektedir ve birçok farklı parametre için sonuç alınabilmektedir. Bilgisayar ortamında yapılan bu değişimler sayesinde ekstra bir maliyet ödemedi birçok değişkenin sonuca etkisini kolayca gözlemlemek ve bu sayede en verimli sonucu bulmak bu tez çalışmasının önemini vurgulamaktadır.

Ayrıca ülkemizde bol miktarda bulunan zeolit malzemesi ile çalışmalar yaparak, kolay ulaşabileceğimiz bu malzemeyi kullanılır duruma getirmek bu çalışmanın önemini oluşturan etkenlerden bir tanesidir.

Isı depolayan veya faz değiştiren malzemeler ile destekleniş PVT sistemler, bu sistemler içerisinde kullanılan tüm modül ve elemanlar bu tez çalışmasının kapsamını oluşturmaktadır. Bu Tez çalışmasının kapsamı içerisinde, sistem akışkanı olan suyun giriş çıkış sıcaklıklarıyla birlikte debisi, faz değiştiren malzemenin cinsi ve kalınlığı, akışkanın dolaştığı kanalların boru çapı ve boru malzemesi bu tez çalışmasının değişkenleridir. Bu sistem ilgili yapılacak olan kabuller, ısı transferi eşitlikleri, kuramsal analiz, değişkenlere

bağlı sonuçların açıklanması ve optimum tasarımın bulunması, daha sonra gelecek için öneriler ve tartışma konuları da bu tez çalışmasının kapsamı içerisinde.



5 KURAMSAL ANALİZ

Bu bölümde bilgisayar ortamında yapılacak olan ısı analiz için yapılacak kabuller, kullanılacak parametreler ve kontrol hacmi hakkında bilgi verilmiştir. Teorik olarak programın çözüm için kullandığı ısı transferi eşitlikleri bu bölümde verilmiştir.

5.1 Isı Transfer Analizi

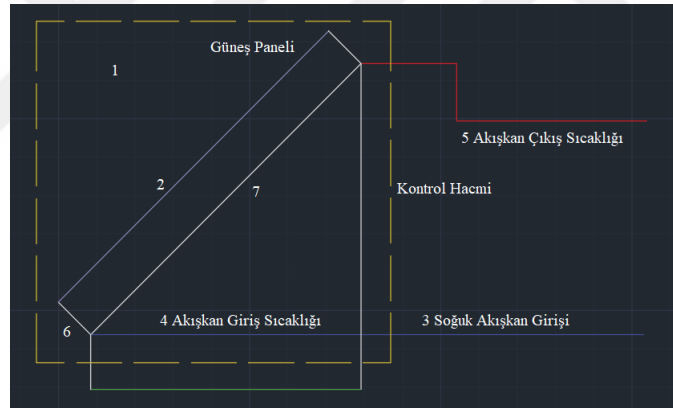
Isıl olarak bir sistemin analizi bize sistemin performansı ve verimi hakkında en doğru bilgiyi vermektedir. Isı transferi analizinde termodinamiğin ısı ile ilgisi yasaları da göz önünde bulundurulmalıdır. Birinci yasa kapsamında enerjinin korunumu olarak yapılacak olan analiz, ikinci yasa kapsamında ise enerjinin niteliği ve faydalı olarak kullanabileceğimiz miktarını belirlemek göz önünde bulundurulmuştur. Analizler ve bilgisayar ortamında yapılacak simülasyonlar sonucunda da en verimli sistemi elde etmeye çalışılacaktır. Bilgisayar ortamında ve ısı analizinde kullanılacak parametreler aşağıdakilerdir.

1. PVT için yüzeye gelen ışıınım (W/m^2)
2. Yatay düzlem ve eğik düzlem için ışıınım (W/m^2)
3. Rüzgâr hızı (m/s)
4. Dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
5. Isı depolayan / faz değiştiren malzeme sıcaklığı ($^{\circ}C$)
6. Hacimsel debi (m^3/s)
7. Kütlesel debi (kg/s)
8. Akışkan giriş ve çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)
9. Akım (A)
10. Voltaj (V)

Isı transferinin doğru yapılabilmesi için sistem şeması doğru çizilmeli, kontrol hacmi net olarak belirtilmelidir. Güneş enerji sistemlerinde kullanılacak elemanlar, bu elemanların yerleşim şekilleri ve birbirleri ile etkileşimleri, sistemi etkileyen içi ve dış sıcaklıklar, çevresel faktörler net bir şekilde belirtilmelidir. Bu belirtme dışında ihmal edilen ya da kabul edilen yargılar analize başlamadan belirlenmeli ve bu doğrultuda analiz

yapılmalıdır. Bunun için de yapılacak kabuller aşağıda sıralanmıştır. Bir sonraki bölümde anlatılacak olan deney düzeneğinin hesaplamının doğru anlaşılabilmesi şeması şekil 5.1 ile gösterilmiştir.

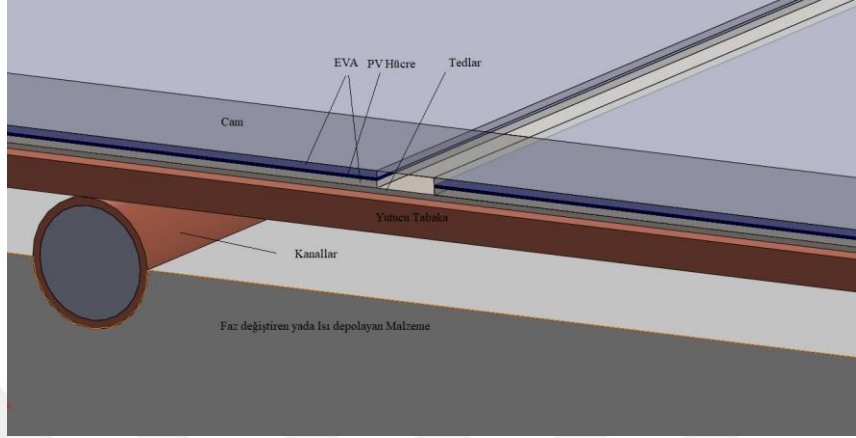
1. Sistem sürekli akışlı ve açık sistem olarak kabul edilmektedir.
2. Boru ve kanal iç yüzeyleri düzgün ve pürüzsüzdür.
3. Akış sürtünme kayıpları ihmal edilmiştir.
4. Akışkan kanalı termal direnci ve dış ışıınım kayıpları ihmal edilmiştir.
5. Atmosfer basıncı $P_{atm} = 1$ atm olarak kabul edilmiştir.
6. PVT yan ve alt yüzeyindeki kayıplar ihmal edilmiştir.
7. PVT içi boşluklarda oluşabilecek ısı kayıpları ihmal edilmiştir.
8. Modellemede montajın doğru yapılabilmesi için kasa içindeki küçük boyutlu oluklar ihmal edilmiştir.



Şekil 5.1 Deney şeması ve kontrol hacmi

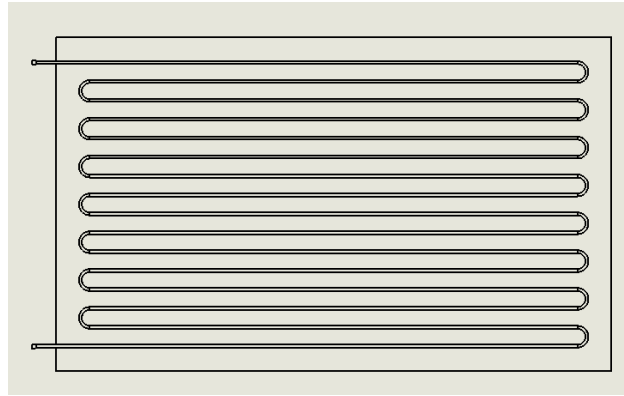
1. Yatay ve eğik düzleme gelen güneş ışıını (W/m²), çevre sıcaklığı (°C), rüzgâr hızı (m/s)
2. PVT yüzeye gelen ışıını (W/m²)
3. Çalışma akışkanının PVT giriş debisi
4. Çalışma akışkanının PVT giriş sıcaklığı
5. Çalışma akışkanının PVT çıkış sıcaklığı
6. FDM katmanları sıcaklıkları
7. Elektriksel Ölçümler

Şekil 5.2 ile Isı depolayan malzeme ya da faz değıştiren malzeme destekli PVT sistemin, güneş ışınımından akışkana kadar ısı transferi gerçekleştireceği katmanlar gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Isı transferi oluşturacak katmanlar

Isı değıştirici bölüm olan ısı depolayan ya da faz değıştiren malzemenin ve kanalların birleştiği bölümün iki boyutlu üstten görünüşü şekil 5.3 ile verilmiştir.



Şekil 5.3 Kanal düzeninin üstten teknik resim görüntüsü

Bu çalışma için ANSYS FLUENT programında kullanılan eşitlik takımları teorik olarak bu bölümde verilmiştir. Her fazın hacim oranı süreklilik eşitliğinden “Eş. 5.1” hesaplanmıştır.

$$\frac{1}{\rho_{\tau q}} \left(\frac{\partial}{\partial t} (a_q \rho_q) + \nabla (a_q \rho_q \vec{v}_q) \right) = \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (5.1)$$

Eşitlik 5.1’de $\rho_{\tau q}$ faz referans yoğunluğu ya da çözelti alanındaki sıvı fazının ortalama yoğunluğu olarak alınmalıdır. Akışkan için sıvı-sıvı fazda momentum eşitlikleri hesaplanmıştır.

$$\frac{\partial}{\partial t}(a_q \rho_q \vec{v}_q) + \nabla(a_q \rho_q \vec{v}_q \vec{v}_q) = a_q \nabla p + \nabla \bar{\tau} a_q \rho_q \vec{g} + \sum_{k=1}^n (K_{pq} (\vec{v}_p - \vec{v}_q) + \dot{m}_{pq} \vec{v}_{pq} - \dot{m}_{qp} \vec{v}_{qp}) + (\vec{F}_q + \overrightarrow{F_{kaldırma,q}} + \overrightarrow{F_{vm,q}}) \quad (5.2)$$

$\bar{\tau}$ Sıvı fazında gerilme deformasyon tesörünü, \vec{F}_q harici cisim kuvvetlerini, $F_{kaldırma,q}$ kaldırma kuvvetini, $F_{vm,q}$ gerçek kütle kuvvetini simgelemektedir. Akışkan için katı-sıvı momentum eşitlikleri hesaplanmıştır.

$$\frac{\partial}{\partial t}(a_s \rho_s \vec{v}_s) + \nabla(a_s \rho_s \vec{v}_s \vec{v}_s) a_s \nabla p + \nabla \bar{\tau} a_s \rho_s \vec{g} + \sum_{k=1}^n (K_{ls} (\vec{v}_l - \vec{v}_s) + \dot{m}_{ls} \vec{v}_{ls} - \dot{m}_{sl} \vec{v}_{sl}) + (\vec{F}_s + \overrightarrow{F_{kaldırma,s}} + \overrightarrow{F_{vm,s}}) \quad (5.3)$$

Program enerjinin korunumu yasasına göre “Eş. 5.4” ile gösterildiği şekilde hesaplamalarını yapmıştır.

$$\frac{\partial}{\partial t}(a_q \rho_q h_q) + \nabla(a_q \rho_q \vec{v}_q h_q) = a_q \frac{\partial}{\partial t} \rho_q + \bar{\tau} : \nabla \vec{v}_q - \nabla \cdot \vec{q}_q + s_q + \sum_{p=1}^n (Q_{pq} + \dot{m}_{pq} h_{pq} - \dot{m}_{qp} h_{qp}) \quad (5.4)$$

Katı bölgelerde oluşun enerji ve ısı transferi için “Eş. 5.6” ile gösterildiği şekilde hesaplamalar program tarafından yapılmıştır.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla(v \rho h) = \nabla \cdot (K \nabla T) + S_h \quad (5.5)$$

Basınca bağlı (Pressure-based) çözümü kullanıldığı zaman ANSYS FLUENT katı malzemeler için izantropik olmayan iletkenlik belirtmenize izin verir.

$$\nabla \cdot (k_{ij} \nabla T) \quad (5.6)$$

Doğal taşınım şartlarında yüzdürme kuvvetlerinin karma konveksiyon bir akıştaki önemi, Grashof ve Reynolds sayılarının oranı ile ölçülmektedir.

$$\frac{Gr}{Re^2} = \frac{g\beta\Delta TL}{\nu^2} \quad (5.7)$$

Bu değer 1 yaklaştığında ve geçtiğinde yüksek yüzerlik katkısı beklenmektedir. Küçüldüğünde ise yüzdürme kuvvetleri simülasyonda ihmal edilebilir. Doğal taşınım ile oluşan ısı transferinde yüzdürme kaynaklı akışın gücü Rayleigh sayısı ile belirlenmektedir.

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3 \rho}{\mu\alpha} \quad (5.8)$$

Programda kullanılan radyasyon modeli temel giriş eşitliği ile radyasyon akımı elde edilir.

$$q_r = \frac{1}{3(\alpha+q_s)-C\sigma_s} \nabla G \quad (5.9)$$

Bu eşitliğin sadeleştirilmesi için aşağıdaki işlemler yapılmıştır.

$$\Gamma = \frac{1}{(3(\alpha+q_s)-C\sigma_s)} \quad (5.10)$$

Bu işlemdeki değerlerin yerine eklenmesi ile oluşan radyasyon akımı elde edilmiştir.

$$q_r = \Gamma \nabla G \quad (5.11)$$

Güneş ışınlamı için taşınım eşitliği bu eşitlikler üzerinden hesaplanmıştır.

$$\nabla \cdot (\Gamma \nabla G) - \alpha G + 4an^2\sigma T^4 = S_g \quad (5.12)$$

ANSYS FLUENT programı güneş enerjisi uygulamaları için radyasyon modeli sunmaktadır. Radyasyon eşitlikleri temel alınarak oluşturulan eşitlikler ile çözüm yapılmaktadır.

$$Q_{Rad} = \sigma(T_{max}^4 - T_{min}^4) \quad (5.13)$$

Kullanıcı tarafından girilen radyasyon modeli üzerinden hesaplamaları yapan eşitlik takımı elde edilmiştir.

$$-\nabla q_r = aG - 4an^2\sigma T^4 \quad (5.14)$$

Program içerisinde kullanılan olay radyasyonu eşitliği “Eş. 5.15” ve “Eş.5.16” ile gösterilmiştir.

$$E_p = \lim_{v \rightarrow 0} \sum_{n=1}^N \varepsilon_{pn} A_{pn} \frac{\sigma T_{pn}^4}{\pi v} \quad (5.15)$$

$$a_p = \lim_{v \rightarrow 0} \sum_{n=1}^N \varepsilon_{pn} \frac{A_{pn}}{V} \quad (5.16)$$

6 DENEY DÜZENEĞİ VE BİLGİSAYAR MODELLEMESİ

6.1 Deney Düzeneği

Uşak Üniversitesi 1 Eylül Kampüsü Makine Mühendisliği A1 Blok teras katına deney düzeneği yerleştirilmiştir. Deney düzeneği Resim 6.1 ile gösterilmiştir. Eğimi optimum güneş ışınımını alabilmek için hesaplanmış ve güney yönüne doğru 38° olarak bulunmuştur. Hareketli ayaklara sahip olan düzenek bilgisayar modellemesi ile karşılaştıracağımız deney sonuçlarının alınması süresince sabit olarak durmuştur. Deney düzeneği ısı depolayan / faz değiştiren malzeme içeren fotovoltaik termal bir sistemdir. Düzenek ile konvansiyonel PVT, parafin ve stearik asit kullanılan faz değiştiren malzeme destekli ve zeolit kullanılan ısı depolayan malzeme destekli PVT olarak çeşitli ölçümler yapılmıştır.



Resim 6.1 Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çatısında kurulu deney düzeneği

Deney düzeneğinde kullanılan fotovoltaik pilin özellikleri Çizelge 6.1 de verilmiştir. Bu değerlere uygun olarak pilin bilgisayar ortamına aktarımı sağlanmıştır. Çizim detayları geometri kısmında anlatılmıştır.

Çizelge 6.1 Deney düzeneğinde kullanılan PV modülün özellikleri

Isc/Imp (A)	8,154/7586
Voc/Vmp (V)	37,30/27,18
η_{pil} (%)	15,16
$\eta_{modül}$ (%)	13,69
Alan (m ²)	1,62
Ön Cam	Saydam Temperlenmiş Cam
Pilin Yapısı	Mono kristal Si (156 mm x 156 mm)
Pil Kapsüllemesi	Eva (Etilen vinil asetat)
Arka Çerçeve	Tedlar
Çerçeve	Eloksal Alüminyum

Kanallar 8 mm dış çap ve 7 mm iç çapa sahip bakır boru olarak piyasada su dolaşım PVT sistemlere en uygun tip olarak seçilmiştir. Yüzey alanını ve bunun etkisi ile birlikte ısı transferini artırmak için kanallar dolaşım olarak yerleştirilmiştir. Kanalların yerleşim düzeni Resim 6.2 ile gösterilmiştir. Kanallara yutucu plaka olarak bakır levha montajlanmıştır. Böylece iletkenliği yüksek olan bakır ısıyı yaymada aktif rol oynamıştır.



Resim 6.2 Deney düzeneğinde kullanılan akışkan dolaşım kanalları [40]

Faz değıştiren malzeme olarak deney düzeneğinde ilk olarak 56 °C erime sıcaklığına sahip, kanalların arasına girecek ve kaplayacak şekilde 4 cm kalınlığında parafin 40 kg ağırlığında gelmektedir. Parafin yerleştirilirken ve çıkartılırken eritilmiştir. Buda fazladan zorluk olarak yansımıştır. Parafin kullanılarak oluşturulan deney düzeneği Resim 6.3 ile gösterilmiştir.



Resim 6.3 Parafin kullanılan PVT sistemin iç yapısı [40]

3 ve 4 mm gözenek yapısına sahip olan Manise Gördes çevresinden elde edilen doğal zeolit de ısı depolayan malzeme olarak kullanılmıştır. Doğal zeolit in hafifliği bir avantaj olarak sisteme yansımıştır. Akışkan kanalları kapatacak şekilde parafine göre daha kolay modüle yerleştirilmiştir. Zeolit yerleştirilen deney düzeneği Resim 6.4 ile gösterilmiştir.



Resim 6.4 Zeolit kullanılan PVT sistemin iç yapısı [40]

Bir diğer faz değiştiren malzeme olarak stearik asit kullanılmıştır. Ama bu çalışmada karşılaştırması olmadığı için bu tez çalışmasına dahil edilmemiştir. Yalıtkan olarak cam yünü kullanılmıştır. Kasa alüminyum malzemeden oluşmaktadır. Taşıma ayakları ve kasa görüntüsü Resim 6.5 ile gösterilmiştir.



Resim 6.5 Deney düzeneğinde kullanılan kasa ve taşıma ayakları [40]

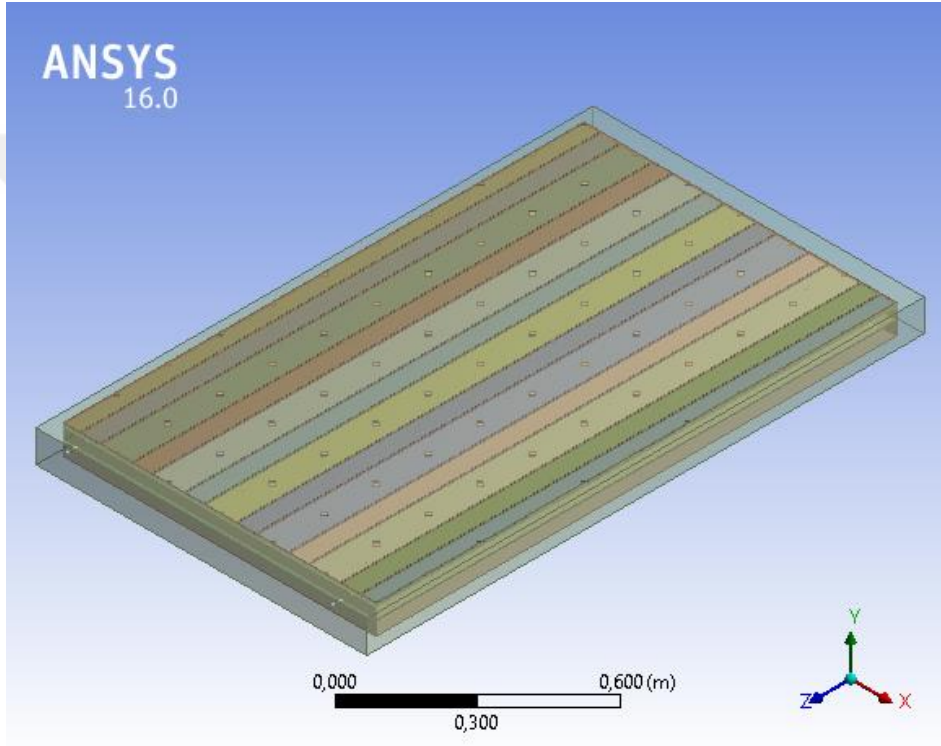
Ayrıca PVT sisteme ek olarak düzenek üzerinde bir adet meteoroloji istasyonu, bir adet debimetre, bir adet ışınım ölçer, bir adet termal kamera, bir adet ısı çift ve bir adet sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Bu malzemelerin özellikleri Çizelge 6.2 de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Deney düzeneğinde kullanılan cihazların özellikleri

Cihaz Adı	Özellikleri
Meteoroloji istasyonu (Davis Vantage Pro 2)	1-67 m/s hızları arasında rüzgâr ölçümü yapabilmektedir. 0-1800 W/m ² aralığında ışınım ölçümü yapabilmektedir. ±5 (%)
Debimetre	Dijital göstergeli, ± 0.2% (0.5-10 m/s)
İşınım ölçer (Delta Ohm Lp471)	400 ile 1050 nm spektral cevap aralığında çalışmaktadır.
Termal kamera (Fluke Ti27)	Isıl görüntü alabilmektedir. -20 °C ile +600 °C arasında ölçüm yapabilmektedir.
Isıl çift (Ordell KR6R6 K Tipi)	0-650 °C arasında sıcaklık ölçebilmektedir.

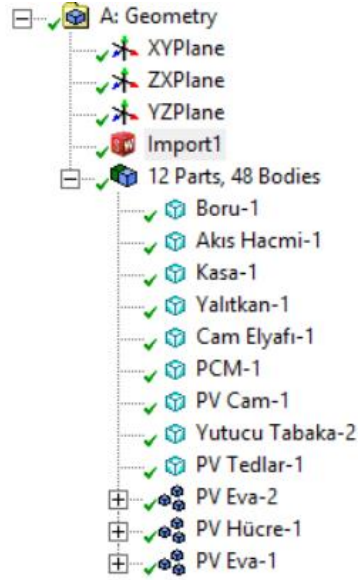
6.2 Modelleme ve Tasarım

Geometri SolidWorks programında aşağı da belirtilen şekillerde modellendikten sonra analizlerin yapılacağı ANSYS FLUENT programına taşınmıştır. Modelin ısı analizlerini ve akış analizlerini yapmak için Workbench ana menüsü üzerinden FLUENT kısmına geçilmiştir. Bu kısımda ilk olarak taşınan model, geometri bileşeni içerisinde açılan ve ANSYS programının çizim alanı olan “DesingModeler” alanına tanıtılmıştır. Deney düzeneğinin ANSYS programına aktarılmış hali Resim 6.6 ile gösterilmiştir.



Resim 6.6 Deney düzeneğinin ANSYS programına aktarılmış görüntüsü

Modülün bütün uyumluluk problemleri giderilmiştir. 12 parça (kasa, yalıtkan, ara elyaf, ısı depolayan / faz değiştiren malzeme, boru, yutucu plaka, 5 parçadan oluşan güneş paneli ve akış hacmi) olarak program tarafından algılanmıştır. Resim 6.7’de görülen “Import1” önündeki onay işareti modülün sorunsuzluğunu, parçalar önünde görülen onay işaretiyse parçaların sorunsuzluğunu göstermektedir.



Resim 6.7 ANSYS programında modelin ve parçalarının uyumluluğu

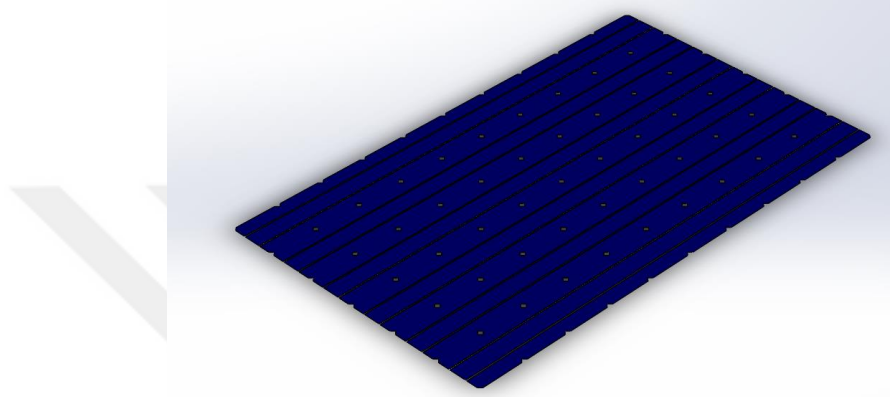
Çizilen parçaların en, boy ve kalınlık ile birlikte ısı özellikleri Çizelge 6.3 ile gösterilmiştir. Analizlerde faz değiştiren malzeme zeolit ve parafin olarak iki türde kullanıldığından bu malzemelerin sadece boyutları gösterilmiştir. Isıl özellikleri ise “Isı Depolayan / Faz Değiştiren Malzeme” başlığı altında (Bkz. Çizelge 6.4) gösterilmiştir. Kasa kalınlığında 95 mm kasa yüksekliğini, parantez içerisinde kullanılan 8 mm değeri taban kalınlığını göstermektedir.

