



GÜNEŞ HAVUZLARININ CFD ANALİZİYLE ISIL PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Ayşe Nur AYDIN ÇAKIR

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN**

**GÜNEŞ HAVUZLARININ CFD ANALİZİYLE ISIL
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Ayşe Nur AYDIN ÇAKIR

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ocak 2023

Ayşe Nur AYDIN ÇAKIR tarafından hazırlanan “ GÜNEŞ HAVUZLARININ CFD ANALİZİYLE ISIL PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 24/01/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Engin GEDİK (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Ahmet Ümit TEPE (TARSUS Ü)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ayşe Nur AYDIN ÇAKIR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ HAVUZLARININ CFD ANALİZİYLE ISIL PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Ayşe Nur AYDIN ÇAKIR

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN

Ocak 2023, 71 sayfa

Güneş enerjisinden faydalanmak için geliştirilmiş birçok sistem bulunmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinde enerji kesintili olarak elde edilmektedir. Bu nedenle bu sistemlerin en önemli sorunu depolamadır. Özellikle düşük sıcaklık uygulamalarında bu sorunun en verimli çözümü güneş havuzlarıdır. Güneş havuzlarının en yaygın çeşidi Tuz Gradyanlı Güneş Havuzlarıdır (TGGH). Bu tip güneş havuzları havuz içerisinde derinlikle doğru orantılı olarak yoğunluğu artan bir tuz yoğunluk gradyanının yapay olarak kurulmasıyla hazırlanmaktadır. Kurulan bu gradyan sayesinde havuz tabanına ulaşan güneş ışınımının soğurulmasıyla elde edilen ısı enerjisinin başlatacağı taşınım hareketi önlenmektedir. Böylece havuzun tabanında soğurulan güneş enerjisi ısı enerjisi olarak depolanabilmektedir. TGGH'lar genellikle üst konvektif bölge (ÜKB), konvektif olmayan bölge (KOB) ve alt konvektif bölge (AKB) olmak üzere farklı üç bölgeden oluşmaktadır. Doğru bir şekilde tasarlanmış bir güneş havuzundan çok farklı alanlarda yararlanmak mümkündür. Ancak güneş havuzlarının etkili tasarımının

bulunabilmesinde birçok parametre etkilidir ve sistemin kurulup analiz edilebilmesi vakit almaktadır. Bu çalışmada bir güneş havuzuna uygulanabilecek çok yönlü model elde etmek için ANSYS 2022 R2 STUDENT mühendislik programı kullanılmış ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics) yöntemi ile çözümlenmiştir. HAD (CFD) analizi ile elde edilen model güneş havuzu sisteminde farklı yoğunluklardaki tuzlu sular ile oluşturulan tuzluluk katmanlarının ve sistem içerisindeki sıcaklık dağılımının gözlemlenmesi için kullanılmıştır. Böylece güneş havuzu sistemlerinin çalışma prensipleri sanal ortamda daha anlaşılır hale gelmiştir.

Anahtar Sözcükler: güneş enerjisi, güneş havuzları, hesaplamalı akışkanlar dinamiği

Bilim Kodu: 91408

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THERMAL PERFORMANCE OF SOLAR PONDS BY CFD ANALYSIS

Ayşe Nur AYDIN ÇAKIR

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN

January 2023, 71 pages

There are many systems developed to benefit from solar energy. In solar energy systems, energy is obtained intermittently. Therefore, the most important problem of these systems is storage. Especially in low temperature applications, the most efficient solution to this problem is solar ponds. The most common type of solar ponds are Salt Gradient Solar Ponds (SGSP). This type of solar ponds are prepared by artificially establishing a salt density gradient in the pond, the density of which increases in direct proportion to the depth. Thanks to this gradient, the convection movement that will be initiated by the heat energy obtained by absorbing the solar radiation reaching the pool floor is prevented. Thus, the solar energy absorbed at the bottom of the pond can be stored as heat energy. SGSPs generally consist of three different regions: the upper convective zone (UCZ), the non-convective zone (NCZ) and the lower convective zone (LCZ). It is possible to benefit from a correctly designed solar pond in many

different areas. However, many parameters are effective in finding the effective design of solar ponds and it takes time to set up and analyze the system. In this study, ANSYS 2022 R2 STUDENT engineering program was used to obtain a versatile model that can be applied to a solar pond and it was solved by Computational Fluid Dynamics method. The model obtained by CFD analysis was used to observe the salinity layers formed by salt water of different densities and the temperature distribution in the system in the solar pond system. Thus, the working principles of solar pond systems have become more understandable in the virtual environment.

Key Words : solar energy, solar ponds, computational fluid dynamics

Science Code : 91408

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sayın danıőman hocam Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN'e, çalıőmamın tez aőamasına önemli katkılar sağlayan sayın hocalarım Prof. Dr. Emrah DENİZ'e ve Prof. Dr. Kamil Arslan'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her dönemimde beni destekleyen varlıklarını hiç esirgemedi benimle gurur duyan aileme ve akademik hayatımın her dönemine ortak olan Bilge AKCAALANA'a minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Bu süreçte en büyük destekçim olan kıymetli eőim Kadir ÇAKIR'a attığım her adımı destekleyerek bana inandığı için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
1.1. GİRİŞ.....	1
1.2. AMAÇ.....	4
BÖLÜM 2	5
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. GÜNEŞ HAVUZU SİSTEMLERİNDE YAPILMIŞ DENEYSEL VE TEORİK ÇALIŞMALAR.....	5
2.1.1. Doğal Güneş Havuzları	5
2.1.2. Yapay Güneş Havuzları.....	6
2.2. GÜNEŞ HAVUZU SİSTEMLERİNDE HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (CFD) METODU İLE YAPILMIŞ ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARI.....	10
BÖLÜM 3	

GÜNEŞ HAVUZU ÇEŞİTLERİ VE YAPISI	11
3.1. KONVEKSİYONLU (CONVECTIVE) GÜNEŞ HAVUZLARI	11
3.1.1. Sığ Güneş Havuzları (Shallow Solar Ponds, SSP)	12
3.2. KONVEKSİYONSUZ (CON-CONVECTIVE) GÜNEŞ HAVUZLARI.....	12
3.2.1. Tuz Gradyanlı Güneş Havuzları (Salinity Gradient Solar Ponds).....	13
3.2.1.1. Üst Konvektif Bölge (UCZ, Upper Convective Zone)	14
3.2.1.2. Konvektif olmayan bölge (NCZ, non convective zone)	14
3.2.1.3. Alt Konvektif Bölge (LCZ, Lower Convective Zone).....	15
3.2.2. Petek Örtülü Güneş Havuzları (Honeycomb Solar Ponds).....	16
3.2.3. Zar Örtülü Güneş Havuzları (Coffered Solar Ponds)	17
3.2.4. Jel Örtülü Güneş Havuzları (Gel Stabilized Solar Ponds).....	18
BÖLÜM 4	19
GÜNEŞ HAVUZU FİZİĞİ.....	19
4.1. GÜNEŞ RADYASYONU VE HAVUZA GELEN GÜNEŞ IŞINI.....	19
4.2. GÜNEŞ ENERJİSİNİN HAVUZ YÜZEYİNE GELİŞİ VE HAVUZ İÇİNDE İZLEDİĞİ YOL	20
4.3. GÜNEŞ HAVUZLARINDA ISI KAYIPLARI	21
BÖLÜM 5	22
GÜNEŞ HAVUZLARINDA TASARIM	22
5.1. HAVUZUN ŞEKLİ.....	22
5.2. GÜNEŞ HAVUZUNUN ALT KONVEKTİF BÖLGESİNİN HACMİ	23
5.3. TOPRAK YAPISI	24
5.4. KARARLI YOĞUNLUK DERECESİNİ OLUŞTURMAK VE BAKIMINI SAĞLAMAK	25
5.5. ISISAL YALITIM.....	26
5.6. ETKİN BİR GÜNEŞ HAVUZU İÇİN GEREKLİ KURALLAR	27
BÖLÜM 6	29

GÜNEŞ HAVUZUNDA TUZLULUK GRADYANI KURMA YÖNTEMLERİ	29
6.1. DOĞAL DİFÜZYON YÖNTEMİ	29
6.2. İSTİFLEME YÖNTEMİ	30
6.3. ZANGRANDO YÖNTEMİ	30
BÖLÜM 7	32
MATERYAL VE METOT	32
7.1. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ.....	32
7.1.1. ANSYS Fluent Yazılımı	33
7.1.2. HAD (CFD) Analizi Adımları	33
7.2. SAYISAL MODELLEME	34
7.2.1. Güneş Havuzunun Geometrisi ve Katı Modelleme	34
7.2.2. Ağ (Mesh) Yapısı	36
7.2.3. Sınır Şartları.....	38
BÖLÜM 8	57
ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR	57
BÖLÜM 9	64
GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	64
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Sığ Güneş Havuzu	12
Şekil 3.2. Tuz gradyanlı bir güneş havuzunun fiziki yapısı	14
Şekil 3.3. TGGH'de yoğunluk ve sıcaklık gradyanları	16
Şekil 3.4.1. Petek örtülü güneş havuzu örneği	16
Şekil 3.4.1. Petek örtülü güneş havuzunun elemanları	17
Şekil 3.5. Zar örtülü güneş havuzu sisteminin elemanları	17
Şekil 3.6. Jel örtülü güneş havuzu	18
Şekil 4.1. Güneş ışınının havuz içerisinde izlediği	20
Şekil 5.1. Yan duvarların etkisini gösteren havuz kesiti	23
Şekil 5.2. Eğimli ve dik duvarın bir arada kullanımı	23
Şekil 5.3. Güneş havuzunun toprakta uzaklaştırılması	25
Şekil 5.4. Güneş havuzlarında ısısal yalıtım	27
Şekil 6.1. Enjeksiyon katmanları için difüzör	31
Şekil 7.1. Güneş havuzunun katı modeli	35
Şekil 7.2. Güneş havuzunda katmanlar	36
Şekil 7.3. Güneş havuzunda mesh yapısı	37
Şekil 7.4.1. Yüzeylerin isimlendirilmesi	37
Şekil 7.4.2. Yüzeylerin isimlendirilmesi	38
Şekil 7.5. Genel ayarlar	39
Şekil 7.6. Model seçimi	39
Şekil 7.7. Enerji denklemlerinin çözülmesi	40
Şekil 7.8. Türbülans modelinin seçilmesi	41
Şekil 7.9. Radyasyon modeli	42
Şekil 7.10. Güneş ışını takip ayarları	45
Şekil 7.11. Materyallerin girilmesi	45
Şekil 7.12.1. Materyal özelliklerinin girilmesi	45

Şekil 7.12.2. Materyal özelliklerinin girilmesi.....	45
Şekil 7.13. Fazların tanımlanması.....	48
Şekil 7.14. Camın ısı özelliklerinin girilmesi	49
Şekil 7.15.1. Yan duvar özelliklerinin girilmesi	50
Şekil 7.15.1. Yan duvar özelliklerinin girilmesi	51
Şekil 7.16.1. Üst duvar özelliklerinin girilmesi	52
Şekil 7.16.2. Üst duvar özelliklerinin girilmesi	52
Şekil 7.17.1. Alt duvar özelliklerinin girilmesi.....	53
Şekil 7.17.2. Alt duvar özelliklerinin girilmesi.....	53
Şekil 7.18. Bölgelerin tanımlanması	54
Şekil 7.19.1. Bölgelerin boyutlandırılması	54
Şekil 7.19.2. Bölgelerin boyutlandırılması	55
Şekil 7.20.1. Orta katman için patch oluşturulması	55
Şekil 7.21.2. Alt katman için patch oluşturulması	56
Şekil 8.1. Güneş havuzunda faz dağılımı.....	58
Şekil 8.2. Güneş havuzunda saf suyun dağılımı	58
Şekil 8.3. Güneş havuzunda %5 oranında tuzlu suyun dağılımı.....	59
Şekil 8.4. Güneş havuzunda %10 oranında tuzlu suyun dağılımı.....	59
Şekil 8.5. Güneş havuzunda yoğunluk dağılımı	60
Şekil 8.6. Güneş havuzunda öz ısı dağılımı	60
Şekil 8.7. Güneş havuzunda termal iletkenlik dağılımı	61
Şekil 8.8. Güneş havuzunda viskozite dağılımı	61
Şekil 8.9. Güneş havuzunda solar heat flux dağılımı.....	62
Şekil 8.10.1. Güneş havuzunda sıcaklık dağılımı	63
Şekil 8.10.2. Güneş havuzunda sıcaklık dağılımı	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 7.1. Saf su ısı özellikleri.....	46
Çizelge 7.2. %5 oranında tuzlu su ısı özellikleri.....	46
Çizelge 7.3. %10 oranında tuzlu su ısı özellikleri.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

TGGH:	: Tuz Gradyanlı Güneş Havuzu
ÜKB	: Üst Konvektif Bölge
KOB	: Konvektif Olmayan Bölge
AKB	: Alt Konvektif Bölge
ANSYS	: Analysis System (Sistem Analizi)
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
CFD	: Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
FLUENT	: Ansys Akış Analiz modülü
MESH	: Ansys'e Ait Bir Modül (Ağ Modülü)

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

1.1. GİRİŞ

Enerji, geçmişten günümüze toplumların yaşam kalitesini artırmak için üretim sürecinin her alanında kullanılması zorunlu olan bir kaynaktır. Gündelik hayatın her alanında kullanılan enerji kaynakları içinde bulunduğumuz mevcut durumun temelini oluşturmaktadır. Bir toplumun gelişmiş kabul edilebilmesi için bu kaynakları etkin ve verimli bir şekilde kullanması gerekmektedir. Enerji kaynaklarının başında birincil enerji kaynakları olarak bilinen kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynaklar gelmektedir. Binlerce yılda oluşmuş olan bu kaynakların ömrü birkaç yüzyıl kadar kısadır ve son yıllarda yerine yenisi konulamayacak şekilde yok edilmektedir.

Fosil kökenli yakıtların limitli rezervleri ve çevreye verdikleri zararlar, yenilenebilir enerji kaynaklarını günden güne daha önemli kılmaktadır. Ülkemizin elektrik enerjisi üretiminde, ithal edilen fosil kökenli yakıtların payı çok büyüktür. Bu sebepten dolayı, elektrik üretiminde alternatif kaynaklara yönelmek önem arz etmektedir. Bu alternatiflerden birisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisidir. Dünyada ve ülkemizde, güneş enerjisi sistemlerine yapılan yatırımlar yıldan yıla, hızlı bir şekilde artmaktadır [1].

Yenilenebilir kaynaklarla birlikte çevre kirliliği sorunları azaltılabilir, küresel ısınma gibi problemler aşılabilir ve enerji kaynaklarının tükenmesini engellenebilir. Ayrıca bu kaynakların mevcut sistemlere katılımını sağlamak ve kullanım ömürlerini uzatmak için tasarruf sağlayıcı sistemler geliştirmek enerji sorununun çözümünde öncelikli hedeflerdendir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük avantajları doğaya zarar vermemesi ve tükenmemesidir. Yenilenebilir kaynakların başında güneş enerjisi gelmektedir. Güneş enerjisi, uygun şekilde kullanılırsa, tükenmez bir enerji kaynağı sağlayabilir ve bu kaynak, Dünya'daki yaşam kalitesinin iyileştirilmesine doğrudan katkıda bulunabilir [2].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının birçoğunun kökeni olan güneş enerjisinden özellikle elektrik elde etme ve ısıtma amacıyla doğrudan yararlanılmaktadır. Ülkemizin özellikle güney kesimleri güneş enerjisi açısından zengin bölgelerdir ve var olan bu enerjinin doğru bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Güneş' ten gelen ışık enerjisi, çeşitli güneş enerji sistemleri kullanılarak konutların sıcak su ihtiyacını karşılama, işlem suyu üretme, sera ısıtma, bitki kurutma, damıtma, elektrik ve ısı enerjisi üretme, depolama gibi alanlarda kullanılabilir.

Güneş enerjisinden faydalanmak için geliştirilmiş sistemlerden en çok kullanılan sistem güneş kolektörleridir. Güneş kolektörleri ısı enerjisini uzun süre depolama özelliğine sahip değildir ve temelde günlük ısı ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Güneş enerjisinin her zaman mevcut olmaması, gece saatleri ve özellikle kış aylarında sistemlerden yararlanamaması bu enerjinin depolanması için yöntemlerin geliştirilmesini gerektirmektedir.

Güneş enerjisinin gece saatlerinde ve kış aylarında elde edilememesi sebebiyle güneş enerjisi uygulamalarının en önemli sorunu depolamadır. Depolama probleminin en mantıklı çözümü özellikle düşük sıcaklık uygulamalarında güneş havuzlarıdır. Güneş havuzları, yüzeyine gelen güneş ışınımının bir miktarını toplayarak ısı enerjisine dönüştüren ve uzun süre depolayan sistemlerdir. Yaz mevsiminde güneş havuzunda depolanan ısı, uzun süre korunarak kış mevsiminde de bundan faydalanılabilir. Bu açıdan bakıldığında güneş havuzları için ideal bir enerji depolama sistemi denilebilir.

Güneş havuzları, 3 farklı katmana ayrılmış bir tuzlu su havuzu sistemidir. Güneş radyasyonunun ısıyı havuzu ısıttığında, ısı enerjisi en alt katmanda depolanır ve böylece onu bir ısı kaynağı haline getirir. Bu katmanlar, her katmanda bulunan tuz içeriğinin miktarına göre farklılık gösterir. Her katmanda bulunan tuz konsantrasyonu

değiştirdiğinden, katmanların yoğunluğu da bununla birlikte değişir. Diğer üç katman arasında en yüksek tuz konsantrasyonuna ve en yüksek yoğunluğa sahip olan en alttaki katman, daha yüksek yoğunluk nedeniyle en altta kalır ve güneş radyasyonu onu ısıtıp bir konveksiyon sistemi akışı kurduğunda bile yukarı çıkamaz. Böylece alt bölge ısınır ve ısı kaynağı görevi görür. [3].

Güneş havuzlarının avantajları maliyetinin düşük olması, sistem yapısının basit olması ve ısı enerjisini uzun süre depolayabilmesi olarak sıralanabilir ve bu özellikleri sayesinde hem verimli hem de ucuz ısı enerji üretebilmektedir. Güneş havuzları özellikle küçük çaplı ısıtma ve soğutma işlemlerinde kullanılmaktadır. Ancak bunun yanında endüstriyel işlem ısısı olarak da kullanılma potansiyeline de sahiptir. Güneş havuzlarında toplama ve depolama işlemi aynı yerde gerçekleştiği için hem kullanışlı hem de en ucuz güneş enerjisi sistemlerinden biri olarak kabul edilebilir. Güneş havuzlarının bu özellikleri uygulamaların hızla artmasını sağlamaktadır.

Bir güneş havuzunun ısıl performansını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Havuzun şekli, boyutu, havuz katmanlarının kalınlıkları, havuzda kullanılan tuzun ısıl özellikleri ve miktarları, havuz malzemesinin ve kullanılacak yalıtım malzemesinin özellikleri, ölçüm yapılacak bölgenin güneş enerjisi potansiyeli gibi birçok etken elde edilen verileri etkilemektedir. Bu nedenle en etkili tasarım senaryosunun manuel olarak belirlenmesi, sıcaklık dağılımının etkili bir şekilde görülmesi, tuzluluk katmanlarının stabil bir şekilde tutulması ve havuz bakımı gibi konular belirli bir süre, emek ve bütçe gerektirmektedir. Ancak hızla gelişen ve dijitalleşen dünyada yapılacak çalışmaların sanal ortama taşınarak çok daha kısa sürede ve çok daha az maliyetle gerçekleştirilmesi kaçınılmazdır. Bu konuyla ilgili olarak sürekli gelişmekte olan teknoloji ile birlikte dijital ikiz kavramı ortaya çıkmıştır.

Dijital ikiz, fiziksel bir varlığın sanal ortamdaki ikizidir. Bilgisayar yardımıyla fiziksel varlıkların dijital ortamdaki karşılığı olan dijital ikiz, çalışma performansı ve işletme verimliliğini optimize etmeye yaramaktadır. Dijital ikiz teknolojisi ile birlikte işletmeler üretimlerinde olası durumları öngörebilme imkanına kavuşmaktadır [4].

1.2.AMAÇ

Bu çalışmadaki temel amaç güneş havuzu sisteminin sanal ortamdaki dijital ikizinin modellenerek sistemin çalışma prensibinin gösterilmesi ve anlaşılmasıdır. Çalışmada herhangi bir pratik senaryoya uygulanabilecek çok yönlü bir model elde etmek için ANSYS 2022 R2 STUDENT mühendislik programı kullanılmış ve CFD simülasyon analizi yapılmıştır. Elde edilen model güneş havuzu sisteminde farklı yoğunluklardaki tuzlu sular ile oluşturulan tuzluluk katmanlarının ve sistem içerisindeki sıcaklık dağılımının gözlemlenmesi için kullanılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. GÜNEŞ HAVUZU SİSTEMLERİNDE YAPILMIŞ DENEYSEL VE TEORİK ÇALIŞMALAR

Yapılan gözlemler sonucunda doğal göllerin alt katmanlarında yüzeye göre daha yüksek sıcaklıklar olduğu gözlemlenmiştir. Bu göllerin alt katmanlarında yüksek konsantrasyonlarda çözünmüş tuzlar ve yüzeyde çok daha seyreltik çözeltilerin bulunduğu fark edilmiştir. Bu olay, havuzların büyük ölçekli yatay güneş kolektörleri olarak inşa edilmesi ve kullanılması olasılığını ortaya koymuştur. Doğal güneş havuzlarının keşfedilmesinden sonra benzer çalışma prensipleri kullanılarak yapay güneş havuzları oluşturulmaya başlanmıştır. Günümüze kadar üzerinde farklı çalışmalar yapılan güneş havuzları birçok açıdan defalarca incelenmiştir. Bu bölümde literatürde güneş havuzları ile ilgili yapılan çalışmalar amaçları doğrultusunda özetlenmiştir.

2.1.1. Doğal Güneş Havuzları

İlk güneş havuzlarının doğal ortamda kendiliğinden oluştuğu gözlemlenmiştir. Güneş havuzlarının doğadaki ilk örneği Kalecsinsky tarafından 20. yüzyılın başında Doğu Avrupa'da keşfedildi. Transilvanya'daki Medve Gölünde yaz aylarında 1.32 m derinlikte 70 °C'ye kadar maksimum sıcaklık ve ilkbaharda 26 °C'de minimum sıcaklık kaydedildi. Göletteki yüksek sıcaklıkların nedeni araştırıldığında göldeki doğal tuzluluk gradyanının varlığından kaynaklandığı görülmüştür [5]. Kalecsinsky'in yaptığı bu araştırmadan sonra birçok ülkede benzer özelliklere sahip doğal güneş havuzları keşfedilmiştir.