Çizelge 6.3 Geometride kullanılan parçaların ölçüleri ve ısı değerleri

Parça	Malzeme	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık, Çap (mm)	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Isıl Direnç (m ² K/W)
PV Hücre	Cam	930	1550	3,2	0,98	0,003265
PV Hücre	EVA 1	930	1550	0,45012	0,31	0,001452
PV Hücre	Hücre	930	1550	0,15	150	0,000001
PV Hücre	EVA 2	930	1550	0,45012	0,31	0,001452
PV Hücre	Tedlar	930	1550	0,35006	0,23	0,001522
Yutucu Plaka	Bakır	930	1550	2	385	0,00000519
Boru, Kanal	Bakır	-	2300	8	385	0,00002078
IDM-FDM	Değişken	930	1550	34	-	-
Yalıtkan	Cam Yünü	930	1550	40	0,040	1
Kasa	Alüminyum	985	1660	95 (8)	205	0,000039

6.2.1 Fotovoltaik Hücre

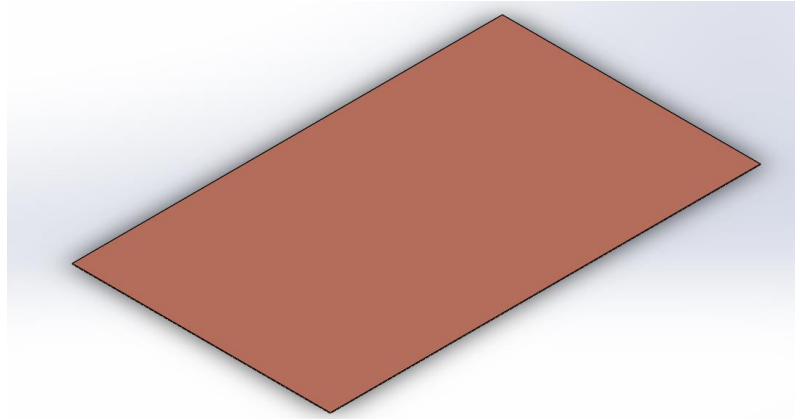
Güneş ışınımını elektrik enerjisine çeviren modül elemanıdır. Detaylarına ikinci bölüm içerisinde yer alan güneş pilleri konusunda girilmiştir. Çizelge 6. 3 ile verilen ölçülerde SolidWorks 2016 programında tedlar, eva, hücre ve cam olarak ayrı şekilde çizilip montajlanmıştır. Resim 6.8 ile gösterilmiştir. Malzeme özellikleri ANSYS programında girilmiştir.



Resim 6.8 Fotovoltaik hücre

6.2.2 Yutucu Plaka

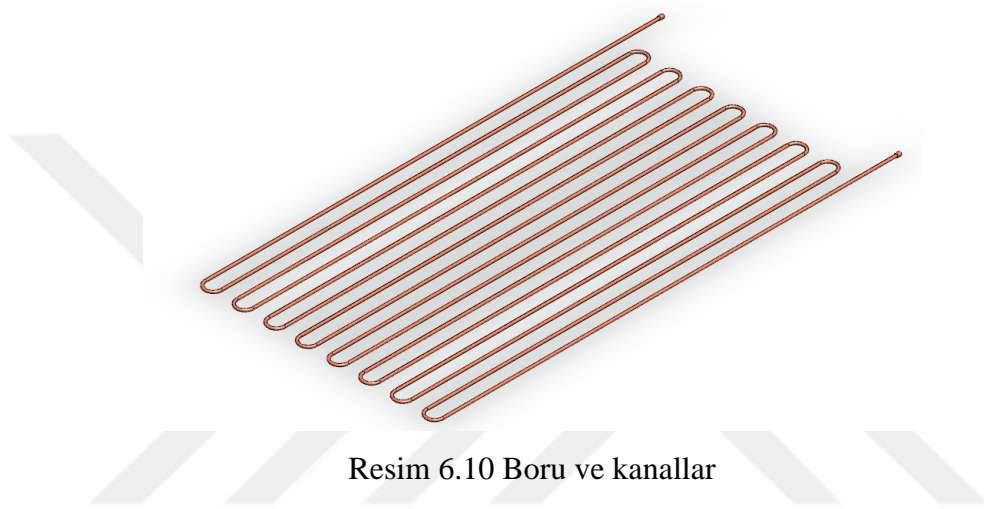
Isı iletim katsayısı yüksek malzemelerden seçilir. Güneş pillerinin sıcaklığını düşürmek için piller üzerindeki ısıyı boru ve kanallara aktarır. Genellikle malzeme olarak bakır kullanılır. Çizelge 6.3 ile verilen ölçülerde SolidWorks 2016 Programında çizilmiştir. Resim 6.9 ile gösterilmiştir. Malzeme özellikleri ANSYS programında girilmiştir.



Resim 6.9 Yutucu plaka

6.2.3 Boru ve Kanallar

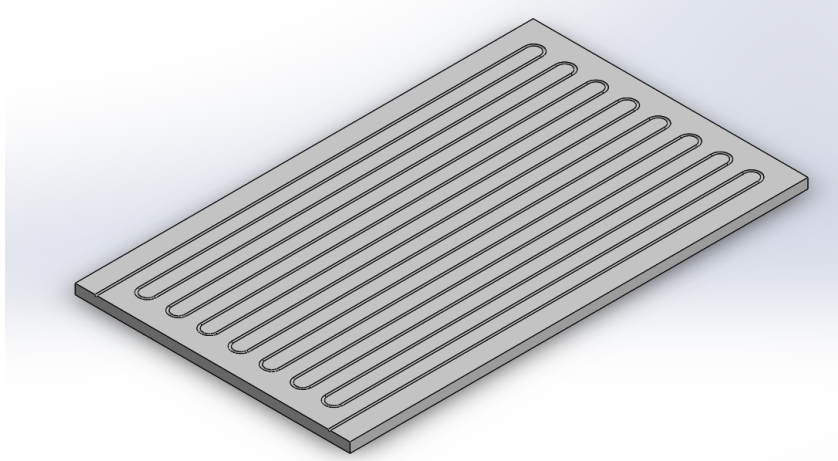
Termal ısıyı alarak sistemden uzaklaştıracak olan akışkanın dolaşımını sağlamak için görevli modül elemanıdır. Isı iletim katsayısı yüksek malzemelerden seçilir. Genellikle malzeme olarak bakır boru kullanılır. Dış çapı 8 mm ve iç çapı 7 mm ölçülerinde SolidWorks 2016 programında tek parça halinde çizilmiştir. Toplam kanal uzunluğu 23 m olarak alınmıştır. Malzeme özellikleri ANSYS programında girilmiştir. Kanal çizimi Resim 6.10 ile gösterilmiştir.



Resim 6.10 Boru ve kanallar

6.2.4 Isı Depolayan / Faz Değiştiren Malzeme

Çizelge 6.3 ile verilen ölçülerde SolidWorks 2016 Programında çizilmiştir. Malzeme özellikleri ANSYS programında girilmiştir. Resim 6.11 ile gösterilmiştir. Gizli ısı depolayan malzeme ya da İngilizce "*Phase changing materials*" olarak da adlandırılırlar. Bu malzemeler faz değişim sıcaklıklarına geldiklerinde, bir fazdan diğer faza geçerken ortamdaki ısıyı alarak bu ısıyı sabit sıcaklıkta soğuturlar. Bunun tersi dönüşümde ise depolanan ısıyı ortama geri verirler. Güneşin olduğu saatlerde bu malzemeler sıcaklığın etkisi ile erime sıcaklıklarına ulaştıklarında ortamdaki ısıyı soğuturlar. Güneşin olmadığı zaman ise tekrardan katılaşma sıcaklığına eriştiklerinde ortama ısıyı vererek sistemin termal enerji sürekliliğini sağlarlar. Faz değiştiren malzemeler elektronik sistemlerin soğutulmasından, binalarda ısı yalıtımına kadar birçok uygulamada kullanılır. Isı depolayan malzemeler ise duyulan ısıyı depolayarak, ışınım olmadığı zamanlarda depoladıkları ısıyı sisteme geri verirler.



Resim 6. 11 Isı depolayan / Faz değiştiren malzeme

Isı depolayan ya da faz değiştiren malzeme seçiminde aşağıdaki maddeler göz önünde bulundurulmalıdır.

1. Erime sıcaklığı sisteme uygun değerlerde olmalıdır.
2. Birim hacim başına depoladığı enerji yüksek olmalıdır.
3. Malzemenin ısıl iletkenlik katsayısı yüksek olmalıdır.
4. Buhar basıncı düşük olmalıdır.
5. Erime katılaşma sırasında düzenli bir davranış sergilemelidir.
6. Faz değişimi sırasında hacminde büyük değişiklikler olan malzeme olmamalıdır.

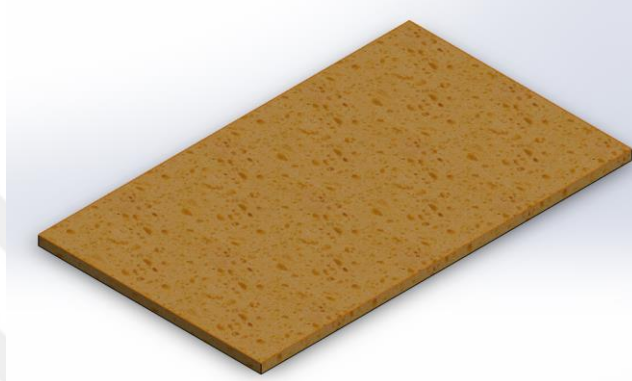
Bu maddeler göz önünde bulundurulduğunda ve ulaşılabilirlik açısından faz değiştiren malzeme olarak parafin, zeolit kullanılan sistemlerin literatürde az olmasından kaynaklı olarak ve zeolitin uygunluğu ağısında ısı depolayan malzeme olarak zeolit seğilmiştir ve bu iki malzemenin özellikleri izelge 6.4 ile gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 Zeolit ve Parafin malzemelerinin fiziksel ve ısıl zellikleri

	Yoğunluk (kg/m ³)	z Isı (J/kgK)	Isıl İletkenlik (W/mK)	Gizli Isı (KJ/kg)	Erime Sıcaklığı (°C)	Erime Aralığı (°C)
Parafin	780 (Sıvı) 880 (Katı)	2000	0,2	155	56	11
Zeolit	2200	1000	0,26	-	Yok	Yok

6.2.5 Yalıtkan

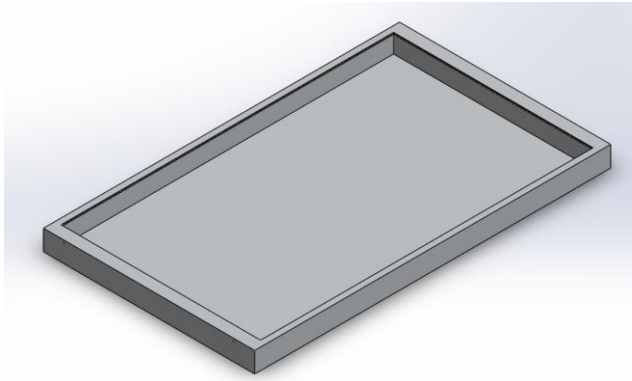
Modülde oluşabilecek ısı kayıplarını engellemek için ısı iletim katsayısı düşük malzemelerdir. Ayrıca modül içerisinde boşlukları da doldurarak hava ile oluşacak taşınım kayıplarını engeller. Elyaf, cam yünü gibi malzemeler kullanılır. Çizelge 6.3 ile verilen ölçülerde SolidWorks 2016 Programında çizilmiştir. Malzeme özellikleri ANSYS programında girilmiştir. Resim 6.12 ile gösterilmiştir.



Resim 6.12 Yalıtkan

6.2.6 Kasa

Modülü dış etkilerden korumaya yönelik tasarlanmış elemandır. Genellikle alüminyum malzemelerden imal edilir. Alt kısmı darbelere karşı korumak için biraz daha kalın tasarlanabilir. Modülün diğer elemanları bu parçanın üzerine monte edilir. Bir anlamda sistemin iskeletini de oluşturur. Çizelge 6.3 ile verilen ölçülerde SolidWorks 2016 Programında çizilmiştir. Resim 6.13 ile gösterilmiştir. Malzeme özellikleri ANSYS programında girilmiştir.

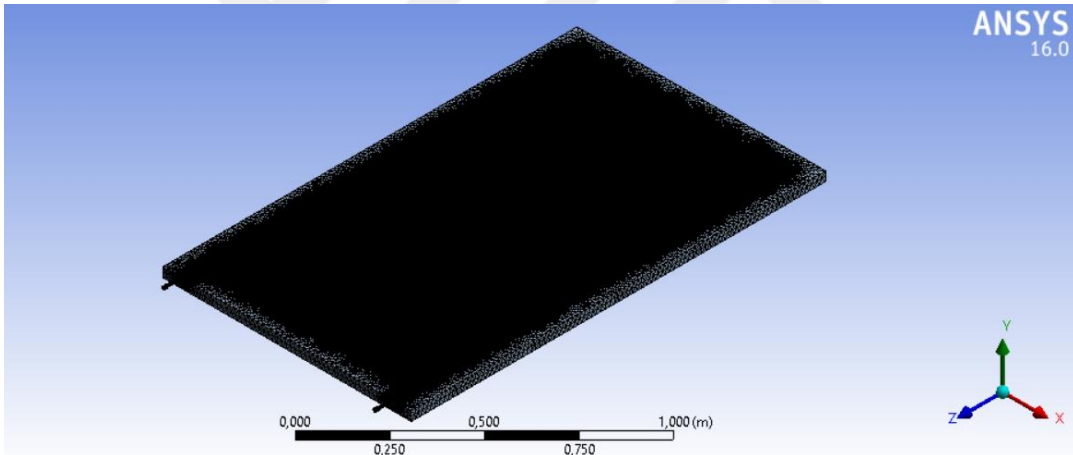


Resim 6.13 Kasa

6.3 Ağ Örgüsü (Mesh) Aşaması

Mesh kısaca çözümün yapılabilmesi için geometriyi düğüm noktalarına bölmek olarak açıklanabilir. Düğüm sayısının fazla olması ve yapılacak olan çözüme uygun mesh metodu seçilmesi çözümün doğruluğunu arttıracaktır. Mesh arası aktarım ve bağların güçlü olması da çözümün doğruluğunu artıracak diğer bir faktördür. Bunun için ise düğüm “node” sayısını artırarak yani mesh birbirine bağlayan nokta sayısını artırmak gerekmektedir. Böylece daha kaliteli bir çözüm elde edilmiş olur.

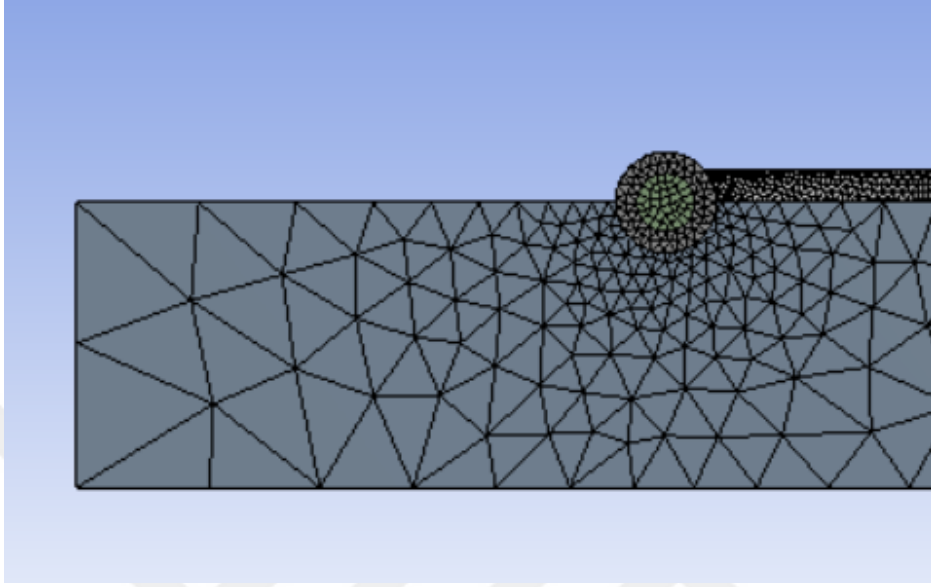
Temel olarak geometri için mesh işlemine başlarken, “Relevance Center” seviyesi program içerisindeki 3 seçenekten en yüksek mesh özelliğine sahip “fine” seçeneğine getirilmiştir. “Face meshing” seçeneği ile yatay ve dikey yüzeyler haritalandırılmıştır. Düzgün bir geometri şeklinde mesh oluşması sağlanmıştır. Sizing seçeneği ile kenarların kaç parçaya bölüneceği belirlenerek eleman ve düğüm sıklığı artırılmıştır. Genel mesh görüntüsü Resim 6.14 ile gösterilmiştir.



Resim 6.14 Sistemin mesh görüntüsü

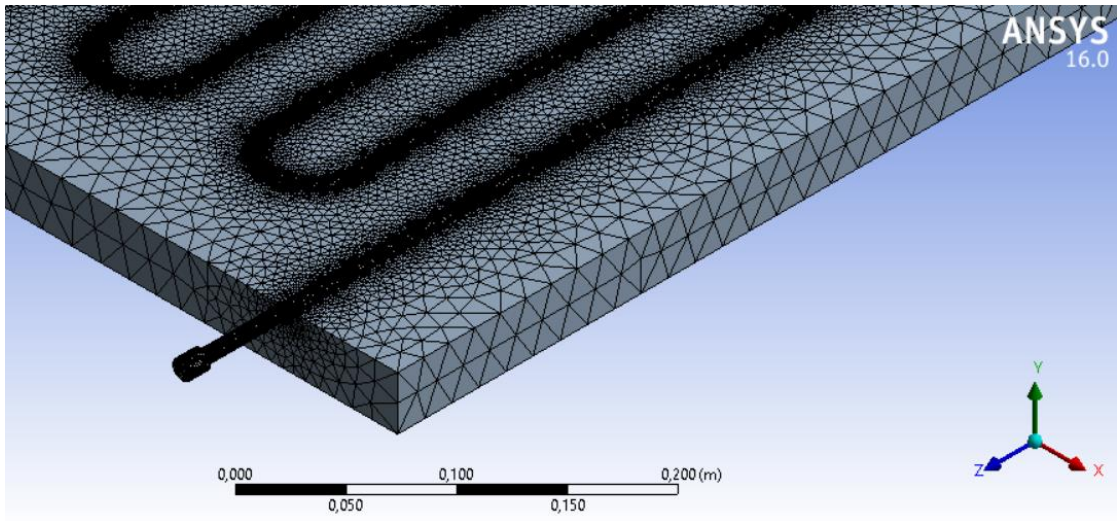
Isı transferinin çoğunlukla oluşacağı ve dar bölgelerde düğüm ve eleman sayısını artırmak çözümün doğruluğu açısından önemlidir. Kanal giriş çıkış bölgeleri, kanal ile akışkanın temas ettiği bölgeler, PV hücre ve çevresi bu bölgelerdir. “Proximity” seçeneği ile dar bölgelerde ısı transferinin daha iyi yapılabilmesi için düğüm ve eleman sıklaştırması yapılmıştır. “Curvature” seçeneği ile çember bölgeler (akışkan kanal bölgeleri) düğüm ve eleman sıklaştırması yapılmıştır. Bu seçeneklerde düzgünlüğü artırmak için “behavior” seçeneği “soft” ayarından “hard” ayarına getirilmiştir. Böylece daha kaliteli ağ atımları gerçekleştirilmiştir. Isı depolayan / faz değiştiren malzeme ile

kanalların kesiştiği noktadaki dar ve çember bölgelere yapılan sıklaştırma ağ örgüsü Resim 6.15 ile gösterilmiştir.



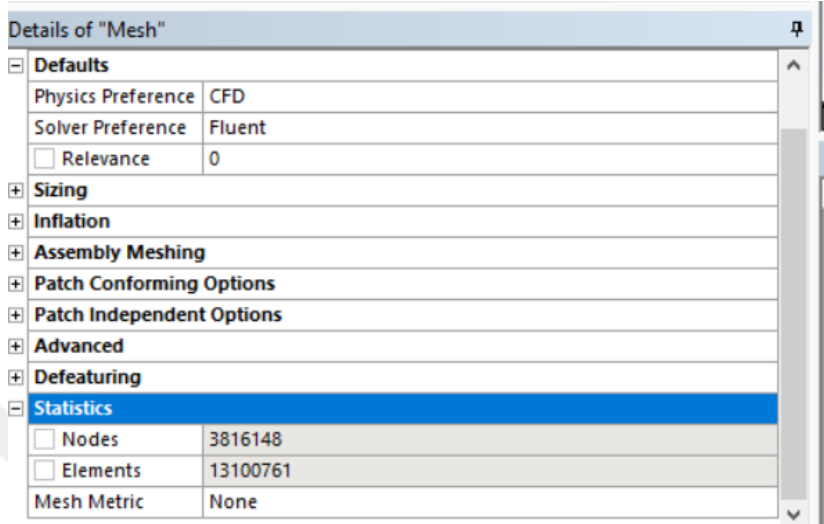
Resim 6.15 Dar ve çember bölgelerin sıklaştırılması

Infalation” seçeneği sınır tabakayı iyi yakalayabilmek, ısı transferinin daha iyi bir şekilde yapılmasını sağlamak, akış ayrılmasını sağlamak ve cidar kuvvetlerinin daha iyi hesaplanabilmesi için uygulanmıştır. Bu bölgelerde oluşan sık ağ örgüsü Resim 6.16 ile gösterilmiştir.



Resim 6.16 Kanallar ve IDM / FDM ağ örgüsü

İleri seçeneklerde ise node sayısını artırmak için kept seçeneği seçilmiştir. Resim 6.17 görüldüğü gibi 3816148 düğüm noktası, 13100761 eleman ağ örgümünü oluşturmuştur.



Details of "Mesh"	
[-] Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
<input type="checkbox"/> Relevance	0
[+] Sizing	
[+] Inflation	
[+] Assembly Meshing	
[+] Patch Conforming Options	
[+] Patch Independent Options	
[+] Advanced	
[+] Defeaturing	
[-] Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	3816148
<input type="checkbox"/> Elements	13100761
Mesh Metric	None

Resim 6.17 Düğüm ve eleman sayıları

Sistemimizin bölgeleri de ANSYS FLUENT programının “mesh” bileşeninde isimlendirilmiştir. İsim vermek programın bölgeleri tanıması konusunda önemli bir unsurdur. Isı transferi için duvar bölgelerin doğru tanımlanması, akışkan bölge için giriş ve çıkışların belirlenmesi, katı ve sıvı alanların tanıtılmasında kolaylık sağlamaktadır. Sonuç alırken ise direk sonuca bizi ulaştırmaktadır. Program dilinden kaynaklı olarak isimler İngilizce olarak verilmiştir. İsimlendirme aşağıdaki gibi yapılmıştır.

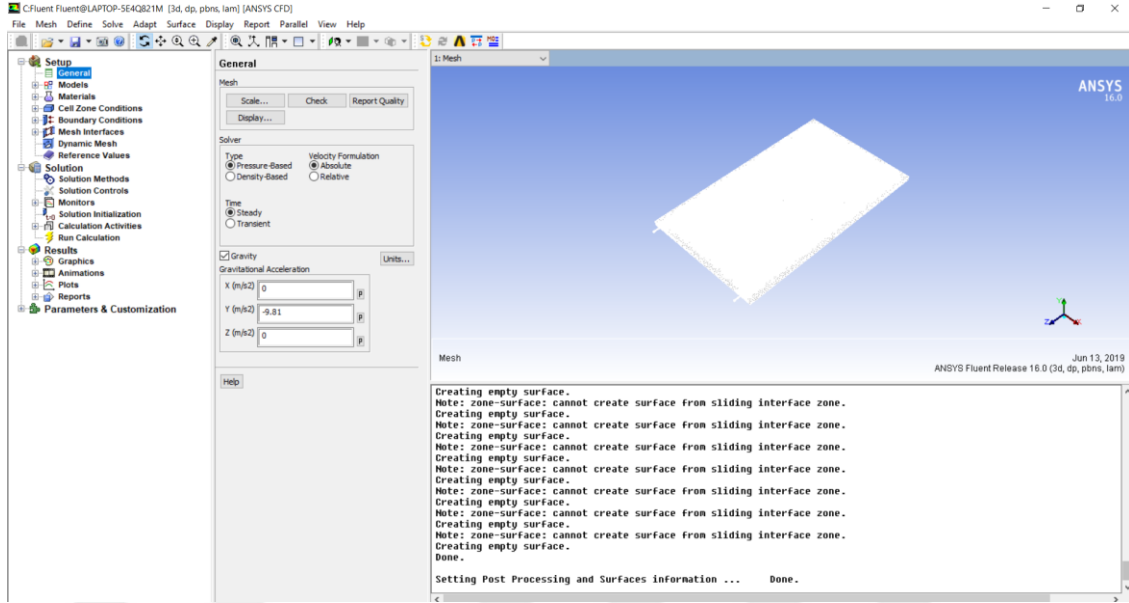
1. Giriş bölgesi – inlet
2. Çıkış bölgesi – outlet
3. Akışkan – fluid domain
4. Fotovoltaik hücre – pv
5. Yutucu plaka – absorber
6. Kanallar – pipe
7. Isı depolayan / faz değıştiren malzeme – pcm
8. Yalıtkan – insulator
9. Kasa – case

7 BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1 Doğrulama Analizleri

Deney düzeneği SolidWorks programında birebir ölçüler ile çizildikten sonra montajlanmıştır. Daha sonra ANSYS FLUENT programına aktarılan çizim mesh atılarak (ağ örgüsü) oluşturularak model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modelin doğruluğunu kanıtlamak için, deney düzeneğinde alınan sonuçlar ile bilgisayar ortamında model üzerinden yapılan hesaplamalar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda ise determinasyon katsayısı hesaplanarak doğruluk oranı belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına ve determinasyon katsayısına bununla birlikte doğruluk sonucundan önce model ve üzerinde kullanılan yöntem, metot ve eşitlikler aşağıdaki gibidir.

Başlangıç olarak ANSYS FLUENT programında bir önceki konularda anlatılan geometri ve mesh kısımları geçilip model oluşturulduktan sonra “Setup” yüklemeler kısmına geçilmiştir. Bilgisayarın daha kaliteli çözüm yapması için “Double Precision” seçeneği işaretlenmiştir. Bu kısımda diğer bir seçenek olan bilgisayarın kaç işlemci kullanacağı sekmesi ise otomatik bırakılmış olup 4-8 işlemci arasında bilgisayar çözümleri tamamlamıştır. Yükleme öncesi sistem adımı geçilip yüklemeler kısmı açıldığında karşımıza çıkan ilk ekran genel bilgilerin girildiği “General” ekranı olmuştur. Zamandan bağımsız olarak yapılan analizlerde programın zamandan bağımsız seçeneği “Steady” seçilmiştir. Akışımız sıkıştırılamaz olduğu için “Pressure-based” seçeneği, eksene bağlı hız çizgilerimiz olması içinde hız formülü “absolute” olarak seçilmiştir. İncelenen çalışma ve projelerde, yapılan literatür taraması sonucunda yer çekimi ivmesini dahil etmenin ANSYS FLUENT programı ile yapılan çalışmalarda doğruluğu artırdığı görülmüştür. Bu sebepten dolayı yer çekimi ivmesi hesaplamalara dahil edilmiştir. Yer çekimi ivmesi olarak ise -y yönünde $9,81 \text{ m/s}^2$ değeri alınmıştır. Ek olarak bu kısımda yapılan bir diğer işlem ise ağ örgüsünün kontrol edilmesidir. Modele ve bu çalışmaya uygun ve sorunsuz ağ atıldığı bu kısımdaki “check” opsiyonu ile test edilmiştir. Doğruluğu gözlemlenmiştir. Programın genel görüntüsü Resim 7.1’de gösterilmiştir.



Resim 7.1 Genel program görüntüsü

Test edilmiş mesh sonuçları Resim 7.2’de gösterilmiştir. Ayrıca bu resimde en kısa ve en uzak ağ örgü mesafeleri de gösterilmiştir.

```

Done.

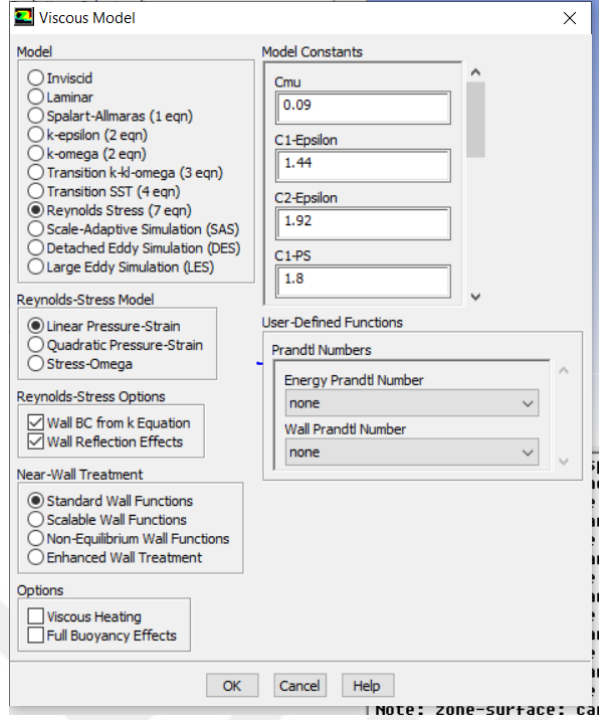
Setting Post Processing and Surfaces information ... Done.

Domain Extents:
x-coordinate: min (m) = -4.650000e-01, max (m) = 4.650000e-01
y-coordinate: min (m) = -2.641568e-02, max (m) = 1.358425e-02
z-coordinate: min (m) = 7.750000e-01, max (m) = 2.392000e+00
Volume statistics:
  minimum volume (m3): 1.040283e-11
  maximum volume (m3): 1.752887e-06
  total volume (m3): 4.959437e-02
Face area statistics:
  minimum face area (m2): 8.823818e-08
  maximum face area (m2): 3.066039e-04
Checking mesh.....
Done.

```

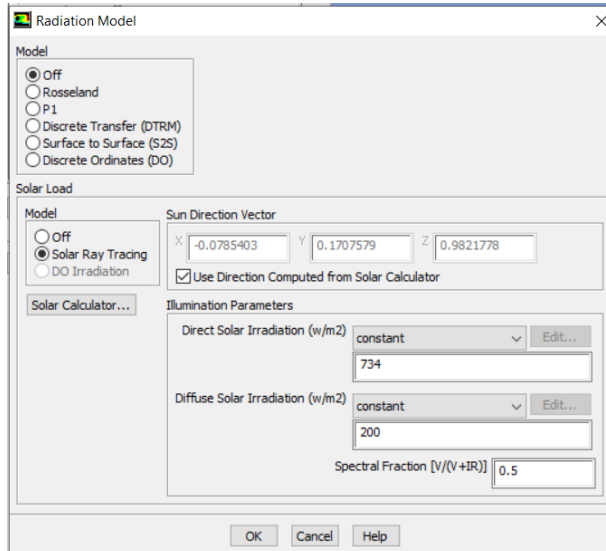
Resim 7.2 Mesh kontrolü

Yüklemelerin model kısmında akışkan modeli, enerji modeli, radyasyon modeli gibi değişkenler bulunmaktadır. Akışkan modeli için laminar akışlarda doğrudan laminar model seçilirken, türbülanslı akışlarda “Reynolds Stress (7eqn)” modeli seçilmiştir. Seçilen model ve içerisindeki parametreler Resim 7.3 ile gösterilmiştir. Bu modelin avantajı akışkan giriş hızlarından ve boru çapından Reynolds sayısını hesaplayabilmemiz, hesaplanan bu değeri programa girdiğimizde bu model sayesinde hassas bir çözüm sunmasıdır. Model kısmında ek olarak ısı transferi oluşması için enerji eşitliği açılmıştır.



Resim 7.3 Akış modeli

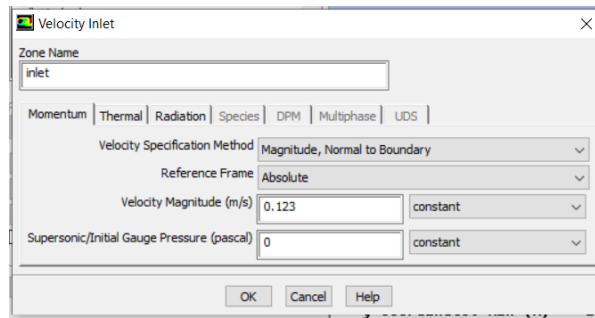
Radyasyon modeli olarak ise güneşten gelen ışınım üzerinden hesaplama yaptığımız için güneş radyasyonu “Solar Ray Tracing” modeli seçilmiştir. Direkt ve yayılı olarak gelen ışınım girilmiştir. Radyasyon modeli Resim 7.4 ile gösterilmiştir.



Resim 7.4 Radyasyon modeli

Malzemeler kısmında programın veri tabanında bulunan malzemeler yüklemeler bölümüne getirilmiştir. Veri tabanında bulunmayanlar ise dışardan programa eklenerek deney düzeneğindeki tüm malzemeler elde edilmiştir. Elde edilen malzemeler ile bölge şartlarında parçaların eşleştirmesi yapılmıştır. Parçaların hangi malzemedan üretildiği ve meydana geldiği altıncı bölümde verildiği için tekrar burada yazılmamıştır.

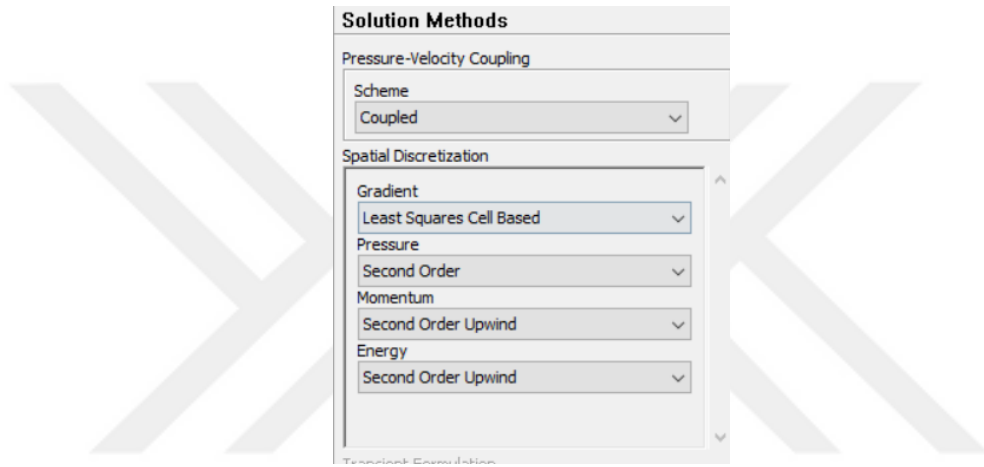
Sınır şartlarında giriş hızı, giriş sıcaklığı çevre sıcaklığı değerleri programa girilmiştir. Ayrıca devam eden çalışmalarda ısı depolayan / faz değiştiren malzemenin tuttuğu sıcaklık eklenmiştir. Bu sayede ısıyı tutması ya da bırakması ile birlikte devamlılık çözümlere yansımış, çözüm doğruluk oranı artmıştır. Burada programın akışkan giriş ve çıkış bölgelerini otomatik olarak tanınması, katı bölgeleri duvar olarak adlandırması ve bu adlandırmanın yanına bölge ismini eklemesi, sınır şartları ve bölgelerin davranış özelliklerini doğru şekilde ayarlaması ağ örgüsü kısmında doğru adlandırma temeline ve geometri kısmında katı sıvı bölgelerin doğru ayarlanmasına dayanmaktadır. Resim 7.5’de giriş hızı ve sıcaklığının programda nasıl girildiğine dair bir analiz için yapılan çalışmadan örnek sunulmuştur. Sınır şartları kısmında giriş şartına tıklandığında bu ekran açılmaktadır. Bunun gibi duvarlara ve çıkış sekmesine tıklandığında açılan ekranlar aracılığı ile tüm veriler programa girilmiştir. Her ekranın fotoğrafını eklemek tezi uzatacağından eklenmemiştir.



Resim 7.5 Akışkanın sıcaklık ve hız değerlerinin girildiği program ara yüzü

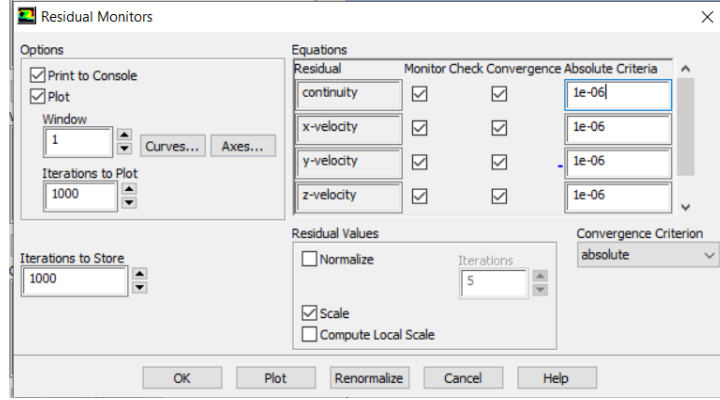
Basic modele göre daha fazla iterasyon ve daha kaliteli çözüm sunması, literatür taramasında güneş paneli akışkan çözümlerinde bu metodun kullanılması nedeni ile çözüm metodu olarak “Coupled” seçeneği seçilmiştir. Kullanılan eşitlik takımları arasında akışa uygun ve daha fazla iterasyon ile doğru sonuca ulaşması göz önünde bulundurması açısından basınç eşitlikleri için “Second Order” eşitliği, momentum için

“Second Order Upwind” eşitlikleri ve enerji için “Second Order Upwind” eşitlikleri kullanılmıştır. Nümerik analiz hesaplamaları için ise “Least Squares Cell Based” eşitlikleri seçilmiştir. Bu çözüm metodu hücre tabanlı en az kare esaslı çözüm yapmaktadır. Sistem içerisinde ısıyı tutma veya ısıyı verme durumlarına göre parafin katı ya da sıvı özellik göstermektedir. Bu hal değişiminin doğru olarak modellemeye yansıtılması ise çözüm doğruluğu açısından önemlidir. Bu durumu yansıtmak parafinin erime ve katılaşmasını modellemek için “enthalpy-prosity” metodu kullanılmıştır [36]. Kullanılan eşitlik takımları ve çözüm metotları Resim 7.6 ile gösterilmiştir.



Resim 7.6 Analiz için kullanılan eşitlik takımları

Monitör kısmında iterasyon işlemlerinin enerji, süreklilik, eksene göre hız ve çalışmada hesaplanan eşitliklerin hangi değere yakınsayacağı bilgisi girilmiştir. Bütün eşitlik takımları için bu değer $1e-6$ olarak girilmiştir. Yüksek bir hassasiyet değeri olan bu değer az olduğunda iterasyon sayısını azaltırken, yüksek olduğunda hassas ve yüksek sayıda iterasyon ile çözüm yapılmasını sağlamaktadır. Buda çözüm doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Resim 7.7 ile monitör ara yüzünde girilen sınır şartları gösterilmiştir.



Resim 7.7 Monitörde gösterilecek değerler ve sınır şartları

Çözüm başlatma “Solution initialization” kısmında “hybrid initialization” seçeneği seçilmiştir. Bu adımda program çözüme hazırlanırken 10 iterasyon ile program başlatma evresini geçmektedir. Daha sonra model, ağ örgüsü ve yüklemelerde bir hata varsa bu hatayı göstermektedir. Ayrıca güneş radyasyonu girilen çalışmalarda bu adımda ışınlam değerleri ve vektörleri çalışmaya hazırlanmaktadır. Başlatma işlemi gerçekleştirilip program çözüme hazırlandıktan sonra iterasyon sayısı 1000 olarak girilmiştir. Burada sayının yüksek olması önemlidir. Program yazdığınız sayıya kadar iterasyon yapar. Bu sayıya ulaşmadan doğru sonucu bulup yakınsama sağlarsa iterasyonu keser. Ama bu sayı yaklaştığında hala yakınsama sağlanmadıysa sayıyı artırarak çözüme devam edilebilir. Yapılan analizlerde 1000 sayısına ulaşmadan ortalama 100-200 iterasyon arası doğru sonuca ulaşılmıştır.

Modeli ve çözüm yöntemlerini açıkladıktan sonra, modelin doğru çalışıp çalışmadığı ve çözüm yöntemlerinin doğruluğu ne kadar sorularının cevabını bulmak için doğrulama analizleri yapılmıştır. Bilgisayar ortamında yapılan analizlerle karşılaştırmak için Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde bulunan deney düzeneği üzerinden Şubat-Haziran 2016 tarihleri arasında alınan deneysel sonuçlardan belirli sayıda seçilmiştir. Bu tarihler arasında sonuç alınan sonuçların karşılaştırılmasının nedeni ise kullandığımız malzeme türlerinin o dönem içerisinde aktif kullanılıyor olmasıdır. Analizler yapıldıktan sonra ANSYS FLUENT programının “Results” bileşeninden sonuçlar sayısal ve görsel olarak elde edilmiştir. Akış hattı boyunca akışkan basıncı, akışkan sıcaklığı, hız konturu, vektör ve akış çizgisiyle(streamline) birlikte modülün parçalarından ısı depolayan / faz değiştiren malzeme sıcaklığı değerleri programdan sonuç olarak alınmıştır. Her saat için alınan akışkan çıkış sıcaklığı değerleri tablolara o

saatte yapılan deneylerin karşlarına eklenirken, basınç, hız ve ısı depolayan / faz değiştiren malzeme sıcaklığı sayısal değerleri için konumuzun dışına sapsmamak, esas ilgilendiğimiz nokta çıkış sıcaklıkları olmasından kaynaklı sayısal tablo oluşturulmamıştır. Her malzeme türü için programdan alınan akışkan basıncı, akışkan sıcaklığı, ısı depolayan / faz değiştiren malzeme sıcaklığı görsellerinden her deney için her parametreden birer tane örnek olacak şekilde, hız konturu, vektör ve akış çizgisi(streamline) parametrelerinden ise sadece bir tanesi tez çalışmasında gösterilmiştir. Tablosu oluşturulmayan parametrelerden de herhangi bir saatte alınan sonuç, modülün tepkisi gösterilmek için eklenmiştir.

Seçilen günlerden iki tanesi parafin için iken iki tanesi zeolit için seçilmiştir. Bu sayede modelin her iki malzeme türü için de doğruluğu kanıtlanması hedeflenmiştir. Ayrıca seçim aşamasında farklı ışınım değerlerinde modelin tepkisi ve doğruluğunu ölçmek için birbirinden çok farklı ışınım değerlerinin olduğu günlerin seçilmesine ve laminer ve türbölanslı akış türlerinde tepkinin ölçülmesi için değişken debi değerine sahip günlerin seçilmesine özen gösterilmiştir. Yapılan analizlerde bazı kabullere başvurulmuştur. Bu kabuller aşağıda sıralanmıştır.

1. Sadece termal hesaplamalar yapılmış olup, elektriksel hesaplamalar ihmal edilmiştir.
2. Rüzgâr ile oluşabilecek veya dağıtılacak ışınım kayıpları da ihmal edilmiştir.
3. Faz değiştiren malzeme sıcaklığı malzemenin her bölgesinde sabit kabul edilmiştir. Sıcaklık deney düzeneğinde faz değiştiren malzemenin 13 farklı bölgesine yerleştirilen ölçüm cihazları ile elde edilen sıcaklıkların ortalama sıcaklığı olarak alınmıştır.
4. Sistem içerisinde boşluklar ile oluşabilecek ısı kayıpları ihmal edilmiştir.
5. Yağmurlu günlerde veya hesaplama yapılan günlerin yağmurlu saatlerindeki meteorolojik olaylar ile oluşabilecek ısı kayıpları ihmal edilmiştir.

şubat-Haziran 2016 tarihleri arasında her gün için belirli aralıklarla ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlerden modelin değişik durumlarda tepkilerini ölçmek için farklı debi, ışınım, giriş sıcaklığı ve çevresel etkenler olmasına dikkat edilmiştir. Buna ek olarak

tez çalışmasının süresi göz önünde bulundurulduğunda ve belli bir doğruluk oranını tutturmak için parafin için 25, zeolit için 24 ölçümün karşılaştırması alınmıştır.

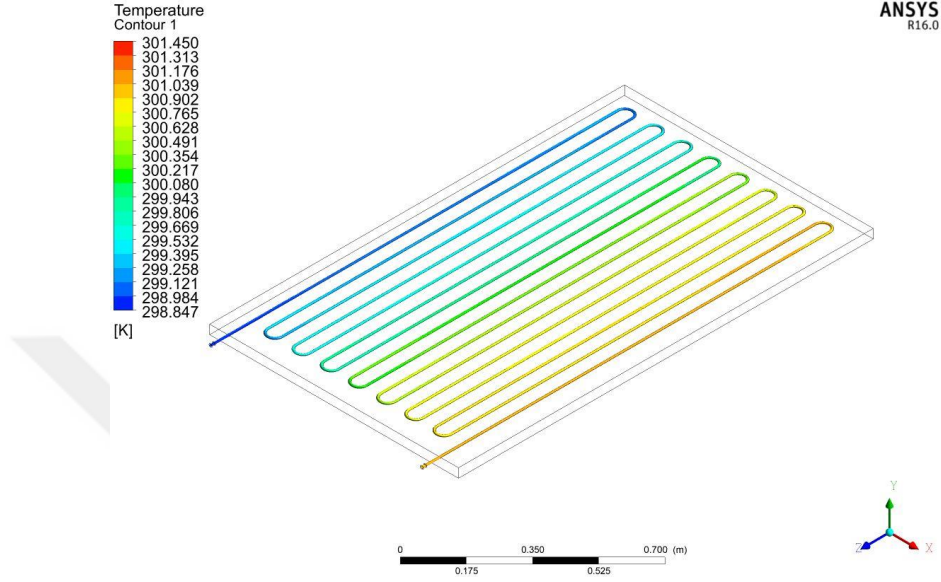
Çizelge 7.1 Parafin için yapılan deney ve analiz sonuçları karşılaştırılması

Debi (l/h)	Panel Işınım (W/m ²)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Hesaplanan Çıkış Sıcaklığı (°C)	Ölçüm Farkı (°C)
15	203	19,9	23,70	22,41	1,29
15	678	25,7	28,30	28,26	0,04
15	772	23	26,40	26,04	0,36
15	729	27	31,20	30,29	0,91
20	220	24,8	29,40	27,70	1,70
18	340	28,8	32,30	31,15	1,15
13	795	29,1	32,30	32,01	0,29
13	645	27,9	34,00	32,5	1,50
15	603	28,3	33,40	32,02	1,38
15	300	26,3	31,20	31,42	0,22
15	290	27,3	31,90	30,00	1,90
17	465	27	28,20	29,76	1,56
17	532	31,7	32,60	34,52	1,92
17	610	32,9	35,00	36,38	1,38
17	661	33,1	37,20	35,79	1,41
17	690	35,8	39,70	38,58	1,12
17	729	35,1	39,00	38,72	0,28
17	734	36,8	40,00	39,76	0,24
17	727	37,2	40,80	40,25	0,55
17	716	36,2	42,70	38,96	3,74
17	687	37,8	42,70	39,22	3,58
17	640	37,5	43,80	40,62	3,18
17	505	38,2	44,50	43,50	1,00
17	525	37,9	41,20	41,71	0,51
17	251	36,7	40,90	40,67	0,23

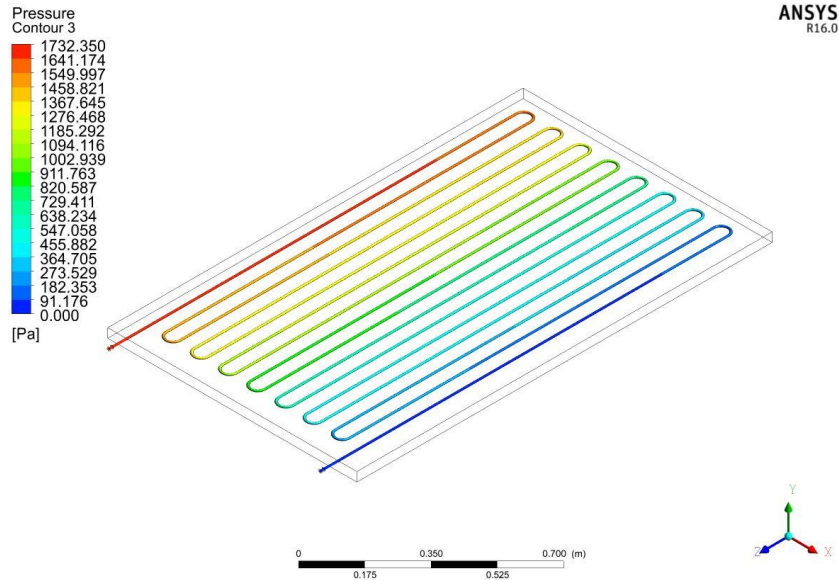
Çizelge 7.2 Zeolit için yapılan deney ve analiz sonuçları karşılaştırılması

Debi (l/h)	Panel Işınım (W/m ²)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Hesaplanan Çıkış Sıcaklığı (°C)	Ölçüm Farkı (°C)
41	524	22,5	23,20	23,00	0,20
41	602	23,9	25,20	24,78	0,42
41	729	25,3	28,60	27	1,60
41	745	26,5	31,30	28,26	2,04
41	759	27,7	32,20	29,75	2,45
41	755	27,4	33,90	30,18	3,72
41	730	28,9	37,50	34,00	3,50
41	699	27,1	31,80	28,93	2,87
41	641	29,3	32,40	31,23	1,17
41	573	26,9	30,30	28,85	1,45
41	490	26	30,20	27,54	2,66
41	416	23,6	30,00	26,29	3,71
41	359	22,2	27,10	24,51	2,59
18	505	22,4	23,10	23,40	0,30
18	610	22,2	25,10	24,49	0,61
18	750	22,8	29,20	27,85	1,35
18	754	23,4	28,50	27,70	0,80
18	722	22,4	27,50	26,15	1,35
18	757	23,2	29,10	27,85	1,25
13	752	26,8	40,30	37,45	2,85
13	709	27,1	44,50	39,92	4,58
16	683	24,4	33,00	30,74	2,26
16	135,7	22,2	26,40	25,30	1,10
16	111,4	20,7	22,60	22,10	0,50

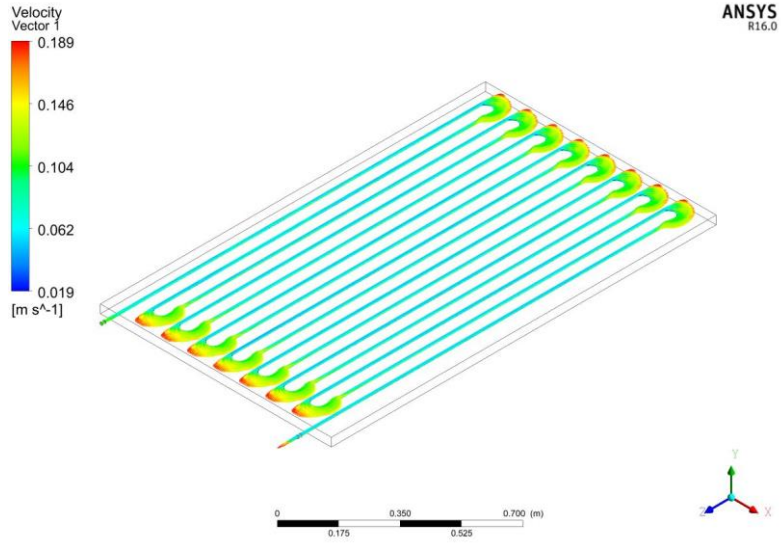
Seçilen deneylerden 602 W/m^2 ışı nım değ erinde, $23,9 \text{ }^\circ\text{C}$ giriş sıcaklığ ında parafin için yapılan analiz sıcaklık, basınç, hız ve faz değ iş tiren malzeme sıcaklık sonuçları sıralı olarak Resim 7.8, Resim 7.9, Resim 7.10 ve Resim 7.11 ile gösterilmiştir.