Doğal güneş gölü konseptini takiben, 1950'lerde ve 1960'larda İsrail'de yapay güneş havuzlarıyla ilgili daha fazla araştırma yapılmıştır. Kümülatif araştırma deneyimleri,

gelecekteki güneş havuzu tesislerinin güneş ısını çıkarmak için nasıl tasarlanabileceği ve çalıştırılabileceği konusunda bazı bilgiler sağlamıştır [6].

Washintong'daki Oroville yakınlarındaki "Sıcak Göl" (Anderson 1958), Antarktika'daki Vanda Gölü (Wilson & Wellman 1962), Afrika ve Asya arasında kızıl denizde bir güneş gölü (Por 1968), Ugandada Katwa Gölü (Melack ve Kilham, 1972), Venezuela'da Los Roques Gölü (Hudec ve Sonnenfeld, 1974), ve Afrika'da Sinie Gölü (Cohen ve diğerleri, 1977) gibi dünyanın başka yerlerinde de benzer göller rapor edilmiştir. Bu çalışmalar, olası bir güneş enerjisi depolama teknolojisi olarak yapay güneş havuzunun incelenmesi için bir başlangıç noktası olarak kullanıldı [7].

2.1.2. Yapay Güneş Havuzları

Yapay güneş havuzları fikrinin ilk kez pratiğe dökülmesi fikri 1948 yılında ortaya çıkmıştır. Güneş havuzları kullanılarak binaların ısıtılması ve elektrik gücü elde edilmesi amacıyla yapılan ilk ciddi çalışmalar 1950 yılında başlamıştır. Bu amaç doğrultusunda Dr. R. Bloch tarafından yapay tuz gradyanlı güneş havuzu kullanılarak enerji depolanabileceği belirtilmiştir.

Tabor 1958 yılından 1967 yılına kadar yapay güneş havuzları üzerine birçok çalışma yapmıştır. Bun çalışmalardan en çok dikkat çeken 1965'de İsrail'in Hayfa şehrinde bir tuz bataklığı üzerine kurulmuş 1375 m² yüzey alanına ve 1.50 m derinliğe sahip bir güneş havuzudur. Kurulan bu havuza elde edilen en yüksek sıcaklığın 74 °C olduğu belirlenmiştir. Ayrıca havuzun en derin bölgesinde var olan bakterilerin sebep olduğu gaz kabarcıklarının havuzdaki tuz yoğunluğunu bozarak havuzun verimini düşürdüğü de gözlemlenmiştir [8].

Kayalı (1980), çalışmasında ile bir güneş havuzunun maliyetinin bir düzlemsel yapıda güneş kollektörüne göre 2.5 kat daha ucuz olduğunu ve aynı zamanda bakım ve onarımlarının güneş kollektörlerine göre daha kolay olduğunu belirtmiştir [9].

Hassab ve arkadaşları (1991), güneş havuzlarında yan duvarların verime etkisini tespit edebilmek için küçük boyutlu havuzlar inşa etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda

güneş havuzlarının yan duvarlarının sebep olduğu gölgelenme ile birlikte havuzun toplama ve depolama performansının büyük ölçüde etkilendiği saptanmıştır. [10].

Karakılçık (1992), üzerinde çalıştığı güneş havuzunun sıcaklıklarını ve buna etki eden faktörleri belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmalarından elde ettiği ölçümlerin sonucunda havuz performansı üzerinde havuz suyunun kirlilik oranının ve havuz içerisinde oluşan katmanların kalınlığının etkili olduğunu tespit etmiştir [11].

Subhakar ve Murthy (1994), inşa ettikleri güneş havuzlarında katmanlar arasındaki yoğunluk farklılıkları sebebiyle aşağıdan yukarıya doğru tuz difüzyonu oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmaya göre tuz gradyanlı güneş havuzlarının en önemli sorunlarından birinin oluşan tuz difüzyonunun tuz gradyanını bozması olduğu belirtilmiştir [12].

Kayalı ve arkadaşları (1998), tarafından inşa edilen dikdörtgen prizma şeklindeki güneş havuzunda yapılan ölçümler ile havuzun her noktasında meydana gelen sıcaklık değişimini geçen zamanla birlikte veren teorik bir model önerilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda bir güneş havuzunun konvektif olmayan bölgesinin kalınlığının 1.30 m 'den daha fazla olması gerektiği tespit edilmiştir [13].

Rivera ve arkadaşları (2001), kurdukları güneş havuzunun sıcaklığı yükseltmek için lityum bromür karışımı ile çalışan ısı transformatörleri kullanmışlardır. Bu yöntem sayesinde havuzun sıcaklığını 124 °C' ye kadar yükseltilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca maksimum performans katsayısını 0.16 olarak belirlemişlerdir [14].

Hongfei ve arkadaşları (2001), tarafından tuz gradyanlı güneş havuzlarının ısı yararlanma katsayıları için matematiksel bir model geliştirilmiş ve bunu etkileyen birçok faktör tartışılmıştır. Isıl yararlanma katsayısının güneş havuzları için pratik uygulamalarda önemli bir parametre olduğu belirtilmiştir [15].

B.A. Jubran ve arkadaşları (2004), kurdukları bir güneş havuzunda yan duvarlarının konvektif bölgeler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Güneş havuzlarındaki yan duvarların toprağa temas etmesiyle ve oluşturdukları gölgelenmeyle ısı kayıplarına yol

açtığını gözlemlemişlerdir. Bu soruna çözümü olarak havuzun yan duvarlarının eğimli bir şekilde inşa edilmesi fikrini ortaya koymuşlardır [16].

Karakılçık ve Dinçer (2008), yılında yaptıkları çalışmada güneş havuzunda bulunan katmanların her birinin ekserji analizlerini yapmışlardır. Bunun için bir ekserji modeli geliştirerek her katman için ayrı ayrı ekserji verimlerini belirlemişlerdir [17].

Bozkurt (2006), üstünü kapattığı silindir şeklinde bir güneş havuzu inşa etmiş ve havuzu yalıtımlı bir hale getirmiştir. Daha sonra bu havuz üzerinde birçok çalışma gerçekleşmiştir [18]. İskender (2010), havuzun termodinamik özelliklerini incelemiştir [19]. Havuzun iç katmanlarındaki enerji dağılımları Mantar (2010) tarafından Heat 2 programı aracılığıyla incelenmiştir [20]. Atız (2011) aynı havuzdaki kirliliğin ısı performansına etkisini incelemiştir [21].

Karakılçık ve arkadaşları (2013), yaptıkları çalışmada küçük bir dikdörtgen güneş havuzunun her bir bölgesinde gölgeleme etkisine göre enerji dağılımı, enerji verimliliği ve enerji verimliliği oranlarının deneysel bir incelemesini yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda güneş havuzunun veriminin gölgeleme alanı arttıkça azaldığını görmüşlerdir [22].

Bozkurt ve arkadaşları (2014), saydam havuz kapağı kullanmanın verime etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında kapak malzemesi olarak cam, mika ve polikarbonat gibi çeşitli malzemeler kullanmışlardır. Kullanılan saydam kapakların güneş havuzunun en üst katmanı olan üst konvektif bölgede ısı kayıplarını azalttığını belirtmişlerdir [23].

Sayer ve arkadaşları (2016), tuz gradyanlı güneş havuzlarının ısısal davranışları için yeni bir yaklaşımda bulunmuşlardır. Oluşturdukları yeni modellerle birlikte güneş havuzunun her katmanı için enerji dengesi konveksiyon, buharlaşma ve radyasyon kaynaklı ısı kayıpları hesaplanarak incelenmiştir. Ulaşılan sonuçlar Ortadoğu bölgelerinde bulunan bir güneş havuzunun sıcaklığı yaz aylarında 90 °C ye ve kış aylarında ise 50 °C ye ulaşabileceğini göstermiştir [24].

Atız ve Karakılçık (2018), inşa ettikleri dikdörtgen prizma şeklindeki bir güneş havuzunu kullanarak hidrojen ve elektrik üretmeyi denemişlerdir. İnşa ettikleri güneş havuzunu Organik Rankine Çevrimi ve elektroliz sistemi ile birleştirmişlerdir.

Depolanan termal enerji Organik Rankine Çevrimine aktarılmıştır. Elde edilen elektrik enerjisi ise elektroliz sistemine aktarılarak hidrojen üretilmiştir [25].

Rostamzadeh ve arkadaşları (2019), bir nemlendirme-nem alma (HDH) sistemi aracılığıyla su damıtma için tuzluluk gradyanlı bir güneş havuzunun kullanılabilirliğini incelemişlerdir. İran'daki Urmia gölü için tasarlanan tuzdan arındırma ünitesi 22 Mayıs - 22 Temmuz tarihleri arasında daha fazla tatlı su üretirken, 21 Nisan ve 21 Mayıs arasında daha fazla elektrik üretildiği tespit edilmiştir [26].

El Mansouri ve arkadaşları (2020), tamamen güneş enerjisiyle çalışan otonom bir tuzdan arındırma sisteminin uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Ters osmoz tuzdan arındırma ünitesinin pompalarını çalıştıran organik Rankine döngüsüne bağlı bir tuz gradyanlı güneş havuzundan oluşan bir sistem tasarlamışlardır. Üç bileşenin her biri için, teorik bir model geliştirerek sayısal verilerle doğrulamışlardır. Çalışmanın sonucunda sistemin özellikle yarı kurak iklimlerde içme suyunun büyük bir kısmını karşılayabileceği belirtilmiştir [27].

Parsa ve arkadaşları (2021), çalışmalarında İran'ın güney kesiminde tuz gradyanlı bir güneş havuzunun çok etkili tuzdan arındırma sistemiyle entegrasyonunu termodinamik ve ekonomik açıdan değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda bir güneş havuzu inşa etme maliyeti yaklaşık 12 \$/m² olarak bulmuşlardır [28].

Panchal ve arkadaşları (2021), güneş havuzu içerisinde depolanan ısı enerjisi aracılığıyla sıcak su sağlayarak güneş enerjisi damıtıcısının verimini artırmak üzere çalışmalar yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda sığ ve küçük bir güneş havuzu kullanımının güneş enerjisi damıtıcısının verimini arttırdığını gözlemlemişlerdir [29].

Wang ve arkadaşları (2022), tuz gradyanlı bir güneş havuzuna faz değişim malzemesi eklemenin havuz performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmada faz

değişim malzemesi olarak parafin ve çelik kompozit malzemesi kullandıklarında güneş havuzunun ısı kapasitesinin önemli ölçüde arttığını görmüşlerdir [30].

2.2. GÜNEŞ HAVUZU SİSTEMLERİNDE HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (CFD) METODU İLE YAPILMIŞ ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARI

Raghavan (2016), çalışmasında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) modeli kullanarak bir güneş havuzundaki kararlı üç tabakanın oluşumunu analiz etmiştir [31].

Yousaf ve Shah (2019), güneş havuzlarındaki en büyük problemlerden biri olan tuzluluk gradyanının bakımı konusunda çalışmışlardır. Çalışmalarında havuzdaki tuzluluk katmanı bozulduğunda belirli aralıklarla tuzlu su enjekte etmeye yarayan difüzörlerin en etkili tasarımını oluşturmayı hedeflemişlerdir. Bu doğrultuda Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) yöntemi kullanarak yuvarlak ve dikdörtgen çıkışlı difüzörleri karşılaştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda dikdörtgen yarıklara sahip yarı dairesel difüzörlerin daha verimli olduğunu görmüşlerdir [32].

El Kadi ve arkadaşları (2019), çalışmalarında, sıcak iklim bölgelerinde güneş havuzu davranışını simüle etmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanılarak bir model geliştirilmişlerdir. Simülasyon sonuçlarında tuzluluk gradyanları ile üç bölgenin (yani üst konvektif, konvektif olmayan ve alt konvektif) başarılı bir şekilde kurulduğunu göstermişlerdir. [33].

Bu bölümde önceki çalışmalar ışığında, güneş havuzları ile ilgili birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Ancak yapılan çalışmaların çoğunun sistemler kurularak gerçek ortamda gerçekleştirildiği, buna rağmen sanal ortamda yapılan çalışmaların çok sınırlı olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 3

GÜNEŞ HAVUZU ÇEŞİTLERİ VE YAPISI

Güneş havuzları, güneş ışınlarını doğrudan depolayıp içerisinde tutan bir sistemdir. Basit bir havuza gelen güneş ışınları da havuz içerisinde tutulabilir fakat basit bir havuzda oluşan yüzeydeki taşınım ve doğal yolla konveksiyon kaynaklı ısı kayıpları çok fazladır. Buharlaşma kaynaklı ısı kayıpları ise hemen hemen birbirlerine eşittir. Bunların yanında havuzun enerji depolama potansiyeli üzerinde etkili olan en önemli etmenlerden biri de ışıma yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarıdır. Aslında güneş havuzlarındaki en büyük problem bahsedilen bu kayıpların havuzun ısıl performansını azaltmasıdır. Bu nedenle, bugüne kadar yapılan çalışmalar bu kayıpları azaltmak için alınması gereken önlemler üzerinedir.

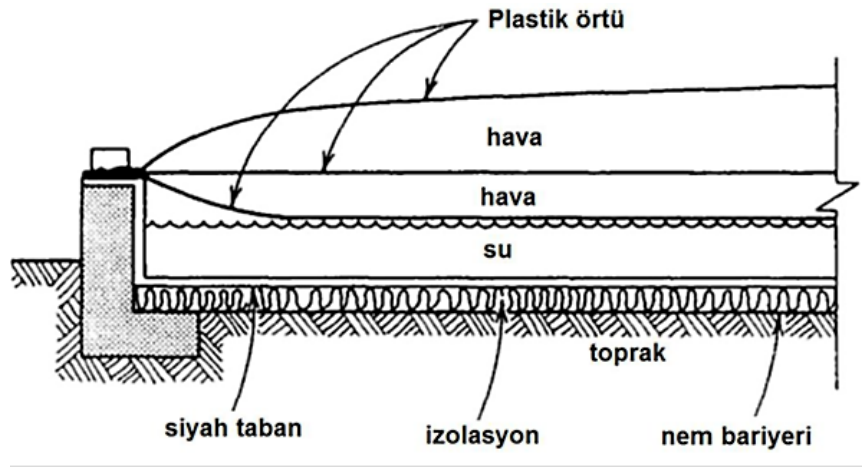
Yapılan çalışmalarda geliştirilen güneş havuzları; tuz katmanlı, jel örtülü, zar örtülü, bal peteği örtülü ve sığ güneş havuzları olmak üzere sınıflandırılabilir. Sınıflandırılan bu güneş havuzlarında güneş ışınımı havuz içerisindeki sıvı tarafından direkt olarak emilir. Sığ güneş havuzlarında soğurulan enerji o an kullanılırken, diğer dört çeşit güneş havuzunda soğurulan enerji uzun süre depolanarak daha sonra da kullanılabilir. Aşağıda güneş havuzu çeşitleri detaylarıyla anlatılmıştır.

3.1. KONVEKSİYONLU (CONVECTIVE) GÜNEŞ HAVUZLARI

Konveksiyonlu havuzlarında tuz gradyanı yoktur. Güneş ışınımı havuza anlık olarak gelir ve hava ile su arasındaki geçirgenlik katsayısının farklı olmasından kaynaklı olarak belirli bir açı ile havuza ulaşır. Havuz tarafından emilen enerji havuz içerisindeki suyu ısıtarak sıcaklık gradyanını oluşturur. Oluşan gradyan ile birlikte oluşan yoğunluk farkı havuzdaki suyun aşağıdan yukarıya doğru hareket etmesini sağlar. Bunun sayesinde havuzun sıcaklığı ile atmosfer sıcaklığı hemen hemen aynı derecede kalmış olur. Yapılan çalışmalarda en çok kullanılan konveksiyonlu güneş havuzu tipi sığ güneş havuzlarıdır.

3.1.1. Sığ Güneş Havuzları (Shallow Solar Ponds,SSP)

Bu tür havuzlar hazırlanırken havuz saf su ile doldurularak bir örtü yardımıyla üstü kapanır. Kullanılan örtünün konveksiyona izin vermesi aynı zamanda da suyun buharlaşmasını önlemesi gerekir. Ayrıca güneş havuzu sisteminin tabanının güneş enerjisini en iyi şekilde absorbe edebilmesi için siyah renkli ve izolasyonlu olması gerekir. Havuzun üstüne yerleştirilen örtü cam veya plastik olabilir. Şekil 3.1’de bir sığ güneş havuzu örneği verilmiştir.



Şekil 3.1. Sığ güneş havuzu.

Bu şekilde hazırlanan havuzlarda güneş enerjisi gün boyunca havuzdaki suyu ısıtır. Geceleri ise elde edilen sıcak su bir ısı depolama tankında depolanır. Böylece ısı kaybı önlenmiş olur. Sığ güneş havuzlarının gelişmesi önündeki en büyük engel sıcak suyun depolama tankına pompalanması esnasındaki ısı kayıplarıdır.

3.2. KONVEKSİYONSUZ (CON-CONVECTIVE) GÜNEŞ HAVUZLARI

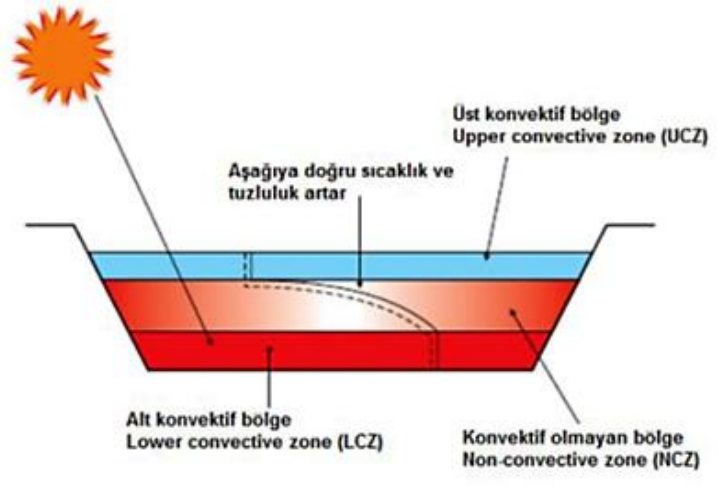
Konveksiyonsuz güneş havuzlarında temel amaç konveksiyonun sebep olacağı doğal taşınımı engellemektir. Bu tip havuzlarda havuz içerisinde tuzluluğu farklı katmanlar oluşturulur. Böylece havuza gelen güneş ışınımıyla ısınan suyun yüzeye doğru yükselmesi engellenmiş olur. Uygulamada genellikle $MgCl_2$ ya da $NaCl$ tuzları kullanılır. Oluşan yoğunluk gradyanı ile havuzun tabanına kadar ulaşan güneş ışınımının soğurulmasıyla oluşan ısı enerjisinin başlatacağı taşınım hareketi önlenmiş

olur. Bu sayede tabana ulaşan güneş ışınımı ısı enerjisi olarak depolanır. Taşınım olayının tuz katmanları ile ortadan kaldırılması sonucunda, yüzey sıcaklığı da fazla yükselmeyecektir. Sadece havuzun yüzey kısmında taşınım, buharlaşmayla ve iletimle ısı kaybı meydana gelmektedir. Havuzun üst katmanları ısı depolamasına yaramadığı için, havuzun verimi çok büyük katkısı bulunmamaktadır. Bu havuzlar genellikle doğal taşınımın engellenmesi amacıyla kullanılır.

3.2.1.Tuz Gradyanlı Güneş Havuzları (Salinity Gradient Solar Ponds, SGSP)

Tuz gradyanlı güneş havuzları en üst katmanı tatlı su ile diğer katmanları ise yukarıdan aşağıya doğru artan yoğunluklarda tuzlu su ile doldurulan havuzlardır. Bu havuzlar genellikle 2-3 m derinlikte inşa edilirler. Havuzlar hazırlanırken su içerisinde belirli miktarda tuzun çözülmesi sağlanır. Tuz miktarının derinlikle birlikte değişimi el ile ayarlanır. Böylece sıcaklığa bağlı olarak birbirinden ayrılmış ve farklı yoğunlukta katmanlar oluşur. Ayrıca tuz gradyanından sayesinde suyun yukarı doğru kaldırma kuvveti engellenmiş olur. Yine bu gradyan sayesinde havuzun tabanına kadar ulaşan güneş ışınımının soğurulmasıyla elde edilen ısı enerjisinin başlatacağı taşınım hareketi de önlenir. Bunun sonucu olarak havuzun tabanında soğurulan güneş ışınımı ısı enerjisi olarak depolanabilmektedir.

Tuzluluk gradyanlı bir güneş havuzu genellikle üst konvektif bölge, konvektif olmayan bölge ve alt konvektif bölge olmak üzere üç ana bölgeden oluşur. Bunlardan konvektif olmayan bölge yalıtım bölgesi olarak bilinirken, alt konvektif bölge ise depolama bölgesi olarak bilinir. Çalışmalarda en çok kullanılan güneş havuzu tipi tuz gradyanlı güneş havuzlarıdır. Bu yüzden çalışmadaki bilgiler TGGH'ler için verilmiştir. Şekil 3.2'de tuz gradyanlı bir güneş havuzunun fiziki yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Tuz gradyanlı bir güneş havuzunun fiziki yapısı.

3.2.1.1. Üst Konvektif Bölge (UCZ, Upper Convective Zone)

Tuz gradyanlı güneş havuzlarının en üst katmanı olan üst konvektif bölge, en düşük tuzluluk oranına sahip katmandır. Genellikle ince bir katman halinde hazırlanır. Bu bölge ortam hava sıcaklığına yakın bir sıcaklığa sahiptir ve %2 ile %5 arasında tuzluluk oranına sahiptir. Üst konvektif bölge tuzluluk, sıcaklık ve yoğunluk bakımından homojendir. Bu bölge atmosferik etkilere açıktır ve genellikle 0,1-0,4 m arasındaki uygulamalarla değişen bu katmanın kalınlığının azaltılması tercih edilir. Bu katman, TGGH'de en yüksek güneş radyasyonunu almasına rağmen, konveksiyondan kaynaklanan yüksek ısı kayıpları, bu bölgenin sıcaklığını tüm katmanlar arasında en düşük tutar. Tatlı su ile beslenen bu katmana eklenen tatlı suyun yoğunluğunun üst konvektif bölgedeki suyun yoğunluğuna yakın olması gerekmektedir. Böylece havuz berraklığı da korunmuş olur.

3.2.1.2. Konvektif olmayan bölge (NCZ, non convective zone)

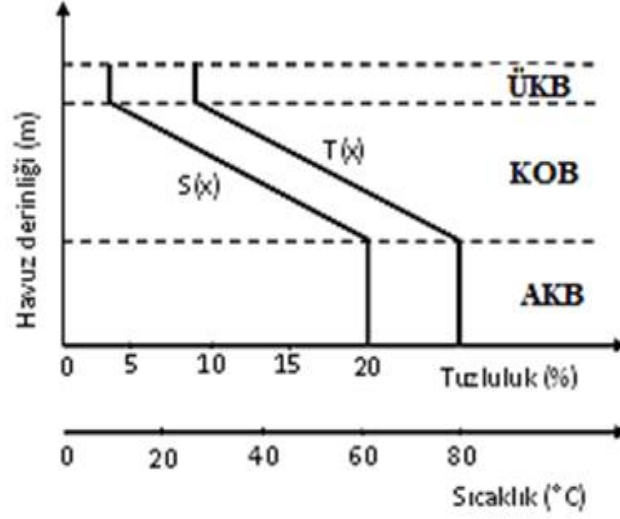
Konvektif olmayan bölge şeffaf yalıtıcı bir malzeme gibi hareket eden ve TGGH sistemleri için en büyük öneme sahip katmandır. Bu bölge, suyun yoğunluğunun derinlikle kademeli olarak arttığı, yerleşik bir tuzluluk profiline sahip olan bölgedir. Üst konvektif bölgeye doğru azalan bir yoğunluk gradyanı içerir. Bu yoğunluk

gradyanı yukarı yönde konvektif akımların oluşmasını önler ve depolama alanında oluşacak ısı kayıplarını en aza indirir. Konvektif olmayan bölgede derinlik arttıkça tuzluluk, yoğunluk ve sıcaklık artar. Böylece katmanlardan herhangi biri hemen üst kısmındaki katmanın yoğunluğu daha az olduğu için yükselemez. Ayrıca katmanların hemen altında daha fazla yoğunluğa sahip bir tuzlu su katmanı bulunduğu için aşağı da inemez.

3.2.1.3. Alt Konvektif Bölge (LCZ, Lower Convective Zone)

Alt konvektif bölge, tuz miktarının en fazla olduğu bölgedir ve bu bölgede yoğunluk sabittir. Havuza ulaşan güneş ışınımı burada ısı enerjisi olarak depolanması nedeniyle bu bölgeye depolama bölgesi de denilebilir. Bu bölgedeki sıcaklık hem havuzun büyüklüğüne hem de hava şartlarına bağlı olarak genellikle 50 ° C ile 90 ° C arasında değişmektedir. Alt konvektif bölgenin kalınlığı, depolanabilecek ısı miktarını belirler. Bu bölgedeki konveksiyon akımı, katmanın sıcaklığını eşit tutar. Ayrıca TGGH içerisindeki en yüksek sıcaklığa sahip bölgedir. En güçlü termal etkileşim bu katmanla ile yalıtılmış zemin ve yan duvarlar arasında oluşur.

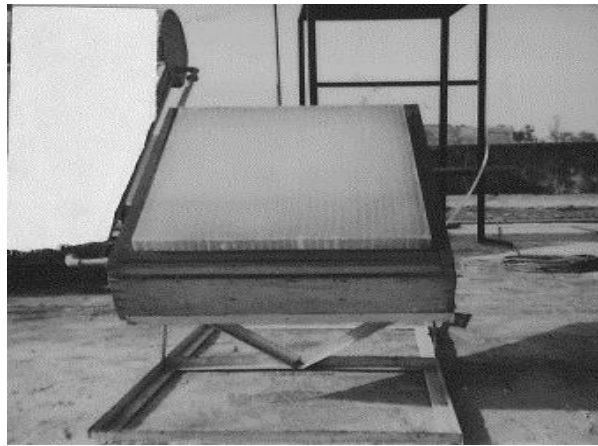
Alt konvektif bölgenin derinliği arttıkça zamana bağlı sıcaklık değişimi azalarak ısı kapasitesi artar. Bunun yanında bu katmanın kalınlığının artırılması güneş havuzu sisteminin maliyetini artırır. Genel bir ifadeyle tuz gradyanlı güneş havuzlarında yukarıdan aşağıya doğru tuzluluk oranının ve sıcaklığın arttığını söylemek mümkündür. Şekil 3.3'te bir TGGH içerisindeki yoğunluk ve sıcaklık gradyanlarının değişimi verilmiştir.



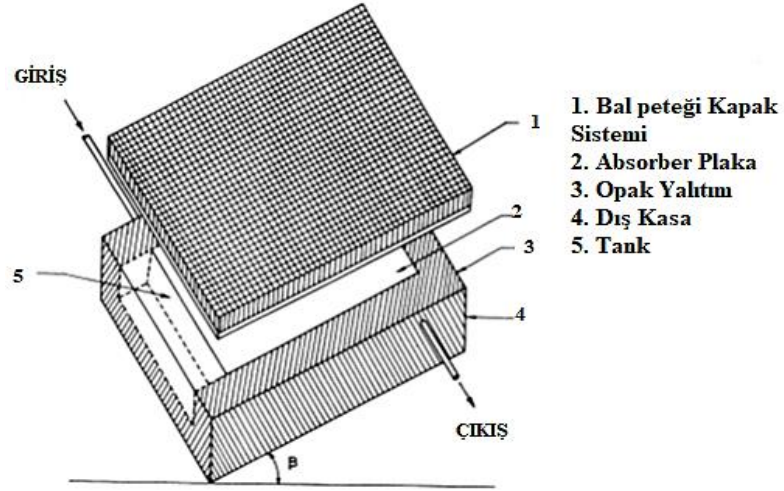
Şekil 3.3. TGGH'de yoğunluk ve sıcaklık gradyanları.

3.2.2. Petek Örtülü Güneş Havuzları (Honeycomb Solar Ponds)

Güneş havuzlarının bu çeşidinde ise petekli hava dolgulu bir malzeme havuz üzerine yerleştirilir ve yüzer. Böylece hem güneş ışınımının havuza ulaşmasına izin verilir hem de ısı kaybına da engel olunur. Petekli sistemin izolasyon performansı artırılarak ışınımı daha iyi geçirmesi sağlanabilir fakat bu da ilk yatırım maliyetlerini artırır. Bu nedenle, petek örtülü güneş havuzları genellikle küçük ölçekli çalışmalar için kullanılır. Şekil 3.4.1 ve 3.4.2 'de sırasıyla bir petek örtülü güneş havuzu örneği ve sistemin elemanları gösterilmiştir.



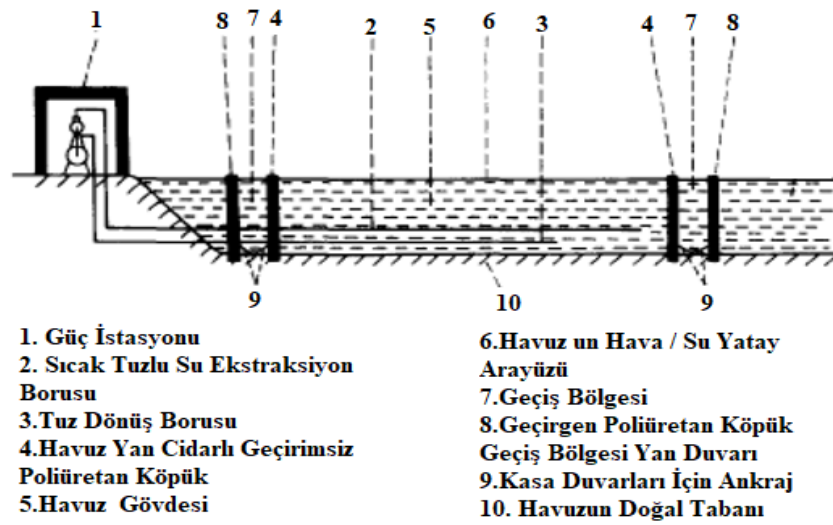
Şekil 3.4.1. Petek örtülü güneş havuzu örneği.



Şekil 3.4(b). Petek örtülü güneş havuzunun elemanları.

3.2.3. Zar Örtülü Güneş Havuzları (Coffered Solar Ponds)

Güneş havuzu inşa etmenin başka bir yöntemi ise, doğal tuzlu gölün bir kısmının uygun ısı izolasyonlu zarla ayrıştırılmasıdır. Bu havuzlarda tuz gradyanları farklı yerlere yerleştirilmiş yatay borular ile oluşturulmaktadır. Tabandaki diğer borular ısının toplanması için kullanılır. Sistemde suyun üzerinde yüzer şekilde duran bir köpükleştirilmiş poliüretan katman bulunmaktadır. Şekil 3.5'te bir zar örtülü güneş havuzu sisteminin elemanları verilmiştir.



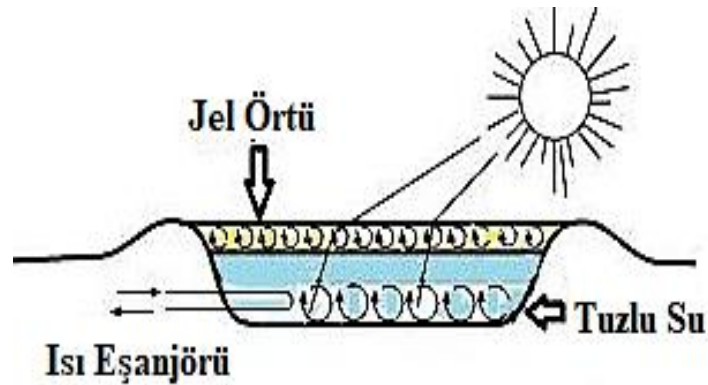
Şekil 3.5. Zar örtülü güneş havuzu sisteminin elemanları.

Poliüretan katmanın sistemdeki amacı boru şebekesine destek sağlamak ve havuzun dış ortama karşı izolasyonunu sağlamaktır. Bu borular vasıtasıyla su poliüretan katmanın yüzeyi üzerinde yayılmaktadır. Su ilk önce havuzun tabanından pompalanarak güneş ışınımı sayesinde ısınması sağlanır ve daha sonra yüzeydeki katmanın üzerindeki deliklerden aşağıya doğru hareket eder.

3.2.4. Jel Örtülü Güneş Havuzları (Gel Stabilized Solar Ponds)

Jel örtülü güneş havuzlarında kullanılan jel örtünün temel amacı izolasyon görevi yaparken güneş enerjisinin de en alt katmana kadar erişmesine izin vermektir. Bir jel örtülü güneş havuzunda jel, konvektif olmayan bölge üzerinde yüzer. Jel katmanın üstte yüzmesini sağlamak için bu bölgede genellikle %3 ila 8 oranında tuz çözeltisi kullanılmaktadır. Üst katmanda kullanılan jel %98 su ve %2 uygun polimer jelden oluşmaktadır.

Bu teknolojinin birçok avantajı vardır. Üst konvektif bölgede buharlaşma engellendiği için kaybedilen suyun yerine konması gerekmemektedir. Ayrıca alt konvektif bölgede tortular oluşmaz ve rüzgar problemi de çözülmüş olur. Ancak bu sistemdeki en temel sorun kullanılan jelin maliyetinin çok yüksek olmasıdır. Özellikle büyük sistemler için kullanımının çok pahalı olması nedeniyle kullanılmamaktadır. Şekil 3.6'da bir jel örtülü güneş havuzu gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Jel örtülü güneş havuzu.

BÖLÜM 4

GÜNEŞ HAVUZU FİZİĞİ

Güneş havuzlarının veriminin artırılabilmesi, yeni teknolojiler kullanılarak geliştirilebilmesi ve doğru tasarımın yapabilmesi için güneş havuzu fiziğinin tam olarak bilinmesi çok önemlidir. Bu bölümde güneş havuzu fiziği detaylı olarak incelenmiştir.

4.1. GÜNEŞ RADYASYONU VE HAVUZ YÜZEYİNE GELEN GÜNEŞ IŞINI

Güneş enerjisinin ışık radyasyonu, yayılmış ya da dağılmış radyasyon ve yansıyan radyasyon olmak üzere üç radyasyon tipi vardır.

Işık radyasyonu; güneş radyasyonunun hiçbir noktaya çarpmadan, dünyadaki bir noktaya direkt olarak gelmeleri ışık radyasyonunu oluşturur. Bu ısıtma sistemleri için en önemli radyasyon tipidir. Güneşli bir günde bir yüzeye gelen toplam radyasyonun %80 kadarı ışık radyasyonudur.

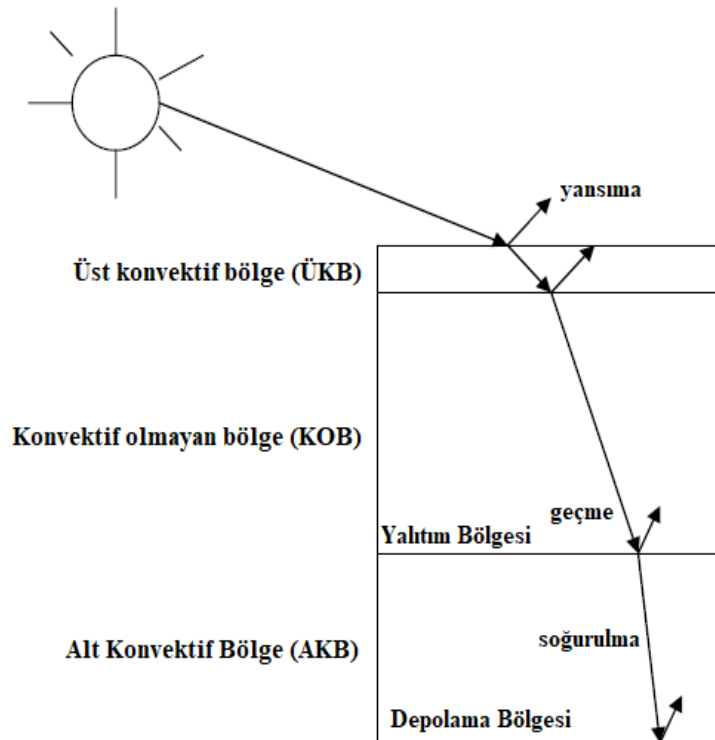
Yayılmış ya da dağılmış radyasyon; her yönden gelen güneş ışınları, atmosfer ortamında bulunan partiküller, su buharı ve mikroskobik katı cisimlere çarparak dağılmış güneş ışınları, yayılmış radyasyonu oluşturur. Başka bir ifadeyle atmosferde bulunan parçacıklar tarafından dağıtılan ışık radyasyonu, dağılmış radyasyonu oluşturur. Bulutlu bir günde güneş ışınlarının hemen hemen tamamı yayılmış radyasyondur.

Parlak yüzeylerin yansıttığı yansıyan radyasyon; cisimlerin ön yüzeylerine gelen direkt ya da yayılmış radyasyonun yansıtılmış şeklidir. Yani güneş ışınlarının parlak yüzeylere geldikten sonra yüzeyin özelliklerine göre yansıtıldıktan sonraki haline

yansıyan radyasyon denmektedir. Yansıtılmış radyasyon miktarı, yansıyan yüzeylerin renklerine göre değişiklik gösterir.

4.2. GÜNEŞ ENERJİSİNİN HAVUZ YÜZEYİNE GELİŞİ VE HAVUZDA İZLEDİĞİ YOL

Güneş havuzunun yüzeyine ulaşan güneş ışınının havuza girdikten sonra izlediği yol Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Gelen güneş ışının bir miktarı havuzun yüzeyinden yansır ve kalanı ise havuzun üst konvektif bölgesinden (ÜKB) yalıtım bölgesi olan konvektif olmayan bölgeye (KOB) iletilir. Bu iletim esnasında güneş ışının bir miktarı da ÜKB tarafından soğurulur. KOB katmanına ulaşan güneş ışının büyük bir kısmı depolama bölgesi olan alt konvektif bölgeye iletilir. Bir kısmı KOB katmanı tarafından soğurulur ve çok az bir kısmı ise KOB’dan ÜKB’ye geri yansır. Böylece güneş havuzuna gelen güneş enerjisinin büyük bir kısmı AKB’ye ulaşarak depolanmış olur. Son olarak çok az bir kısmı da havuz tabanı tarafından geri yansıtılır.



Şekil 4.1. Güneş ışınının havuz içinde izlediği yol.

4.3. GÜNEŞ HAVUZLARINDA ISI KAYIPLARI

Güneş havuzları homojen olmayan ve çeşitli ısı transferlerinin gerçekleştiği sistemlerdir. Bu nedenle gerçekleşen ısı transferleri tek tek incelenmelidir. Güneş havuzundaki sıcaklık dağılımı; soğurulan ışınım enerjisinin miktarına, havuz yüzeyinden buharlaşma, havuz içerisinde meydana gelen düşey taşınım hareketlerine, ışınım ve taşınım ile olan ısı kayıplarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Bunların yanında yan duvarlardan ve zeminden oluşacak ısı kayıpları yalıtımla engellediği için çok az miktardadır. Güneş havuzlarında oluşan ısı kayıplarının çoğu havuz yüzeyinden gerçekleşir. Güneş havuzlarında meydana gelen ısı kayıpları dört yolla gerçekleşmektedir;

1. Konveksiyon yoluyla
2. Işıma yoluyla
3. İletim yoluyla
4. Yüzeyden buharlaşma yoluyla

Isı akışı güneş havuzlarının performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu yüzden ısı akışını minimuma indirmek güneş havuzunun performansını önemli ölçüde artırmaktadır.

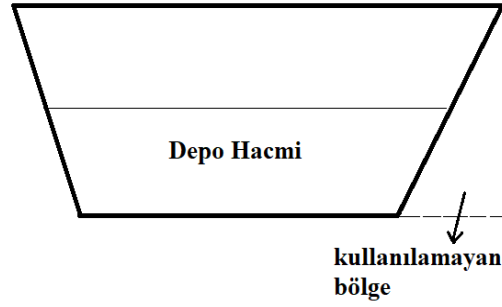
BÖLÜM 5

GÜNEŞ HAVUZLARINDA TASARIM

Standart bir güneş havuzu sıradan bir havuza göre çok farklıdır. Enerjiyi verimli bir şekilde toplanması ve depolanması için tasarım kriterlerine dikkat edilmesi oldukça önemlidir. Havuzun şekli ve derinliği güneş ışınımını en iyi şekilde toplayacak şekilde seçilmelidir. Bunu yaparken maliyetin en az oranda tutulması da önemlidir. Böylece güneş havuzları özellikle düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılması mantıklı bir sistem olabilir. Aynı zamanda havuzu çevresindeki yeraltı su akıntılarında izole edilerek ısı kayıplarının azalması sağlanmalıdır. Sonuç olarak güneş havuzu performansını etkileyen birçok parametre vardır ve bunların doğru bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Güneş havuzlarının tasarımlarında dikkat edilmesi gereken noktalar aşağıda verilmiştir.

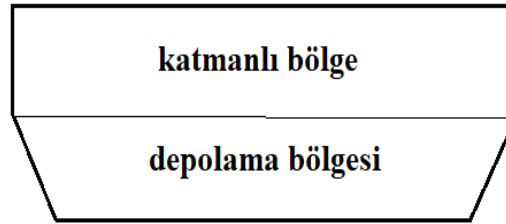
5.1. HAVUZUN ŞEKLİ

Güneş havuzları genel olarak silindir şeklinde tasarlanırlar ve bu sayede toprağa aktarılan ısı minimum oranda tutulabilir. Fakat bu tasarım her zaman kullanışlı olmayabilir. Genel bir ifadeyle bir güneş havuzunun verimli olabilmesi için en az 1000 m² hacminde olmalıdır. Yan duvarlar ise eğimli ya da dikey olarak seçilebileceği gibi her iki durum da birleştirilmesiyle yapılabilir. Tuz katmanlarının oluşturulduğu konvektif olmayan bölgenin derinliği 1- 1.5 metreden daha az olmalıdır. Yan duvarlar dikey olarak seçilirse aşağıdan yukarıya doğru gidildikçe tuz nakil hızı azalır. Yan duvarların eğimli seçildiği durumlarda ise konvektif olmayan bölgedeki tuz hareketinin yukarıya doğru hızı artarken bu yöntem maliyeti de artırır. Ayrıca dikey yan duvarlar havuzun üst kısmında istenmeyen yansıma dalga hareketlerini artırır. Eğimli duvarlar ise güneş havuzunun depo bölgesinin üzerine düşecek gölgeleri de engeller. Bunun yanında yan duvarların eğimli yapılması küçük uygulamalarda depolama bölgesini çok azaltırlar. Bu durum Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Yan duvarların etkisini gösteren havuz kesiti.

Özellikle hacmi 1000 m²'den daha az olan küçük güneş havuzlarında tasarımın Şekil 5.2'deki gibi yapılması gerekmektedir.



Şekil 5.2. Eğimli ve dik duvarın bir arada kullanımı.

5.2. GÜNEŞ HAVUZUNUN ALT KONVEKTİF BÖLGESİNİN (AKB) HACMİ

Güneş havuzlarında havuz yüzeyinde meydana gelen güneş radyasyonu, havuzun farklı katmanlarından geçerken emilerek termal enerjiye dönüştürülür. TGGHler tipik olarak 3 m veya daha az derinliktedir. Bu derinliğin ötesine ulaşan güneş radyasyonu sudan geçerken çok fazla zayıflaması nedeniyle termal enerjiye dönüşmekte etkisizdir.

Depolama bölgesi olarak bilinen alt konvektif bölgedeki sıvının hacmi, TGGH'in termal kütesini tanımlar. Diğer bir ifadeyle güneş termal enerjisinin depolandığı tuzlu su kütesi anlamına gelir. Dolayısıyla, bir TGGH'nin termal kütesinin artırılması, onun ısı depolama kapasitesinin artırılması ve daha az günlük sıcaklık dalgalanmalarının faydalı etkisine sahiptir. Ancak ısı depolamasını artırırken, ısının

kalitesinin bozulmadan kalması gerekir. Bu, depolama artırılırken ısı depolamanın sıcaklığından ödün verilmemesi gerektiği anlamına gelir, aksi takdirde pratik amaçlar için depolanan ısının uygulanmasını sınırlar. Bu yüzden ısı depolamanın kalitesini korumak veya geliştirmek için TGGH'ye harici ısı eklemek çok önemlidir.

Bir TGGH'nin termal kütlesi, AKB'nin hacmi artırılarak artırılabilir. Hacmi artırmanın bir yolu havuzun genişliğini artırmaktır. Ancak bu, arazi mevcudiyeti ve diğer yerel kısıtlamalarla genellikle sınırlı olan, arazi yüzeyinin daha fazla işgal edilmesini gerektirir.

Termal kütleyi artırmanın diğer yolu, depolama bölgesinin derinliğini artırmaktır. Tasarruflu arazi gereksinimleri dışında, depolama alanının daha büyük kalınlığı daha az günlük sıcaklık dalgalanmalarının yararlı etkisine sahiptir. Ancak artan depolama bölgesi derinliği, TGGH'nin termal performansı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir, çünkü daha önce belirtildiği gibi güneş radyasyonu, suda 3 m derinliği önemli ölçüde aşmaz. Dış kaynaklardan ısı eklenmesiyle, depolamayı ve termal performansı gerçekten geliştirmek mümkün olabilir.