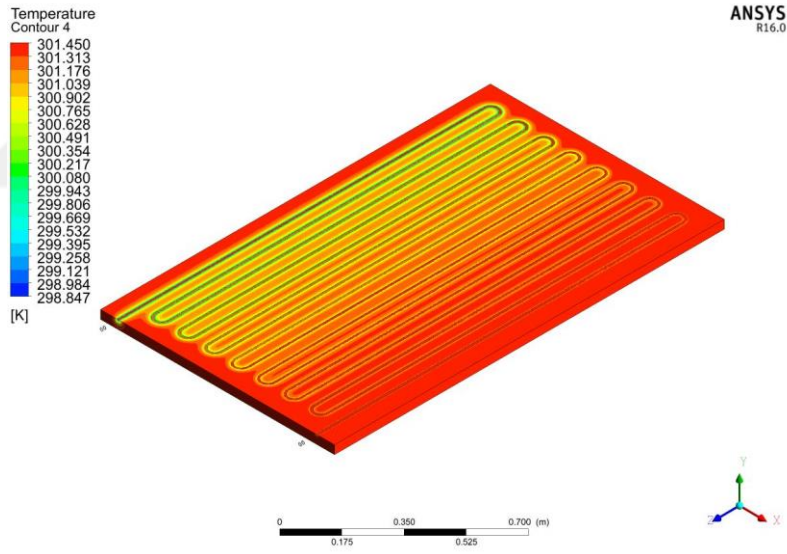
Resim 7.8 602 W/m^2 ışı nım değ erinde, $23,9 \text{ }^\circ\text{C}$ giriş sıcaklığ ında parafin için yapılan analiz sıcaklık sonuçları



Resim 7.9 602 W/m^2 ışı nım değ erinde, $23,9 \text{ }^\circ\text{C}$ giriş sıcaklığ ında parafin için yapılan analiz basınç sonuçları

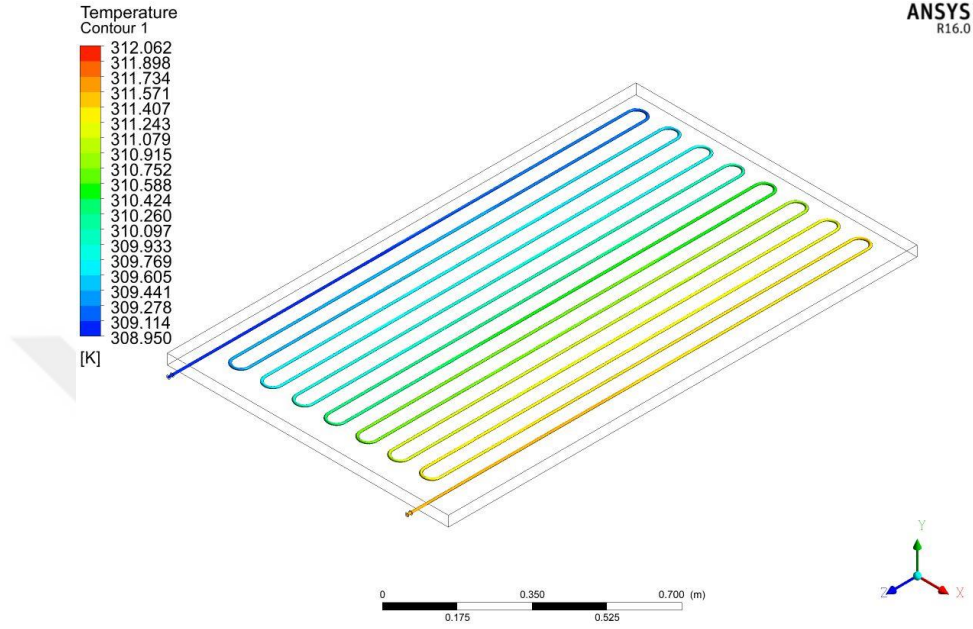


Resim 7.10 602 W/m² ışımmı değerinde, 23,9 °C giriş sıcaklığında parafın için yapılan analiz hız sonuçları

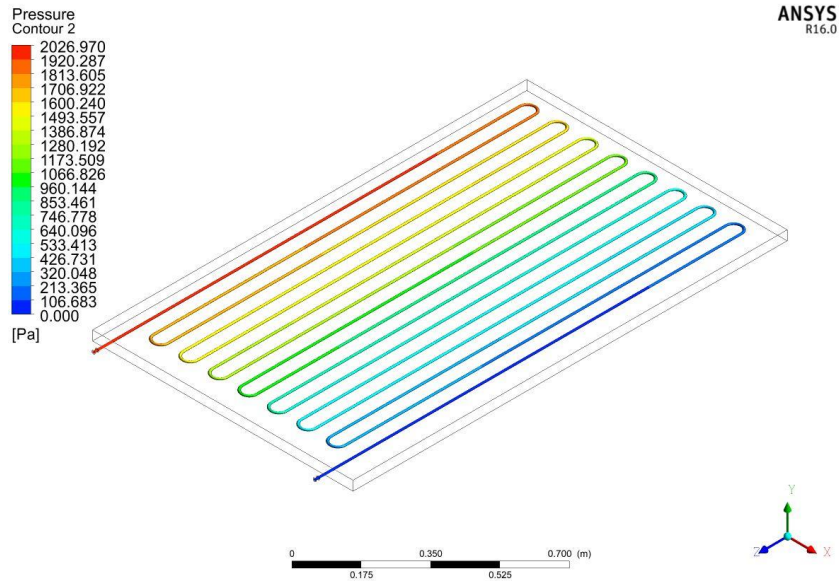


Resim 7.11 602 W/m² ışımmı değerinde, 23,9 °C giriş sıcaklığında parafın için yapılan analiz FDM sıcaklığı sonuçları

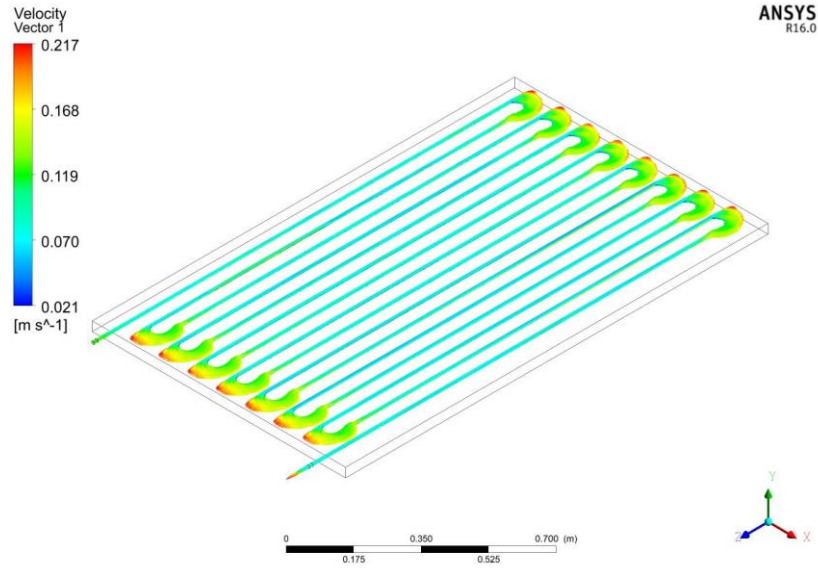
Seçilen deneylerden 690 W/m^2 ışı nım değ erinde, $35,8 \text{ }^\circ\text{C}$ giriş sıcaklığ ında parafin için yapılan analiz sıcaklık, basınç, hız ve faz değ iş tiren malzeme sıcaklık sonuçları sıralı olarak Resim 7.12, Resim 7.13, Resim 7.14 ve Resim 7.15 ile gösterilmiştir.



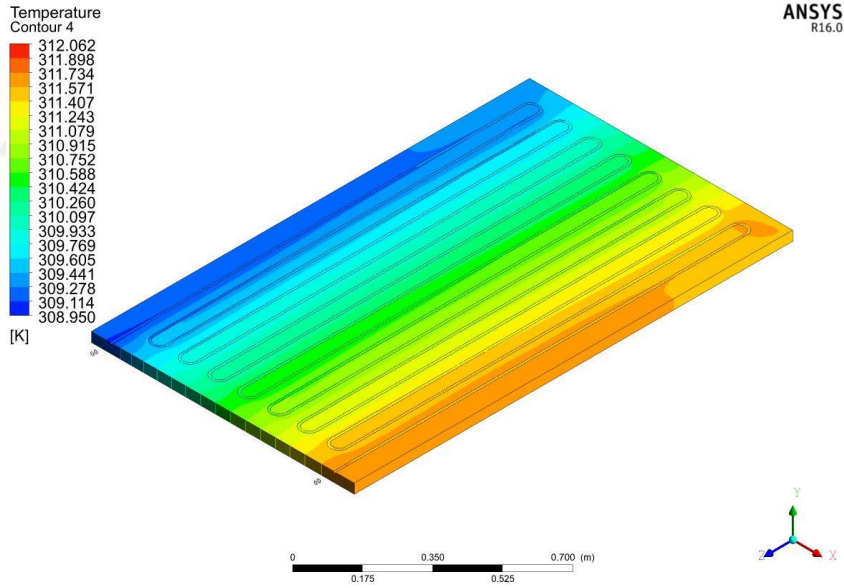
Resim 7.12 690 W/m^2 ışı nım değ erinde, $35,8 \text{ }^\circ\text{C}$ giriş sıcaklığ ında parafin için yapılan analiz sıcaklık sonuçları



Resim 7.13 690 W/m^2 ışı nım değ erinde, $35,8 \text{ }^\circ\text{C}$ giriş sıcaklığ ında parafin için yapılan analiz basınç sonuçları

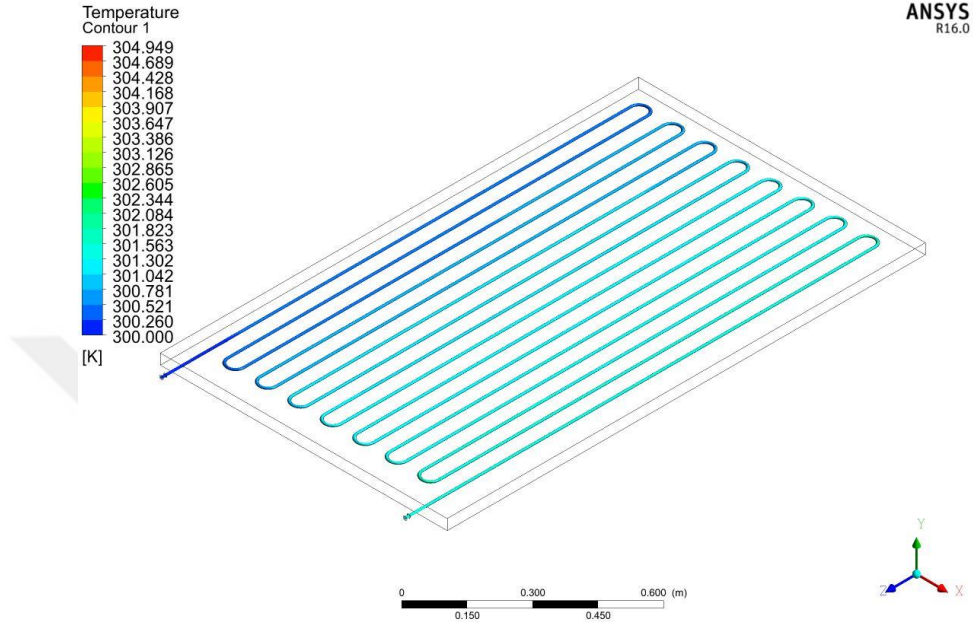


Resim 7.14 690 W/m² ışımm değerinde, 35,8 °C giriş sıcaklığında parafin için yapılan analiz hız sonuçları

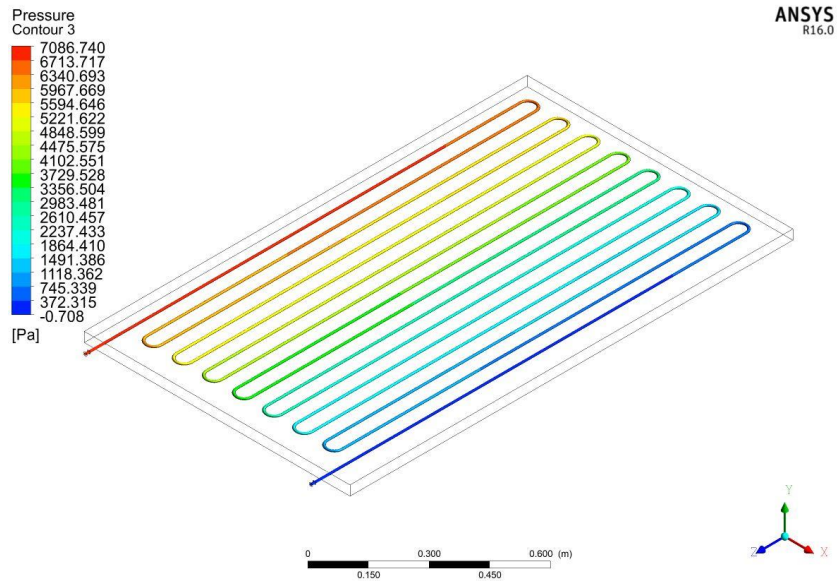


Resim 7.15 690 W/m² ışımm değerinde, 35,8 °C giriş sıcaklığında parafin için yapılan analiz FDM sıcaklık sonuçları

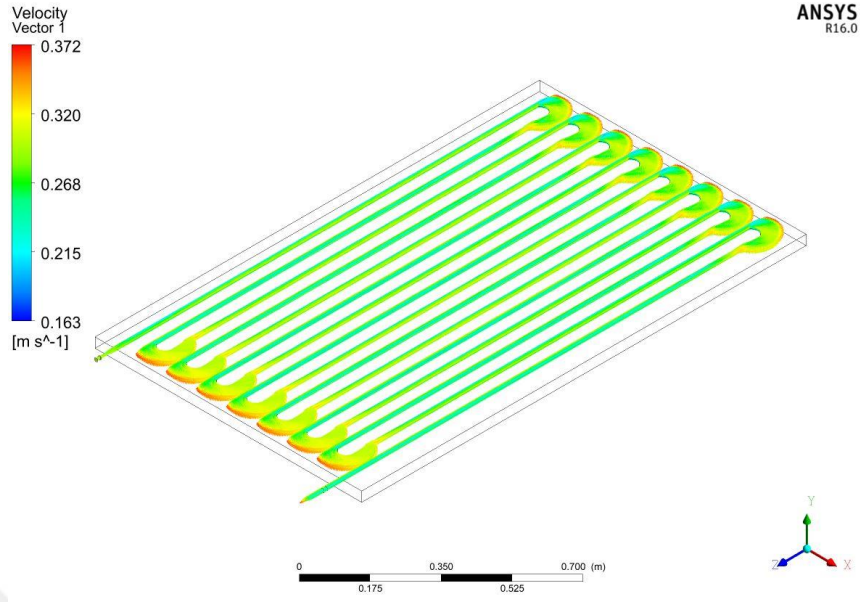
Seçilen deneylerden 699 W/m^2 ışı nım değ erinde, $27,1 \text{ }^\circ\text{C}$ giriş sı caklı ğında zeolit için yapılan analiz sı caklık, basınç, hız ve ısı depolayan malzeme sı caklık sonuçları sı ralı olarak Resim 7.16, Resim 7.17, Resim 7.18 ve Resim 7.19 ile gösterilmiştir.



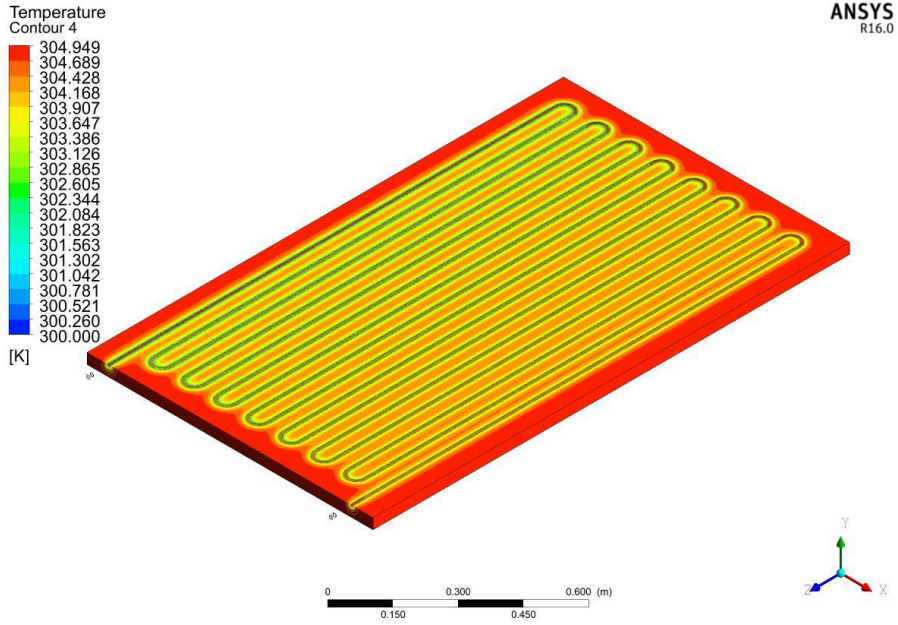
Resim 7.16 699 W/m^2 ışı nım değ erinde, $27,1^\circ\text{C}$ giriş sı caklı ğında zeolit için yapılan analiz sı caklık sonuçları



Resim 7.17 699 W/m^2 ışı nım değ erinde, $27,1^\circ\text{C}$ giriş sı caklı ğında zeolit için yapılan analiz basınç sonuçları

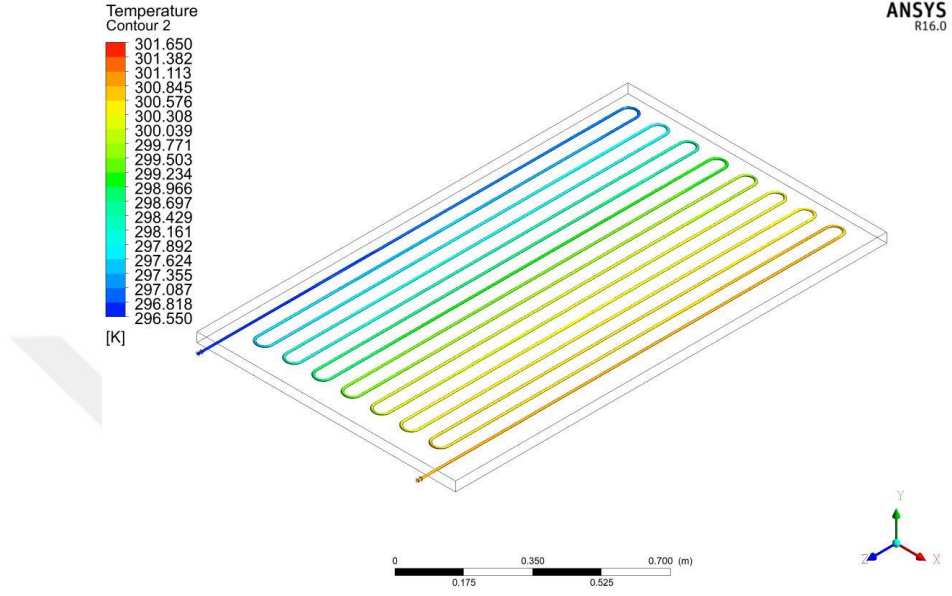


Resim 7.18 699 W/m² ışı nım de ğerinde, 27,1°C giri ş sıcaklığında zeolit için yapılan analiz hız sonuçları

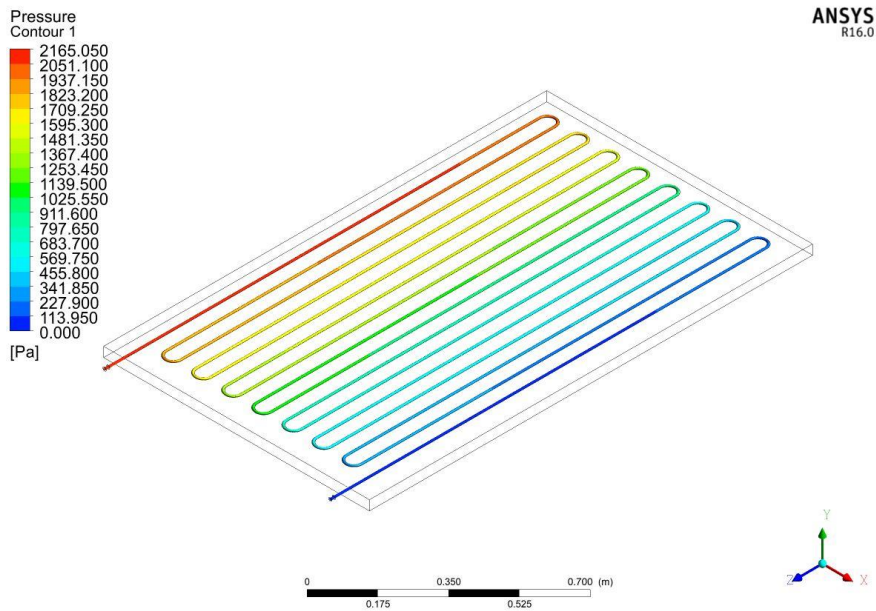


Resim 7.19 699 W/m² ışı nım de ğerinde, 27,1°C giri ş sıcaklığında zeolit için yapılan analiz IDM sıcaklık sonuçları

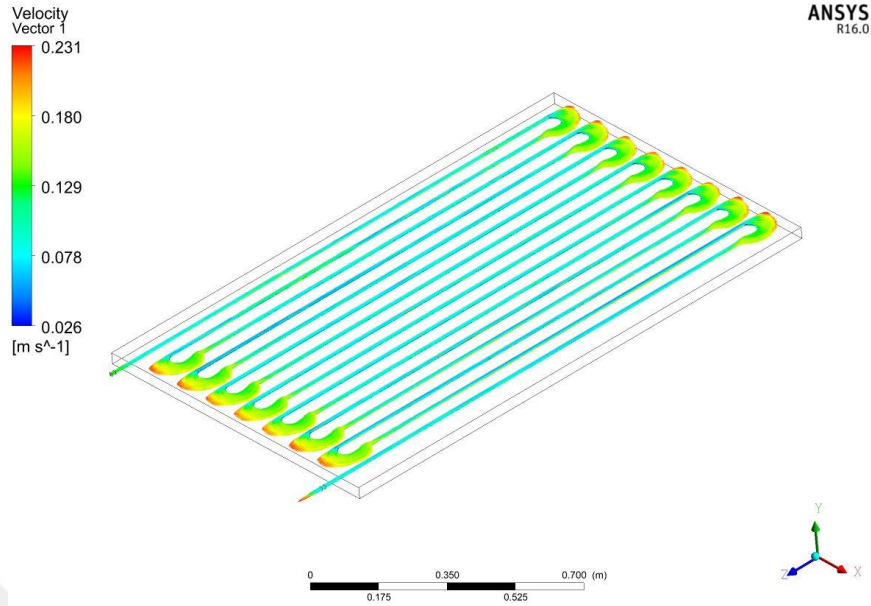
Seçilen deneylerden 754 W/m^2 ışınlım değerinde, $23,4 \text{ }^\circ\text{C}$ giriş sıcaklığında zeolit için yapılan analiz sıcaklık, basınç, hız ve ısı depolayan malzeme sıcaklık sonuçları sıralı olarak Resim 7.20, Resim 7.21, Resim 7.22 ve Resim 7.23 ile gösterilmiştir.