5.3. TOPRAK YAPISI

Güneş havuzlarının kurulacağı alanda kullanılacak toprak farklı tiplerde kullanılabilir. Güneş havuzlarında depolama bölgesinden ısı kaybı yaşandığı için toprağın havuzun ısı verimi üzerinde etkisi bulunmaktadır. Optimum şartlarda güneş havuzunun altında bulunan toprağın kuru olması gerekmektedir. Çünkü toprak nemlendiğinde ısı iletimi ve izolasyon performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Toprağın biraz bile nemli olması depolanan ısının kuru toprağa göre iki kat hızlı bir şekilde kaybedilmesine yol açar. Fakat uygulamada toprağı kuru tutmak çok zordur. Bu yüzden bir güneş havuzu inşa ederken hem altındaki hem de etrafındaki toprağın neminin azaltılması gerekir. Topraktaki nemin sebebi yağmur suları, yeraltı suları ve havuzdaki tuzlu suyun sızması olabilir. Güneş havuzunun topraktan etkilenmesini önlemek için sistemin altına tahta, taş vb. bir yükselti konabilir. Ayrıca havuzun tabanına ayaklar ilave edilerek ya da bir kaide üzerine yerleştirilerek yükselti sağlanabilir. Havuz ile toprak zemin arasına yerleştirilecek bir malzeme, güneş havuzlarında gece ve gündüz arasındaki sıcaklık

farkından kaynaklı ısı kayıplarını azaltabilir. Bu uygulamanın bir örneği şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Güneş havuzunun topraktan uzaklaştırılması.

5.4. KARARLI YOĞUNLUK DERECESİNİ OLUŞTURMAK VE BAKIMINI SAĞLAMAK

Tuzluluk gradyanı oluşturulurken öncelikle farklı yoğunluktaki tuz çözeltileri ayrı ayrı olarak hazırlanır ve havuza aşağıdan yukarıya doğru yoğunluğun azalacağı şekilde katmanlar halinde eklenir. Derinliğin genelde 1 metre olduğu güneş havuzlarında katman sayısı altı veya sekiz olabilir. Yoğunluğu daha az olan katman, yoğunluğu daha fazla olan katman üzerinde yüzdürülür. Tuzlu su çözeltilerinin derişimlerinin birbirlerine çok yakın olması çözeltilerin güneş havuzuna transferi sırasında oluşabilecek türbülansı, birbirlerine karışma ihtimalini ve moleküler difüzyonu engeller. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda güneş havuzlarında kurulan tuz gradyanı için birçok farklı çeşit tuz önerilmiştir. Bunlara örnek olarak magnezyum klorür ($MgCl_2$), sodyum klorür ($NaCl$) ve sodyum nitrat ($NaNO_3$) gibi tuzlar gösterilebilir. Bunlardan özellikle magnezyum klorür ($MgCl_2$) daha yüksek doygunluk yoğunluğuna sahip olduğu için kararlılığı daha yüksektir.

Havuzun performansını olumlu yönde etkileyebilecek bir başka yöntem yüzeyinin şeffaf bir örtüyle kapatılmasıdır. Tuz kaybını ve özellikle buharlaşma ile olan ısı kaybını azaltmak için başka bir yöntem de havuzun üzerine cam bir kapak eklenmesidir. Bunlar gibi ilave katmanlar eklenerek buharlaşmanın oluşturacağı ısı

kayıpları azaltılabilir. Ayrıca havuza dışarıdan girebilecek toz, yağmur gibi istenmeyen maddelerin girişleri ve rüzgar kaynaklı yüzey akımları da engellenebilir.

Güneş havuzlarında yaşanabilecek diğer bir sorun ise havuz tabanından dışarı çözüntinin sızarak tuz kaybının yaşanmasıdır. Havuz tabanı geçirgen olmayan plastik veya kauçuk gibi maddelerden üretilen bir katman ile kaplanarak bu sorun engellenebilir. Güneş havuzlarında en yüksek sıcaklıklar tabanda elde edildiği için bu bölgedeki organik maddeler bozular gaz kabarcıkları oluşturabilir. Bunu önleyebilmek için havuzun tabanı merkezinden biraz eğilimli olacak şekilde tasarlanarak bu sayede gaz kabarcıkları dışarı atılır. Oluşan bu gaz kabarcıkları yan duvarlara doğru kümeler ve yoğunluk farkı nedeniyle yukarı doğru yükselirler. Bu hareket esnasında tabanda oluşan çamuru yukarıya doğru taşıyabilirler. Bu durumu engellemek için kabarcıkların olduğu bölgelere çek valfler yerleştirilebilir. Havuzun ısınması süresince oluşan gaz kabarcıkları yan duvarlara doğru kümeler. Gaz kabarcıklarının önlem alınmadan rastgele yüzeye doğru çıkması havuzun katmanlarına önemli ölçüde zarar verebilir.

5.5. ISISAL YALITIM

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda güneş havuzunun ısı verimi üzerinde en çok etkili olan faktörlerden birinin yalıtım olduğu dolayısıyla yalıtımla ilgili her ayrıntının düşünülmesi gerektiği görülmüştür. Isı enerjisi üreten, depolayan ve kullanan sistemlerin, üretimde depolamaya ve kullanıma kadar olan süreçlerde, en uygun ısı yalıtımı yapılması verim açısından çok önemlidir. Çünkü kullanılan yalıtım malzemesinin teknik özellikleri sistem performansı üzerinde çok etkindir. Başka bir ifadeyle enerjiyi üretmek kadar onu tutabilmek de çok önemlidir. Isı yalıtım malzemeleri yapı endüstrisinde enerji verimliliği bakımından önemli bir malzemedir. Bu malzemelerin en önemli özelliği ısı iletim katsayılarının düşük olmasıdır. Bu nedenle, ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri kullanım amacına göre seçilmelidir.

Güneş havuzlarının güneş enerjisini toplayarak depolayan sistemler olduğunu önceki bölümlerde söylemiştik. Depolanan bu ısı enerjisinin uzun süre muhafaza edilebilmesi için yalıtım önlemlerinin alınması çok önemlidir. Bu önlemler güneş havuzunun hem iç hem de dış kısımlarının yalıtılmasıdır. Düzgün ve kararlı bir tu gradyanı oluşturarak iç kısmın yalıtımı sağlanırken iyi bir yalıtım malzemesi ile havuzun kaplanması ile dış

kısımın yalıtımını sağlar. Yalıtım malzemesi olarak hem maliyeti düşük hem de yalıtım performansı yüksek olan cam yünü kullanılabilir. Cam yünü başka malzemelerle desteklenebilir. Şekil 5.4'te Zagazig Üniversitesi (Mısır, Sharqia Governorate)'nde kurulan bir güneş havuzu gösterilmiştir. Bu havuzun taban ve yan duvarlarında oluşturulan ısı yalıtım katmanı 2,5 mm kalınlığında demir sacların aralarına 10 cm kalınlığında cam yünü yerleştirilerek oluşturulmuştur. Sistemdeki demir sacların amacı cam yünü yağmur, rüzgar gibi dış etkenlere karşı korumaktır.

Ayrıca havuzun iç kısmı mat siyah ve ısıya dayanıklı bir boya ile boyanmalıdır. Böylece siyah rengin yüksek oranda absorbe yeteneği ile güneş enerjisinden maksimum düzeyde yararlanılabilir.



Şekil 5.4. Güneş havuzlarında ısısal yalıtım.

5.6. ETKİN BİR GÜNEŞ HAVUZU İÇİN UYULMASI GEREKLİ KURALLAR

Bu bölümde anlatılan güneş havuzlarının tasarımlarında dikkat edilmesi gereken noktaları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

1. Havuzun yerleştirileceği zemin hafriyat masraflarının en az düzeyde tutulabilmesi için düzgün olmalıdır.
2. Havuzun yerleştirileceği zemindeki toprağın mümkün olduğunca homojen yapıda ve çatlaksız olması gerekir.

3. Havuz yıl boyunca güneş görebilecek şekilde konumlandırılmalıdır.
4. Seçilen bölge mümkün olduğunca az rüzgar almalıdır.
5. Havuzun inşasında kullanılan malzemeler ekonomik olmalıdır.
6. Havuzun ilk yatırım maliyetinin minimum oranda tutulabilmesi için kurulan bölgede arazi fiyatları düşük olmalıdır.
7. Havuzun ısı performansının korunması için çok iyi bir şekilde yalıtılmalıdır.
8. Rüzgarların neden olduğu yüzey dalgalarının ÜKB'nin kalınlığını artırarak karışmasına sebep olması önlenmelidir. Bunun için yüzer ağlar ya da boru dizileri kullanılabilir.
9. Kurulacak havuzun şekli ve hacmi ideal bir şekilde seçilmelidir.
10. Güneş havuzları diğer sistemler gibi güneşin geliş açısına göre eğim verilebilecek bir sistem olmadığı için kurulduğu yerin güneş enerjisi verimliliği iyi olmalıdır.

BÖLÜM 6

GÜNEŞ HAVUZLARINDA TUZLULUK GRADYANI KURMA YÖNTEMLERİ

Bir TGGH'nin termal verimliliği, tuzluluk gradyan bölgesinin stabilizesi, su berraklığı ve zemin şartları gibi birçok faktöre bağlıdır. Bunlardan en önemlisi olan tuz gradyan profilini istenen profile yakın tutmak, özellikle yüksek performanslı bir havuzun korunması için temel noktadır. Tuzluluk gradyanı kurulduktan sonra stabilizesinin korunması için alt katmana tuz eklenmeli ve üst katmandan uzaklaştırılmalıdır. Bunun, çözeltilerin enjekte edilmesi ve çıkarılmasıyla yapılması gerektiğinden, su ilavesi ve çıkarılması nedeniyle ek bir yukarı akış vardır. Bu nedenle, eklenmesi ve çıkarılması gereken tuz miktarları önemlidir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda tuz yoğunluğunun gradyanını oluşturmak için araştırmacılar tarafından üç yöntem benimsemiştir. Bunlar; doğal difüzyon, istifleme ve Zangrando yöntemidir. Aşağıda tuzluluk gradyanı oluşturma yöntemleri incelenmiştir.

6.1. DOĞAL DİFÜZYON YÖNTEMİ

Doğal difüzyon yöntemi, biri tatlı su ve diğeri doymuş tuz çözeltisi olmak üzere iki katman arasındaki doğal difüzyona dayanmaktadır. Bu yöntemde güneş havuzunun üst yarısı su ile doldurulur ve üst yüzeyi düzenli olarak yıkanarak ve altına tuz ilave edilerek kabın üstünde ve altında tuz konsantrasyonları sabit tutulur. Bunun sonucunda tuz sürekli olarak yukarı doğru yayılacaktır ve böylece bir tuzluluk gradyanı oluşturulacaktır.

6.2. İSTİFLEME YÖNTEMİ

İkinci yöntem, havuzun birden fazla tuz çözeltisi katmanıyla doldurulmasını içeren istiflemedir. Bu yöntemde yüksek konsantre tuz çözeltisinin bir saklama katmanı ve farklı konsantrasyonlarda birkaç başka tuz çözeltisi katmanı vardır. Bu nedenle, tuz konsantrasyonu, altta neredeyse tamamen doygunluktan daha düşük konsantrasyonlara, üstte tatlı suya doğru ardışık aşamalarda değişir. Çoğu güneş havuzunda kullanılan istifleme yöntemi, önce alt katmanı doldurmak ve ardından daha düşük yoğunluklu katmanların art arda yerleştirilmesiyle yapılır.

6.3. ZANGRANDO YÖNTEMİ

Üçüncü yöntem olan Zangrando yöntemi, en uygun yöntem olarak kabul edilir ve geniş yüzey alanına sahip güneş havuzları için yaygın olarak tavsiye edilir. Zangrando tarafından sunulan bir enjeksiyon doldurma tekniği olan bu yöntemde, havuz ilk önce yüksek konsantrasyonlu tuzlu su ile planlanan gradyan bölgesinin yarı derinliğine kadar doldurulur. Daha sonra, tatlı su veya düşük konsantrasyonlu tuzlu su, bir difüzör aracılığıyla tuzlu suya yatay olarak enjekte edilir. Suyun doğal akıntıları, difüzörün üstündeki katmanda tuzlu suyu homojen bir şekilde seyreltecektir.

Tatlı suyun enjekte edileceği seviye KOB ve AKB arasındaki sınırın düşmesinin amaçlandığı yere bağlıdır. Enjeksiyon işlemi gerçekleştiğinde ve havuzdaki suyun yüzey seviyesi yükseldikçe, difüzör tuzlu su çözeltisi içindeki konumundan havuzun yüzeyine doğru sürekli olarak yükseltilir. Difüzör kademeli olarak yükseltilir; genel olarak, havuzdaki su seviyesinden iki kat daha hızlı yükselir. Örneğin, yüzey seviyesindeki her 100 mm artışla, difüzör 200 mm yükseltilir. Su ilave etme ve difüzörü hareket ettirme işlemi, difüzör ve su yüzeyinin aynı hat üzerinde son seviyeye ulaşması için planlanmıştır. Bu seviye aynı zamanda ÜKB ve KOB arasındaki sınırdır.

Son adım, mevcut su yüzey seviyesinin üzerine tatlı su ekleyerek ÜKB'yi oluşturmaktır. İşlemin sonunda havuz doludur ve istenen tuzluluk gradyanına sahip olunmuş olur. Bu işlem için kullanılan difüzörler iki yarım dairesel düz plakadan oluşur ve plakalar arasında suyu enjekte eden bir boşluk vardır. Yüksekliği havuz

kenarına monte edilen bir kablo ile ayarlanabilen difüzörlerin bir örneği şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Enjeksiyon katmanları için difüzör.

BÖLÜM 7

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada bir güneş havuzu tasarlanmış ve bu tasarım Ansys Fluent yazılımı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics) yöntemi ile sayısal olarak analiz edilerek güneş havuzunda oluşan kararlı tuzluluk gradyanı ve sıcaklık dağılımı incelenerek güneş havuzlarının çalışma prensibi gösterilmiştir.

7.1. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ

Gelişen dünyada üreticiler tarafından oluşturulacak sistemlerin ekonomik ve verimli olması gerekmektedir. Ayrıca bunların yanında tüketici talepleri hızlı bir şekilde karşılanmalıdır. Fakat gerçek boyutlarda sistemlerin kurulması, sistemler üzerinde analizler yaparak sistemin geliştirilmesi gibi işlemler hem pahalı hem de uzun çalışma periyotları gerektirmektedir. Bu yüzden araştırma ve geliştirme çalışmalarında bilgisayarlara ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (computational fluid dynamics) yöntemine ağırlık verilmeye başlanmıştır.

HAD (CFD) akışkan davranışlarının etkili olduğu sistemlerde problemlerin bilgisayar ortamında çözülerek analiz edilmesini sağlayan akışkanlar mekaniği biliminin bir dalıdır. Başka bir ifadeyle Navier-Stokes denklemlerine numerik çözümler sunan bir yöntemdir. Mühendislikte çeşitli alanlarda kullanılan HAD (CFD) özellikle sonuca ulaşmanın uzun süreler gerektirdiği sistemlere çok daha kısa yoldan çözümler sunmaktadır. Buna ek olarak akışkanların moleküler düzeyde incelenerek sistemlerin birçok farklı açıdan analiz edilmesini sağlamaktadır.

Çok geniş bir kullanım alanına sahip olan HAD (CFD) yöntemi özetlenecek olursa; ilk önce bir geometri tasarlanarak çalışılacak çerçeve belirlenir ve içerisine bir ağ (mesh) tasarlanır. Daha sonra sınır şartları girilerek (HAD) CFD kodlarının ağı

içerisindeki tüm hücelere akışkan denklemlerin uyarlaması böylelikle analizin çözülmesi sağlanır. Bu yöntemin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Yeni tasarımlarda ve deneysel çalışmalarda hem zamandan hem bütçeden tasarruf sağlamaktadır.
2. Üzerinde çalışmanın zor, tehlikeli veya imkansız olduğu sistemlerde dahi çalışma imkanı sağlamaktadır.
3. HAD (CFD) analizleri sayesinde bir model üzerindeki basınç dağılımları, sıcaklık dağılımları ve hız dağılımları gibi birçok parametre incelenebilir.
4. Bu yöntem sayesinde gerçek hayatta anlaşılması zor olan akış hareketleri çok daha anlaşılabilir ve gözlemlenebilir hale gelmektedir.
5. Yapılan analizler ve tasarlanan sistemler ve yapılan analizler daha sonra istenilen boyuta ve şartlara göre defalarca tekrarlanabilmektedir.

7.1.1. ANSYS Fluent Yazılımı

ANSYS yazılımı özellikle mühendislik alanında mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi gibi problemleri simüle etmek amacı ile kullanılan bir sonlu elemanlar yazılımıdır.

Ansyz Fluent yazılımı akış, türbülans ve ısı transferi modellemesi gerektiren sistemlerde kullanılan bir yazılımdır. Bu amaçla analiz edilen tasarımların matematiksel modellerini çözerek birçok açıdan incelenmesini sağlamaktadır. Modellenmesi zor olan akış denklemlerinin çözülerek sistemlerin geliştirilme süreçlerine çok büyük katkılar sağlamaktadır. Fluent, ileri Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiği çözebilen teknolojiyle Ar-Ge çalışmalarının tasarım sırasındaki en güvenilir araçlarından biridir.

7.1.2. HAD (CFD) Analizi Adımları

Herhangi bir problem belirlendiğinde uygulanacak bir HAD (CFD) analizinin adımları aşağıdaki gibidir;

1. Katı modelin oluşturulması,
2. Sayısal ağ (mesh) yapısının oluşturulması
3. Malzemelerin ve akışkanların tanımlanması
4. Sınır şartlarının tanımlanması
5. Çözüm parametrelerinin tanımlanması
6. Akış alanının başlatılarak çözümlemenin yapılması
7. Sonuçların elde edilmesi
8. Sonuçların değerlendirilmesi
9. Sonuçların kaydedilmesi

7.2. SAYISAL MODELLEME

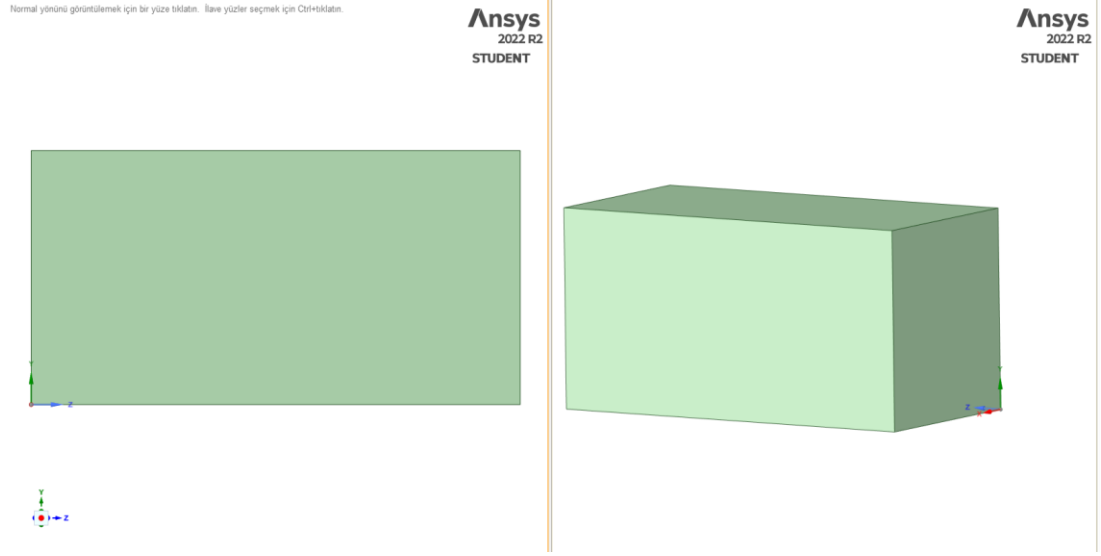
Bu çalışmada öncelikle literatürdeki tasarımlar incelenerek ortalama boyutlar belirlenmiş ve güneş havuzunun katı modellenmesi yapılmıştır. Oluşturulan bu tasarımın HAD (CFD) yöntemi ile çözülebilmesi için tasarım üzerinde ağ (mesh) yapıları oluşturulmuştur. Başlangıç şartları ve sınır şartları literatür çalışmaları referans alınarak tanımlanmış ve analizlere başlanmıştır.

7.2.1. Güneş Havuzunun Geometrisi ve Katı Modelleme

Güneş havuzunda HAD (CFD) analizine başlamadan önce Ansys SpaceClaim tasarım paketi kullanılarak havuz tasarımı yapılarak katı model oluşturulmuştur. Katı modelin varsayılan boyutları şu şekildedir;

1. Uzunluk: 1 m
2. Genişlik: 0.5 m
3. Derinlik: 0.5 m

Oluşturulan katı model şekil 7.1’de verilmiştir.

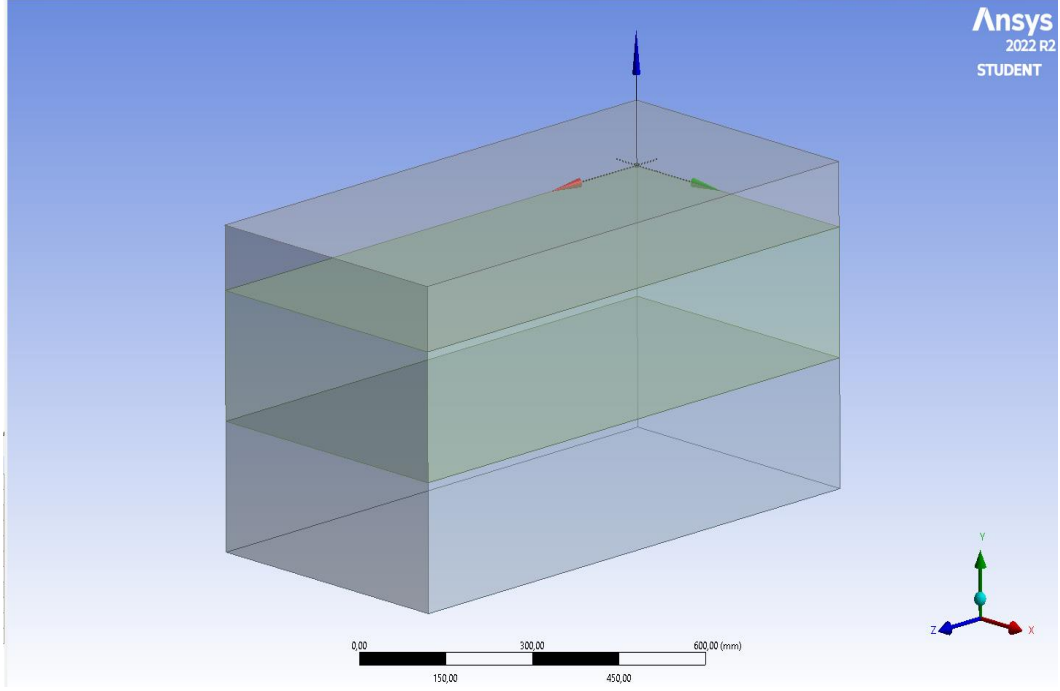


Şekil 7.1. Güneş havuzunun katı modeli.