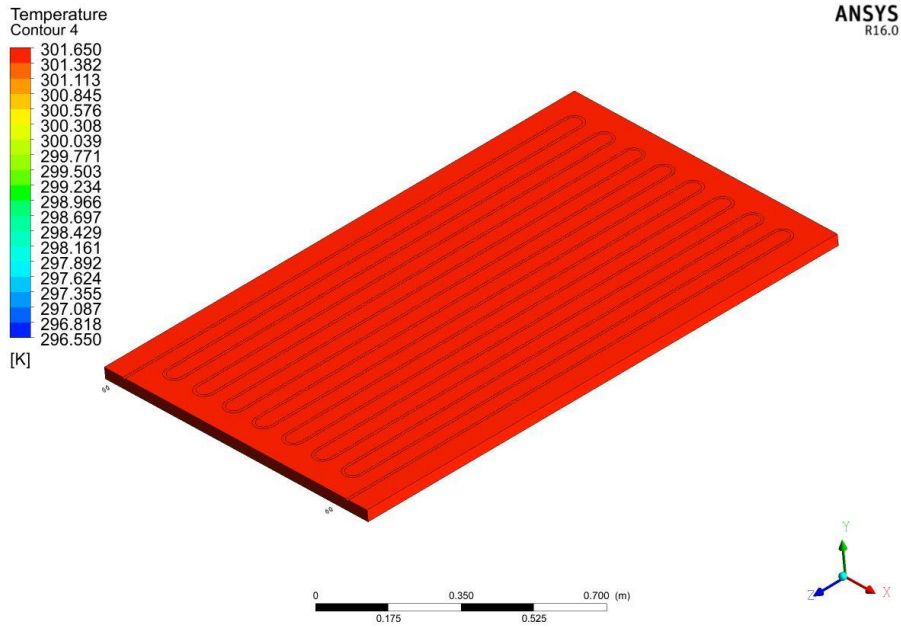
Resim 7.20 754 W/m^2 ışınlım değerinde, $23,4 \text{ }^\circ\text{C}$ giriş sıcaklığında zeolit için yapılan analiz sıcaklık sonuçları



Resim 7.21 754 W/m^2 ışınlım değerinde, $23,4 \text{ }^\circ\text{C}$ giriş sıcaklığında zeolit için yapılan analiz basınç sonuçları

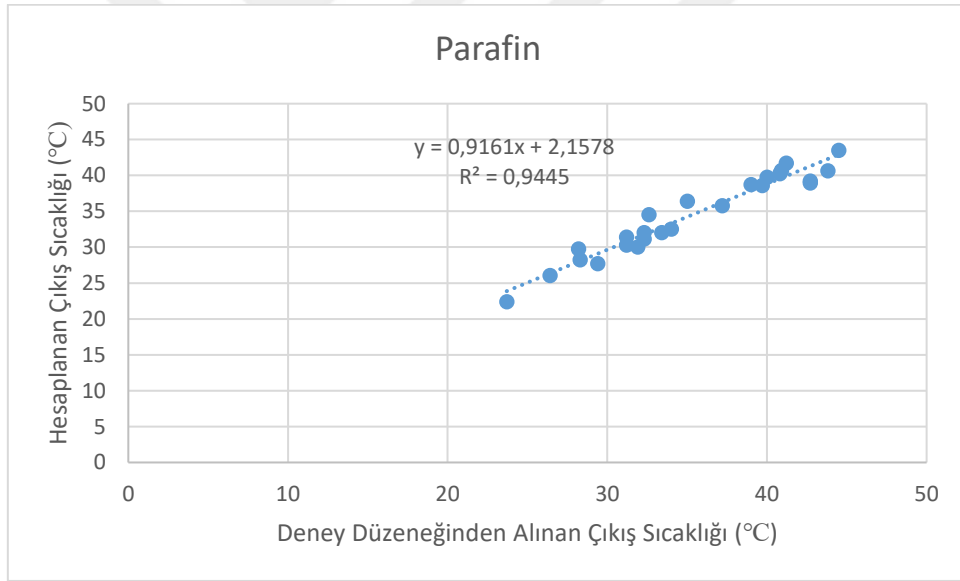


Resim 7.22 754 W/m² ışı nım de ğ erinde, 23,4 °C giri ş sıcaklı ğ ında zeolit i ç in yapılan analiz hız sonuçları



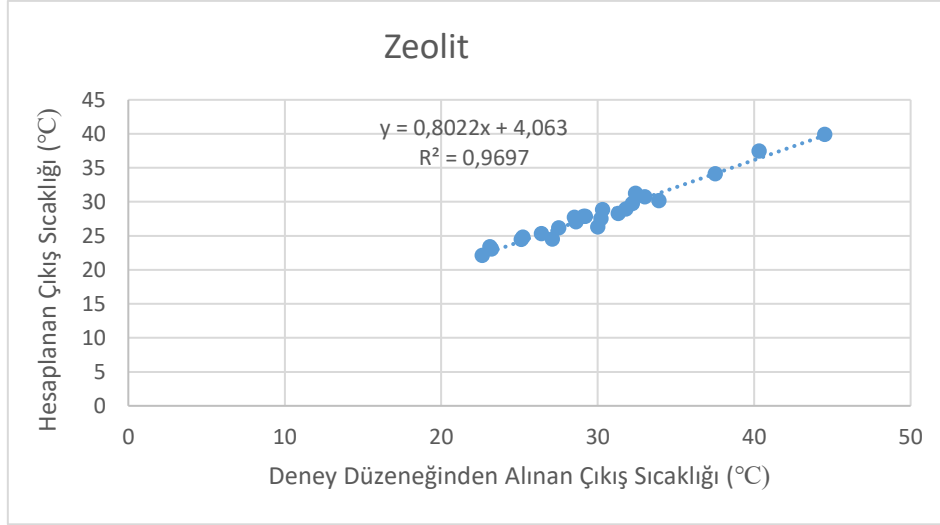
Resim 7.23 754 W/m² ışı nım de ğ erinde, 23,4 °C giri ş sıcaklı ğ ında zeolit i ç in yapılan analiz IDM sıcaklık sonuçları

Yapılan analizler sonucunda alınan sonuçlar üzerinde modelimizin doğruluğunu ve deney sonuçlarıyla analiz sonuçları arasında ilişki olup olmadığını bulmak için determinasyon eğrileri oluşturulmuştur. Tablolarda okunan deney sonuçları ve hesaplanan analiz değerleri ile oluşturulan determinasyon eğrileri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Aynı saatte okunan iki değer x ve y eksenini oluşturmaktadır. Her (x,y) ikilisi ya da açıklamalı olarak her (deneyde gözlemlenen değer, analiz ile hesaplanan değer) ikilisi koordinat sisteminde bir noktaya karşılık gelmektedir. Bu noktaların birleştirilmesi ile determinasyon eğrisi oluşmaktadır. Determinasyon eğrisinden hesaplanan determinasyon katsayısı (R) değeri ise iki değişken arası ilişkiyi göstermektedir. Bu değer 1 olduğunda mükemmel ilişki vardır. Veri sayısının artması bu deneyin doğruluğunu artıracaktır. Doğruluğundan emin olmak ve çalışmanın güvenilir olması açısından çok sayıda analiz yapılmıştır.



Şekil 7.1 Parafin için determinasyon katsayısı

Parafin için Çizelge 7.1 üzerindeki değerler ile oluşturulan eğilim çizgisinden hesaplanan R değeri 0,9445 olarak bulunmuştur. Buda deneyde gözlemlenen sonuç ile hesaplanan sonuç arası yüksek bir ilişki ve yakınlık olduğu anlamına gelmektedir. Determinasyon eğrisinin grafiği ve eğilim çizgisi Şekil 7.1 ile gösterilmiştir.



Şekil 7.2 Zeolit için determinasyon katsayısı

Zeolit için Çizelge 7.2 üzerindeki değerler ile oluşturulan determinasyon eğrisinden hesaplanan R değeri 0,9697 olarak bulunmuştur. Buda deneyde gözlemlenen sonuç ile hesaplanan sonuç arası yüksek bir ilişki ve yakınlık olduğu anlamına gelmektedir. Zeolit için bulunan R değeri parafin için bulunan R değerinden bir ölçü daha iyidir. Determinasyon eğrisinin grafiği ve eğilim çizgisi Şekil 7.2 ile gösterilmiştir.

7.2 Değişken Debi Analizleri

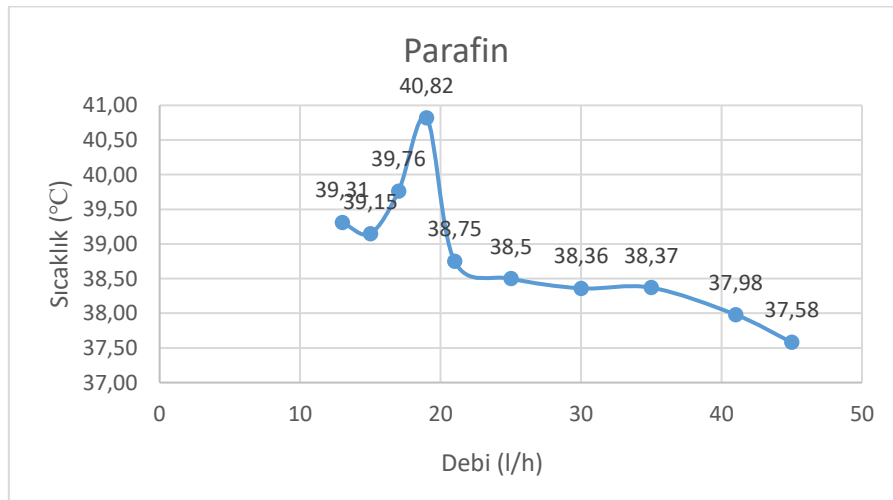
Bu başlık altında model ve yüklemeler doğrulandıktan sonra bütün giriş verilerini sabit tutup, sadece bir değişkeni değiştirerek bu değişkenin etkisini bulmak, optimizasyon ile deneme yaparak en verimli ve doğru sistemi bulmak için analizler yapılmıştır. Bu analizlere ilk olarak bütün değerleri sabit tutarak sadece debi değişkeni değiştirilerek yapılan debi etkisi analizleri ile başlanmıştır. Sabit tutulan değerler analizde güneş ışımasını, akışkan giriş sıcaklığı, ısı depolayan / faz değiştiren malzeme anlık sıcaklığı ve çevre sıcaklığı değerleridir. Değişken olarak ise debi değerleri alınmıştır. Boru çapımız ve kullanılan akışkanın viskozite öz kütle değerleri ile hesaplanan Reynolds sayısı sonucunda 40 l/h debi değerine kadar laminar akış olurken, 41 l/h ile birlikte akışımız türbülanslı akışa geçmektedir. Laminer ve türbülanslı akışlarda debi değerlerinde analiz yapılmasının nedeni ise türbülans ile artan ısı transferinin hızlı geçişlerde sisteme verim katıp katmadığını, bu türlerden hangisinin daha verimli olduğunu görmektir.

Çizelge 7.3 ile parafin için yapılan analizlerde 734 W/m² ışınlım değerinde saat 13:30'da 27 °C dış sıcaklık ve 39,28°C parafin ortalama sıcaklığında 36,8 °C sıcaklık ile sisteme giren akışkanın değişken debilerde hesaplanan çıkış suyu sıcaklıkları gösterilmiştir.

Çizelge 7.3 Değişken debi değerlerinde parafin kullanılan modül için alınan çıkış sıcaklıkları

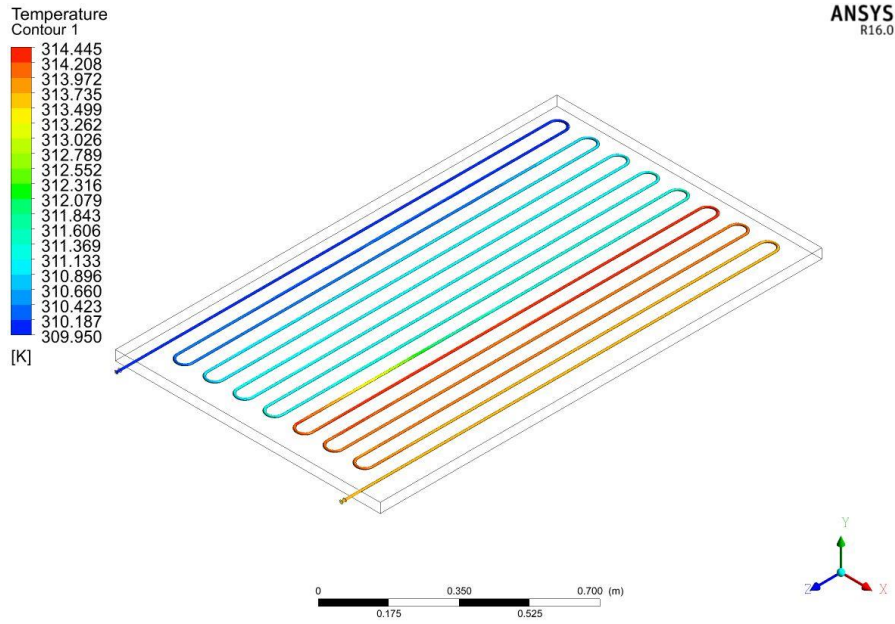
Debi (l/h)	Panel Işınım (W/m ²)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)
13	734	36,8	39,31
15	734	36,8	39,15
17	734	36,8	39,76
19	734	36,8	40,82
21	734	36,8	38,75
25	734	36,8	38,5
30	734	36,8	38,36
35	734	36,8	38,37
41	734	36,8	37,98
45	734	36,8	37,58

Debi ve çıkış sıcaklıkları ile oluşturulan grafikte ise sonuçlar daha net görülmektedir. Sonuçlar Şekil 7.3 ile gösterilmiştir.

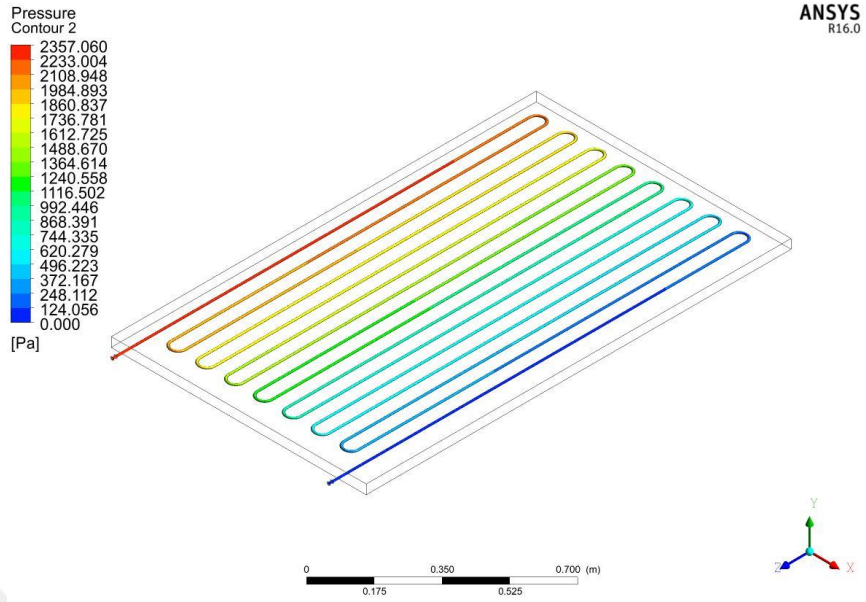


Şekil 7.3 Değişken debinin parafin kullanılan modüde çıkış sıcaklıklarına etkisi

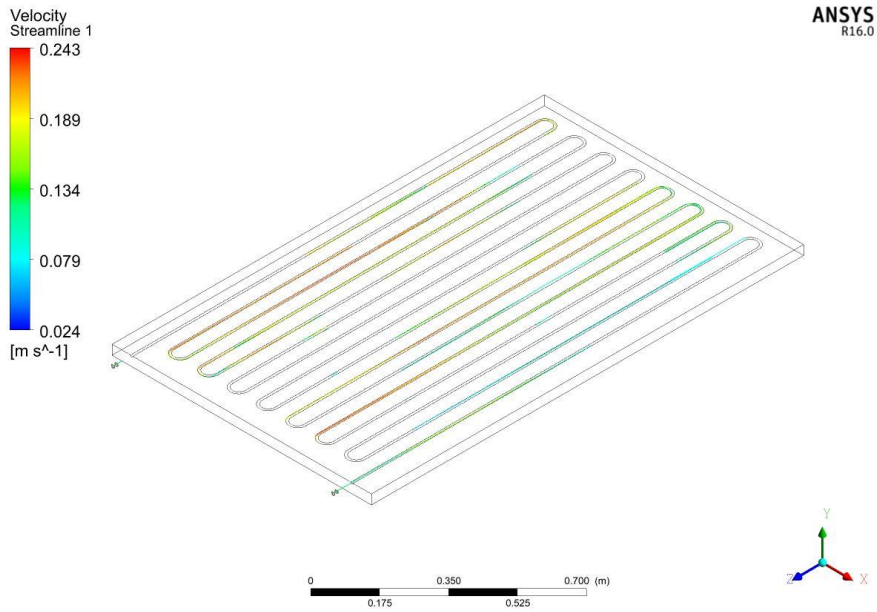
Dalgalanmaların olduğu azalan artan ve tekrar azalan bir grafik ortaya çıkmıştır. 13 l/h debi değerinde 15 l/h değerine göre daha yüksek bir sıcaklığa ulaşılrken 17 l/h debi değeri ile çıkış suyu sıcaklığı artmıştır. En yüksek çıkış suyu sıcaklığının ise 19 l/h değerinde görüldüğü gözlenmiştir. Bu değerde en fazla ısı transferi sağlanmış ve uygun hız oluşmuştur. Sonra artan debi değerlerinde ufak dalgalanmalar olsa da çıkış suyu sıcaklığı değeri sürekli azalmıştır. Akışkanın daha artan hızla oluşan molekül hareketi ve hızından kaynaklı temas süresinin en optimum hali 19 l/h değerinde görülmüştür. Diğer değerlerde, molekül hareketi fazla olmuş, temas süresi kısa olmuş ya da tam tersi durumdan dolayı çıkış suyu sıcaklığı düşük değerde kalmıştır. Yapılan analizlerden alınan sıcaklık, basınç ve akış sonuçları sıralı olarak Resim 24, Resim 7.25 ve Resim 7.26 ile gösterilmiştir.



Resim 7.24 Parafin kullanılan modülde optimum debi için sıcaklık konturları



Resim 7.25 Parafin kullanılan modülde optimum debi için basınç konturları



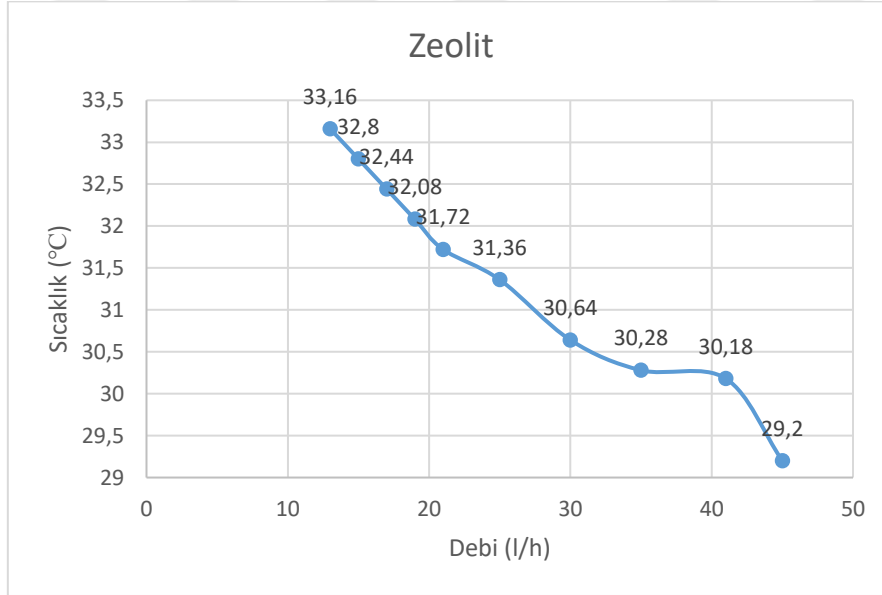
Resim 7.26 Parafin kullanılan modülde optimum debi için akış çizgileri

Çizelge 7.4 ile zeolit için yapılan analizlerde, 755 W/m^2 ısıtım değerinde saat 14:20'de $15,9 \text{ }^\circ\text{C}$ dış sıcaklık ve $34,24 \text{ }^\circ\text{C}$ zeolit ortalama sıcaklığında $27,4 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık değerinde sisteme giren akışkanın değişken debilerde hesaplanan çıkış suyu sıcaklıkları gösterilmiştir.

Çizelge 7.4 Değişken debi değerlerinde zeolit kullanılan modül için alınan çıkış sıcaklıkları

Debi (l/h)	Panel Işınım (W/m ²)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)
13	755	27,4	33,16
15	755	27,4	32,8
17	755	27,4	32,44
19	755	27,4	32,08
21	755	27,4	31,72
25	755	27,4	31,36
30	755	27,4	30,64
35	755	27,4	30,28
41	755	27,4	30,18
45	755	27,4	29,2

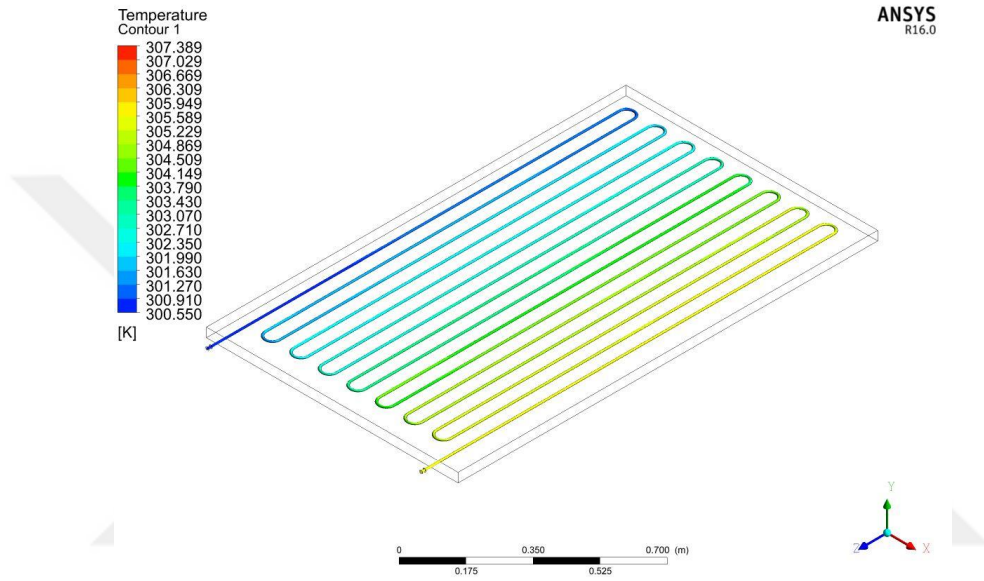
Debi ve çıkış sıcaklıkları ile oluşturulan grafikte ise sonuçlar daha net görülmektedir. Sonuçlar Şekil 7.4 ile gösterilmiştir.