Katı model oluşturulduktan sonra Ansys DesignModeler paketi kullanılarak tasarlanan güneş havuzu tuzluluk gradyanı oluşturulabilmesi için katmanlara ayrılmıştır. Hesaplamalarda kullanılmak için tasarlanan güneş havuzunun her katmanının kalınlığı şu şekildedir;

1. Üst konvektif bölge: 0.1 m
2. Konvektif olmayan bölge: 0.2 m
3. Alt Konvektif Bölge: 0.2 m

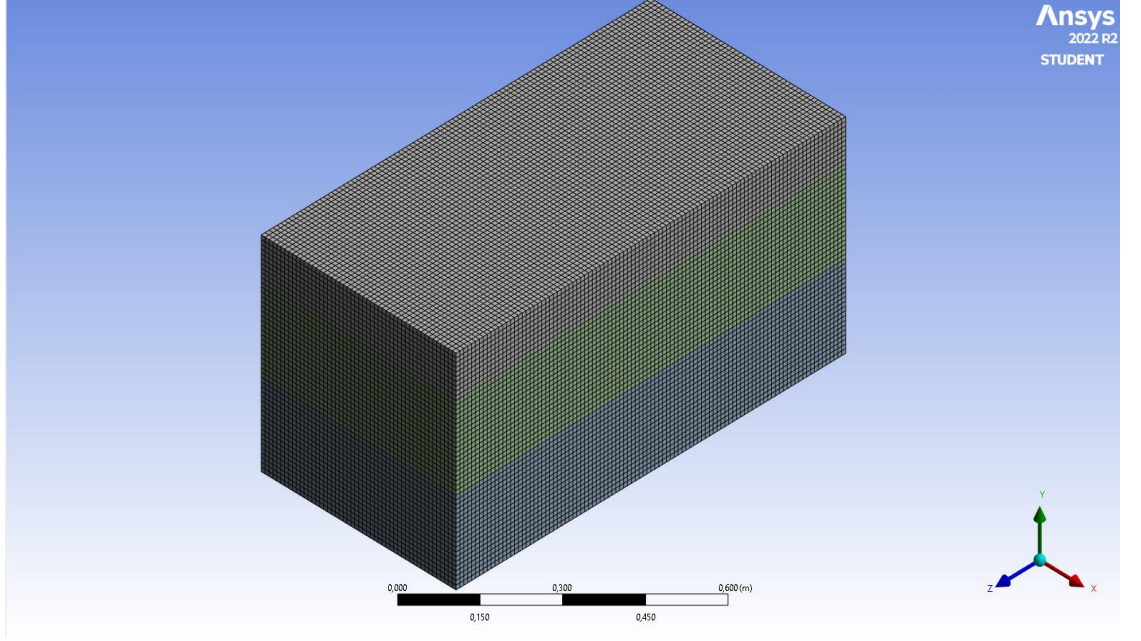
Güneş havuzunun katmanlar oluşturulduktan sonraki modellemesi şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2. Güneş havuzunda katmanlar.

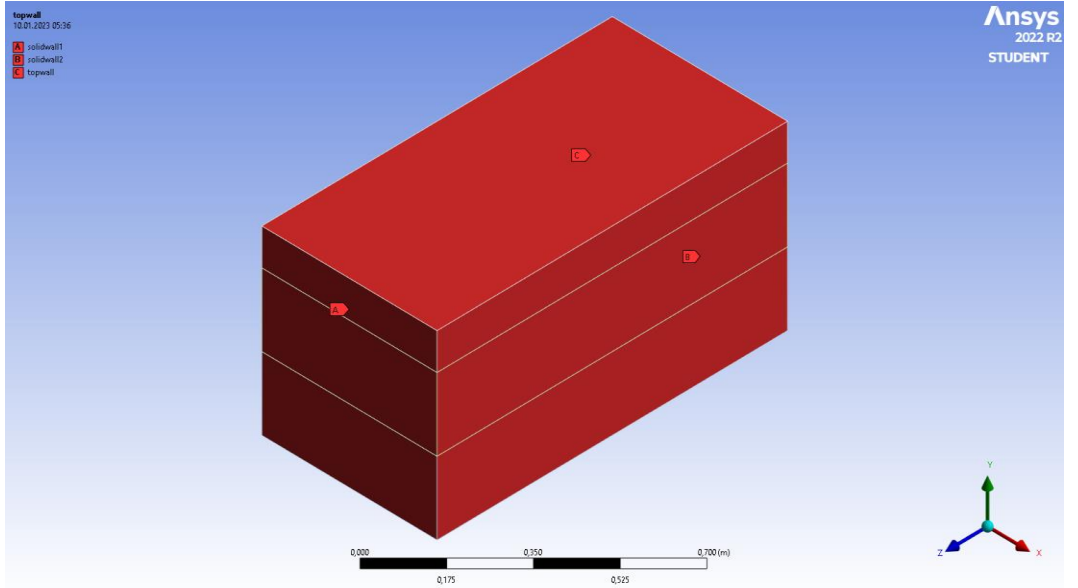
7.2.2. Ağ (Mesh) Yapısı

Katı modellemenin ağ oluşturması, modelin sonlu eleman analizini yapabilmek için gerekli düğümleri katı modellemeye vermek için önemli bir adımdır. Bu yüzden analizden önce katı modelde ağ (mesh) yapısı oluşturularak geometri küçük hücelere ayrılmıştır. Bu çalışmada yapılan mesh sonucunda 1068503 adet nodes, 250000 adet elements elde edilmiştir. Elde edilen meshin görüntüsü şekil 7.3’de verilmiştir.

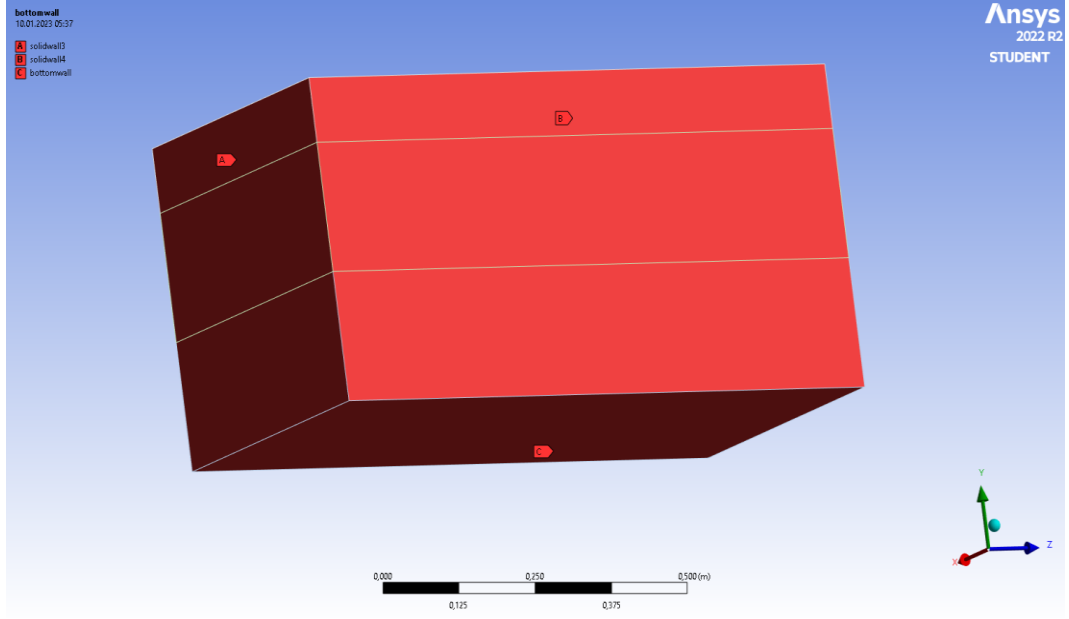


Şekil 7.3. Güneş havuzunda mesh yapısı.

Mesh işleminden sonra sınır şartlarının belirtilebilmesi için “Named Selection” seçimiyle akış olacak yerlerin isimlendirilmesi yapılmıştır. Akış alanı yüzeylerinin isimleri şekil 7.4.1’de ve şekil 7.4.2’de verilmiştir.



Şekil 7.4.1. Yüzeylerin isimlendirilmesi.



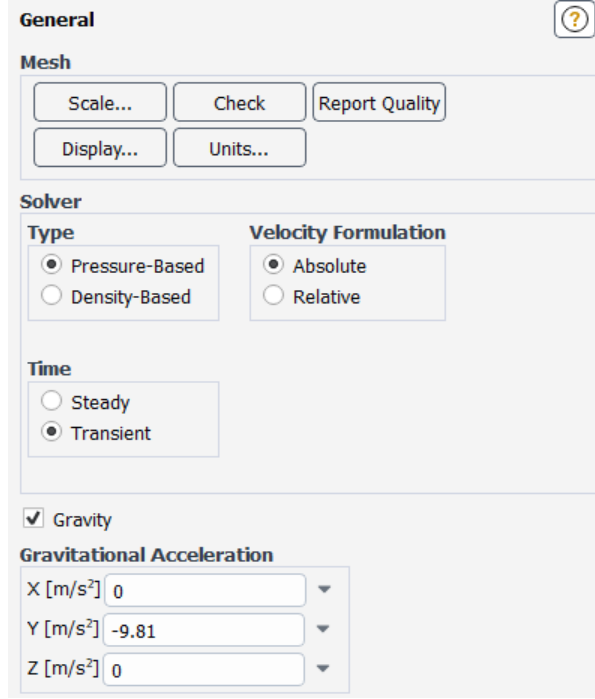
Şekil 7.4.2. Yüzeylerin isimlendirilmesi.

7.2.3. Sınır Şartları

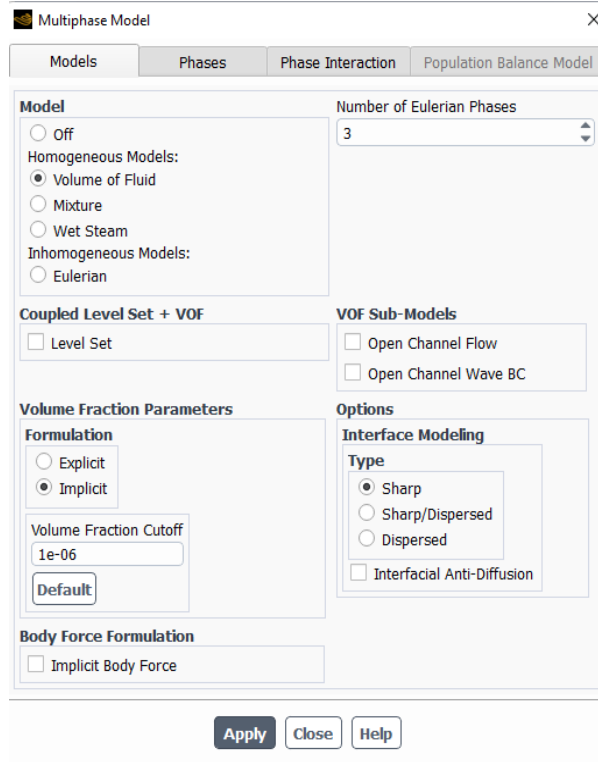
Yapılacak analiz için belirlenen sınır şartları aşağıda sıra ile belirtilmiştir.

Bu çalışmada sonuçlar belirli bir zaman aralığında havuz yüzeyine düşen güneş ışınlarına bağlı olduğu için zamana bağlı (transient) analiz kullanılmıştır. Yerçekimi ivmesi $-y$ yönünde $9,81 \text{ m / s}^2$ seçilmiştir (Şekil 7.5).

Güneş havuzu sisteminin içerisindeki akış hacminin üzerinde çalışılabilmesi için model olarak Volume of Fluid seçilmiştir. Ayrıca havuz içerisinde 3 ayrı yoğunlukta katman barındıracağı yani sistem 3 fazlı olacağı için Number of Eulerian Phases seçimi 3'e yükseltilmiştir (Şekil 7.6).

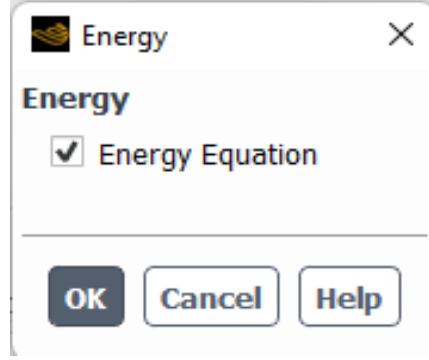


Şekil 7.5. Genel ayarlar.



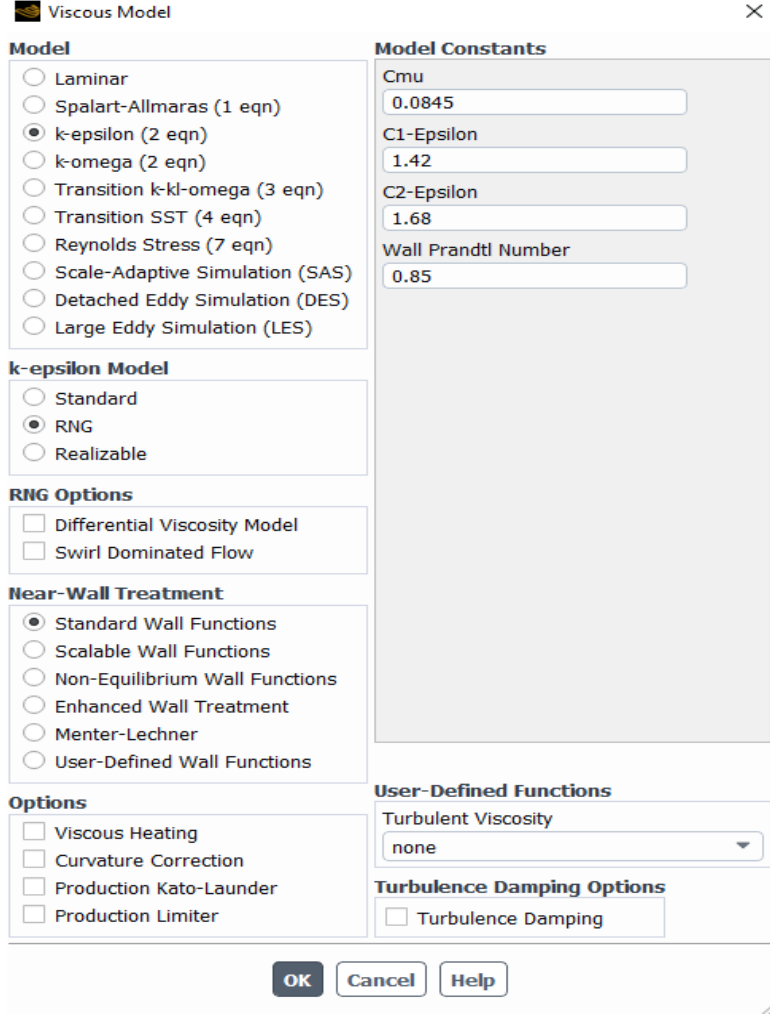
Şekil 7.6. Model seçimi.

Sistem üzerinde termal çözüm yapılacağı için Energy Equation (Enerji Denklemi) komutu aktif hale getirilerek programın enerji denklemlerini de çözmesi sağlanmıştır (Şekil 7.7).



Şekil 7.7. Enerji denklemlerinin çözülmesi.

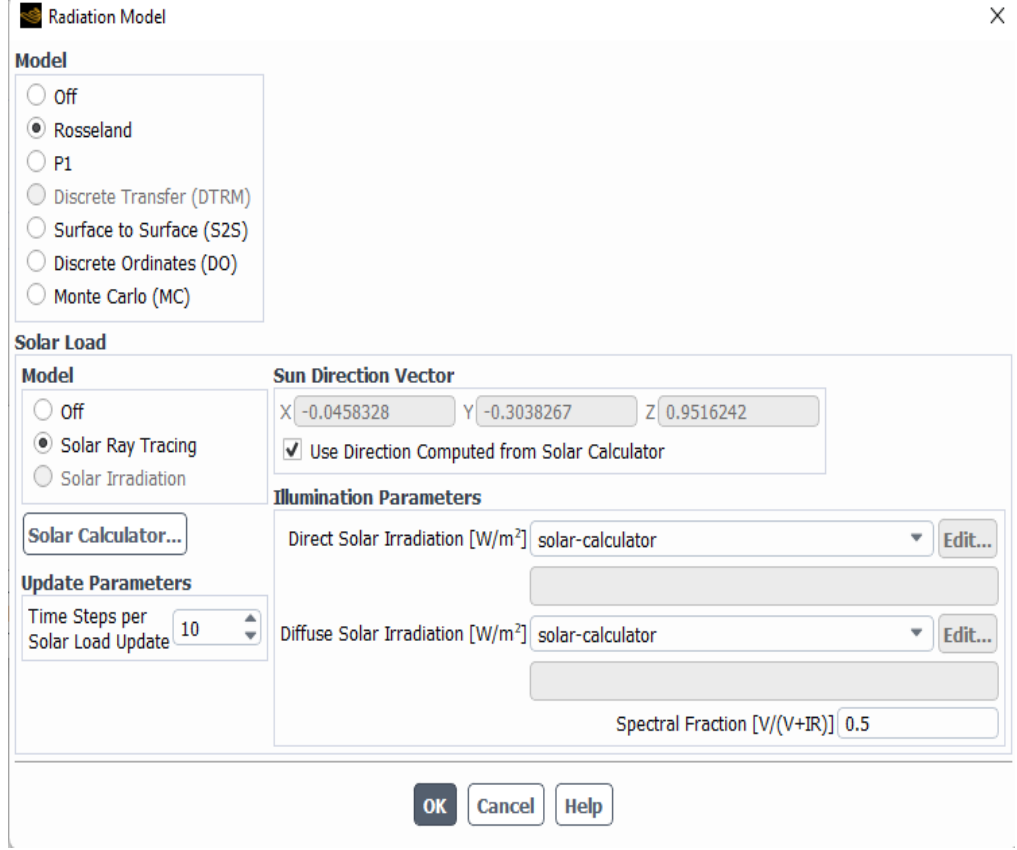
Türbülans modeli seçerken sistemde kullanılan akışın fiziksel durumu, istenilen doğruluk seviyesi, model için gerekli olan değerlerin hesaplanabilirliği ve simülasyon için gereken zaman dikkate alınmaktadır. Bu çalışmadaki türbülans modeli seçiminde kullanımı en yaygın olan ve özellikle iç termal akış problemlerinde hem hızlı hem de gerçeğe yakın sonuç veren k-epsilon modeli tercih edilmiştir (Şekil 7.8).



Şekil 7.8. Türbülans modelinin seçilmesi.

Türbülans modeli seçildikten sonra güneş havuzu üzerinde çalışılacağı için güneş ışınlarından gelen radyasyon etkilerini hesaplamak için kullanılan Solar Ray Tracing modeli seçilmiştir. Bu modelle elde edilen ışın izleme yaklaşımı, enerji denklemlerinde güneş enerjisini ısı kaynağı olarak uygulamanın oldukça verimli ve pratik bir yoludur. Hesaplanacak alana gelecek güneş ışınımı değerlerini ifade eden direct solar irradiation ve diffuse solar irradiation değerleri solar calculator seçeneği kullanılarak bu değerlerin program tarafından otomatik olarak hesaplanması sağlanmıştır. Buradaki direct solar irradiation sisteme doğrudan gelen güneş ışınlarının sisteme yaydığı enerjiyi, diffuse solar irradiation ise sisteme gelen ve

güneşin yansıyan ışınları nedeniyle sisteme yayılan enerjiyi ifade etmektedir (Şekil 7.9).



Şekil 7.9. Radyasyon modeli.

Solar Calculator iletişim modülü, güneş enerjisi yük modellerinin hesaplanmasıyla ilgili parametreleri ayarlamanıza izin vermektedir. Bu parametrelerin ifade ettiği açıklamalar şu şekildedir;

Global Position (Küresel Konum): Güneş radyasyonunun konumunu tanımlayan parametreleri içermektedir.

1. Longitude (Boylam): Hesaplama yapılacak konumun boylamını derece cinsinden belirtmektedir. Girilecek değerler -180° ile 180° arasında değişebilir,

burada negatif değerler Batı yarımküreyi, pozitif değerler ise Doğu yarımküreyi göstermektedir.

2. Latitude (Enlem): Hesaplama yapılacak konumun enlemini derece cinsinden belirtmektedir. Değerler -90° (Güney kutbu) ile 90° (Kuzey kutbu) arasında değişebilmektedir ve 0° ise ekvator olarak tanımlanmaktadır.
3. Timezone (Saat Dilimi): Dünyanın bölündüğü dikey zaman şeritlerinden her birine verilen ad olarak tanımlanan timezone kavramı analizde günü ve ayı belirtmek için kullanılacak parametreleri içermektedir.

Starting Date and Time (Başlangıç Tarihi ve Saati): Bu alan hesaplama yapılacak tarih ve saat aralıklarını belirtmek için kullanılmaktadır.

1. Day of Year (Yılın Günü): Hesaplama yapılacak günü ve ayı belirtmek için kullanılmaktadır.
2. Time of Day (Günün Saati): Hesaplama yapılacak saat ve dakikayı belirtmek için kullanılmaktadır.

Mesh Orientation (Kafes Oryantasyonu): Bu alan CFD koordinat sisteminde Kuzey ve Doğu için vektörler halinde oryantasyonu belirtmektedir.

Solar Irradiation Method (Solar Işınlama Yöntemi): Güneş ışınlama yöntemini seçmek için parametreler içermektedir.

1. Theoretical Maximum (Teorik Maksimum): Bu seçenek teorik olarak maksimum güneş ışınımı yöntemini etkinleştirmektedir.
2. Fair Weather Conditions (Açık Hava Şartları): Bu seçenek adil hava şartlarında güneş ışınlama yöntemini etkinleştirmektedir.

Sunshine Factor (Güneş Işığı Faktörü): Hesaplama yapılan alanda belirli bir zaman ve yerde gökyüzünü kaplayan bulutu açıklamaktadır. Dolayısıyla, temel olarak 0 ile 1 arasında değişen bulut örtüsü yüzdesidir; burada 0, tamamen bulutla kaplı ve 1,

bulutsuz anlamına gelir. Bulut örtüsü temelinde güneşten gelen güneş ışığını azaltmaktadır.

Bu çalışmanın solar calculator aşamasında belirlenen program girdileri ve değerler şu şekildedir;

Global Position (Küresel Konum): Bu çalışmada hesaplama yapılacak konum Karabük ili olarak seçilerek coğrafi konum sisteme girilmiştir. Ayrıca timezone değeri Türkiye için girilmiştir.

1. Longitude (Boylam): 33.304°
2. Latitude (Enlem): 41.1775°
3. Timezone (Saat Dilimi): +3

Starting Date and Time (Başlangıç Tarihi ve Saati): Bu alan yapılacak hesaplama için literatür referans alınarak programda girilen şekli ile bırakılmıştır.

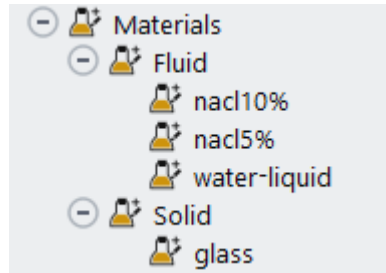
Mesh Orientation (Kafes Oryantasyonu): Bu alan tasarlanan geometri ve yapılan mesh için uygun koordinatlara göre girilmiştir.

Solar Irradiation Method (Solar Işınlama Yöntemi): Çalışmada bu alan sistemin açık hava şartlarında kurulduğu varsayılarak fair weather conditions seçilmiştir.

Sunshine Factor (Güneş Işığı Faktörü): Çalışmada bu alan sistemin bulutsuz havada analiz edildiği varsayılarak 1 değeri girilmiştir.

Şekil 7.10. Güneş ışını takip ayarları.

Çalışmanın bu alanında kullanılan materyaller akışkanlar ve havuz malzemesi için ayrı ayrı girilmiştir (Şekil 7.11).



Şekil 7.11. Materyallerin girilmesi.

Kullanılan materyaller için girilen ısıl özellikler literatür referans alınarak tablo da belirtilmiştir. Havuz içerisindeki katmanlar için üç ayrı akışkan; üst konvektif bölge için saf su, konvektif olmayan bölge için %5 oranında tuzlu su ve alt konvektif bölge için %10 oranında tuzlu su olarak tanımlanmıştır. Çizelge 7.1., Çizelge 7.2. ve

Çizelge 7.3’de girilen akışkanların ısı özellikleri verilmiştir. Ayrıca havuz malzemesi olarak cam seçilerek ısı özellikleri girilmiştir.

Çizelge 7.1. Saf su ısı özellikleri.

Sıcaklık-°C	Yoğunluk- kg/m ³	Öz ısı -J/kg K	Termal iletkenlik-W/m K	Viskozite -kg/m s
10	998.609	4191	0.580	0.00131
20	997.115	4189	0.598	0.00100
30	994.637	4188	0.615	0.00080
40	991.282	4188	0.630	0.00065
50	987.147	4189	0.643	0.00055
60	982.317	4190	0.654	0.00047
70	976.867	4193	0.663	0.00040

Çizelge 7.2. %5 oranında tuzlu su ısı özellikleri.

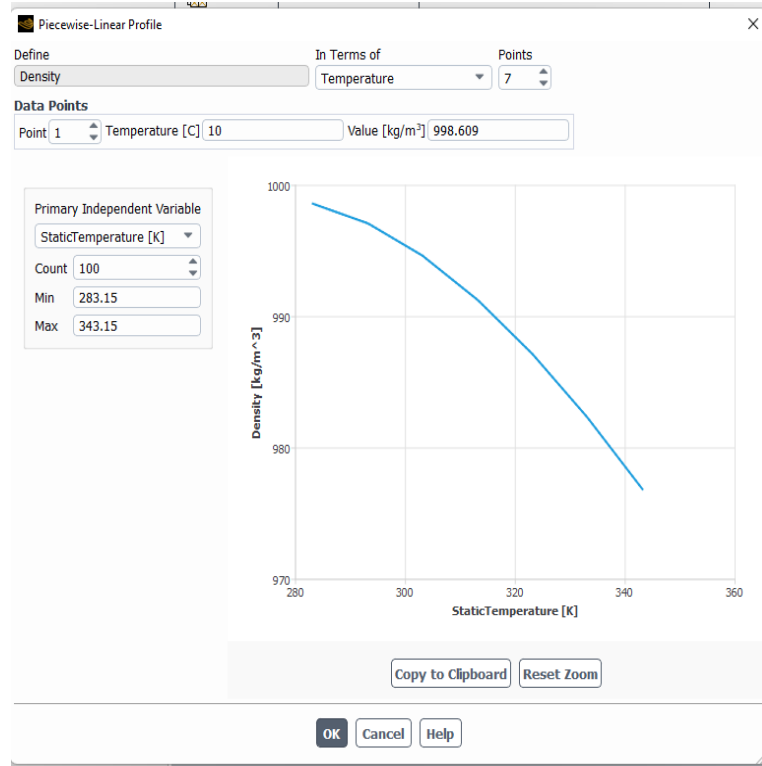
Sıcaklık-°C	Yoğunluk- kg/m ³	Öz ısı -J/kg K	Termal iletkenlik-W/m K	Viskozite -kg/m.s
10	1040.251	3916	0.586	0.00198
20	1036.604	3923	0.601	0.00124
30	1032.650	3923	0.615	0.00088
40	1028.376	3935	0.627	0.00075
50	1023.768	3940	0.638	0.00067
60	1018.815	3945	0.648	0.00062
70	1013.502	3951	0.656	0.00058

Çizelge 7.3. %10 oranında tuzlu su ısıl özellikleri.

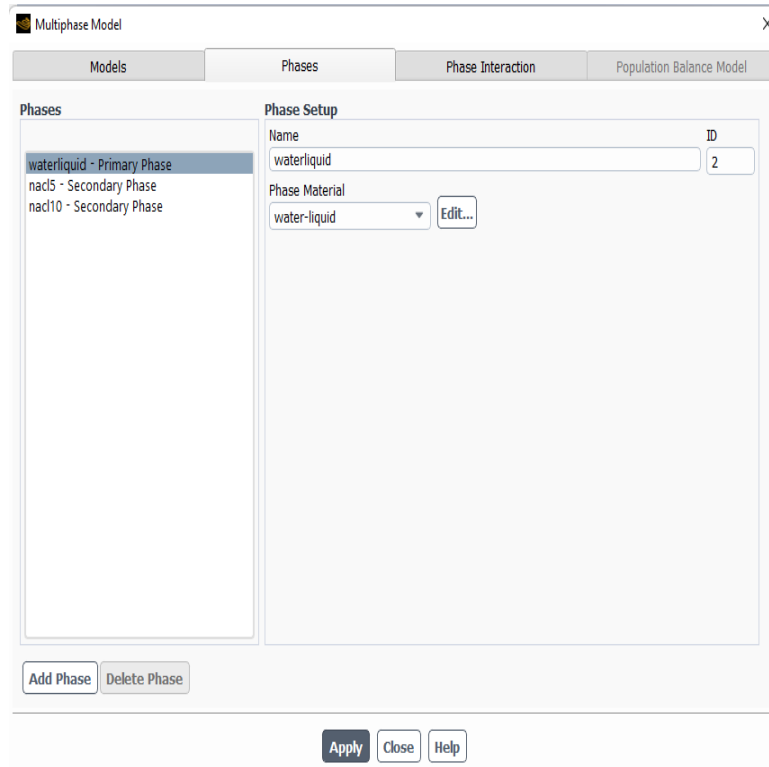
Sıcaklık-°C	Yoğunluk- kg/m ³	Öz ısı -J/kg K	Termal iletkenlik-W/m K	Viskozite -kg/m.s
10	1079.32	3690	0.58	0.00221
20	1075.11	3700	0.60	0.00135
30	1070.69	3710	0.61	0.00096
40	1066.04	3720	0.62	0.00083
50	1061.14	3730	0.64	0.00076
60	1055.99	3730	0.65	0.00072
70	1050.56	3740	0.65	0.00070

Öncelikle programda tanımlı sıcaklık birimi olan Kelvin (K) değiştirilerek Celsius (°C) ayarlanmıştır. Daha sonra çalışmada kullanılan akışkanlar için tüm ısıl özellikler 10°-70° aralığında piecewise-linear seçeneği kullanılarak tek tek girilmiştir. Değerler girildikten sonra 7 ayrı sıcaklık için girdiler ve grafikler kontrol edilmiştir. (Şekil 7.12.1 ve Şekil 7.12.2).

Şekil 7.12.1. Materyal özelliklerinin girilmesi.



Şekil 7.12.2. Materyal özelliklerinin girilmesi.



Tüm akışkan özellikleri girildikten sonra 3 ayrı faz Phases kısmında sisteme tanımlanmıştır (Şekil 7.13).

Akışkan işlemleri bittikten sonra havuz malzemesi olarak seçilen cam sisteme tanımlanıp ısı özellikleri literatür referans alınarak girilmiştir (Şekil 7.14).

The screenshot shows the 'Create/Edit Materials' dialog box. The 'Name' field contains 'glass' and the 'Chemical Formula' field contains 'gl'. The 'Material Type' is set to 'solid' and 'Fluent Solid Materials'. The 'Mixture' is set to 'none'. The 'Properties' section shows three properties: Density [kg/m³] is constant 2500, Cp (Specific Heat) [J/(kg K)] is constant 750, and Thermal Conductivity [W/(m K)] is constant 1.15. The 'Order Materials by' section has 'Name' selected. Buttons for 'Change/Create', 'Delete', 'Close', and 'Help' are at the bottom.

Şekil 7.14. Camın ısı özelliklerinin girilmesi.

Analizin materyal tanımlama kısmı bittikten sonra boundary conditions ayarları tüm duvarlar için ayrı ayrı yapılmıştır. Aşağıda tüm duvarlar için girilen parametreler verilmiştir.

Solidwall 1-2-3-4: Havuzun yan duvarlarını temsil etmektedirler. Güneş havuzlarında sistemde depolanan ısı enerjisinin korunabilmesi için yalıtım önlemleri almak çok önemlidir. Bu doğrultuda yapılan analizde yan duvarlar için Heat Flux değeri 0 alınarak bu duvarlar için Participates in Solar Ray Tracing seçeneği kapatılmıştır. Ayrıca BC Type opaque seçilerek yan duvarların yalıtımlı olması sağlanmıştır (Şekil 7.15.1. ve Şekil 7.15.2).

Wall

Zone Name: solidwall1 Phase: mixture

Adjacent Cell Zone: fff_solid

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Potential Structure Ablation

Thermal Conditions

Heat Flux Heat Flux [W/m²] 0
 Temperature Wall Thickness [m] 0
 Convection
 Radiation Heat Generation Rate [W/m³] 0
 Mixed Shell Conduction 1 Layer Edit...
 via System Coupling
 via Mapped Interface

Material Name: glass Edit...

Apply Close Help

Şekil 7.15.1. Yan duvar özelliklerinin girilmesi

Wall

Zone Name: solidwall1 Phase: mixture

Adjacent Cell Zone: fff_solid

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Potential Structure Ablation

BC Type: opaque

Solar Boundary Conditions

Participates in Solar Ray Tracing

Absorptivity

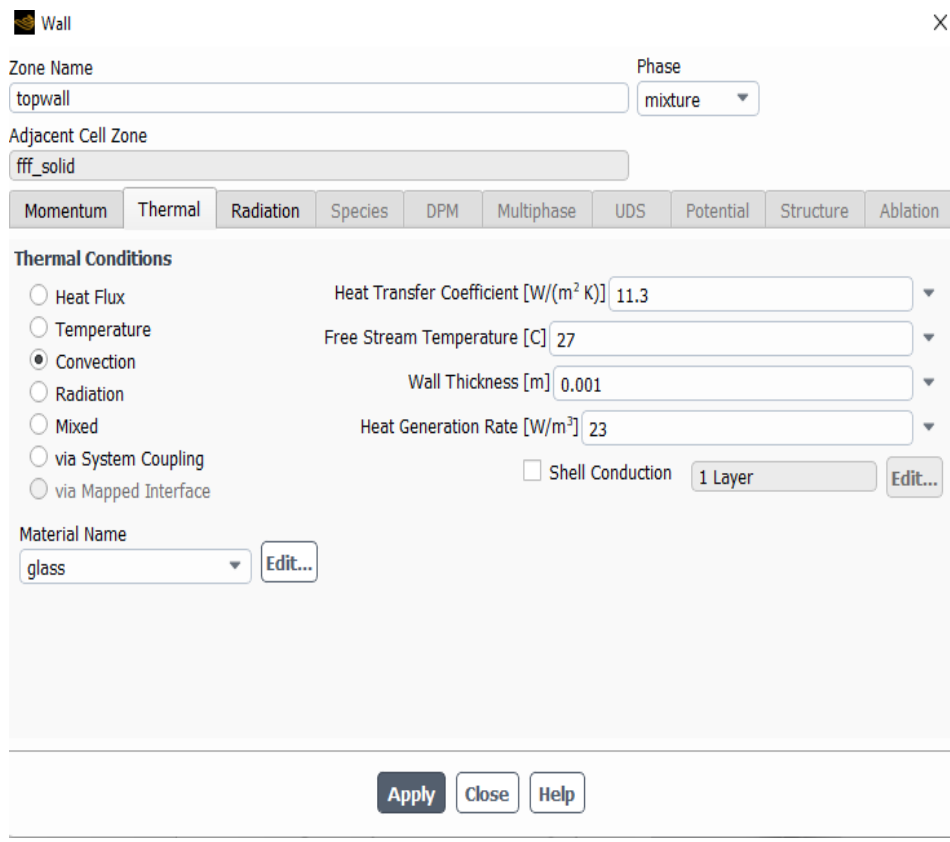
Direct Visible: 0.8
Direct IR: 0.8

Apply Close Help

Şekil 7.15.2. Yan duvar özelliklerinin girilmesi.

Topwall: Güneş havuzunun üst yüzeyini temsil etmektedir. Literatür incelendiğinde güneş havuzlarının üst kısmını cam bir kapak yerleştirilmesinin özellikle buharlaşma

ile yaşanacak ısı kayıplarını en aza indirerek havuz performansını arttırdığı görülmüştür. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmada üst yüzey cam malzeme olarak kabul edilmiştir. Üst yüzeyde konveksiyon ile ısı transferi gerçekleştiği için thermal conditions convection seçilmiştir. Diğer boundary conditions ayarları literatür referans alınarak tek tek girilmiştir. Solar Ray Tracing seçeneği açılarak BC Type semi-transparent seçilerek üst yüzeyin güneş ışığını alması sağlanmıştır (Şekil 7.16.1. ve Şekil 7.16.2).



The image shows a screenshot of the 'Wall' dialog box in ANSYS Fluent. The dialog is titled 'Wall' and has a close button (X) in the top right corner. The 'Zone Name' is set to 'topwall' and the 'Phase' is set to 'mixture'. The 'Adjacent Cell Zone' is 'fff_solid'. The 'Thermal' tab is selected, showing the following options: 'Heat Flux', 'Temperature', 'Convection' (selected), 'Radiation', 'Mixed', 'via System Coupling', and 'via Mapped Interface'. The 'Heat Transfer Coefficient [W/(m² K)]' is set to 11.3, 'Free Stream Temperature [C]' is 27, 'Wall Thickness [m]' is 0.001, and 'Heat Generation Rate [W/m³]' is 23. There is a checkbox for 'Shell Conduction' which is unchecked, and a dropdown for '1 Layer' with an 'Edit...' button. The 'Material Name' is set to 'glass' with an 'Edit...' button. At the bottom, there are 'Apply', 'Close', and 'Help' buttons.

Şekil 7.16.1. Üst duvar özelliklerinin girilmesi.

Wall

Zone Name: topwall Phase: mixture

Adjacent Cell Zone: fff_solid

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Potential Structure Ablation

BC Type: semi-transparent

Solar Boundary Conditions

Participates in Solar Ray Tracing

Absorptivity		Transmissivity	
Direct Visible	0.1	Direct Visible	0.969
Direct IR	0.1	Direct IR	0.969
Diffuse Hemispherical	0.1	Diffuse Hemispherical	0.969

Apply Close Help

Şekil 7.16.2. Üst duvar özelliklerinin girilmesi.

Bottomwall: Güneş havuzunun taban kısmını temsil etmektedir. Havuzun taban malzemesi cam olarak tanımlandıktan sonra bu kısım için boundary conditions ayarları literatür referans alınarak tek tek girilmiştir. Solar Ray Tracing seçeneği açılarak BC Type semi-transparent seçilerek güneş ışınlarının havuzun tabanına ulaşması sağlanmıştır (Şekil 7.17.1. ve Şekil 7.17.2).

Yapılan analiz için boundary conditions ayarlamaları yapıldıktan sonra sınır şartları girildikten sonra havuzun içindeki katmanlara fazların tanımlanması için Cell Registers kısmında region ayarları yapılmıştır (Şekil 7.18).

Wall

Zone Name: bottomwall Phase: mixture

Adjacent Cell Zone: fff_solid

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Potential Structure Ablation

Thermal Conditions

Heat Flux Heat Flux [W/m²]: 2700
 Temperature Wall Thickness [m]: 0.001
 Convection Heat Generation Rate [W/m²]: 0
 Radiation
 Mixed Shell Conduction 1 Layer Edit...
 via System Coupling
 via Mapped Interface

Material Name: glass Edit...

Apply Close Help

Şekil 7.17.1. Alt duvar özelliklerinin girilmesi.

Wall

Zone Name: bottomwall Phase: mixture

Adjacent Cell Zone: fff_solid

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Potential Structure Ablation

BC Type: semi-transparent

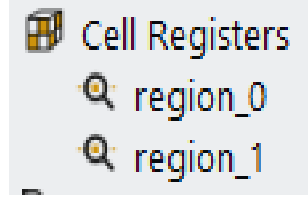
Solar Boundary Conditions

Participates in Solar Ray Tracing

Absorptivity	Transmissivity
Direct Visible: 0.1	Direct Visible: 0.969
Direct IR: 0.1	Direct IR: 0.969
Diffuse Hemispherical: 0.1	Diffuse Hemispherical: 0.969

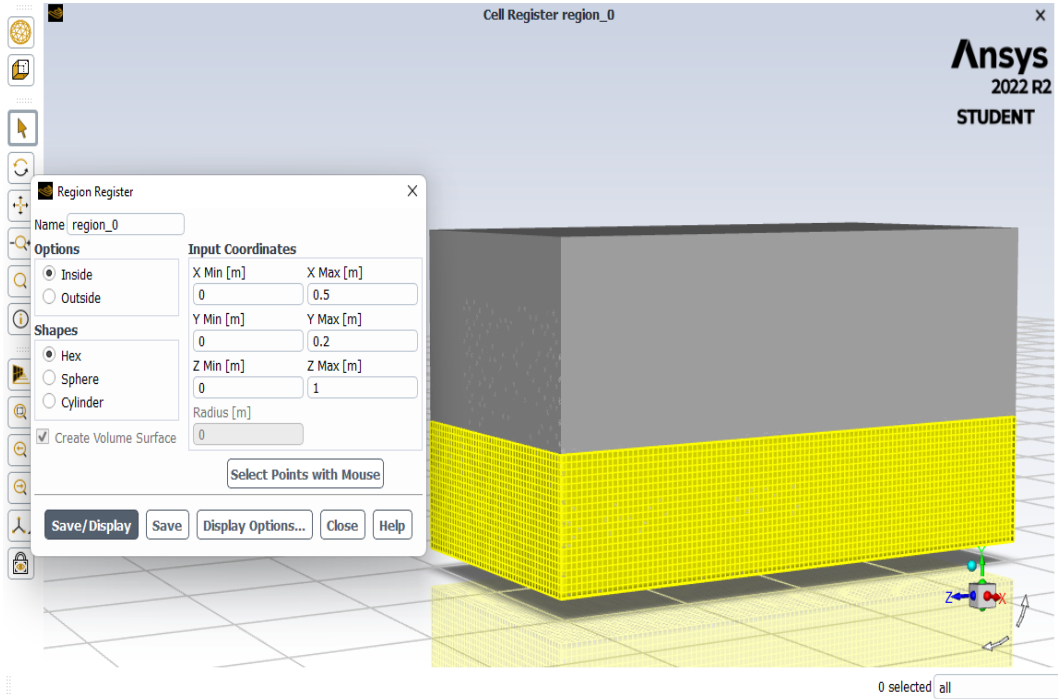
Apply Close Help

Şekil 7.17.2. Alt duvar özelliklerinin girilmesi.

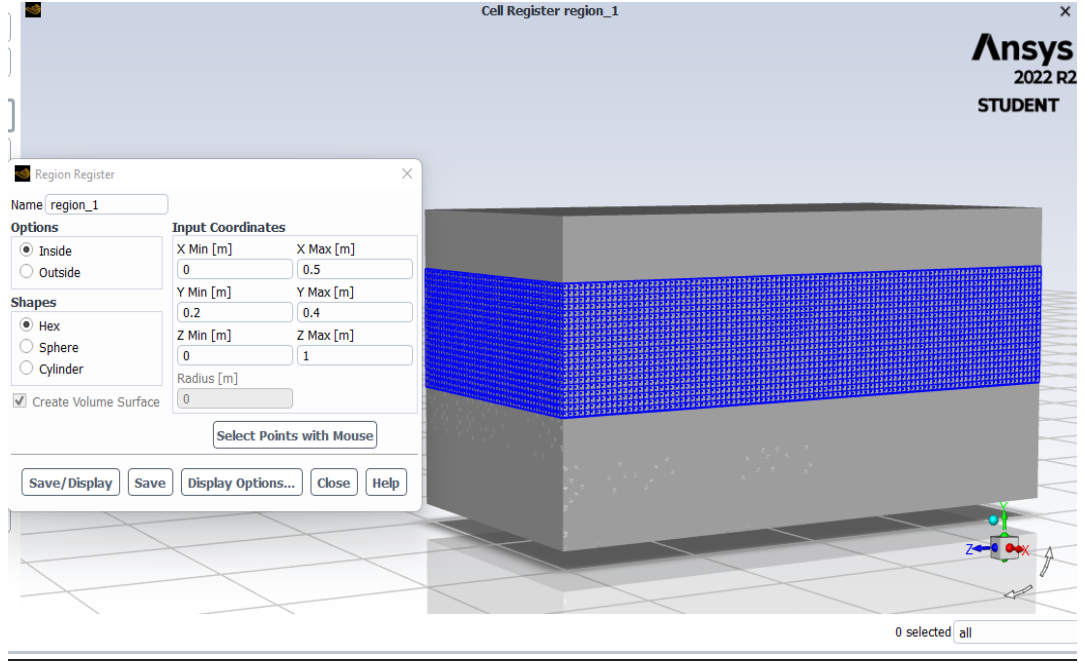


Şekil 7.18. Bölgelerin tanımlanması.

Bu doğrultuda havuzun alt ve orta katmanlarının hesaplamaları için bölgeler oluşturulmuştur. Giriş koordinatları bu bölümün başında verilen katman kalınlıklarına uygun olarak girilmiş ve havuz tasarımına uyacak şekilde boyutlandırılmıştır (Şekil 7.19.1 ve Şekil 7.19.2).