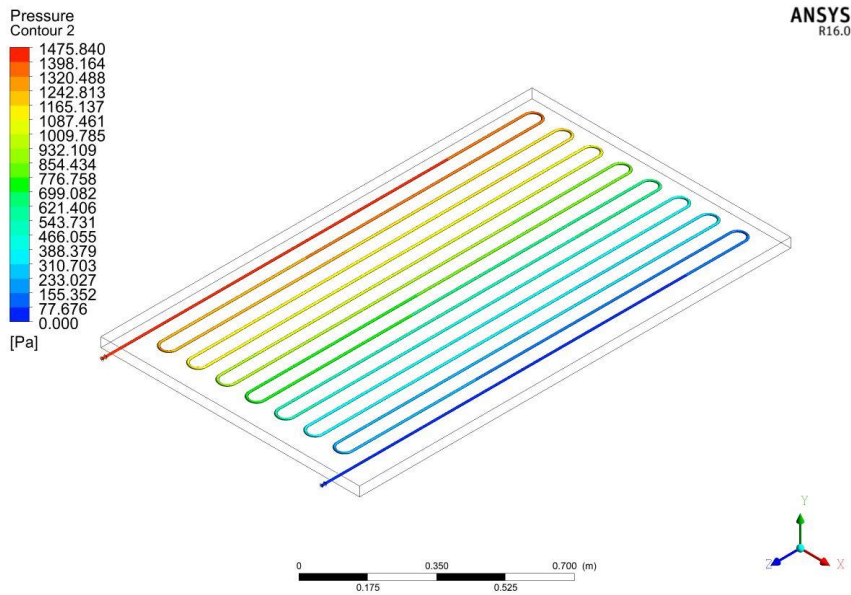
Şekil 7.4 Değişken debinin zeolit kullanılan modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi

Zeolit için yapılan analizler sonucunda sürekli azalan bir grafik karşımıza çıkmıştır. En yüksek değer en düşük değeri olan 13 l/h değerinde olduğu gözlemlenmiştir. Daha sonra ufak bir dalgalanma olsa da çıkış suyu sıcaklığı değeri sürekli olarak

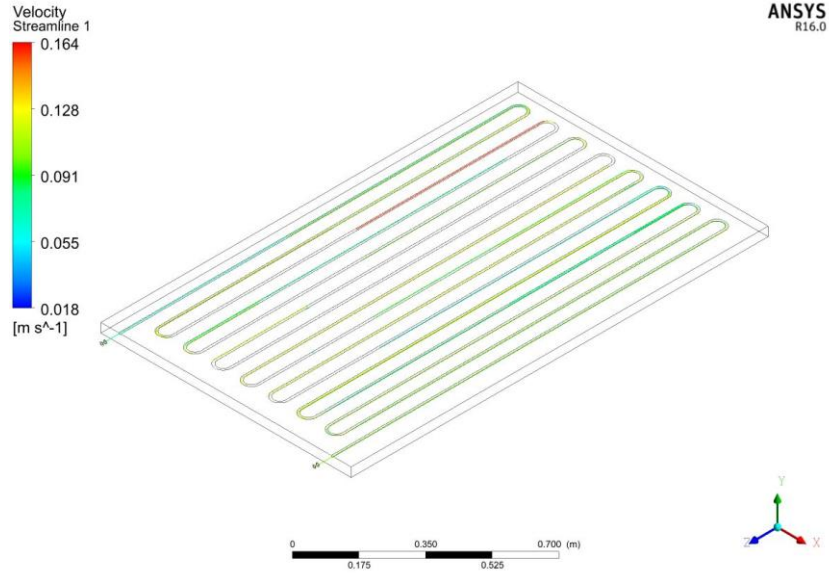
düşmüştür. Akışın türbülanslı hale geçtiği noktada ufak bir artış sağlansa da debi değerinin artması ile düşüş devam etmiştir. Zeolit için akışkan ile temas süresinin fazlalığı ile oluşan ısı transferinin, parçaların hızlarından kaynaklı molekül hareketlerinde oluşan ısı transferine göre daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Debi azaldıkça çıkış suyu sıcaklığının arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan analizlerden alınan sıcaklık, basınç ve akış sonuçları sıralı olarak Resim 7.27, Resim 7.28 ve Resim 7.29 ile gösterilmiştir.



Resim 7.27 Zeolit kullanılan modülde optimum debi için sıcaklık konturları



Resim 7.28 Zeolit kullanılan modülde optimum debi için basınç konturları



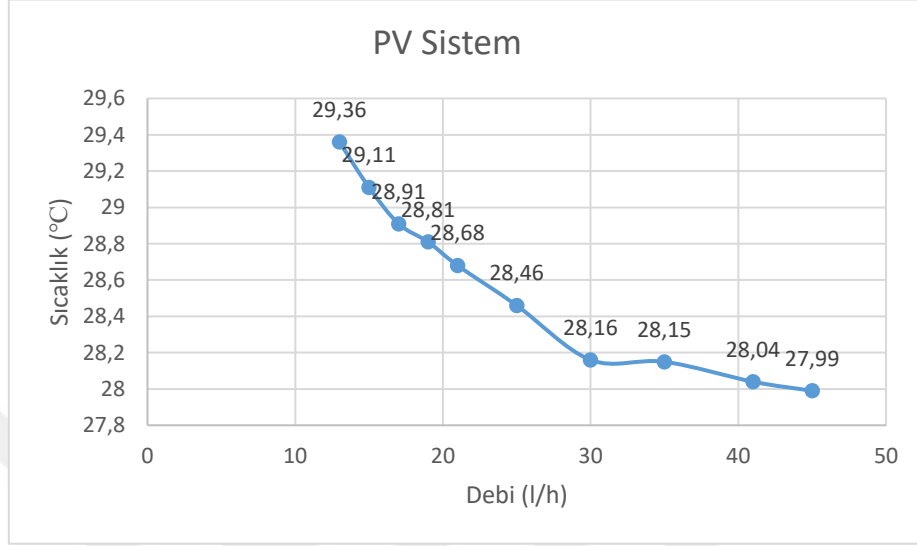
Resim 7.29 Zeolit kullanılan modülde optimum debi için akış çizgileri

Çizelge 7.5 ile konvansiyonel modül ile yapılan analizlerde, ısı depolama malzemesi modelden çıkartılmıştır. 754 W/m^2 ışınlım değerinde saat 13:15’de ve $30 \text{ }^\circ\text{C}$ dış sıcaklık değerinde $27,4 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ile sisteme giren akışkanın değişken debilerde hesaplanan çıkış suyu sıcaklıkları gösterilmiştir.

Çizelge 7.5 Değişken debi değerlerinde konvansiyonel modül için alınan çıkış sıcaklıkları

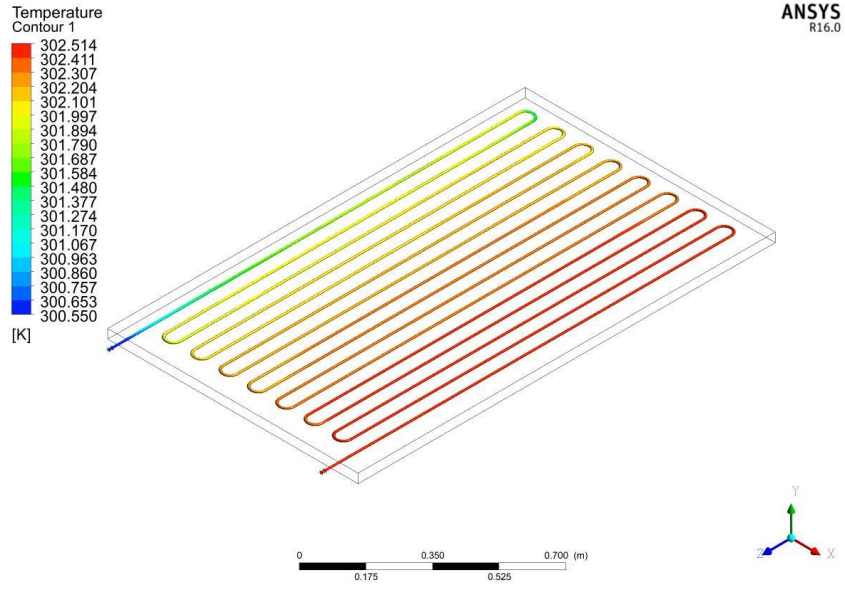
Debi (l/h)	Panel Işınım (W/m^2)	Giriş Sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)	Çıkış Sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)
13	754	27,4	29,36
15	754	27,4	29,11
17	754	27,4	28,91
19	754	27,4	28,81
21	754	27,4	28,68
25	754	27,4	28,46
30	754	27,4	28,16
35	754	27,4	28,15
41	754	27,4	28,04
45	754	27,4	27,99

Debi ve çıkış sıcaklıkları ile oluşturulan grafikte ise sonuçlar daha net görülmektedir. Sonuçlar Şekil 7.5 ile gösterilmiştir.

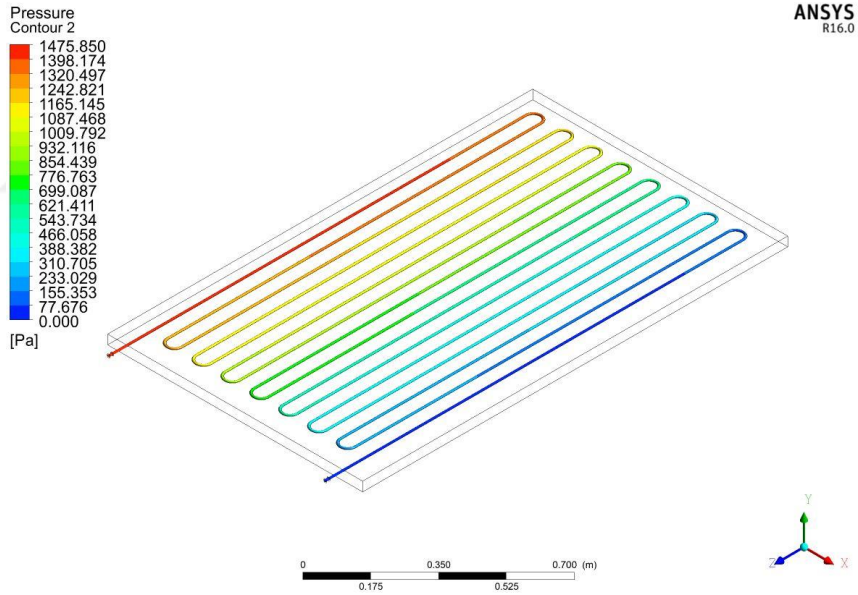


Şekil 7.5 Değişken debinin konvansiyonel modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi

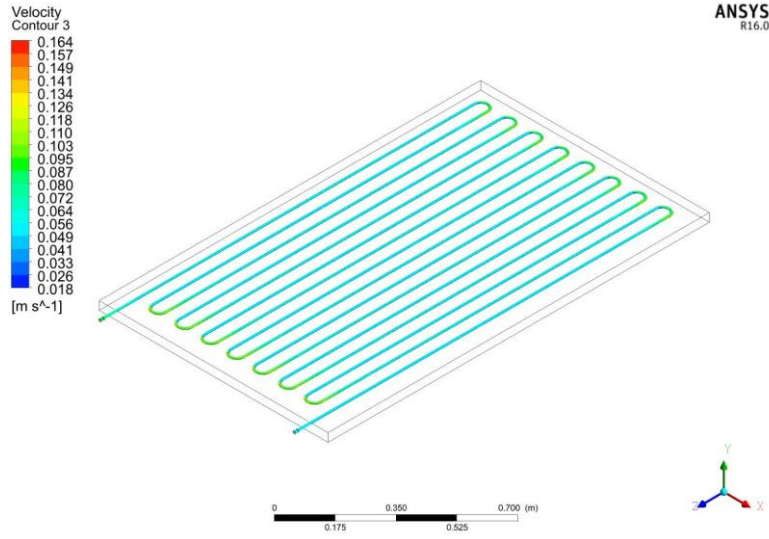
Konvansiyonel modül için yapılan analizler sonucunda da sürekli azalan bir grafik karşımıza çıkmıştır. 30 l/h debi değeri civarında hafif dalgalanmalar artışlar görünse bile debi artması çıkış suyu sıcaklığının düşmesine neden olmuştur. En yüksek değer ise 13 l/h değerinde görülmüştür. Konvansiyonel modül içinde akışkan ile temas süresinin fazlalığı ile oluşan ısı transferinin, parçaların hızlarından kaynaklı molekül hareketlerinde oluşan ısı transferine göre daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Debi azaldıkça çıkış suyu sıcaklığının arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan analizlerden alınan sıcaklık, basınç ve akış sonuçları sıralı olarak Resim 7.30, Resim 7.31 ve Resim 7.32 ile gösterilmiştir.



Resim 7.30 Konvansiyonel modülde optimum debi için sıcaklık konturları



Resim 7.31 Konvansiyonel modülde optimum debi için basınç konturları



Resim 7.32 Konvansiyonel modülde optimum debi için hız konturları

7.3 Değişken Isı Depolayan / Faz Değiştiren Malzeme Kalınlığı Analizleri

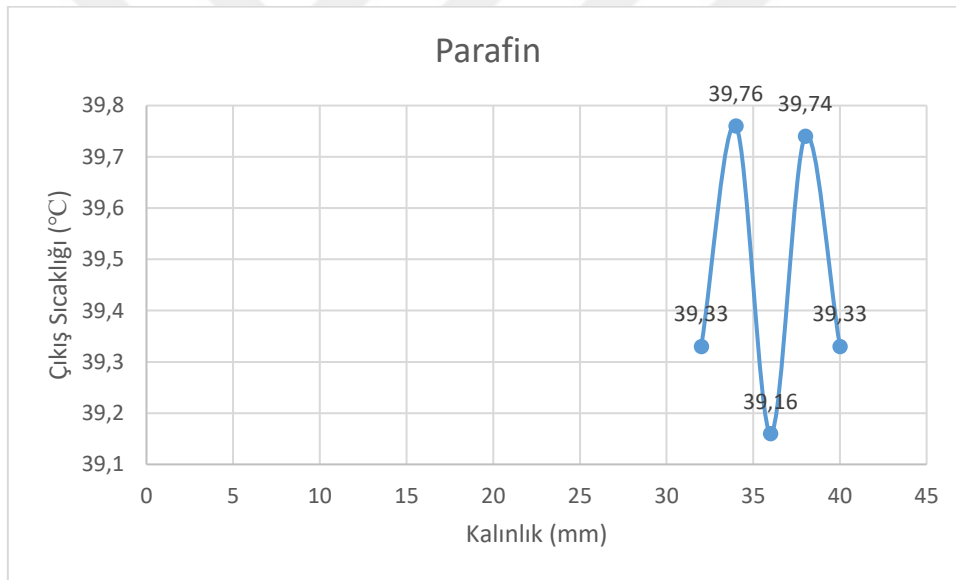
Bu başlık altında analizlere bütün değerler sabit tutulup ısı depolayan / faz değiştiren malzeme kalınlığı değiştirilerek devam edilmiştir. Sabit tutulan değerler analizde güneş ışınlımı, akışkan giriş sıcaklığı, debi, ısı depolayan / faz değiştiren malzeme anlık sıcaklığı ve çevre sıcaklığı değerleridir. Deney düzeneğinde kullanılan ısı depolayan / faz değiştiren malzeme kalınlıklarına yakın ölçülerde malzemeler tercih edilmiştir. Bu malzemeler tek tek ayrı olarak çizilmiş çalışan modeldeki ısı depolayan / faz değiştiren malzeme çıkartılıp yerine montajlanarak analizler yapılmıştır. Diğer yüklemeler sabit tutulmuştur.

Çizelge 7.6 ile parafin için yapılan analizlerde 734 W/m^2 ışınlım değerinde, 17 l/h debi ile saat 13:30'da $27 \text{ }^\circ\text{C}$ dış sıcaklık ve $39,28 \text{ }^\circ\text{C}$ parafin ortalama sıcaklığında $36,8 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ile sisteme giren akışkanın değişken faz değiştiren malzeme kalınlıklarında hesaplanan çıkış suyu sıcaklıkları gösterilmiştir.

Çizelge 7.6 Değişken faz değiştiren malzeme kalınlıklarında parafin için alınan çıkış suyu sıcaklıkları

Debi (l/h)	Panel Işım (W/m ²)	FDM Kalınlık (mm)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)
17	734	32	36,8	39,33
17	734	34	36,8	39,76
17	734	36	36,8	39,16
17	734	38	36,8	39,74
17	734	40	36,8	39,33

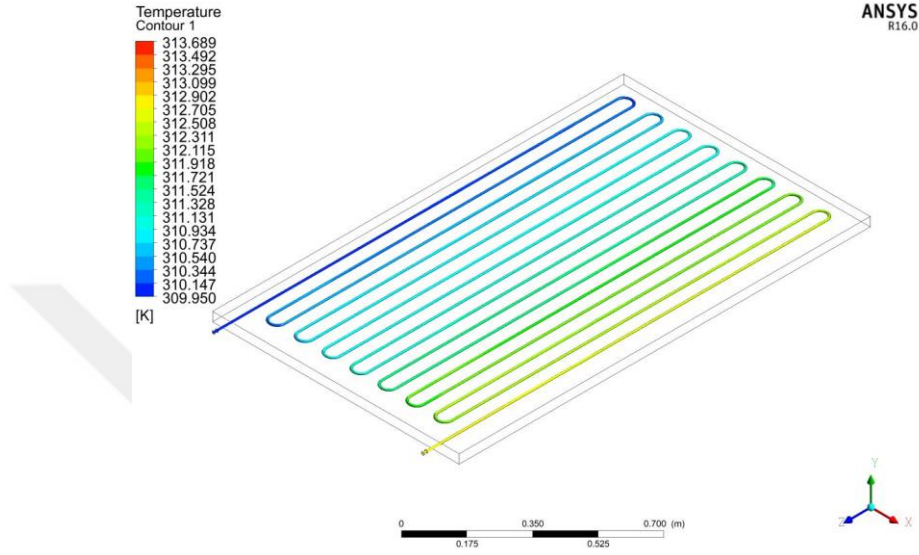
Kalınlık ve çıkış sıcaklıkları ile oluşturulan grafikte sonuçlar daha net görülmektedir. Sonuçlar Grafik 7.6 ile gösterilmiştir.



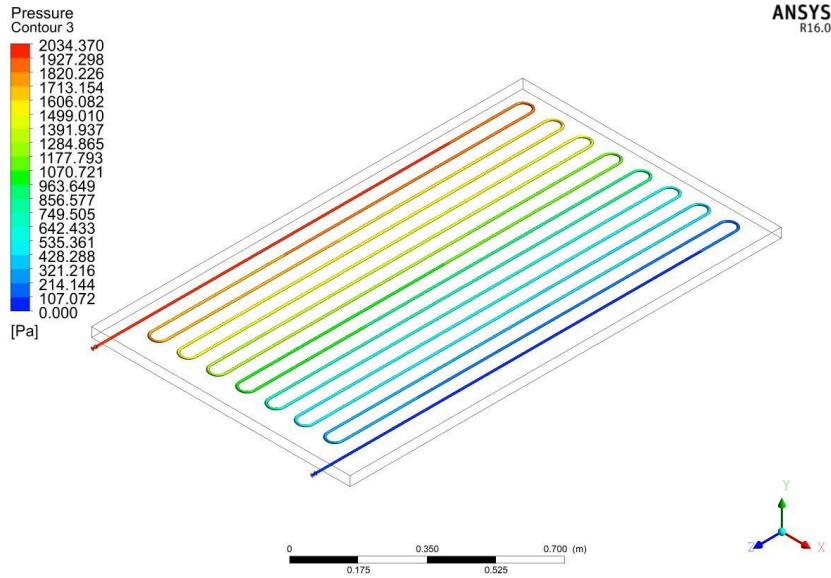
Şekil 7.6 Değişken faz değiştiren malzeme kalınlığının parafin kullanılan modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi

Parafin için dalgalanmalı bir grafik ortaya çıkmıştır. Kalınlık 32 mm iken 34 mm çıkardığımızda çıkış sıcaklığımız artarken 36 mm değerinde en düşük değerine ulaşmıştır. Tekrar artırdığımızda en yüksek değere yakın bir seviyelere çıkarken 40 mm civarında tekrardan düşüş göstermiştir. En yüksek sıcaklığın 39,76 °C ile 34 mm kalınlıkta olduğu gözlemlenmiştir. Bu dalgalanmanın nedeni olarak ise modelimizin diğer analizlerde gösterdiği uyumluluğu parafin için yapılan bu analizlerde gösterememesi olarak

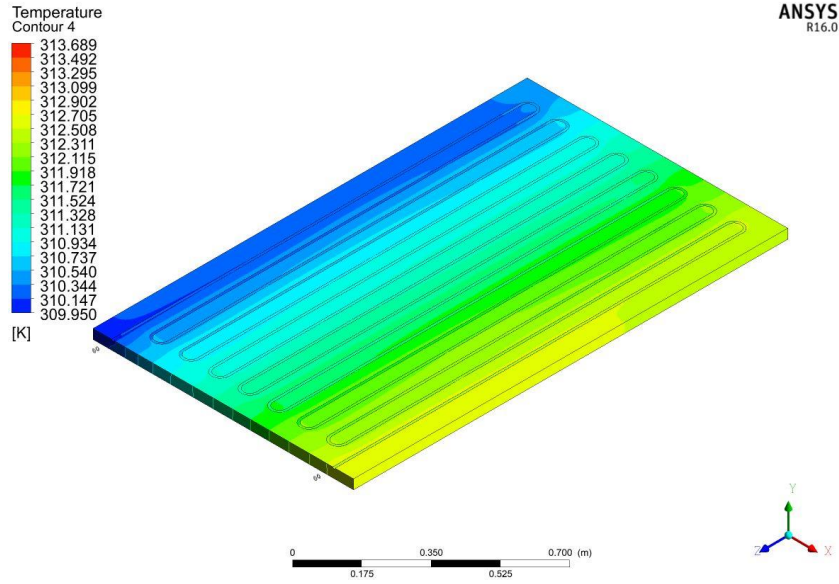
görülebilmektedir. Ama sonuç olarak belirli bir kalınlıkta optimum değerde olduğu, bu değer azalıp arttıkça düştüğü ve verimin arttığı yazılabilir. Yapılan analizlerden alınan sıcaklık, basınç ve FDM sıcaklık sonuçları sırasıyla Resim 7.33, Resim 7.34 ve Resim 7.35 ile gösterilmiştir.



Resim 7.33 Parafin kullanılan modülde optimum kalınlık için sıcaklık konturları



Resim 7.34 Parafin kullanılan modülde optimum kalınlık için basınç konturları



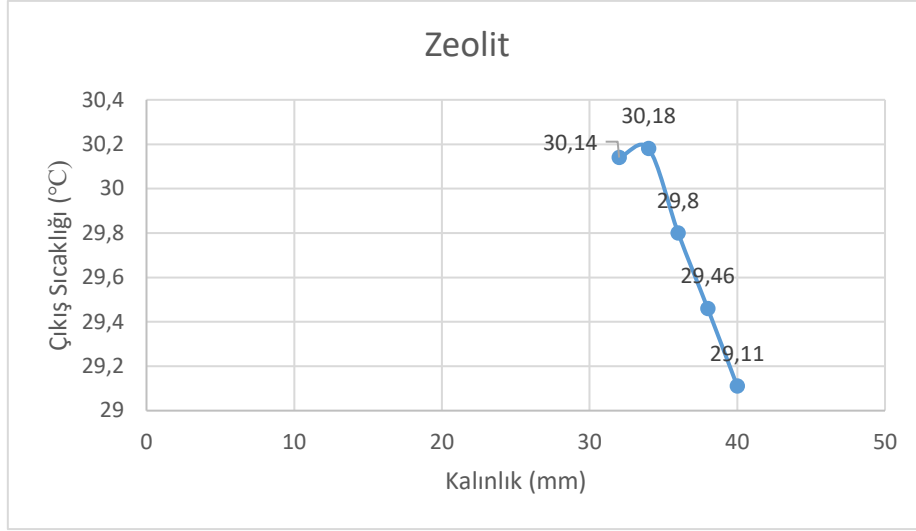
Resim 7.35 Parafin kullanılan modülde optimum kalınlık için FDM sıcaklığı

Çizelge 7.7 ile zeolit için yapılan analizlerde, 755 W/m^2 ışınlım değerinde saat 14:20’de 41 l/h debi ile $15,9 \text{ }^\circ\text{C}$ dış sıcaklık ve $34,24 \text{ }^\circ\text{C}$ zeolit ortalama sıcaklığında $27,4 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ile sisteme giren akışkanın değişken ısı depolayan malzeme kalınlıklarında hesaplanan çıkış suyu sıcaklıkları gösterilmiştir.

Çizelge 7.7 Değişken ısı depolayan malzeme kalınlıklarında zeolit için alınan çıkış sıcaklıkları

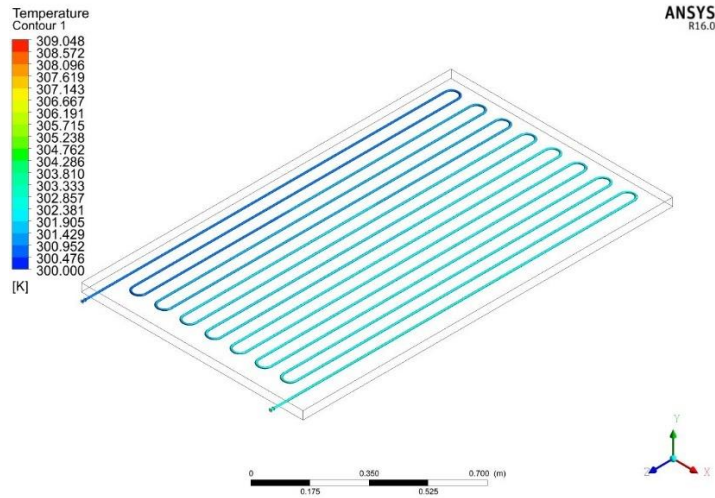
Debi (l/h)	Panel Işınım (W/m^2)	FDM Kalınlık (mm)	Giriş Sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)	Çıkış Sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)
41	755	32	27,4	30,14
41	755	34	27,4	30,18
41	755	36	27,4	29,8
41	755	38	27,4	29,46
41	755	40	27,4	29,11

Kalınlık ve çıkış sıcaklıkları ile oluşturulan grafikte sonuçlar daha net görülmektedir. Sonuçlar Şekil 7.7 ile gösterilmiştir.

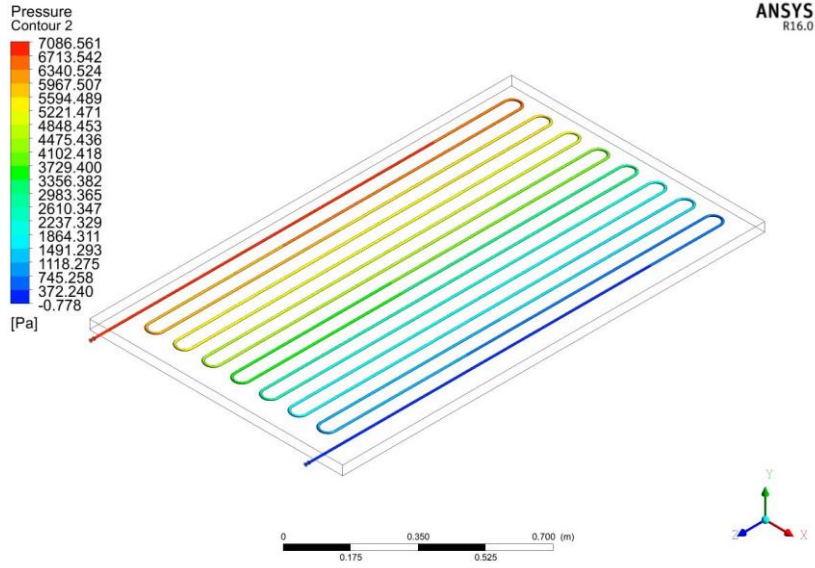


Şekil 7.7 Değişken ısı depolayan malzeme kalınlığının zeolit kullanılan modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi

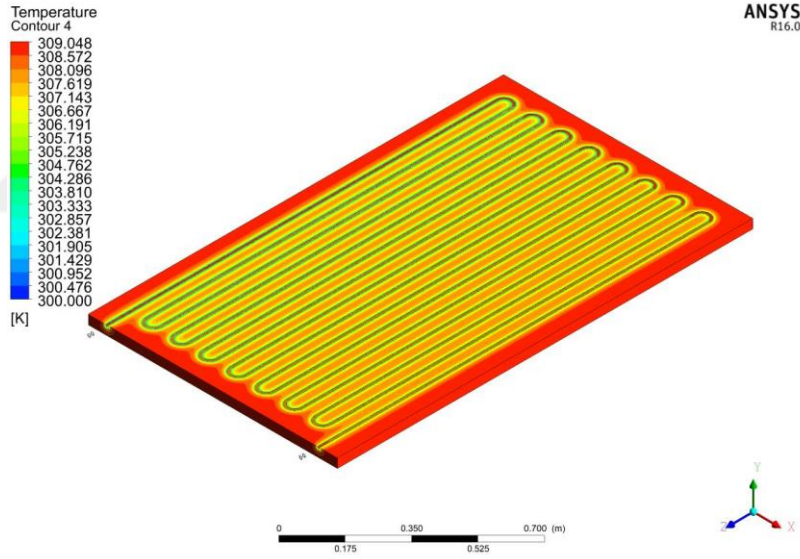
Zeolit için ufak bir artış gösterip sürekli azalan bir grafik ortaya çıkmıştır. Grafik üzerinde 32 mm kalınlık değerinde en yüksek değere yakın bir çıkış sıcaklığı sağlanırken 34 mm kalınlık değerinde en yüksek değerine ulaşan çıkış sıcaklığı bu kalınlıktan sonra sürekli düşüş göstermiştir. Optimum değeri olan 34 mm kalınlıkta ise 30,18 °C değerine ulaşmıştır. Kalınlığı arttırmanın çıkış sıcaklığını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Parafin için gözlenen uyumsuzluk zeolit için gözlemlenmemiştir. Model doğru bir şekilde çalışmıştır. Yapılan analizlerden alınan sıcaklık, basınç ve IDM sıcaklık sonuçları sıralı olarak Resim 7.36, Resim 7.37 ve Resim 7.38 ile gösterilmiştir.



Resim 7.36 Zeolit kullanılan modülde optimum kalınlık için sıcaklık konturları



Resim 7.37 Zeolit kullanılan modüle optimum kalınlık için basınç konturları



Resim 7.38 Zeolit kullanılan modüle optimum kalınlık için IDM sıcaklığı

7.4 Değişken Boru Malzemesi Analizleri

Üçüncü olarak optimizasyon analizlerinde boru malzemesi türünün çıkış sıcaklıklarına etkisi incelenmiştir. Çalışan model ve eşitlik sistemlerinde boru malzemesi türü değiştirilerek analiz edilmiştir. Fotovoltaik termal sistem uygulamalarında sıkça kullanılan iki malzeme türü olan bakır ve alüminyum malzemesi kullanılmıştır. Diğer

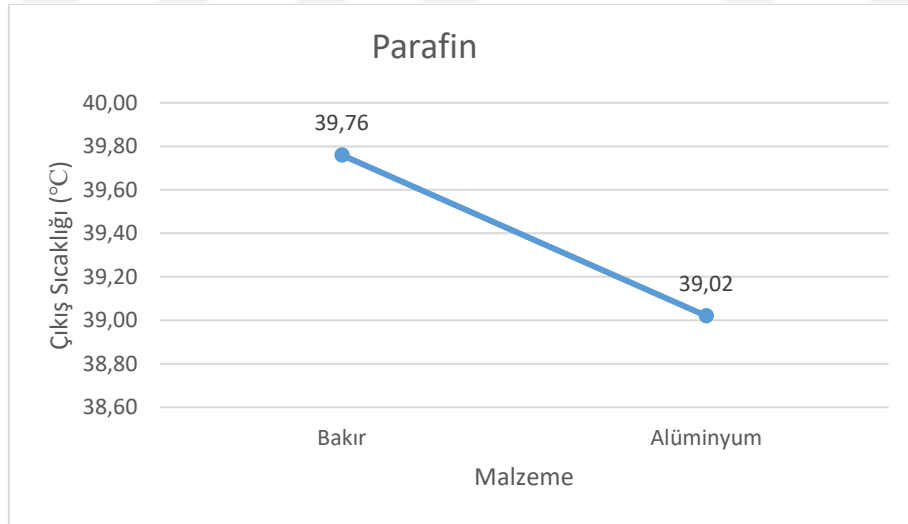
malzemeler piyasada tercih edilmediği için ve ısı transfer katsayılarından dolayı tercih edilmemiştir.

Çizelge 7.8 ile parafin için yapılan analizlerde 734 W/m² ısıtım değerinde, 17 l/h debi ile saat 13:30'da 27 °C dış sıcaklık ve 39,28 °C parafin ortalama sıcaklığında 36,8 °C sıcaklık ile sisteme giren akışkanın değişken boru malzemesi türlerinde hesaplanan çıkış suyu sıcaklıkları gösterilmiştir.

Çizelge 7.8 Değişken boru malzemesi türlerinde parafin kullanılan modül için alınan çıkış sıcaklıkları

Debi (l/h)	Panel Işıtım (W/m ²)	Malzeme	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)
17	734	Bakır	36,8	39,76
17	734	Alüminyum	36,8	39,02

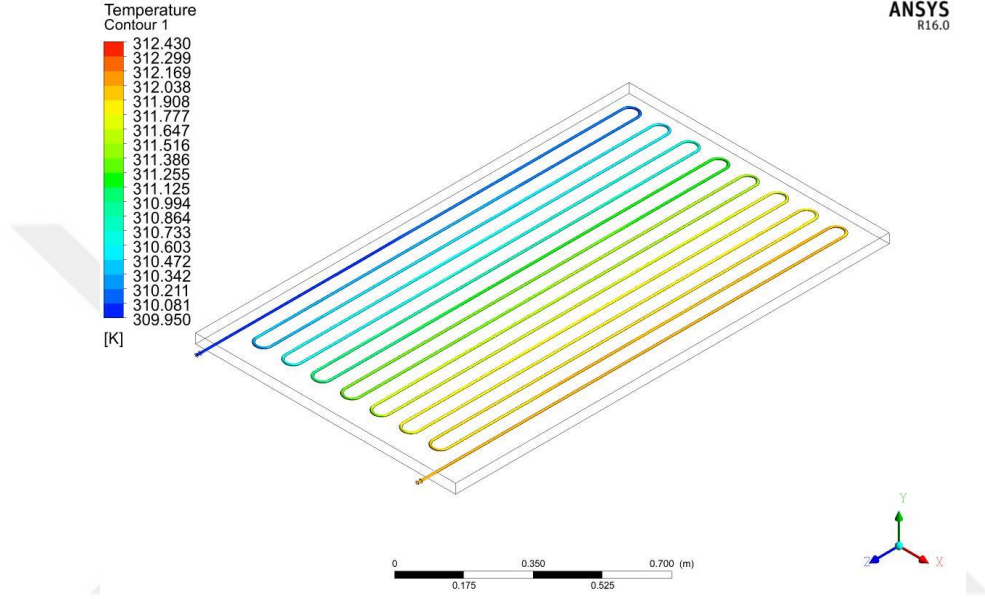
Malzeme türü ve çıkış sıcaklıkları ile oluşturulan grafikte sonuçlar daha net görülmektedir. Sonuçlar Şekil 7.8 ile gösterilmiştir.



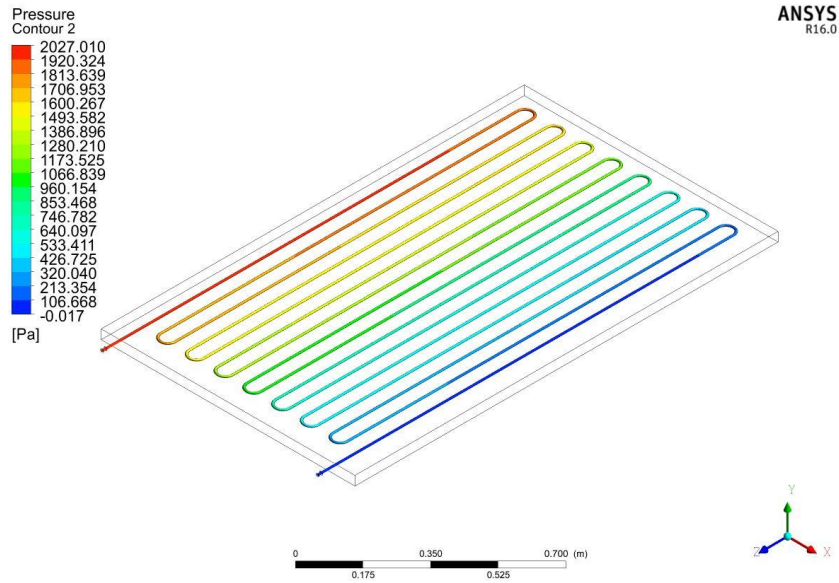
Şekil 7.8 Değişken malzeme türlerinin parafin kullanılan modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi

Bakır kullanılan modülün bakırın ısı iletim katsayısının alüminyuma göre yüksek olması sebebi ile daha fazla ısı transferi gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak

ısı iletim katsayısı yüksek malzemeler kullanılması fotovoltaik termal sistemler için uygundur. Bu bölümde görsel olarak bakır kullanılan analizde oluşan sıcaklık çizgileri değişken kalınlık analizlerinde verildiğinden, optimum malzeme örneği yerine alternatif malzeme örneği verilmiştir. Yapılan analizlerden alınan sıcaklık ve basınç sonuçları sıralı olarak Resim 7.39, ve Resim 7.40 ile gösterilmiştir.



Resim 7.39 Parafin kullanılan modülde alternatif malzeme türü için sıcaklık konturları



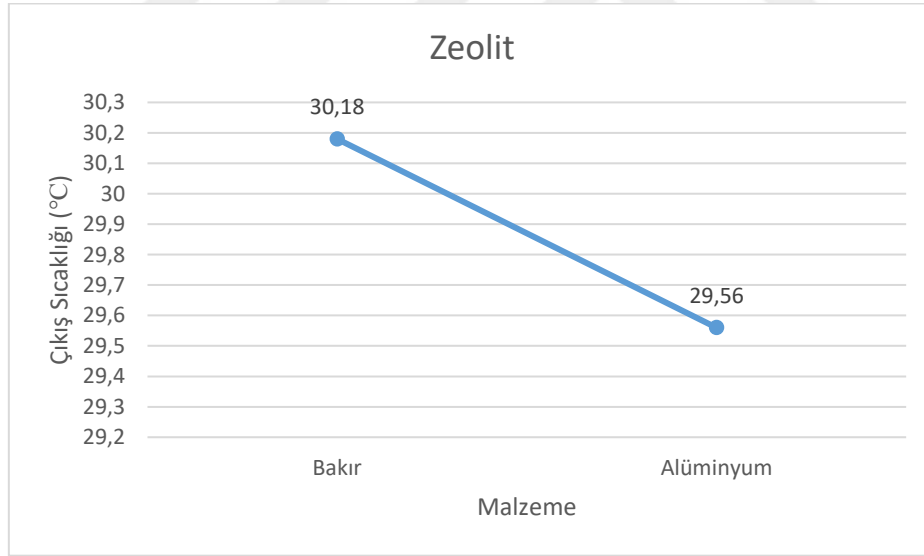
Resim 7.40 Parafin kullanılan modülde alternatif malzeme türü için basınç konturları

Çizelge 7.9 ile zeolit için yapılan analizlerde, 755 W/m² ışıınım değerinde saat 14:20'de 41 l/h debi ile 15,9 °C dış sıcaklık ve 34,24 °C zeolit ortalama sıcaklığında 27,4 °C sıcaklık ile sisteme giren akışkanın değişken boru malzemesi türlerinde hesaplanan çıkış suyu sıcaklıkları gösterilmiştir.

Çizelge 7.9 Değişken boru malzemesi türlerinde zeolit kullanılan modül için alınan çıkış sıcaklıkları

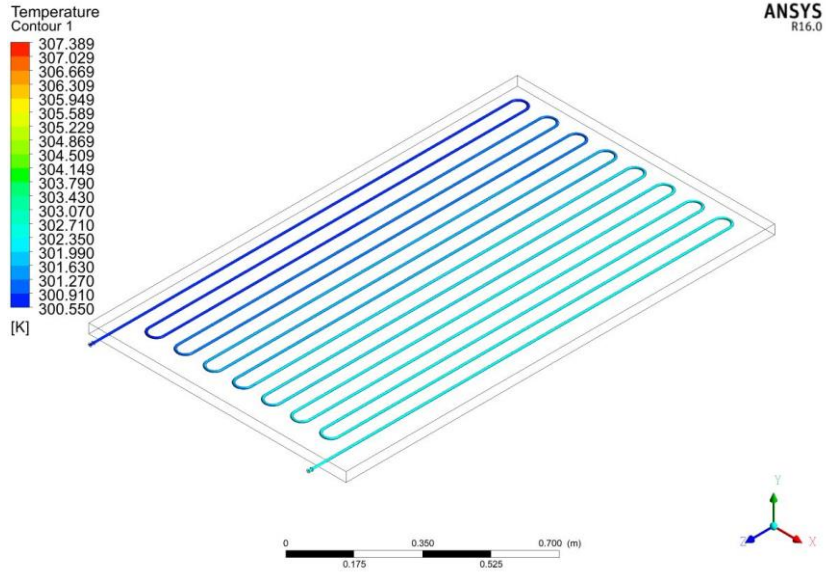
Debi (l/h)	Panel Işınım (W/m ²)	Malzeme	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)
41	755	Bakır	27,4	30,18
41	755	Alüminyum	27,4	29,56

Malzeme türü ve çıkış sıcaklıkları ile oluşturulan grafikte sonuçlar daha net görülmektedir. Sonuçlar Şekil 7.9 ile gösterilmiştir.

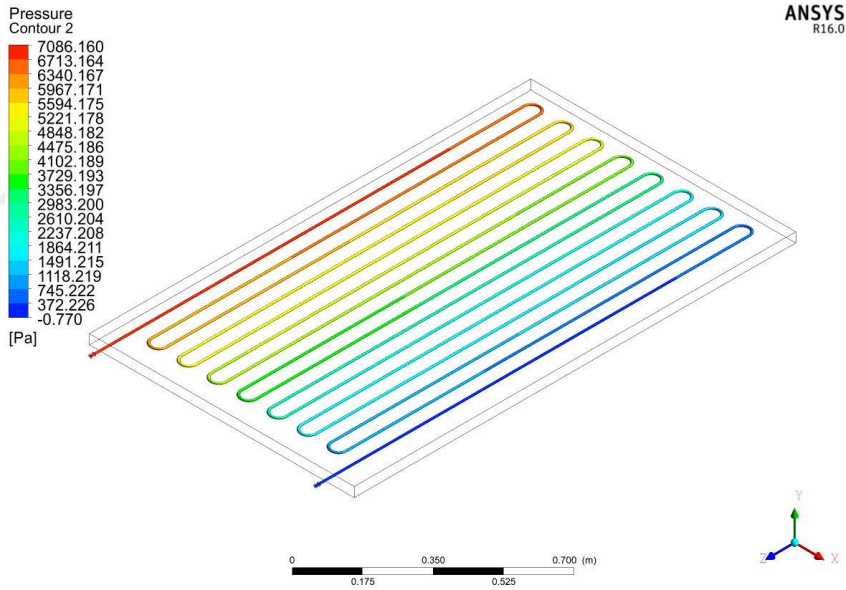


Şekil 7.9 Değişken malzeme türlerinin zeolit kullanılan modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi

Isı iletimi yüksek olan malzemenin daha iyi ısı transferi yapmasından kaynaklı bakır kullanılan modülde çıkış suyu sıcaklığı daha yüksektir. Yapılan analizlerden alınan sıcaklık ve basınç sonuçları sıralı olarak Resim 7.41 ve Resim 7.42 ile gösterilmiştir.



Resim 7.41 Zeolit kullanılan modülde alternatif malzeme türü için sıcaklık konturları



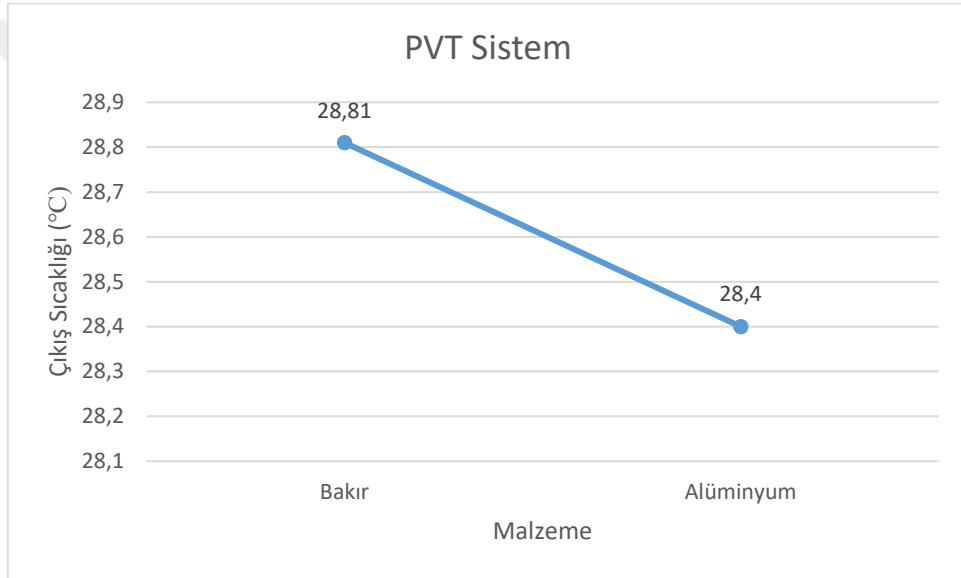
Resim 7.42 Zeolit kullanılan modülde alternatif malzeme türü için basınç konturları

Çizelge 7.10 ile konvansiyonel modül ile yapılan analizlerde, faz değiştiren malzeme modelden çıkartılmıştır. 754 W/m^2 ışınlım değerinde saat 13:15'de, 19 l/h debi ve $30 \text{ }^\circ\text{C}$ dış sıcaklık ve değerinde $27,4 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ile sisteme giren akışkanın değişken boru malzemesi türlerinde hesaplanan çıkış suyu sıcaklıkları gösterilmiştir.

Çizelge 7.10 Değişken boru malzemesi türlerinde konvansiyonel modül için alınan çıkış sıcaklıkları

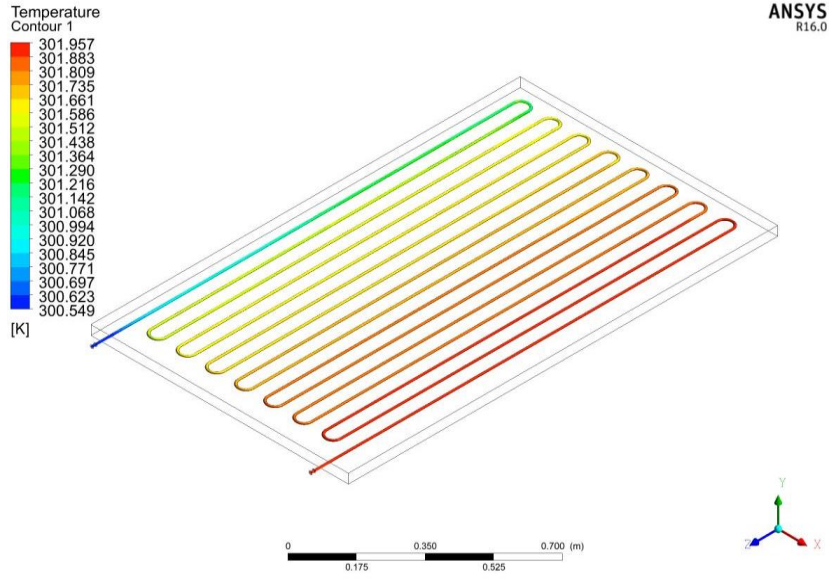
Debi (l/h)	Panel Işınım (W/m ²)	Malzeme	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)
19	754	Bakır	27	28,81
19	754	Alüminyum	27	28,4

Malzeme türü ve çıkış sıcaklıkları ile oluşturulan grafikte sonuçlar daha net görülmektedir. Sonuçlar Şekil 7.10 ile gösterilmiştir.

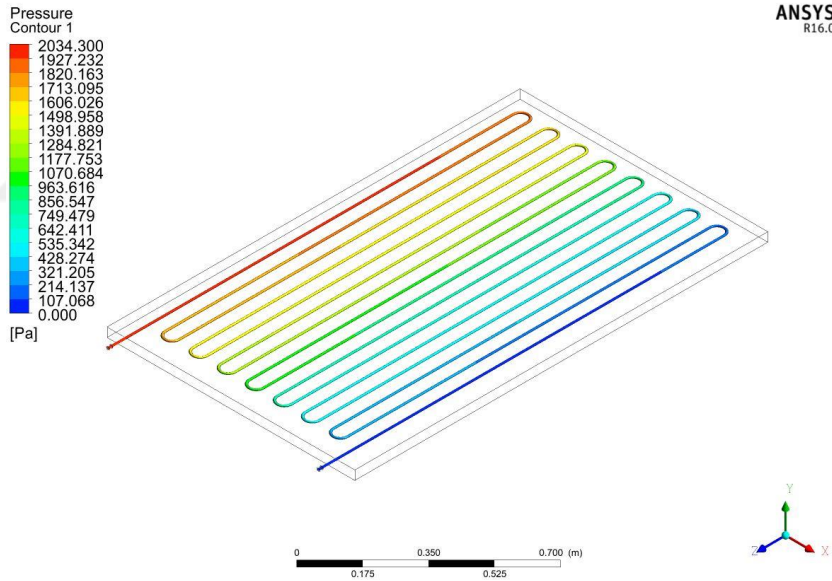


Şekil 7.10 Değişken malzeme türlerinin konvansiyonel modülde çıkış sıcaklıklarına etkisi

Isı iletimi yüksek olan malzemenin daha iyi ısı transferi yapmasından kaynaklı konvansiyonel modülde de çıkış suyu sıcaklığı daha yüksektir. Yapılan analizlerden alınan sıcaklık ve basınç sonuçları sıralı olarak Resim 7.43, ve Resim 7.44 ile gösterilmiştir.



Resim 7.43 Konvansiyonel modülde optimum malzeme türü için sıcaklık konturları



Resim 7.44 Konvansiyonel modülde optimum malzeme türü için basınç konturları

7.5 Değişken Boru Çapı Analizleri

Analizlerimizin sonucunda da akışkan kanallarının çapının akışkan çıkış sıcaklığına etkisi incelenmiştir. 9,52 mm dış çap ve 8,52 mm iç çapındaki akışkan kanallarının tasarımı SolidWorks programı ile çizilmiştir. Modelden sabit kanallar çıkartılıp yerine eklenmiştir. Kanallarla temas eden malzemelerin ölçülendirmesi de yeni kanallara uygun olarak yeniden dizayn edilmiştir. Eşitlik sistemlerinde değişiklik

yapılmamıştır. Piyasada fotovoltaik sistem uygulamalarında akışkan olarak su kullanıldığı uygulamalarda tercih edilen iki farklı çapta boru analizlerde tercih edilmiştir.

Çizelge 7.11 ile parafin için yapılan analizlerde 734 W/m² ışıınım değerinde, 17 l/h debi ile saat 13:30'da 27 °C dış sıcaklık ve 39,28 °C parafin ortalama sıcaklığında 36,8 °C sıcaklık ile sisteme giren akışkanın değişken boru çaplarında hesaplanan çıkış suyu sıcaklıkları gösterilmiştir.

Çizelge 7.11 Değişken boru kalınlıklarında parafin kullanılan modül için alınan çıkış sıcaklıkları

Debi (l/h)	Panel Işınım (W/m ²)	Boru Dış Çap (mm)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)
17	734	8	36,8	39,76
17	734	9,52	36,8	38,63

Çizelge 7.12 ile zeolit için yapılan analizlerde, 755 W/m² ışıınım değerinde saat 14:20'de 41 l/h debi ile 15,9 °C dış sıcaklık ve 34,24 °C zeolit ortalama sıcaklığında 27,4 °C sıcaklık ile sisteme giren akışkanın değişken boru çaplarında hesaplanan çıkış suyu sıcaklıkları gösterilmiştir.

Çizelge 7.12 Değişken boru kalınlıklarında zeolit kullanılan modül için alınan çıkış sıcaklıkları

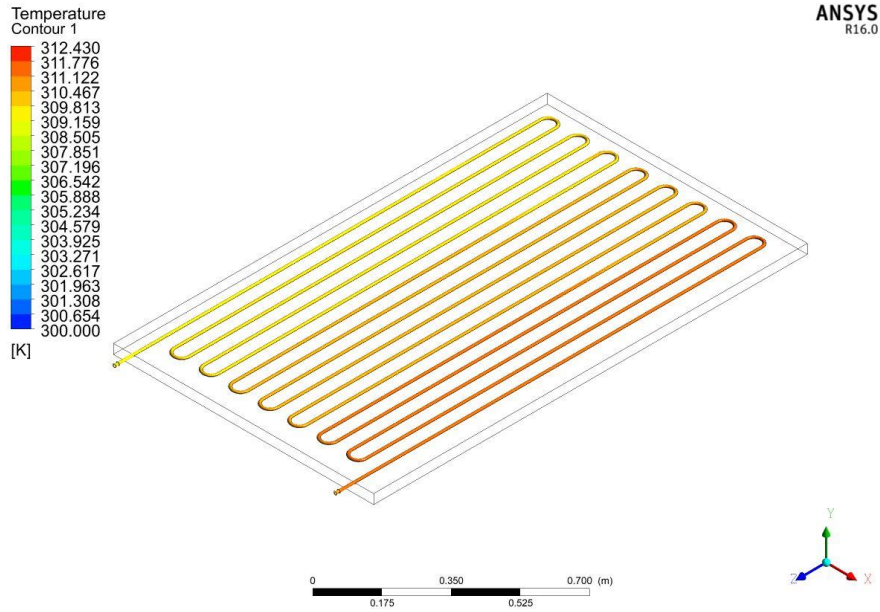
Debi (l/h)	Panel Işınım (W/m ²)	Boru Dış Çap (mm)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)
41	755	8	27,4	30,18
41	755	9,52	27,4	29,18

Çizelge 7.13 ile konvansiyonel modül ile yapılan analizlerde, faz değiştiren malzeme modelden çıkartılmıştır. 754 W/m² ışıınım değerinde saat 13:15'de, 19 l/h debi ve 30 °C dış sıcaklık değerinde 27,4 °C sıcaklık ile sisteme giren akışkanın değişken boru malzemesi türlerinde hesaplanan çıkış suyu sıcaklıkları gösterilmiştir.

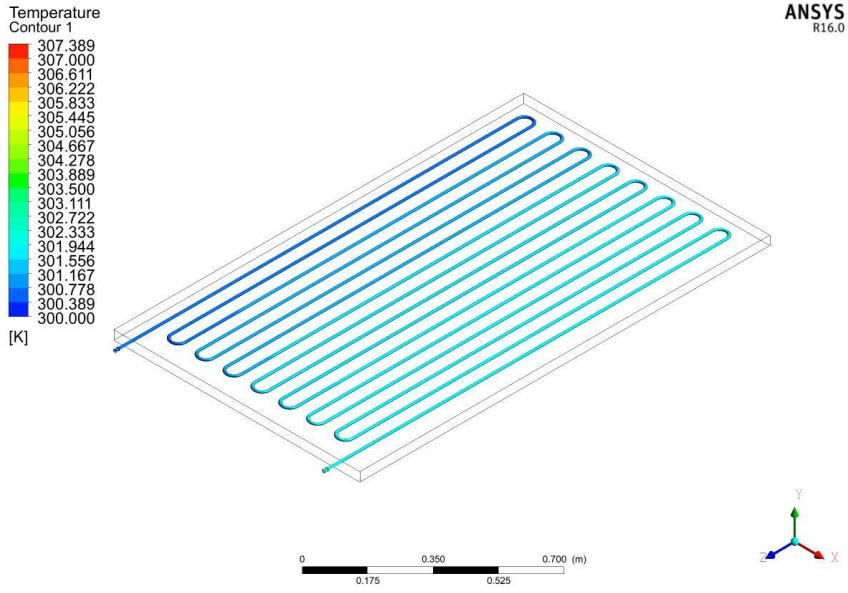
Çizelge 7.13 Değişken boru kalınlıklarında konvansiyonel modül için alınan çıkış sıcaklıkları

Debi (l/h)	Panel Işınım (W/m ²)	Boru Dış Çap (mm)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)
19	754	8	27	28,81
19	754	9,52	27	28,26

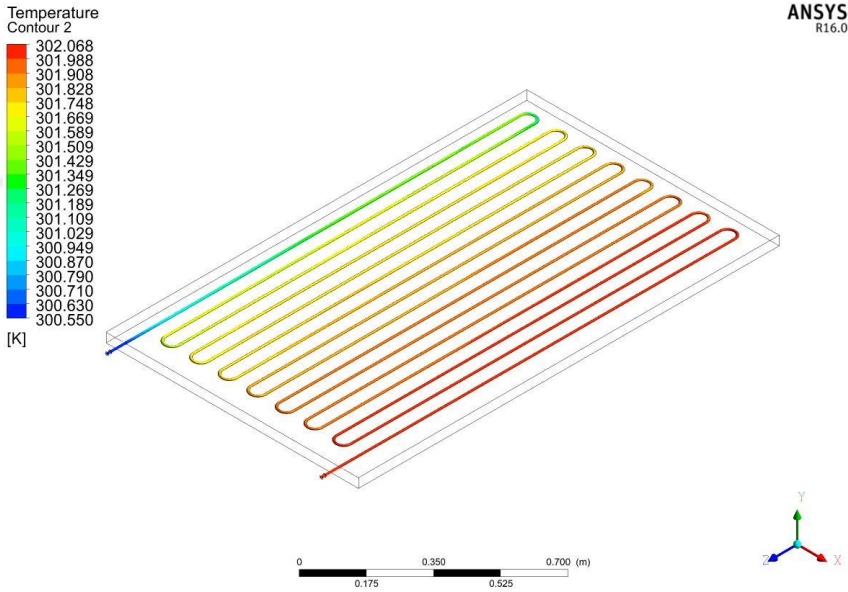
Değişken boru çaplarında deney düzeneğinde kullanılan 8 mm dış çap ve 7 mm iç çaplı bakır borunun analiz edilen 9,52 mm dış çap ve 8,52 mm iç çaplı borudan daha iyi bir çalışma sunduğu gözlemlenmiştir. Her üç analizde de çap artması ile çıkış suyu sıcaklığı düşmüştür. Bu bölümde de konvansiyonel hariç optimum değerler için oluşan konturlar kullanıldığı için ve aynı görselin tez çalışmasında iki kez bulunması istenmemesinden kaynaklı alternatif malzemeler için alınan analiz çıktıları gösterilmiştir. Yapılan analizlerden alınan sıcaklık sonuçları parafin kullanılan model, zeolit kullanılan model ve konvansiyonel model için sırası ile Resim 7.45, Resim 7.46 ve Resim 7.47 ile gösterilmiştir.



Resim 7.45 Parafin kullanılan modülde alternatif boru çapı türü için sıcaklık konturları



Resim 7.46 Zeolit kullanılan modülde alternatif boru çapı türü için sıcaklık konturları



Resim 7.47 Konvansiyonel modülde optimum boru çapı türü için sıcaklık konturları

8 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmalar üzerinden doğruluğu belirlenmiş simülasyon modeli kullanılarak yapılan analizlerden elde edilmiş sonuçlar listelenecektir. Tasarlanabilecek en verimli sistemler ve geleceğe yönelik bu sistemlerin nasıl geliştirilebileceği konusunda öneriler sunulacaktır.

8.1 Sonuçlar

Optimum ve en verimli sistemi tasarlamak için yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

1. Değişken debi için yapılan analizlerde parafin kullanılan sistem için en yüksek termal sıcaklık çıkışı 19 l/h debi değerinde 36,8 °C giren akışkan için 40,82 °C olarak alınmıştır.
2. Değişken debi için yapılan analizlerde zeolit kullanılan modül için en yüksek termal sıcaklık çıkışı 13 l/h debi değerinde 27,4 °C ile giren akışkan için 33,16 °C olarak alınmıştır.
3. Değişken debi için yapılan analizlerde konvansiyonel sistem için en yüksek termal sıcaklık çıkışı 13 l/h debi değerinde 27,4 °C ile giren akışkan için 29,36 °C olarak alınmıştır.
4. Faz değiştiren malzeme kalınlığı için yapılan analizlerde parafin kullanılan sistem için en yüksek termal sıcaklık çıkışı, 34 mm kalınlık değerinde 36,8 °C ile sisteme giren akışkan için 39,76 °C olarak alınmıştır.
5. Isı depolayan malzeme kalınlığı için yapılan analizlerde zeolit kullanılan sistem için en yüksek termal sıcaklık çıkışı, 34 mm kalınlık değerinde 27,4 °C ile sisteme giren akışkan için 30,18 °C olarak alınmıştır.
6. Boru malzemesi türü için yapılan analizlerde parafin kullanılan sistem için en yüksek termal sıcaklık çıkışı, bakır malzemede 36,8 °C ile sisteme giren akışkan için 39,76 °C olarak alınmıştır. Alüminyuma göre %1,89 oranında fazla değerde çıkış sağlamıştır.
7. Boru malzemesi türü için yapılan analizlerde zeolit kullanılan sistem için en yüksek termal sıcaklık çıkışı, bakır malzemede 27,4 °C ile sisteme giren akışkan

- için 30,18 °C olarak alınmıştır. Alüminyuma göre %2,09 oranında fazla değerde çıkış sağlanmıştır.
8. Boru malzemesi türü için yapılan analizlerde konvansiyonel sistem için en yüksek termal sıcaklık çıkışı, bakır malzemedede 27,4 °C ile sisteme giren akışkan için 28,81 °C olarak alınmıştır. Alüminyuma göre %1,44 oranında fazla değerde çıkış sağlanmıştır.
 9. Boru çapı için yapılan analizlerde parafin kullanılan sistem için termal sıcaklık çıkışı, 8 mm dış çap ve 7 mm iç çapa sahip boruda 36,8 °C ile sisteme giren akışkan için 39,76 °C olarak alınmıştır. 9,52 mm dış çap ve 8,52 mm iç çapa sahip boruya göre %2,93 oranında fazla değerde çıkış sağlanmıştır.
 10. Boru çapı için yapılan analizlerde zeolit kullanılan sistem için termal sıcaklık çıkışı, 8 mm dış çap ve 7 mm iç çapa sahip boruda 27,4 °C ile sisteme giren akışkan için 30,18 °C olarak alınmıştır. 9,52 mm dış çap ve 8,52 mm iç çapa sahip boruya göre %3,42 oranında fazla değerde çıkış sağlanmıştır.
 11. Boru çapı için yapılan analizlerde konvansiyonel sistem için termal sıcaklık çıkışı, 8 mm dış çap ve 7 mm iç çapa sahip boruda 27,4 °C ile sisteme giren akışkan için 28,81 olarak alınmıştır. 9,52 mm dış çap ve 8,52 mm iç çapa sahip boruya göre %1,95 oranında fazla değerde çıkış sağlanmıştır.

8.2 Öneriler

Yapılan analizler ve alınan sonuçlar doğrultusunda, tasarlanacak sistemler ve geliştirilmesi, bu sistemlerde hangi parametrelerin hangi değerde kullanılması gerektiği hakkında öneriler sunulacaktır.

1. Doğal zeolit hem maliyeti ucuz olması hem de sisteme kolay monte edilip, sökölme kolaylıklarından dolayı parafine göre daha tercih edilir bir malzemedir. Ayrıca daha iyi ısı sonuçlar vermekte ve kolay olarak temin edilebilmektedir. Doğal zeolit için literatürde çok fazla çalışma bulunmaması ve ülkemizde zeolit yataklarının çokça bulunması, zararlı kimyasal içermemesi nedenlerinden dolayı zeolit kullanılan modüllere öncelik verebiliriz. Literatüre farklı bir örnek sunmak istiyorsak çalışmalarımızda zeolit tercih edilebilir.

2. Parafin malzemesi ise programda erime ve katılma modellerinin tasarlanmasından dolayı gerçeğe yakın analiz edilmiştir. Bu özelliğinden dolayı daha dengeli sonuçlar verebilmektedir.
3. Konvansiyonel sistemlere göre ısı depolayan / faz değıştiren malzeme destekli PVT sistemlerde çıkış sıcaklıkları daha yüksek değerde olmaktadır. Bu neden dolayı ve elimizdeki enerjiyi daha verimli kullanmak için sistemlere bu malzemeleri eklememiz bize olumlu geri dönüş sağlayacaktır.
4. Parafin için akışkanın biraz hızlı olması artan moleköl hareketinden dolayı ısı transferini artırırken daha yüksek hızlarda akışkanın sistemde kaldığı süre azaldığından kaynaklı ısı transferi düşmüştür. 15-21 l/h hızlardaki debiler parafin için ideal debi olarak çalışmalarda kullanılabilir.
5. Zeolit için akışkanın sistemde daha fazla süre geçirmesi ve bu temastan kaynaklı ısı transferi daha fazla olduğundan düşük hızlarda debiler tercih edilebilir.
6. Konvansiyonel sistemlerde ise zeolite benzer durum olduğundan kaynaklı düşük hızlarda debiler tercih edilmelidir.
7. Kanal malzemesi olarak ısı iletkenliği yüksek olan malzeme seçmek ısı transferini artıracığından modüllerde tercih edilmelidir.
8. Isı depolayan / faz değıştiren malzeme kalınlığı olarak 32-36 mm arasında malzeme tercih etmek en ideal çıkış sıcaklıklarını verdiği için tercih edilebilir. Optimum olarak hem zeolit hem parafin için 34 mm kalınlıktaki malzeme en yüksek çıkış sıcaklıklarını vermiştir.
9. Kanal kalınlığı olarak hem sistemin içi hacmini ergonomik kullanmak hem de akışa uygun kalınlık seçmek için 8 mm dış çap 7 mm iç çapa ve 9,52 mm dış çap ve 8,52 mm iç çapa sahip borular öne çıkmaktadır. Bu iki boru çapı karşılaştırıldığında ise 8 mm dış çaplı boruda daha iyi ısı ısı sonuç sağlanmaktadır. Bu nedenden dolayı sistemlerde tercih edilebilir.

Enerji kaynaklarının gelişmiş ülkeler tarafından elinde bulundurulması ve bizimde enerji konusunda dışa bağımlı bir ülke olmamızdan kaynaklı olarak, bunlara ek kendi ülkemizdeki çevremizi doğamızı korumak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmemiz gerekmektedir. Ülkemiz hem güneş enerjisi hem de diğer alternatif kaynaklar potansiyeli olarak oldukça zengindir. Bu konuda bizim yapmamız

gereken ise deneysel ve teorik çalışmalarla bu kaynaklardan elde edebileceğimiz en yüksek verimi elde etmek ve ülkemizin enerji ihtiyaının önemli bir bölümünü bu kaynaklardan sağlamaktır. Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar santrallerin kurulmasına nc olacaktır. řu an yenilenebilir enerjinin ülkemiz enerji pazarındaki düşük olan payını zamanla artırarak tamamını bu kaynaklardan sağlamayı hedeflemeliyiz. Böylece hem ekonomik anlamda büyük bir atılım yapmış oluruz hem de geleceğe temiz bir doğa bırakmış oluruz.



9. KAYNAKLAR

- [1] Smets A., Jager K., Isabella O., Swaaij R., Zeman M., 2015, "Solar Energy The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversions Technologies And Systems", Cambridge, 175-176
- [2] Kalogrou A. S., 2014, "Solar Energy Engineering Processs and Systems 2nd Ed.", Oxford, 20-22
- [3] Tiwari G. N., Tiwari A., Shyam, 2016, "Handbook of Solar Energy Theory Analysis and Applications", Rashid M. H., USA, 1-3
- [4] Kalogrou A. S., 2014, "Solar Energy Engineering Processs and Systems 2nd Ed.", Oxford, 51
- [5] İnternet: International Renewable Energy Agency <https://www.irena.org/solar>
- [6] Smets A., Jager K., Isabella O., Swaaij R., Zeman M., 2015, "Solar Energy The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversions Technologies And Systems", Cambridge, 48
- [7] Lague A., Hegedus S., 2011, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering 2nd Ed.", United Kingdom, 82-84
- [8] Lague A., Hegedus S., 2011, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering 2nd Ed.", United Kingdom, 842
- [9] Smyth M., Russel J., Milanowski T., 2011, "Solar Energy In The Winemaking Industry", New York, 66-67
- [10] Smyth M., Russel J., Milanowski T., 2011, "Solar Energy In The Winemaking Industry", New York, 341
- [11] Sarı A., 2011, "Faz Değişim Yoluyla Isı Depolanması ve Bu Alanda Yapılan Çalışmalar", *Kimya lisans öğrencileri Araştırma Projesi Eğitim Çalıştayı*, Çanakkale
- [12] İnternet: <http://webmineral.com/dana/dana.php?class=77#.XHg9bogzZPY>
- [13] Dönmezer N., Sömek K, Azarifar M., Eylül 2017, "Faz Değiştirme ile Isı Depolamada Kullanılan Parafin-Grafit, Parafin Kanatçık ve Saf Parafinli Yapıların Performans Analizi", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32 (3), 155-163
- [14] Dincer I., Tiwari A., Joshi A. S., Tiwari G. N., Reddy B. V., 2009, "Performance Evaluation of a Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) (glass-to-glass) System", *International Journal of Thermal Sciences*, 48 (2009), 154-164

- [15] Agrawal S., Tiwari G. N., 2011, "Energy and Exergy Analysis of Hybrid Micro Channel Photovoltaic Thermal Module", *Solar Energy*, 85 (2011), 356-370
- [16] Tyagi V. V., Kaushik S. C., Tyagi S. K., 2012, "Advancement in Solar Photovoltaic/Thermal (PV/T) Hybrid Collector Technology", *Renewable and Sustainable Energy Technology*, 16 (2012), 1383-1398
- [17] Doğanay H. Ö., 2014, "Kırklareli İklim Şartlarında Hibrit Fotovoltaik/Termal Kolektör Sistemin Analizi" Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya, 1-47
- [18] Fang G., Cao L., Shan F., Tang F., 2014, "Performance Evaluations and Application of Photovoltaic Thermal Collectors and Systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33 (2014), 467-483
- [19] Khelifa A., Touafek K., Ben Moussa H., Tabet I., Ben Cheikh El Hocine H., Haloui H., 2015, "Analysis of a Hybrid Solar Collector Photovoltaic Thermal (PVT)" *Energy Procedia*, 74 (2015), 835-843
- [20] Browne M. C., Norton B., McCormack S. J., 2015, "Phase Change Materials For Photovoltaic Thermal Management" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47 (2015), 762-782
- [21] Michael J. J., İniyan S., Goic R., 2015, "Flat Plate Solar Photovoltaic-Thermal (PVT) Systems: A Reference Guide", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51 (2015), 62-88
- [22] Khelifa A., Touafek K., Ben Moussa H., Tabet I., Ben Cheikh El Hocine H., Haloui H., 2016, "Modeling and Detailed Study Of Hybrid Photovoltaic Thermal Solar Collector", *Solar Energy*, 135 (2016), 169-176
- [23] Uçman M., 2017, "FOTOVOLTAİK TERMAL (FV/T) VE BİNA ENTEGRELİ FV/T (BEFV/T) SİSTEMLERDE AKIŞKAN KULLANIMININ ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİK ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ", *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Osmaniye, 1-82
- [24] Fang G., 2017, "Maximizing To Energy Output of a Photovoltaic Thermal Solar Collector Incorporating Phase Change Materials", *Energy and Buildings*, 153 (2017), 382-391
- [25] Eyiç E., 2018, "Nanofartikül ve Faz Değiştiren Malzemeli Bir Fotovoltaik Termal Sistemin Deneysel Analizi" *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-39
- [26] Benli F., 2018, "Fotovoltaik (PV) ve Fotovoltaik Termal (PV-T) Kolektörün Karşılaştırılması", *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Osmaniye, 1-50

- [27] Serdarabadi M., Hosseinzadeh M., Passandideh-Fard M., 2018, "Energy and Exergy Analysis of Nanofluid Based Photovoltaic Thermal System Integrated With Phase Change Material", *Energy*, 147 (2018), 636-647
- [28] Kalita P., Das D., Ray O., 2018, "Flat plate Hybrid Photovoltaic-Thermal (PV-T) System: A Review on Design and Development", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 84 (2018), 111-130
- [29] Nasrin R., Fayaz H., Rahim N., A., Hasanuzzaman M., 2018, "Energy and Exergy Analysis of the PVT System: Effect of nanofluid flow rate", *Solar Energy*, 269 (2018), 217-230
- [30] Nasibov A., 2018, "Alternatif Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik Termal Sistemin Performansının İncelenmesi", *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla, 1-54
- [31] Fedholi A., 2018, "Energy and exergy analyses of photovoltaic thermal collector with ∇ -groove", *Solar Energy*, 159 (2018), 742-750
- [32] Yang F., Zhang X., Wang H., Tian W., Hua Y., Dong T., 2018, "Design and Experimental Study of a Cost-Effective Low Concentrating Photovoltaic/Thermal System", *Solar Energy*, 160 (2018), 289-296
- [33] Hossain M. S., Pandy A. K., Selvaraj J., Abd rahim N., Islam M. M., Tyagi V. V., 2019, "Two Side Serpentine Flow Based Photovoltaic-Thermal-Phase Change Materials (PVT-PCM) System: Energy, Exergy and Economic Analysis", *Renewable Energy*, 136 (2019), 1320-1336
- [34] Serhaddi F., Adeli M., M., Valizadeh M., 2019, "Exergy Performance Assessment of a Linear Parabolic Trough Photovoltaic Thermal Collector", *Renewable Energy*, 138 2019, 1028-1041
- [35] Fang G., Alva G., Jia Y., 2019, "Development and Application of Photovoltaic Thermal Systems: A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102 (2019), 249-265
- [36] Ma T., Hakkaki Fard A., Salari A., Kazemian A., 2019, "Numerical Investigation and Parametric Analysis of a Photovoltaic Thermal System Integrated With Phase Change Materials" *Applied Energy*, 238 (2019), 734-746
- [37] Hasanuzzaman M., Nasrin R., Rivai A., Fayaz H., Rahim N. A., 2019, "Numerical and Outdoor Real Time Experimental Investigation of Performance of PCM Based PVT System", *Solar Energy*, 179 (2019), 135-150
- [38] Bigorajski J., Chwieduk D., 2019, "Analysis of a Micro Photovoltaic/Thermal - PV/T System Operation in Moderate Climate" *Renewable Energy*, 137 2019, 127-136

[39] Kazzem H. A., (2019), “Evaluation and Analysis of Water-Based Photovoltaic/Thermal (PV/T) System”, *Case Studies in Thermal Engineering*, 13 (2019), 1-8

[40] Kandilli C., 2016, “Fotovoltaik Termal Sistemlerde (PVT) Isıl Amaçlı Kullanılabilecek Malzemelerin İncelenmesi ve Sistem Performansına Etkilerinin Değerlendirilmesi”, Uşak, 23-32



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MERTOĞLU, Burak
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 27.06.1992 Ankara
Medeni hali : Bekâr
Telefon : 0 (534) 707 96 94
Faks :
E-posta : burak.m@outlook.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Uşak Üniversitesi / Enerji ve Çevre Bilimleri ABD	Halen
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2015
Lise	Gazi Çiftliği Lisesi	2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
-----	-----	-------

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

-

Hobiler

Futbol, Kitaplar, Tiyatro