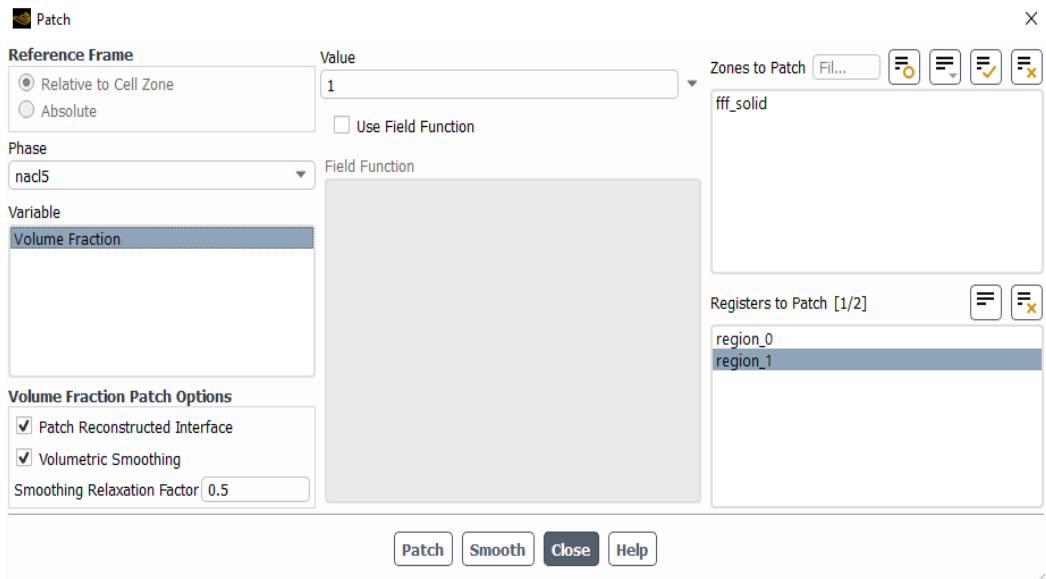


Şekil 7.19.1. Bölgelerin boyutlandırılması.

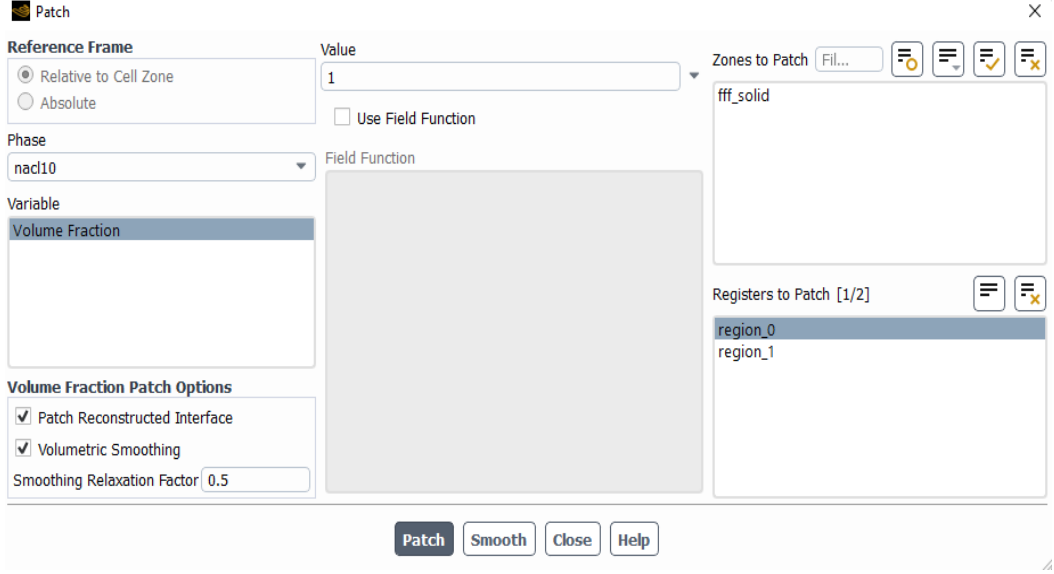


Şekil 7.19.2. Bölgelerin boyutlandırılması.

Katmanlar için bölgeler oluşturulduktan sonra *Initialization* kısmından *patch* seçeneği kullanılarak bu bölgeler fazlar ile tanımlanmıştır. Çalışma initialize seçeneği ile sonlandırılmıştır (Şekil 7.20.1 ve Şekil 7.20.2).



Şekil 7.20.1. Orta katman için patch oluşturulması.



Şekil 7.20.2. Alt katman için patch oluşturulması.

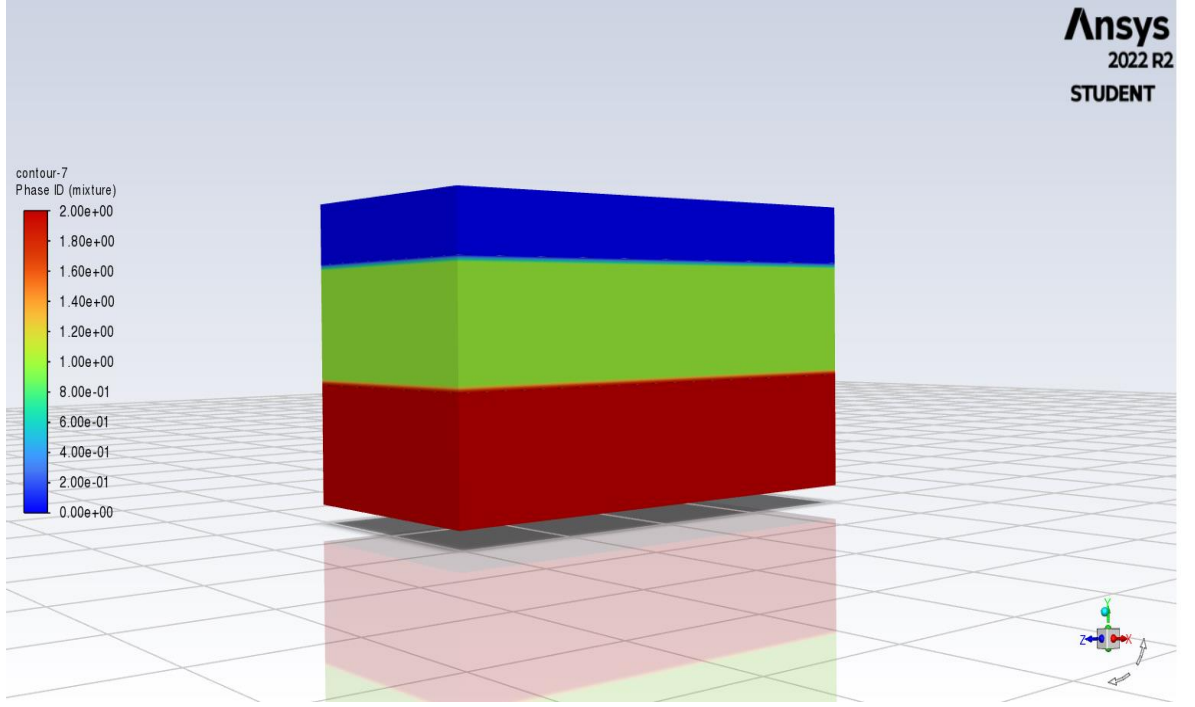
Son olarak 3600 iterasyon sayısı ile analiz çözümlenmesi başlatıldı.

BÖLÜM 8

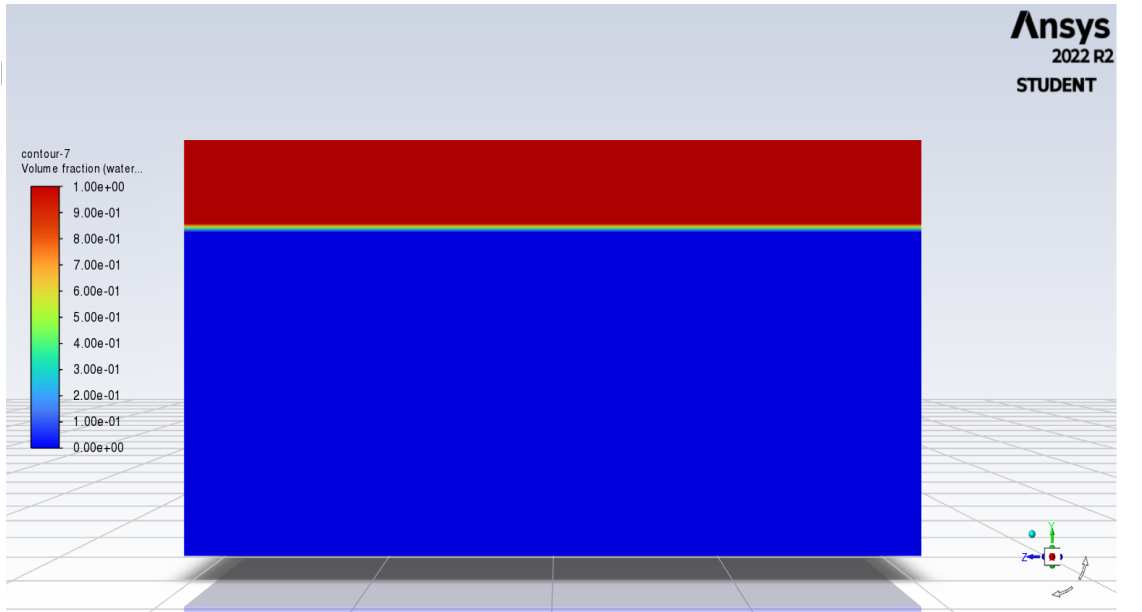
ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada tasarlanan bir güneş havuzu üzerinde Hesaplama Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics) yöntemi ile çözümlenerek yapılarak güneş havuzunun ısı performans ve tuzluluk gradyanının stabil bir şekilde elde edilmesi incelenmiştir. Bu amaç için ANSYS 2022 R2 STUDENT mühendislik programı kullanılmış ve CFD simülasyon analizi yapılmıştır. Bu sayede güneş havuzu sistemlerinin çalışma prensipleri daha net bir şekilde anlaşılabilir analiz parametrelerinin her açıdan değiştirilerek birçok durumda analiz yapılabileceği görülmüştür. Analiz sonucunda elde edilen dağılımlar aşağıda verilmiştir.

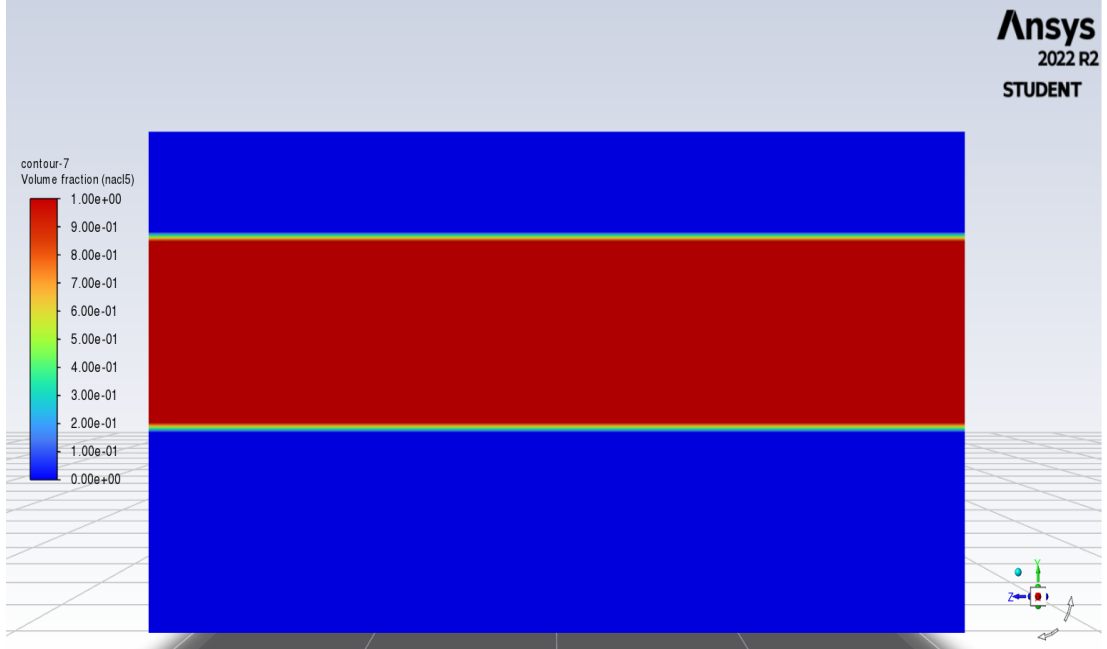
Güneş havuzu sistemlerindeki en önemli konulardan biri havuz içerisindeki katmanların doğru ve stabil bir şekilde oluşturulmasıdır. Bu analizde kullanılan 3 ayrı fazın havuz içerisindeki dağılımları şekil verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde havuzun tüm katmanlarının istenilen boyutta ve stabil halde yerleştiği görülmüştür. (Şekil 8.1, Şekil 8.2, Şekil 8.3 ve Şekil 8.4).



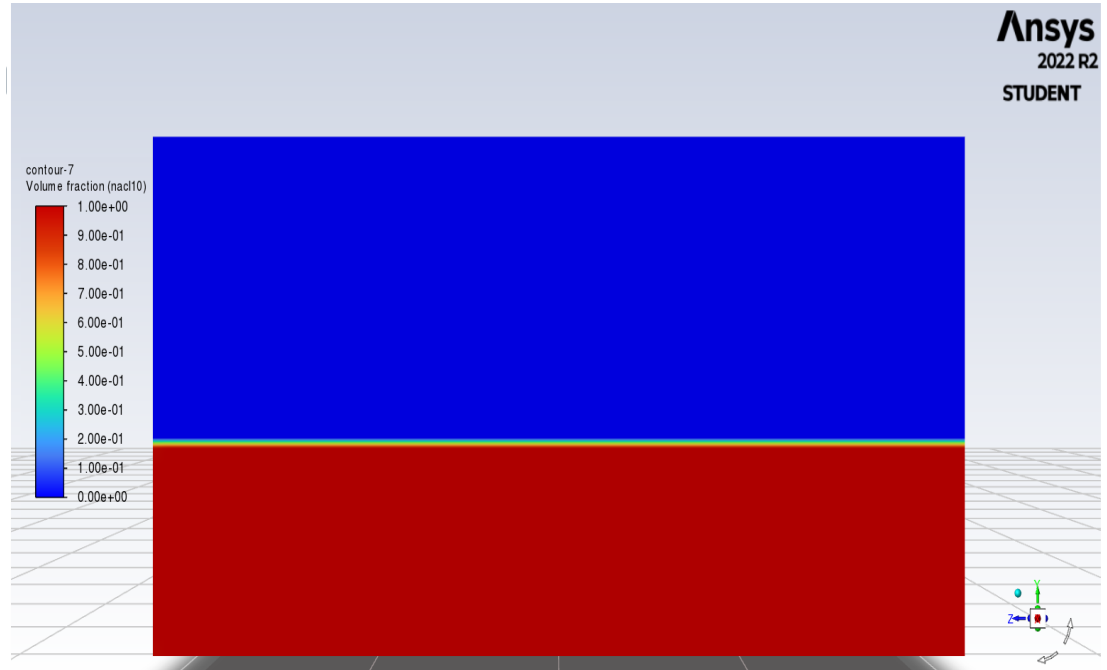
Şekil 8.1. Güneş havuzunda faz dağılımı.



Şekil 8.2. Güneş havuzunda saf suyun dağılımı.

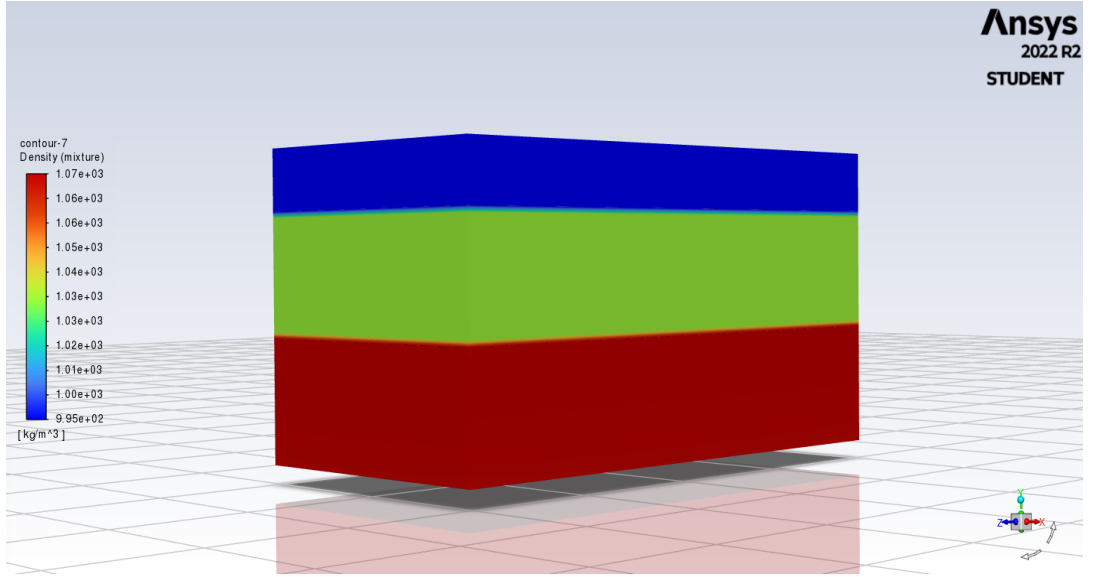


Şekil 8.3. Güneş havuzunda %5 oranında tuzlu suyun dağılımı.

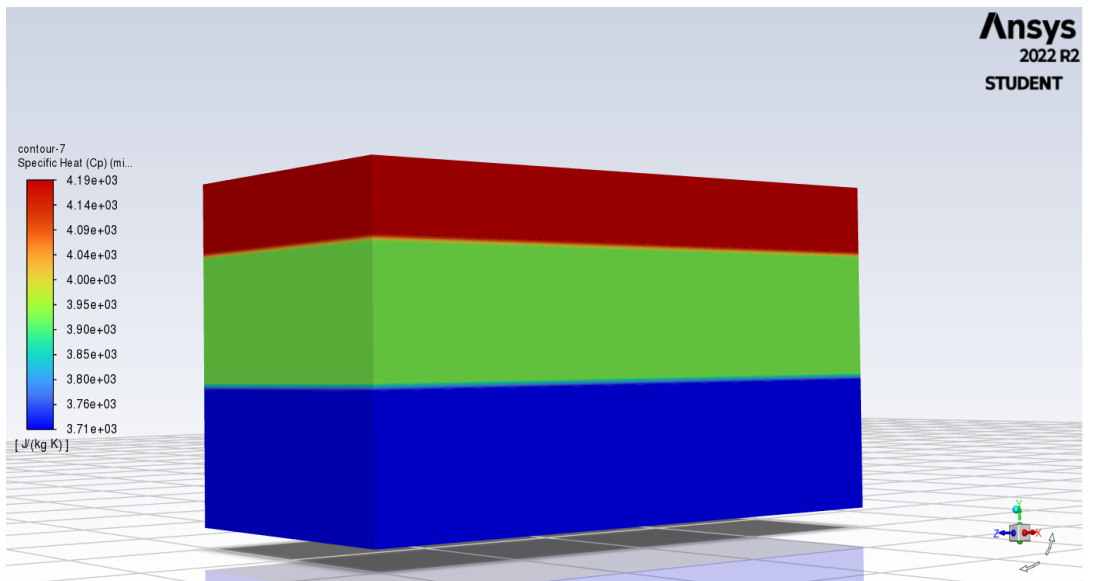


Şekil 8.4. Güneş havuzunda %10 oranında tuzlu suyun dağılımı.

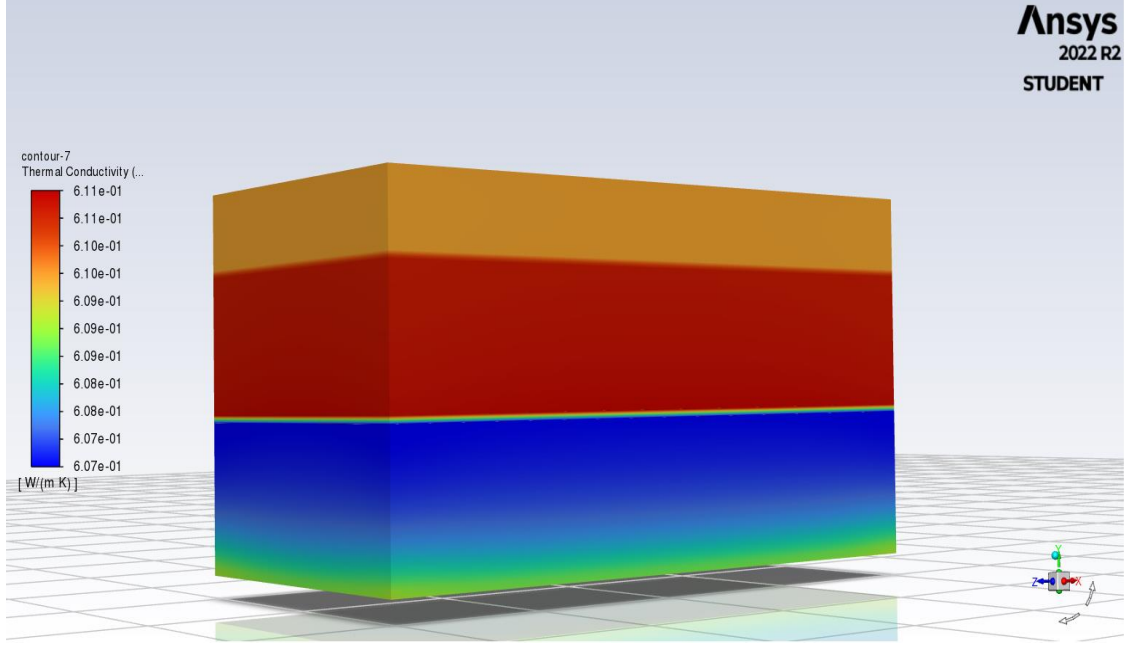
Çalışmada tanımlanan akışkanların ısı özelliklerinin sıcaklıklara ve havuz içerisindeki konumlara göre dağılımları incelenmiştir. Elde edilen dağılımlar verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde tasarımda kullanılan 3 ayrı akışkanın tüm ısı özelliklerinin tabloda verildiği gibi ve doğru şekilde analize aktarıldığı görülmüştür (Şekil 8.5, Şekil 8.6, Şekil 8.7 ve Şekil 8.8).



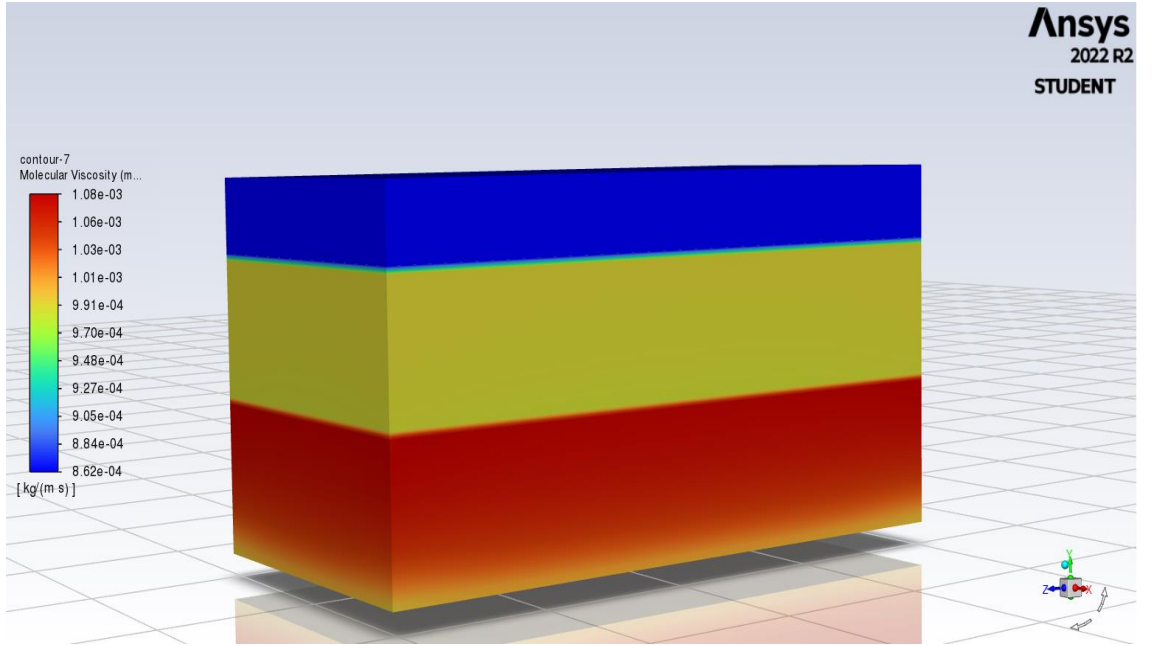
Şekil 8.5. Güneş havuzunda yoğunluk dağılımı.



Şekil 8.6. Güneş havuzunda öz ısı dağılımı.



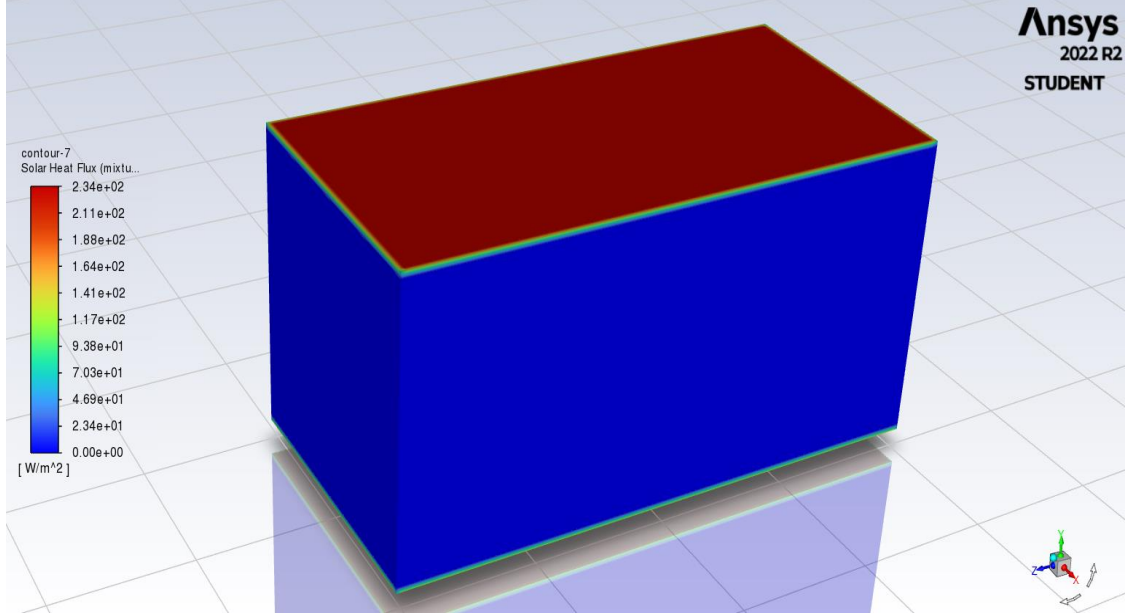
Şekil 8.7. Güneş havuzunda termal iletkenlik dağılımı.



Şekil 8.8. Güneş havuzunda viskozite dağılımı.

Güneş havuzu analizi için tanımlanan sınır şartlarının dağılımı incelenmiştir. Sonuçlar şekilde verilmiştir. Sınır şartları belirlenirken havuzun yan duvarlarının güneş enerjisi

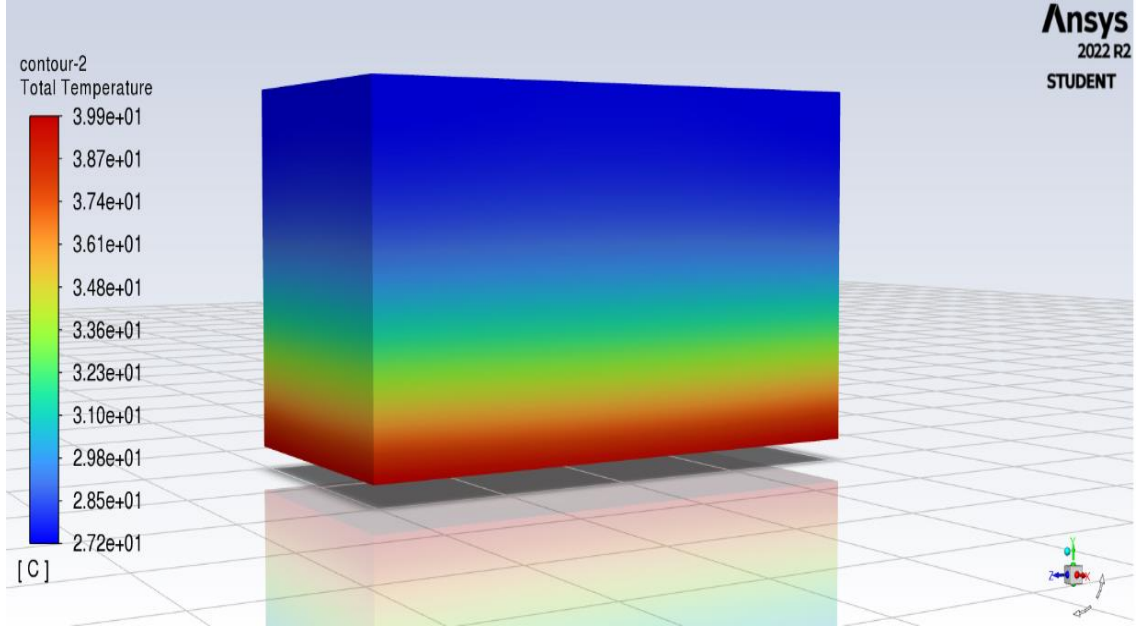
almadığı yani yalıtımlı olduğu varsayılmıştır. Elde edilen sonuçlarda güneş ışınlarının havuzun üst kısmından sisteme girdiği ve yan duvarların yalıtımlı olduğu böylelikle analizin doğru kurulduğu görülmüştür (Şekil 8.9).



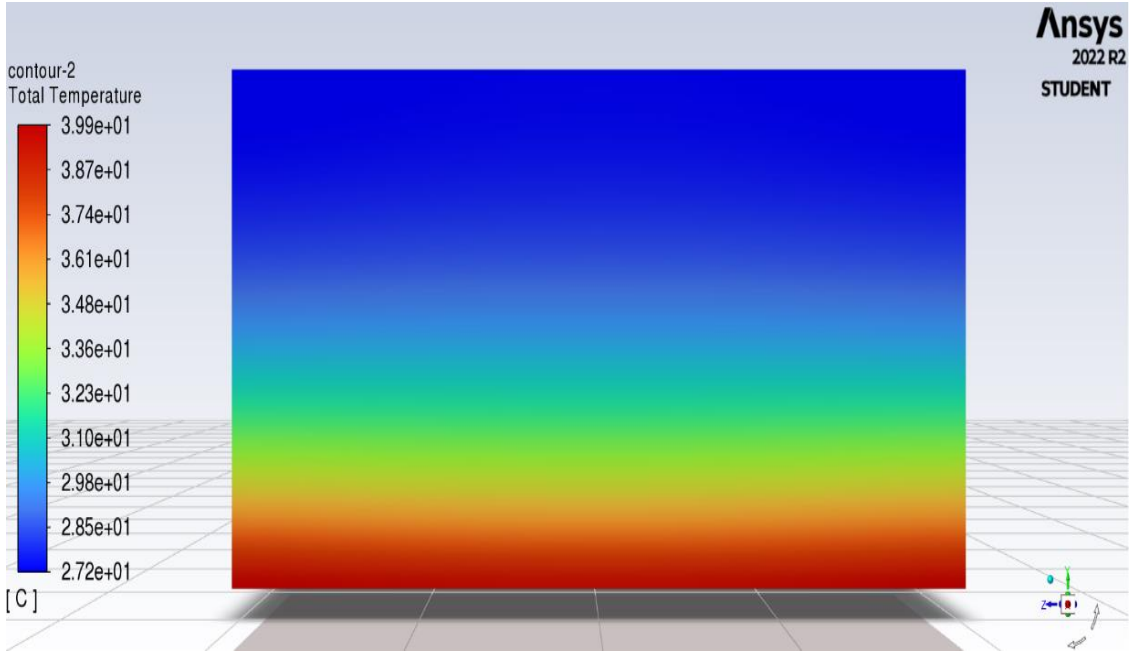
Şekil 8.9. Güneş havuzunda solar heat flux dağılımı.

Son olarak tasarlanan güneş havuzunda oluşan sıcaklık dağılımı incelenmiş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir. (Şekil 10.1 ve Şekil 10.2).

Elde edilen sıcaklık dağılımında sıcaklığın havuzun üst katmanından alt katmanına doğru arttığı ve alt katmanda en yüksek sıcaklığa ulaşarak bir depolama bölgesi oluşturduğu görülmüştür. Sonuçlar literatürde benzer boyutlar ve tasarımlarla kurularak yapılan güneş havuzları çalışmaları ile karşılaştırılmıştır [33]. Yapılan karşılaştırma sonucunda benzer sıcaklık değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Böylece güneş havuzu tasarımlarının sanal ortamda simüle edilerek birçok farklı çalışma ve analiz için kullanılabileceği kanıtlanmıştır.



Şekil 8.10.1. Güneş havuzunda sıcaklık dağılımı.



Şekil 8.10.2. Güneş havuzunda sıcaklık dağılımı.

BÖLÜM 9

GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Günümüzde fosil enerji kaynaklarının kullanımı hızla artmaktadır ve buna bağlı olarak çevre kirliliği gibi birçok problem beraberinde gelmektedir. Bu yüzden yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemi her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlisi olan güneş enerjisi kullanımı hızla artırılarak sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda yapılacak çalışmaların en etkili şekilde gerçekleştirilebilmesi için sistemlerin Ar-Ge aşamalarında sanal ortamlarda yapılacak analizlerden yararlanılması zaman ve bütçe tasarrufu açısından çok önemlidir.

Güneş enerjisinden yararlanarak çalışan birçok sistemden biri olan güneş havuzları diğer sistemlere göre kurulumunda daha az maliyetli olmasıyla ve depolama yeteneğini bünyesinde barındırmasıyla üzerinde daha fazla çalışma yapılması gereken bir sistemdir. Ancak havuzların kurulması ve analiz edilmesi belirli bir süreçle gözlem gerektirmektedir. Havuz tasarımlarının dijital ikizleri oluşturularak yapılacak analizler özellikle havuz kurulumundan önce doğru tasarımı belirlemek için çok faydalı olacaktır. Bu çalışmada güneş havuzu sistemleri için HAD (CFD) tabanlı bir simülasyon analiz modeli geliştirilmiştir. Analiz sonuçlarında modelin sanal ortama taşındığında sürecin çok daha kısa sürede gerçekleştiği ayrıca havuzla ilgili olabilecek bütün parametrelerin sisteme tanımlanabildiği görülmüştür. Ayrıca güneş havuzlarının temel çalışma prensibini anlamaya katkı sağlayan bu çalışmayla; havuz içerisindeki tuzluluk katmanlarının sanal ortamda stabil bir şekilde elde edilebildiği ve istenilen her şartta sıcaklık dağılımı çözümleri yapılabileceği görülmüştür. Özellikle HAD (CFD) kullanılarak yapılacak güneş enerjisi hesaplamaları için uygulanması gereken analiz adımlarının literatürdeki eksikliği kapatılmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu adımların yine uygulama örneği çok az olan çok fazlı akış (multiphase flow) için analizleri içinde katkısı olacağı düşünülmektedir.

Yapılan çalışmaya ek olarak gerçekleştirilebilecek çalışma önerileri şu şekildedir;

1. Güneş enerjisi ile çalışan sistemlere daha fazla önem verilerek kullanımları yaygınlaştırılabilir.
2. Güneş havuzları üzerinde yapılan çalışmalar akademik boyuttan endüstriyel boyuta aktarılabilir.
3. Güneş havuzları tasarımları sanal ortamlara taşınarak birçok girdi parametresi üzerinde değişiklik yapılarak çok daha verimli tasarımlar çok daha kısa sürede yapılabilir.
4. HAD (CFD) yöntemi kullanılarak yapılacak özellikle güneş enerjisi hesaplamaları için literatürde yol gösterecek çalışmalar yapılabilir, bu çalışmalarda uygulama yöntemleri açıkça belirtilerek güneş enerjisi sistemleri üzerinde analiz yapacaklara yol gösterici olunabilir.
5. Yapılan bu çalışma referans alınarak güneş havuzlarının davranışları birçok farklı şartlar ve sınır şartlarıyla analiz edilerek mevcut çalışma ile kıyaslanabilir.
6. Bu çalışmada girilen sınır şartları değiştirilerek iyileştirilip analiz sonucunda daha yüksek sıcaklıklar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Yolcan, O., Köse, R., “Türkiye’nin güneş enerjisi durumu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli parametreler”, Kırklareli *University Journal of Engineering and Science Dergisi*, 6, 196-215 (2020).
2. Sozhan, N., Senthilvelan, T., Kaliyappan, T., “Vijayakrishna Rapaka, E., Experimental investigation on a 0.25 m² solar gel pond”, *International Journal of Innovative Research in Science*, 2, (2013).
3. Raghavan, V., “Computational analysis of solar pond for energy storage and desalination”, Master Thesis, *Northern Illinois University*, 2 (2016).
4. Ceyhan, S., Ada, S., “Dijital çağda yönetim üzerine güncel konular ve araştırmalar”, Ankara, 67 (2022).
5. Sathish, D., Veeramanikandan, M., Karthickmunisamy, T., Thirunavukkarasu, R., “Experimental investigation on portable mini solar pond using sodium chloride salt”, *Sri Ramakrishna Institute of Technology* (2016).
6. Sathish, D., Jegadheeswaran, S., “Relative study of steel solar pond with sodium chloride and pebbles”, *Materials Science for Energy Technologies Journal*, 171–174 (2018).
7. Segura, A., “Enhancing the thermal efficiency of a salinity gradient solar pond.”, Master Thesis, *Polytechnic University of Catalonia* (2018).
8. Mantar, S., “Yalıtımlı silindirik model bir güneş havuzunun matematiksel modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi* (2010).
9. Kayalı, R., “Kullanılabilir boyutlarda bir güneş havuzunun fiziksel parametrelerinin incelenmesi ve matematiksel modellenmesi”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi*, Adana (1986).
10. Hassab, M.A., El-Masry, A., “Effects of edges on solar-energy collection in small solar ponds”, *Applied Energy Journal*, 38, 81-94 (1991).

11. Karakılçık, M., “Yalıtımlı ve yalıtımsız güneş havuzlarının performansını etkileyen etmenler”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi*, Adana (1992).
12. Subhakar, D., Murthy, S., “Saturated solar ponds: experimental verification” *Solar Energy*, 53, 6, 469-472 (1994).
13. Kayalı, R., Bozdemir, S., Kıymaç, K., “A rectangular solar pond model incorporating empirical functions for air and soil temperatures”, *Solar Energy*, 63, 6, 345-353 (1998).
14. Rivera, W., Romero, R.J., “Evaluation of a heat transformer powered by a solar pond”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 63, 413-422 (2000).
15. Hongfei, Z., Hua, J., Lianying, Z., “Mathematical model of the thermal utilization coefficient of salt gradient solar ponds” *Energy Conversion and Management*, 43, 2009-2017 (2001).
16. Jubran, B.A., Al-Abdali, H., Al-Hiddabi, S., “Numerical modelling of convective layers in solar pond”, *Solar Energy*, 77, 339-345 (2004).
17. Karakılçık, M., Dinçer, I., Rosen, M.A., “Performance investigation of a solar pond”, *Applied Thermal Engineering*, 26: 727-735 (2006).
18. Bozkurt, İ., “Yalıtımlı ve üstü kapalı silindirik model bir güneş havuzunun performansının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi* (2006).
19. İskender, A., “Güneş havuzlarının termodinamik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi*, Adana (2010).
20. Mantar, S., “Yalıtımlı silindirik model bir güneş havuzunun matematiksel modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi*, Adana (2010).
21. Atız, A., “Yalıtımlı silindirik model bir güneş havuzunun optik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi* (2011).
22. Karakılçık, M., Dinçer, İ., Bozkurt, İ., Atız, A., “Performance assessment of solar pond with and without shading effect”, *Energy Conversion and Management*, 65, 98-10, (2013).
23. Bozkurt, İ., Karakılçık, M., Dinçer, İ., Atız, A., “An investigation of the effect of transparent covers on the performance of cylindrical solar ponds”, *International Journal of Green Energy*, 11, 404–416 (2014).

24. Sayer, H., Al-Hussaini, H., Campbell, A., “New theoretical modelling of heat transfer in solar ponds”, *Solar Energy*, 125, 207-218 (2016).
25. Kayalı, R., Bozdemir, S., Kıymaç, K., “A rectangular solar pond model incorporating empirical functions for air and soil temperatures”, *Solar Energy*, 63, 6, 345-353 (1998).
26. Rostamzadeh, H., Namin, A.S., Nourani, P., Ghaebi, H., “Feasibility investigation of a humidification-dehumidification (HDH) desalination system with thermoelectric generator operated by a salinity-gradient solar pond”, *Desalination*, 462, 1-18 (2019).
27. El Mansouri, A., Hasnaoui, M., Amahmid, A., Hasnaoui, S., “Feasibility analysis of reverse osmosis desalination driven by a solar pond in Mediterranean and semi-arid climates”, *Energy Conversion and Management*, 221 (2020).
28. Parsa, S.M., Alawee, W.H., Dhahad, H.A., Ali, H.M., Afrand, M., “Thermodynamic, economic, and sensitivity analysis of salt gradient solar pond (SGSP) integrated with a low-temperature multi effect desalination (MED): Case study”, Iran, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47 (2021).
29. Panchal, H., Sadasivuni, K.K., Essa, F.A., Shanmugan, S., Sathyamurthy, R., “Enhancement of the yield of solar still with the use of solar pond: A review”, *Heat Transfer*, 50, 1392- 1409 (2021).
30. Wang, H., Yang, C., Liu, Z., Gang, Z., “Effect of steel-wires and paraffin composite phase change materials on the heat exchange and exergetic performance of salt gradient solar pond”, *Energy Reports*, 8,5678-5687 (2022).
31. Raghavan, V., “Computational analysis of solar pond for energy storage and desalination”, Master Thesis, *Northern Illinois University* (2016).
32. Yousaf, R., Shah, S., “CFD analysis of mixing and buoyancy effects of a diffuser jet in stratified region of a solar pond”, *IEEE* (2019).
33. El Kadi, K., Elagroudy, S., Janajreh, I., “Flow simulation and assessment of a salinity gradient solar pond development”, 158, 911-917 (2019).
34. Ali, M., Ahmed, Ö., Abbas, E. F., “Performance of solar pond integrated with photovoltaic/thermal collectors”, *Energy Reports Journal*, 3200–3211 (2020).
35. Armağan, O., “Güneş havuzlarında sıcaklık dağılımlarını ölçme sistemlerinin optimizasyonu ve bir yoğunluk ölçer tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi* (2003).

36. Atız, A., Bozkurt, İ., Karakılçık, M., “Vakum tüplü kolektörlerin güneş havuzu performansı üzerine etkisi”, *Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 1-10 (2014).
37. Atız, A., Bozkurt, I., Karakılçık, M. And Dincer, I., “Investigation of turbidity effect on exergetic performance of solar ponds energy conversion and management”, 87, 351-358 (2014).
38. Balkaya, İ., “Potasyum klorür tabakalı güneş havuzunun performansının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi* (2016).
39. Bezir, N., Şencan, A., Özek, N., Yakut, A.K., Kayalı, R., Dikmen, E., “Deneysel tuz gradiyentli prototip bir güneş havuzunun ısıl performansı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23, No 2, 405-411 (2008).
40. Bozkurt, I., Deniz, S., Karakılçık, M. And Dincer I., “Performance assessment of a magnesium chloride saturated solar pond”, *Renewable Energy*, 78, 35-41 (2015).
41. Çelik, S., Kabul, A., “Parabolik güneş kolektörlü organik rankine çevriminin Enerji ve ekserji analizi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 25(4), 410-416 (2019).
42. Deniz, S., “Magnezyum klorür tabakalı güneş havuzunun enerji ve ekserji veriminin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi* (2012).
43. Duffie, J.A. And Beckman, W.A.,” Solar engineering of thermal processes” *4th Eds. John Wiley and Sons*, New York (2013).
44. Erden, M., “Hidorjen enerjisi üretmek için güneş kolektörleri ile entegre bir güneş havuzunun performansının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi* (2014).
45. Güven, P., “Experimental and numerical analysis of A salt gradient solar pond”, Master Thesis, Middle *East Technical University* (2018).
46. Husain, M., Patil, S.R., Patil, P.S., Samdarshi, S.K., “Computer simulation of salt gradient solar pond’s thermal behaviour”, *Renewable Energy*, 28, 5, 769–802 (2003).
47. Hull, J. R., *Physics Of The Solar Pond*, 96-99 (1979).
48. Kayfeci, M., *Alternatif Enerji Kaynakları Ders Notu* (2011).
49. Koçer, A. A., “Elektrik üretimi için güneş havuzu destekli çoklu üretim

sisteminin termodinamik analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi* (2013).

50. Kurt, H., Deniz, E., Özkaymak M., “Üre ve boraks çözeltili güneş havuzlarının ısı depolama karakteristiklerinin deneysel olarak incelenmesi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Sayı 3, 449-455 (2005).
51. Mantar, S., “Yalıtımlı silindirik model bir güneş havuzunun matematiksel modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi* (2010).
52. Singh, B., Tan, L., Date, A., Akbarzadeh, A., “Power generation from salinity gradient solar pond using thermoelectric generators for renewable energy application”, *IEEE International Conference on Power and Energy PECon*, (2012).
53. Yaakob Y., Date A., Akbarzadeh A., “Heat extraction from gradient layer using external heat exchangers to enhance the overall efficiency of solar ponds, *IEEE First Conference on Clean Energy and Technology CET* (2011)

ÖZGEÇMİŞ

Ayşe Nur AYDIN ÇAKIR ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Mustafa Şeker Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Raylı Sistemler Mühendisliği lisans öğrenimine başladı ve 2019 yılında mezun oldu. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD (Ana Bilim Dalında) yüksek lisans öğrencisi olarak öğrenimine başladı. 2023 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı.