KARIŞTIRICI TANKLARDA ISI TRANSFERİNİN SAYISAL VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Mert CESUR

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARIŞTIRICI TANKLARDA ISI TRANSFERİNİN SAYISAL VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Mert CESUR
ORC-ID: 0000-0003-0653-5631

Doç. Dr. Gökhan SEVİLGEN
ORC-ID: 0000-0002-7746-2014
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARIŞTIRICI TANKLARDA ISI TRANSFERİNİN
SAYISAL VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Mert CESUR

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Gökhan SEVİLGEN

Bu çalışmada, bir ısı değiştirici türü olan ceketli tip karıştırma tankında gerçekleşen ısı transferi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan deneylerdeki başlangıç koşulları, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizinde başlangıç sınır şartı olarak kullanılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Tüm deneylerde tank içerisindeki suyun sıcaklığı ceket içerisindeki suya göre daha soğuk olarak alınmıştır. Bu sayede ısı transferinin ceketten tanka doğru gerçekleşmesi amaçlanmıştır. Deneylerde kullanılan su çeşme suyudur. Ceket suyu giriş sıcaklığı olarak üç farklı sıcaklık değeri ele alınmıştır. Her sıcaklık değeri için üç farklı ceket suyu hacimsel debisi ile deney yapılmıştır. Bu sayede ceket suyu hacimsel debisinin ısı transferine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Daha sonra deneylere karıştırıcı olarak üç kanatlı pervane eklenerek, pervanenin ısı transferine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre hacimsel debinin artışı ve pervanenin deneylere eklenmesi ısı transferinde olumlu bir etkiye sahiptir. Hacimsel debinin artışı ve deneylere pervane eklenmesiyle ısı transferi artmış ve tank içerisindeki suyun ceket suyu sıcaklığına ulaşma süresi azalmıştır. Deney verileri ile HAD analizi sonuçları karşılaştırılması yapılmıştır. Deney verileri ile HAD sonuçlarının örtüştüğü sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı değiştiricisi, karıştırma tankı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, ısı transferi

ABSTRACT

MSc Thesis

THE NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER IN STIRRED TANK

Mert CESUR

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gökhan SEVİLGEN

In this study, heat transfer in a jacketed mixing tank, which is a type of heat exchanger, was investigated experimentally and numerically. The initial conditions in the experiments were used as the initial boundary condition in the Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis and the results were compared with the experimental data. In all experiments, the temperature of the water in the tank was taken as colder than the water in the jacket. In this way, it is aimed to realize the heat transfer from the jacket to the tank. The water used in the experiments is tap water. Three different temperature values were considered as jacket water inlet temperature. Three different jacket water volumetric flow rates were tested for each temperature value. In this way, it is aimed to examine the effect of volumetric flow rate of jacket water on heat transfer. Afterwards, it was aimed to examine the effect of the propeller on heat transfer by adding a three-bladed propeller as a mixer to the experiments. According to the data obtained from the test results, the increase in the volumetric flow rate and the addition of the impeller to the tests have a positive effect on the heat transfer. With the increase in volumetric flow and the addition of a propeller to the experiments, the heat transfer increased and the time for the water in the tank to reach the jacket water temperature decreased. A comparison of the experimental data with the CFD analysis results was made. It was concluded that the experimental data and CFD results overlapped.

Key Words: Heat exchanger, mixing tank, computational fluid Dynamics, heat transfer

TEŞEKKÜR

Karıştırıcı tanklarda ısı transferinin sayısal ve deneysel incelenmesi adlı yüksek lisans tez çalışmamda verdiği bilgilerle bana yol gösteren ve her konuda yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Sayın Gökhan SEVİLGEN' e ve hayatım boyunca bana desteklerini esirgemeyen aileme ve her zaman yanımda olduğunu hissettiğim kız arkadaşım Selin SELÇUK'a bir teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....i
ABSTRACT.....ii
TEŞEKKÜR.....iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....viii
1.GİRİŞ.....1
2. KAYNAK ÖZETLERİ (KURAMSAL TEMELLER/GENEL BİLGİLER).....4
2.1. Isı Transfer Türüne Göre Isı Değiştiriciler.....4
2.2. Akış Karakteristiklerine Göre Isı Değiştiriciler.....5
2.3. Akışkan Sayısına Göre Isı Değiştiriciler.....7
2.4. Yapısal Özelliklerine Göre Isı Değiştiriciler.....7
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....15
3.1.HAD Yaklaşımı ile Ceketli Isı Değiştiricisi Modellenmesi.....15
3.1.1.Bilgisayar destekli tasarım modelinin oluşturulması.....16
3.1.2. Su ceketli ısı değiştiricisi için çözüm ağı yapısının oluşturulması.....18
3.1.3. Pervane Etrafındaki Akışkanın Hareketinin Modellenmesi.....19
3.1.4. Fiziksel model ve sınır şartlarının belirlenmesi.....22
3.1.5. Sonuçların değerlendirilmesi için tanımlanan düzlemler.....24
3.1.6. Sayısal sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması.....25
3.2. Deneysel Çalışmaların Yapılması.....27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....31
4.1. Deneysel Çalışmaların Sonuçları.....31
4.2. HAD Analizi Sonuçları.....36
5.SONUÇ.....42
KAYNAKLAR.....44
ÖZGEÇMİŞ.....46

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$\vec{w}$	Açısal hız [rad/s]
$\vec{v_r}$	Bağıl hız [m/s]
P	Basınç [Pa]
S_e	Enerji kaynak terimi
$\vec{V}$	Hız vektörü [m/s]
$\dot{Q}$	Isı enerjisi [watt]
$\vec{r}$	Konum vektörü
S_m	Kütle kaynak terimi
$\dot{m}$	Kütlesel debi [kg/s]
S_M	Momentum kaynak terimi
v_r	Mutlak hız [m/s]
c	Özgül ısı [J/(kg°C)]
ΔT	Sıcaklık farkı [°C]
ϕ	Skaler bir miktar
ρ	Yoğunluk [kg/m^3]
$\vec{A}$	Yüzey alanı vektörü [m^2]
Γ_ϕ	ϕ için difüzyon katsayısı
S_ϕ	ϕ kaynak terimi

Kısaltmalar	Açıklama
CFD	Computational Fluid Dynamics
FBDT	Flat Blade Disc Turbine
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
PBT	Pitched-Blade Turbine

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Isı transfer türüne göre ısı değiştiricilerin sınıflandırılması……	4
Şekil 2.2.	Doğrudan temaslı olmayan ısı değiştiricilerinde gerçekleşen ısı transferi (G.U.N.T., 2018), 1) Sıcaklık profili, 2) Isı akışı, d-Bölme kalınlığı, T-Sıcaklık, L-Akışkanın aldığı yol……...	5
Şekil 2.3.	Akış şekillerine göre ısı değiştiricilerin sınıflandırılması……...	5
Şekil 2.4.	Akış karakteristiklerinin şematik gösterimi (G.U.N.T., 2018), (1) Paralel aynı yönlü akış, (2) Paralel zıt yönlü akış, (3) Çapraz (dik) akış, (4) Çok yönlü akış……..	6
Şekil 2.5.	Akış karakteristiklerine göre sıcaklık-uzunluk grafikleri (G.U.N.T., 2018), A) Paralel aynı yönlü akış, B) Paralel zıt yönlü akış, C) Çapraz (dik) akış……	6
Şekil 2.6.	Akışkan sayısına göre ısı değiştiricilerin sınıflandırılması…….	7
Şekil 2.7.	Yapısal özelliklerine göre ısı değiştiricilerin sınıflandırılması……...	7
Şekil 2.8.	Çift borulu ısı değiştiricisinin şematik Gösterimi (G.U.N.T., 2018), 1) Dış boru, 2) İç boru…….	8
Şekil 2.9.	Gövde boru tipi ısı değiştiricisi şematik gösterimi (G.U.N.T., 2018), 1-3) Borular veya boru demeti, 2-4) Gövde……	8
Şekil 2.10.	Plakalı tip ısı değiştiricisi şematik gösterimi (G.U.N.T., 2018) 1) Soğuk akışkan, 2) Sıcak akışkan…….	9
Şekil 2.11.	Rejeneratif ısı değiştiricisinin şematik gösterimi (G.U.N.T., 2018), Faz 1: 1-depolama alanı, 2-sıcak gaz akışkan Faz 2: 3-soğuk gaz akışkan…….	9
Şekil 2.12.	Ceketli tip ve helisel bobini tip ısı değiştiricisi şematik gösterimi (G.U.N.T., 2018). a) Ceketli tip ısı değiştiricisi, b) Helisel bobinli ısı değiştirici, 1) Ceket, 2) Karıştırıcı, 3) Helisel bobin……..	10
Şekil 3.1.	HAD akış şeması…….	15
Şekil 3.2.	Modellenen ceketli-karıştırıcılı ısı değiştiricisi……...	16
Şekil 3.3.	Pervane, A-Pervanenin simetrik görünüşü, B-Pervane üstten görünüşü……..	16
Şekil 3.4.	Ceketli-karıştırıcılı ısı değiştiricisi teknik resmi (mm)……...	17
Şekil 3.5.	Çözüm ağı türleri (ANSYS, 2013)……..	18
Şekil 3.6.	Uygulanan çözüm ağı yapısı yapısı…….	19
Şekil 3.7.	Dönme hareketi yapan katı cisim etrafındaki akışın modellenmesi (ANSYS, 2013)……...	20
Şekil 3.8.	Karıştırma tanklarında karıştırıcı etrafına modellenen kafes (ANSYS, 2013)……...	20
Şekil 3.9.	Pervane çevresine oluşturulan kafes……...	21
Şekil 3.10.	Sabit ve döner koordinat sistemleri (ANSYS, 2013)……..	21
Şekil 3.11.	Y eksenine dik oluşturulan düzlemler…….	24
Şekil 3.12.	Y eksenine dik oluşturulan düzlemler…….	25
Şekil 3.13.	X eksenine dik olarak oluşturulan düzlem……..	25
Şekil 3.14.	HAD analizinin sayısal verilerinin alındığı nokta……...	26
Şekil 3.15.	Tank içerisindeki suyun sıcaklık verilerinin okunduğu sıcaklık sensörü…….	26
Şekil 3.16.	Ana ünite…….	27

Şekil 3.17. Ceketli ve Bobinli, Karıştırıcılı Isı Değiştiricisi……. 28
Şekil 3.18. Isı Değiştiricisi Parçaları……. 28
Şekil 3.19. Isı değiştiricisi şematik gösterim (G.U.N.T., 2018), a) Ceketli-karıştırıcılı ısı değiştiricisi, b) Helisel bobinli-karıştırıcılı ısı değiştiricisi, 1) Ceket, 2) Karıştırıcı, 3) Helisel bobin……... 29
Şekil 4.1. 30°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 0.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği……... 33
Şekil 4.2. 30°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 1.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği……... 34
Şekil 4.3. 30°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 2.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği……... 34
Şekil 4.4. 40°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 0.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği……... 34
Şekil 4.5. 40°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 1.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği……... 35
Şekil 4.6. 40°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 2.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği……... 35
Şekil 4.7. 50°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 0.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği……... 35
Şekil 4.8. 50°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 1.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği……... 36
Şekil 4.9. 50°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 2.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği……... 36
Şekil 4.10. Y0 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen hız (m/s) dağılımı…….. 37
Şekil 4.11. Y1 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen hız (m/s) dağılımı…….. 37
Şekil 4.12. Y2 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen hız (m/s) dağılımı…….. 38
Şekil 4.13. Y3 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen hız (m/s) dağılımı…….. 38
Şekil 4.14. Y4 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen hız (m/s) dağılımı…….. 39
Şekil 4.15. X0 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen hız (m/s) dağılımı…….. 39
Şekil 4.16. Sayısal hesaplamalar sonucunda P0 noktası için elde edilen sıcaklık değerlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması…….. 40
Şekil 4.17. Y2 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen sıcaklık (°C) dağılımı…….. 41
Şekil 4.18. X0 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen sıcaklık (°C) dağılımı…….. 41

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 3.1.	Çözücü ayarları ve sınır şartları	23
Çizelge 3.2.	Sıcaklık sensörünün özellikleri	26
Çizelge 3.3.	Deney Planı	30
Çizelge 4.1.	Ceket suyu giriş sıcaklığı 30°C / Pervanesiz deney sonuçları	31
Çizelge 4.2.	Ceket suyu giriş sıcaklığı 30°C / Pervaneli deney sonuçları	31
Çizelge 4.3.	Ceket suyu giriş sıcaklığı 40°C / Pervanesiz deney sonuçları	32
Çizelge 4.4.	Ceket suyu giriş sıcaklığı 40°C / Pervaneli deney sonuçları	32
Çizelge 4.5.	Ceket suyu giriş sıcaklığı 50°C / Pervanesiz deney sonuçları	32
Çizelge 4.6.	Ceket suyu giriş sıcaklığı 50°C / Pervaneli deney sonuçları	32

1.GİRİŞ

Isı değiştiriciler, iki veya daha fazla akışkan arasında ısı transferi gerçekleştirmek için kullanılan cihazlar. Isı değiştiricilerinde akışkanlar genellikle birbirleri ile temas etmezler fakat bazı ısı değiştiricilerinin tasarımları gereği sıvıların sıcaklıkları gazlar yardımıyla da değiştirilebilmektedir. Bu tarz ısı değiştiricilerinde ısı transferi doğrudan gerçekleşirken, akışkanların birbirleriyle karışmadığı tasarımlarda ısı transferi dolaylı yolla gerçekleşmektedir. Isı değiştiriciler ısıtma veya soğutma amaçlı kullanılabilir. Sıcak akışkanın sıcaklığını azaltmak için veya soğuk akışkanın sıcaklığını arttırmak için ısı değiştiriciler farklı amaçlarla sistemlere uygulanabilir. Bu yüzden ısı değiştiricileri arasında farklı tasarımlar oluşturulmuştur. En temel tasarımlar boru tipi ısı değiştirici, plakalı tip ısı değiştiricisi, gövde boru tipi ısı değiştiricisi ve ceketli tip ısı değiştiricisidir.

Ceketli tip ısı değiştiricilerde sıcaklık, karıştırma tankına ilave edilen bobin veya ceket ile kontrol edilir. Bu bobin ve ceket uygulamaları, farklı viskozite değerlerine sahip akışkanlar için farklı güç tüketimi, istenilen sıcaklık ve istenilen zamanda hız dağılımı elde etme kapasitesi vb. gibi özellikler açısından farklılık göstermektedir (Kakac, Liu ve Pramuanjaroenkij, 2012), (Lakghomi, Kolahchian, Jalali ve Farhadi, 2008).

Karıştırıcı tank denilince herkesin aklında benzer şeyler canlanır. Adından da anlaşılacağı üzerine içerisinde karışım yapılan tanklardır. Bu tanklar kullanılarak iki veya daha fazla farklı malzeme homojen veya heterojen olarak istenilen özellik ve oranlarda karıştırılabilir.

Karıştırıcı tanklar gıda, ilaç, kozmetik, petrokimya gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır (Kakac, Liu ve Pramuanjaroenkij, 2012), (Lakghomi, Kolahchian, Jalali ve Farhadi, 2008). Kullanılan alana göre karıştırıcı tankın özellikleri de değişmektedir. Buna göre karıştırıcı tankların tasarımı birçok farklı parametreye göre değişebilir. Tasarımdaki en önemli kıstas karışımın istenilen özelliklere en kısa sürede ulaşmasıdır. Karıştırılacak malzemeler göz önünde bulundurularak en kısa sürede istenilen karışım elde edilmesi istenilir. Bu yüzden farklı amaçlara hizmet eden karıştırıcı tank tasarımları yapılmıştır.

Karıştırılacak malzemelerin miktarlarına uygun tank boyutları tasarlanabilir. Karışım malzemelerinin yoğunlukları baz alınarak karıştırıcıya hareket sağlayan tahrik gücü hesaplanabilir. Karışımın homojen olması istendiğinde uygun karıştırıcı tipleri (örneğin; pervane, çapa, türbin, düz kanatçık) seçilebilir. Karıştırıcılar bir bütün olarak genellikle elektrik motoru, şaft ve çark(lar)dan oluşur ve tankın ısıl performansı farklı çark tipleri kullanılarak değiştirilebilir (Rezend, 1996). Tank ve karıştırıcı mekanizması karıştırma tanklarının temelini oluşturur. Bu iki parçanın geliştirilmesiyle karıştırma tankları çok farklı alanlarda kullanılır hale gelmişlerdir.

Karıştırma tanklarının ısıl performansını ve işlem süresini etkileyen tasarım parametreleri; çark kenarı ile tankın tabanı arasındaki mesafe, karıştırıcı(lar)ın yeri ve çark sayısı, ceket duvarının kalınlığı, bobinin boru çapı, bobin eğrilik yarıçapı, bobin adım mesafesi vb. Isıl performansı ve işlem süresini etkileyen işlem parametreleri de vardır ve bunlar karıştırıcının dönme hızı, kütle akış hızı, sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki sıcaklık farkı vb.dir (Rezend, 1996), (Sharafan, 2015).

Diğer bir tasarım parametresi olan ve tankın iç çeperlerine eklenen akım kırıcılar ile karıştırma sırasında girdap oluşumunun önüne geçilebilir. Karıştırma tanklarının ısıl performansı ve işlem süresi, karıştırma tanklarının helisel veya ceket uygulamaları dışında akış yönünü değiştiren ve karıştırıcı etrafındaki girdapları kıran akım kırıcılar etkilenir (Missen, Mims ve Saville, 1999), (Rezend, 1996).

Eğer karşımın oluşmasında sıcaklık bir kıstas ise ısıtmalı veya soğutmalı tank tasarımları yapılabilir. Karıştırıcıların şekilleri, tank içerinde duruş açıları, hızları değiştirilerek karışımın en kısa sürede homojen hale gelmesi sağlanabilir.

Karıştırıcı tankların kullanım alanlarının artmasıyla bu tanklardaki ısı transferi de önemli bir hal almıştır. Tasarımlarda yapılan değişikliklerle ısı transferinde iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Farklı amaca hizmet eden farklı karıştırma tank tasarımları yapılmıştır. Bunlar ceketli-karıştırıcılı ısı değiştirici tanklar, helisel bobinli-karıştırıcılı ısı değiştirici tanklar, spiral bobinli-karıştırıcılı ısı değiştirici tanklardır.

Ceketli ısı değiştirici tanklarda, ısı transferi için kullanılan akışkan tank yüzeyi ile ceket arasında dolaşmaktadır. Tank yüzeyleri ısı transfer yüzeyleridir yani ısı kaynağıdır. Bu nedenle ısı transferi verimsiz ve büyük yapılar için bu bir tasarım problemidir. Fakat temizlik kolaylığı açısından birçok alan kullanılmaya devam etmektedir (Da Silva Rosa ve De Moraes Junior, 2017).

Helisel bobinli ısı değiştirici tanklarda, helisel bobinler, karıştırıcı ve tank yüzeyi arasında tank boyunca konumlandırılır. Helisel bobinli, karışım ile daha homojen ve fazla temas ettiğinden ısı transferi ceketli tip tanklara göre daha iyidir. Tek dezavantajı temizliğin zor oluşudur (Da Silva Rosa ve De Moraes Junior, 2017).

Spiral bobinli ısı değiştirici tanklarda, spiral bobinler genellikle tank tabanına konumlandırılır. Konumu gereği ısı transferi homojen olarak gerçekleşmeyeceği için verimsizdir (Da Silva Rosa ve De Moraes Junior, 2017).

Bu tanklarda kullanılan karıştırıcılar, karışımda girdap oluşumuna neden olmaktadır. Girdap karıştırma etkinliğinde istenmeyen bir olaydır. Çünkü girdap ile birlikte oluşan dairesel ve organize akış hatları karşımın ve ısı transferinin verimsizliğine neden olur. Tank iç yüzeylerine eklenen akım kırıcı yüzeyler ile girdapların oluşumu engellenmeye çalışılır (Da Silva Rosa ve De Moraes Junior, 2017).

2. KAYNAK ÖZETLERİ (KURAMSAL TEMELLER/GENEL BİLGİLER)

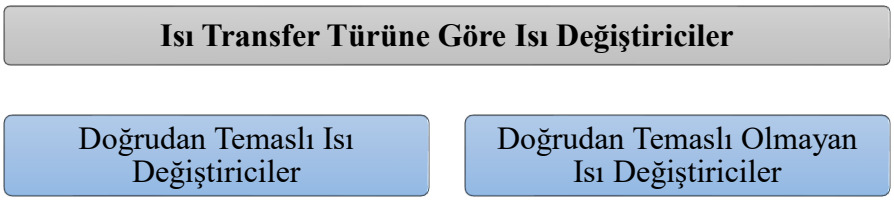
Isı değiştiricilerin kullanım amaçlarına göre farklı tasarımları mevcuttur. Bu tasarımlar birçok parametreye göre sınıflandırılabilir. Isı değiştiriciler kullanım amaçları göz önünde bulundurularak; ısı değişim şekline, akışkan sayısına, yapısal özelliklerine, akış şekillerine göre sınıflandırılırlar (Kaçar ve Erbay, 2013).

2.1. Isı Transfer Türüne Göre Isı Değiştiriciler

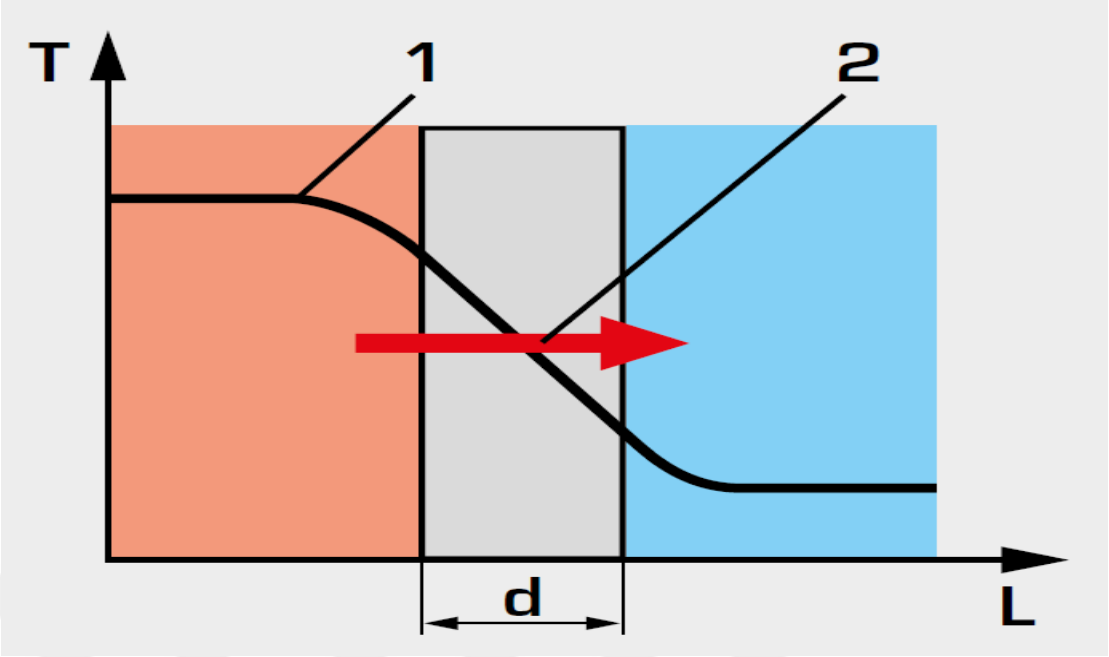
Isı transfer türüne göre ısı değiştiriciler, doğrudan temaslı ısı değiştirici ve doğrudan temas olmayan ısı değiştirici olarak ikiye ayrılır (G.U.N.T., 2018).

Doğrudan temaslı ısı değiştiricilerinde birbirleriyle karışmayan sıvılar, gaz-sıvı akışkanlar ve sıvı-buhar akışkanlar kullanılır. Akışkanlar, ısı değiştiricilerde doğrudan temasta bulunur, ısı transferi gerçekleşir ve tekrar ayrışırlar. Bu tip ısı değiştiricilerinde ısı transferiyle beraber kütle transferi de gerçekleşir (Kaçar ve Erbay, 2013).

Doğrudan temaslı olmayan ısı değiştiricilerde; akışkanlar birbirlerine temas etmeden farklı bölümlerde hareket ederler ve sızdırmaz ayrıcı yüzey (bölme, duvar) ile kesintisiz ısı transferi gerçekleşir. Bu tarz ısı değiştiricilerinde önce sıcak akışkandan ayırıcı yüzeye ısı transferi gerçekleşir. Bu ayırıcı yüzeyin sıcaklığının artmasıyla birlikte ayırıcı yüzeyden soğuk akışkana ısı transferi başlar (Kaçar ve Erbay, 2013), (G.U.N.T., 2018). Bu tip ısı değiştiricilerinin diğer bir adı da yüzey ısı değiştiricisidir (Kaçar ve Erbay, 2013).



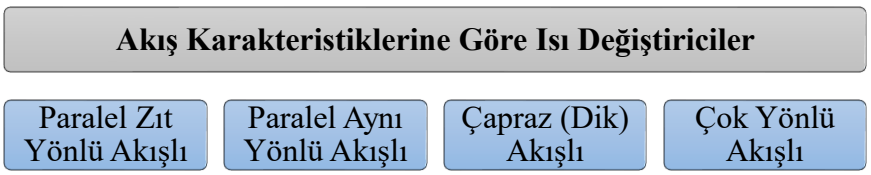
Şekil 2.1. Isı transfer türüne göre ısı değiştiricilerin sınıflandırılması



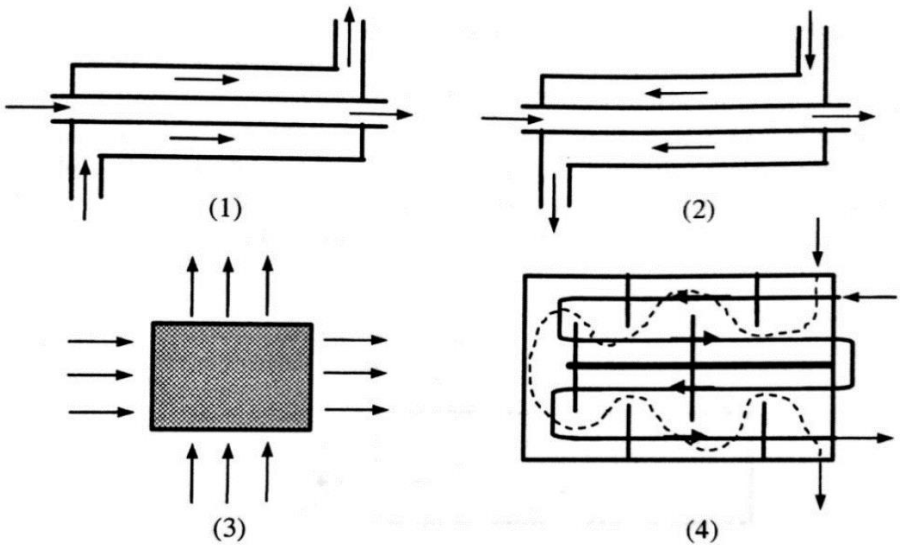
Şekil 2.2. Doğrudan temaslı olmayan ısı değiştiricilerinde gerçekleşen ısı transferi (G.U.N.T., 2018), 1) Sıcaklık profili, 2) Isı akışı, d-Bölme kalınlığı, T-Sıcaklık, L-Akışkanın aldığı yol

2.2. Akış Karakteristiklerine Göre Isı Değiştiriciler

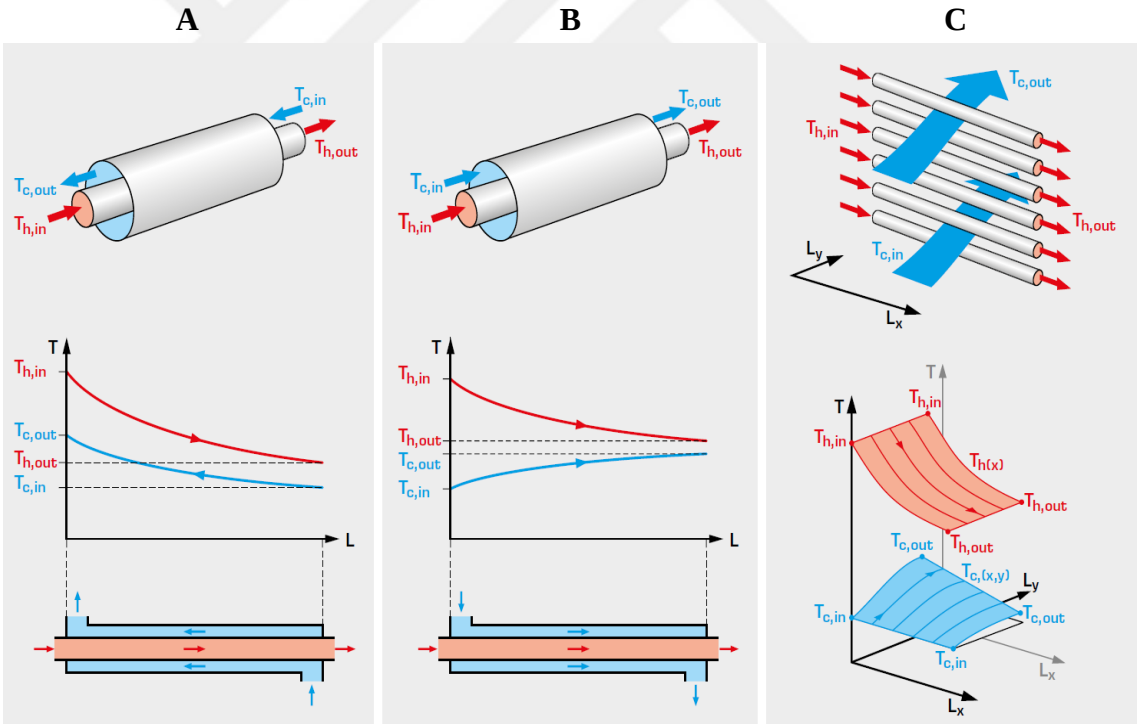
Akış karakteristiklerine göre ısı değiştiriciler paralel zıt yönlü akışlı, paralel aynı yönlü akışlı, çapraz (dik) akışlı ve çok yönlü akışlı olmak üzere dörde ayrılır (G.U.N.T., 2018). Termodinamik açıdan paralel zıt yönlü akış diğer akış karakteristiklerine göre daha üstündür (Kaçar ve Erbay, 2013). Sevilgen ve Bayram (2020), yaptıkları deneysel ve sayısal çalışmalarda paralel aynı yönlü ve paralel zıt yönlü akışların karşılaştırmalarını yapmış ve paralel zıt yönlü akışın tüm durumlar için paralel aynı yönlü akıştan daha üstün olduğu sonucuna ulaşmışlardır.



Şekil 2.3. Akış şekillerine göre ısı değiştiricilerin sınıflandırılması



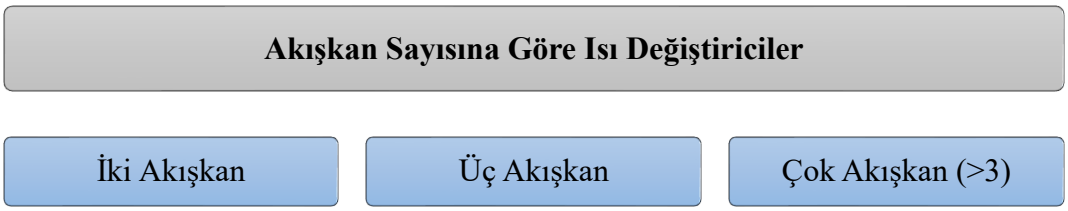
Şekil 2.4. Akış karakteristiklerinin şematik gösterimi (G.U.N.T., 2018), (1) Paralel aynı yönlü akış, (2) Paralel zıt yönlü akış, (3) Çapraz (dik) akış, (4) Çok yönlü akış



Şekil 2.5. Akış karakteristiklerine göre sıcaklık-uzunluk grafikleri (G.U.N.T., 2018), A) Paralel aynı yönlü akış, B) Paralel zıt yönlü akış, C) Çapraz (dik) akış

2.3. Akışkan Sayısına Göre Isı Değiştiriciler

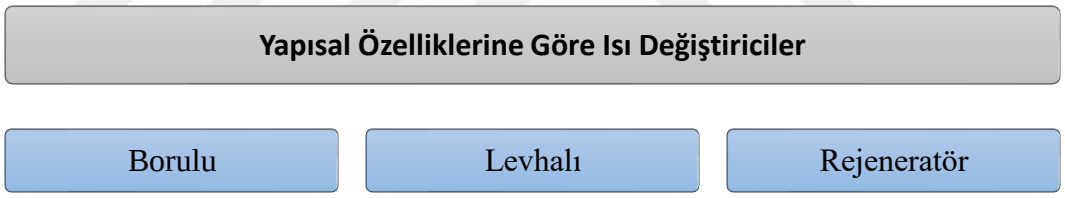
Isı değiştiricilerinde genellikle iki farklı akışkan arasında ısı transferi gerçekleşir. Bazı kimyasal işlemler için üç farklı akışkan kullanılırken, akışkan sayısı 12'ye kadar çıkabilmektedir (Kaçar ve Erbay, 2013).



Şekil 2.6. Akışkan sayısına göre ısı değiştiricilerin sınıflandırılması

2.4. Yapısal Özelliklerine Göre Isı Değiştiriciler

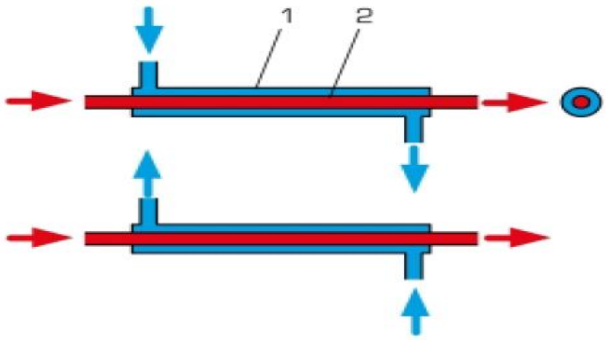
Yapısal özelliklerine göre sınıflandırılan bu ısı değiştiriciler doğrudan ısı teması olmayan ısı değiştiricilerdir. Bu ısı değiştiriciler temelde borulu ısı değiştirici, levhalı ısı değiştirici ve rejeneratörler olarak üçe ayrılır (Kaçar ve Erbay, 2013).



Şekil 2.7. Yapısal özelliklerine göre ısı değiştiricilerin sınıflandırılması

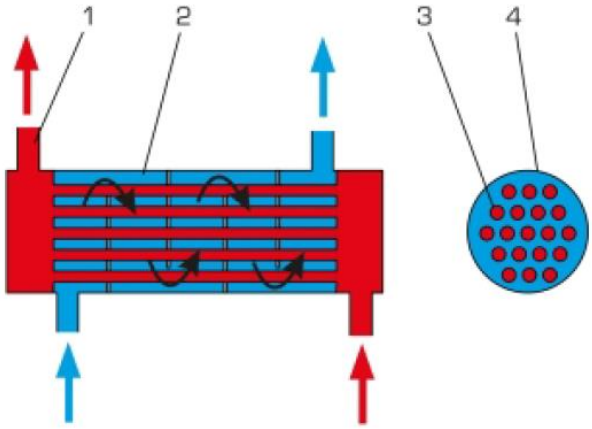
Borulu tip ısı değiştiricilerinde boruların şekli, kalınlığı, uzunluğu ve yerleşimi gibi tasarım parametreleri ısı değiştiricisi tasarımlarını kolaylaştırdığı için projelendirme kısmında sıklıkla tercih edilir. Ayrıca bu tip ısı değiştiriciler aralarında yüksek basınç farkı bulunduran akışkanlar için tasarlanır (Kaçar ve Erbay, 2013), (G.U.N.T., 2018).

Çift borulu ısı değiştiriciler iç içe geçmiş iki borudan oluşur. Akışkanlardan biri içteki boruda hareket ederken diğer akışkan iki boru arasında hareket eder. Uygulanacak alana göre sıcak ve soğuk akışkanın dolaşım yerleri değiştirilebilir.



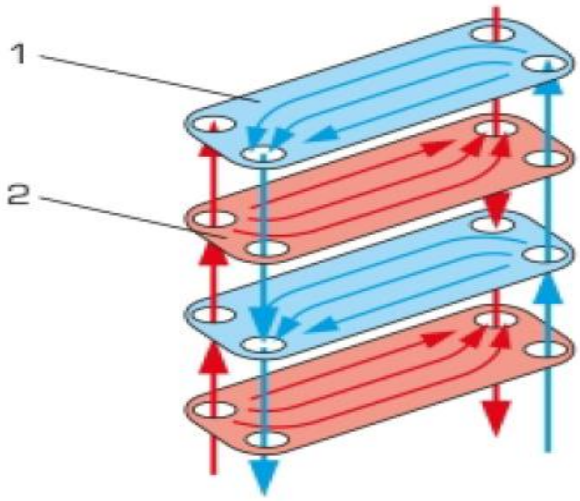
Şekil 2.8. Çift borulu ısı değiştiricisinin şematik Gösterimi (G.U.N.T., 2018),
1) Dış boru, 2) İç boru

Gövde boru tipi ısı değiştiricilerinde borular veya boru demeti bir gövde içerisine konumlandırılmıştır. Gövde içerisine farklı tasarımlarda bölmeler eklenebilir. Bu bölme tasarımları ile ısı transferinde artış ve gövde içerisindeki basınçta azalış elde edilmektedir (Sevilgen ve Bayram, 2018).



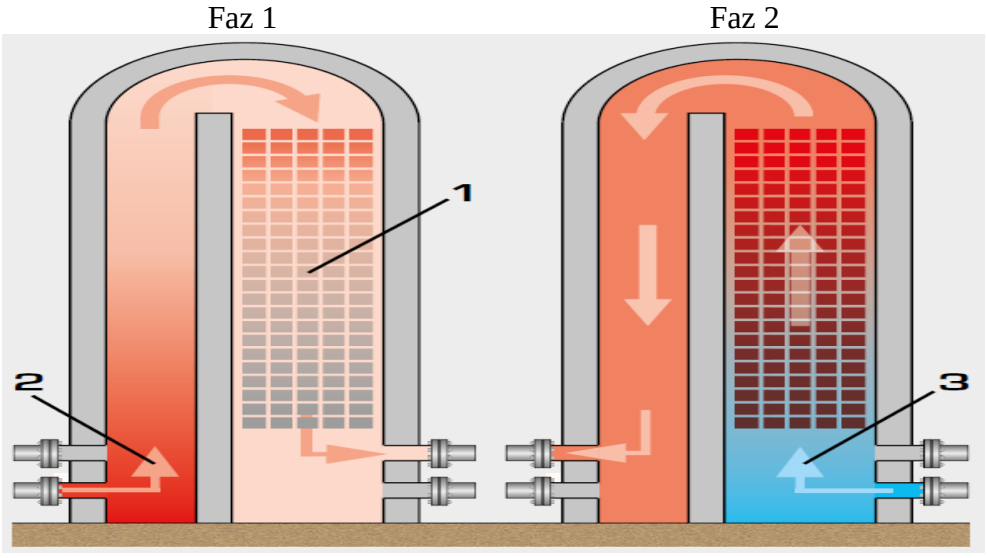
Şekil 2.9. Gövde boru tipi ısı değiştiricisi şematik gösterimi (G.U.N.T., 2018),
1-3) Borular veya boru demeti, 2-4) Gövde

Plakalı tip ısı değiştiricileri, ince levhalar kullanılarak imal edilirler. Bu levhalar ısı geçişlerinin gerçekleştiği yerlerdir ve düz veya girintili-çıkıntılı olabilirler. Borulu tip ısı değiştiricilerine bakış yüksek basınca, sıcaklığa, yüksek sıcaklık ve basınç farkına dayanıksızdırlar (Kaçar ve Erbay, 2013).



Şekil 2.10. Plakalı tip ısı değiştiricisi şematik gösterimi (G.U.N.T., 2018),
1) Soğuk akışkan, 2) Sıcak akışkan

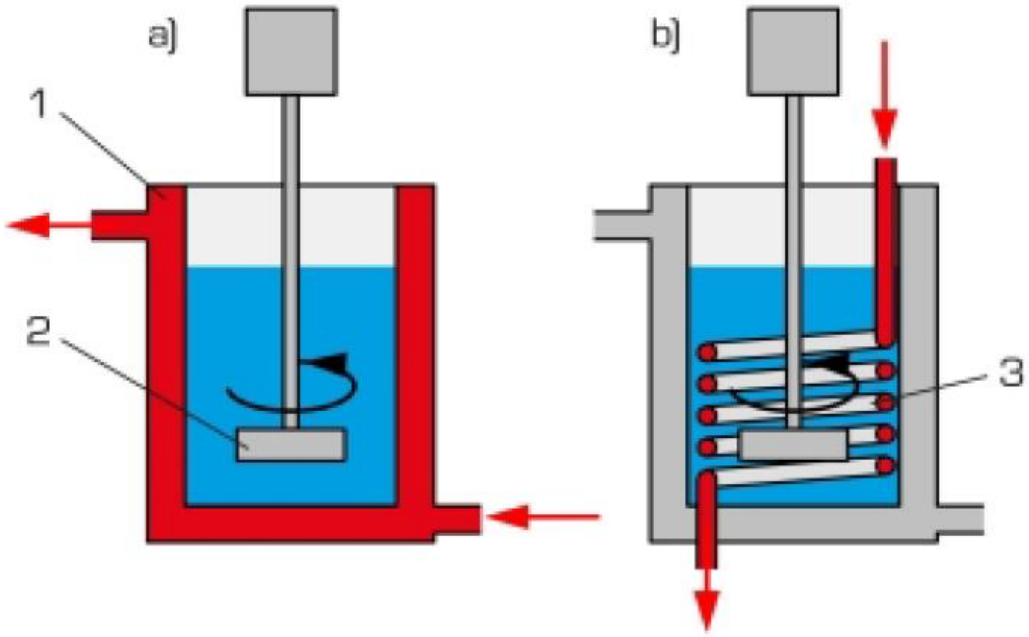
Rejeneratör tip ısı değiştiriciler, depolama tip ısı değiştiricilerdir. Bu tip ısı değiştiriciler sıcak akışkan vasıtasıyla ısıyı önce bir bölgede depolar, sonrasında depolanan bu ısı soğuk akışkana verilir. Isı dolgu maddesi veya mastris adı verilen gözenekli elemanlarda toplanır. İlk yatırım maliyetinin diğer sistemlere göre daha düşük oluşu, sistemin kendi kendini temizlemesi ve sistemin kompakt oluşu yönlerinden avantajlı, sistemde sadece gaz akışkanların kullanılması, akışkanlar arasında kaçak olması yönlerinden dezavantajlıdır.



Şekil 2.11. Rejeneratif ısı değiştiricisinin şematik gösterimi (G.U.N.T., 2018),
Faz 1: 1-depolama alanı, 2-sıcak gaz akışkan, Faz 2: 3-soğuk gaz akışkan

Helisel bobinli ısı değiştiriciler, bir gövde içerisine, gövde içerisindeki akışkanın ısıtılması ve soğutulması amaçlanarak konumlandırılırlar. Bu tip ısı değiştiricilerinde termal genleşmenin sorun yaratmaması avantaj iken, helisel bobinlerin temizliğinin zor olması dezavantajdır (Kaçar ve Erbay, 2013). Bu gövde içerisindeki akışkan durağan olabileceği gibi hareketli de olabilir. Bu gövde farklı amaçlarla tasarlanmış bir akışkan deposu veya tankı da olabilir.

Bu tarz depo veya tank tasarımlarında helisel bobinli ısı değiştiricileri kullanıldığı gibi ceket tipi ısı değiştiricileri de kullanılabilmektedir. Yapılacak kimyasal işleme göre ceketli tip ısı değiştirici veya helisel bobinli ısı değiştirici tercih edilir ve bu tarz tanklarda karıştırıcı kullanılabilir (G.U.N.T., 2018).



Şekil 2.12. Ceketli tip ve helisel bobini tip ısı değiştiricisi şematik gösterimi (G.U.N.T., 2018), a) Ceketli tip ısı değiştiricisi, b) Helisel bobinli ısı değiştirici, 1) Ceket, 2) Karıştırıcı, 3) Helisel bobin

Isı transferi ve karışım oluşumu hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların ana nedenleri ısı transferini hızlandırarak karşımın homojen oluşmasını ve bu oluşumun en kısa sürede meydana gelmesidir. Bu iki neden için araştırmacılar farklı parametreleri inceleyip literatüre katkı sağlamışlardır.

Silva Rosa ve Moraes Junior (2017), yaptıkları çalışmada karıştırma tanklarının tasarımı hakkında genel bilgi vermişlerdir. Daha çok tankların ısı transfer yüzeylerinin tasarımı üzerinde durmuşlardır. Yaptıkları çalışmada tasarım parametrelerini birçok yönden ele almışlardır.

Cui, Zhang, Li, Yang ve Guan (2018), pbt (pitched-blade türbine) adını verdikleri karıştırıcının parametrelerini değiştirerek en optimum kombinasyonu deneysel ve CFD ortamında araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalara göre sırasıyla pervane çapı karıştırma süresine en fazla etkiye sahiptir. Pervane çapını sırasıyla boşaltma açısı ve kanat genişliği takip etmektedir.

Delgado, Lázaro, Mazo, Peñalosa, Marín ve Zalba (2017), düşük maliyetli faz değişim malzemesi emülsiyonu ve karıştırma tankı kullanılarak ısı transfer katsayısı ve hacimsel enerji yoğunluğu değişiklikleri üzerinde çalışmışlardır. Yaptıkları deneylerde kullandıkları tank helisel bobinden su geçirilerek ısıtılmış ve tank içerisinde karıştırıcı olarak üç kanatlı pervane kullanmışlardır. Yaptıkları deneyler ile karıştırıcının 290-300 1/dk'da çalıştırmanın toplam ısı transferi katsayısını 3.5 ile 5.5 kat arasında arttırdığını sonucuna ulaşmışlardır.

Jassim (2016) yaptığı çalışmada bir kabın içerisindeki spirallerin yerleştirilme konumunun ve döngü uzunluğunun ısı transferine etkisin incelemiştir. Bulduğu sonuçlara göre kap içerisine dikey olarak yerleştirilmiş bobinler yatay yerleştirmeye göre ısı transferinde daha etkilidir. Ayrıca bobinlerin sarım sayıları arttıkça ısı transferi artmaktadır.

Alimoradi (2017), ceketli ve helisel bobinli ısı değiştiriciler üzerinde yaptığı çalışmada operasyonel ve geometrik parametrelerin enerji verimliliği üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Isı değiştiricinin enerji verimliliğini hesaplamak için bir korelasyon önermiştir.

Kharat, Bhardwaj ve Jha (2019) eş merkezli sarmal bobinlerden oluşan eşanjör için korelasyon geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri denklemde en önemli iki parametre bobin boşluğu ve boru çapıdır. Bobin boşluğu arttıkça ısı transfer katsayısı azalmaktadır. Diğer parametreye bakıldığında boru çapı arttığında ısı transfer kat sayısının da artığı gözlemlenmiştir. Fakat bu beklenen bir sonuç değildir. Bunun nedeni boru çapı arttığında bobin boşluğunun azalmasıdır. Yapılan düzeltmelerle birlikte bobin boşluğu sabit tutulup boru çapı arttırılmış ve ısı transfer katsayısının düştüğü gözlemlenmiştir.

Peixoto ve Nunhez (1999) karıştırma tanklarındaki akışı etkileyen helisel bobin ile ilgili çalışmada, helisel bobinli tankı HAD yöntemi kullanılarak iyileştirmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre; helisel bobin, karıştırıcı ile hizalanmazsa, daha iyi sıvı sirkülasyonu olacaktır. Böylece karıştırma tankı içindeki ısı transferi iyileştirilebilir.

Lakghomi, Kolahchian, Jalali ve Farhadi (2008) helisel bobinli ve ceketli tanklardaki ısı transferini aynı karıştırıcı ekipmanı kullanarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalara göre; “Eğer tankın ortasından sıcaklık kontrolü yapılacak ise helisel bobinli tank seçimi daha uygundur.”, “Helisel bobinli tanklarda sıcaklık dağılımı daha homojendir ve bu durum daha yüksek bir ısı transfer katsayısına yol açar.”, “Helisel bobinli tanklarda karıştırıcı hareketi için daha fazla güç gereklidir.”, “Viskoz akışkanların karıştırılacağı durumlarda helisel bobinli tanklar tercih edilmez.” sonuçlarını elde etmişlerdir.

Jaimes ve Jose (2015) karıştırma tankları üzerinde yaptıkları bir çalışmada, HAD yöntemi kullanmışlar ve helisel bobinlerle ısıtılan karıştırma tankı için ısı translerinin tahmin etmişlerdir.

Major-Godlewska (2014) ceketli ve helisel bobinli tanklarda yaptığı çalışmada farklı karıştırıcıların ve karşımın özelliklerinin ısı transferine etkisini incelemiştir. Isı transferinin karıştırıcı şekline ve karışımın özelliklerine bağlı olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Prada ve Nunhez (2017), helisel bobinli karıştırma tanklarında Nusselt sayısını hesaplamak için sayısal yöntemler kullanarak bir korelasyon elde etmişlerdir. Sayısal hesaplamalardan elde edilen değerler, Olshue ve Gretton'ın çalışmasının deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda ortalama sapma değerinin %10,7 olduğu belirlenmiştir.

Debab, Chergui, Bekrentchir ve Bertrand (2011) ceketli tip karıştırma tankında Newtonian olmayan bir sıvının karıştırmanın deneysel olarak incelemesini yapmışlardır. Karıştırıcı çapının ve hızının, ceketli tank içerisinde akım kırıcı (baffles) olup olmamasının ısı transfer katsayısı üzerine etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri verilere göre d/D=0.6 çap oranına sahip Flat Blade Disc Turbine (FBDT) ve akım kırıcı kullanılan tank ısı transferi için en avantajlı olarak önerilmiştir.

Jaimes ve Nunhez (2015) helisel bobinli karıştırıcı tank için iki farklı deneysel çalışmayı hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanarak karşılaştırmışlardır. Oluşturdukları model ile elde ettikleri Nusselt Sayısı maksimum %15'lik bir değişiklik göstermiş ve deneysel olarak elde edilen korelasyonun öngördüğü değerler ile karşılaştırmışlardır. Çalışmaları sırasında ısı transferinin pervane hızının artmasıyla arttığı sonucuna ve pervane hizasında bulunan helisel bobinlerin kaldırılmasının ısı transferine olumlu yönde etki ettiğine ulaşmışlardır.

Zakrzewska ve Jaworski (2004), bir karıştırma tankının ısı transfer katsayısını, sekiz farklı türbülans modeli ve iki farklı ağ yoğunluğu ile sayısal olarak incelemişlerdir. Elde edilen değerleri deneysel çalışma ile karşılaştırmışlardır.

Lubyen (2014), tank çevresindeki ceket soğutma ve tank içerisindeki soğutma bobinlerinin soğutma üzerindeki etkilerini araştırmış ve tasarımı daha basit ve mekanik olarak daha kolay olan ceket soğutmanın, soğutma bobinlerinden daha kötü dinamik kontrol edilebilirliğe sahip olduğu sonucuna varmıştır.

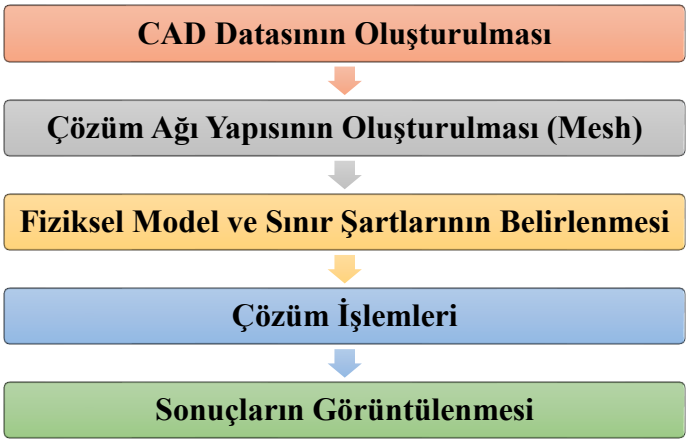
Chakravarty (2017) karıştırma tankında pitched blade turbine (PBT) adı verilen bir çark modeli ve akım kırıcı kullanarak eşzamanlı değişken ısı transferini incelemiştir. Ulaştığı sonuçlara göre Nusselt korelasyonu oluşturmuştur.

Dostal, Petera ve Rieger (2010) akım kırıcıların ısı transfer kaynağı olarak kullanıldığı bir tankta geçici rejimde kademeli ısıtma ve soğutma deneylerini yapmışlar ve verilerini incelemişlerdir. Buldukları sonuçları özetleyen Nusselt korelasyon denklemi oluşturmuşlardır.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.HAD Yaklaşımı ile Ceketli Isı Değiştiricisi Modellenmesi

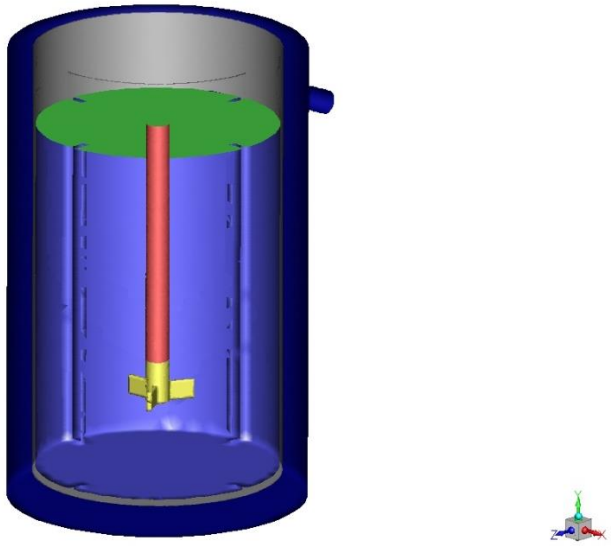
Akışkanlar Mekaniği, akışkanların davranışlarını ve onlara etkiyen kuvvetleri inceleyen bir bilim dalıdır. Bu bilim dalı akışkanlar statiği ve akışkanlar dinamiği olarak iki ayrı kola ayrılır. Akışkanlar statiği durağan akışkanların davranışlarını incelerken, akışkanlar dinamiği ise akışkanların hareketini inceler. Kısaca akışkanlar dinamiği, akışkan hareketinin bilimidir. Akışkanların hareketi deneysel ve sayısal olarak incelenebilir. Deneysel olarak incelemek zaman ve maliyet açısından ele alındığında, birçok denklemin daha hızlı, kolay ve doğru şekilde çözüldüğü bilgisayar ortamına yönelimi teşvik etmektedir. Bu yüzden Computational Fluid Dynamics (CFD) veya Türkçe olarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ortaya çıkmıştır. HAD temel olarak akışkan davranışının etkili olduğu problemlerin, sayısal metot ve algoritmalar ile bilgisayar üzerinde çözülerek analiz edildiği, akışkanlar mekaniğinin bir koludur. Akışkan akışını, ısı transferini, kütle transferini, kimyasal reaksiyonları uygun girdilere göre en kısa sürede analiz ederek sonuçlarını görmemiz sağlar. HAD bir akış şeması çerçevesinde gerçekleşir. Akış şemasında sırayla girdiler girilerek, sonuçlar elde edilir. HAD akış şeması Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



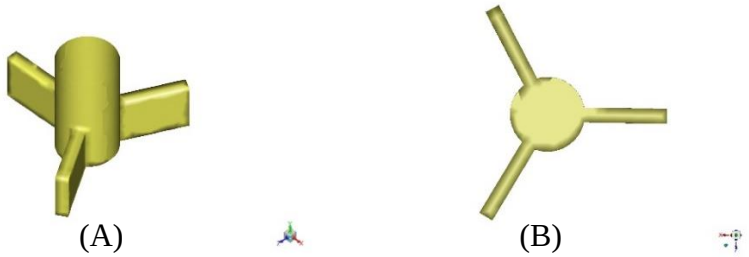
Şekil 3.1. HAD akış şeması

3.1.1.Bilgisayar destekli tasarım modelinin oluşturulması

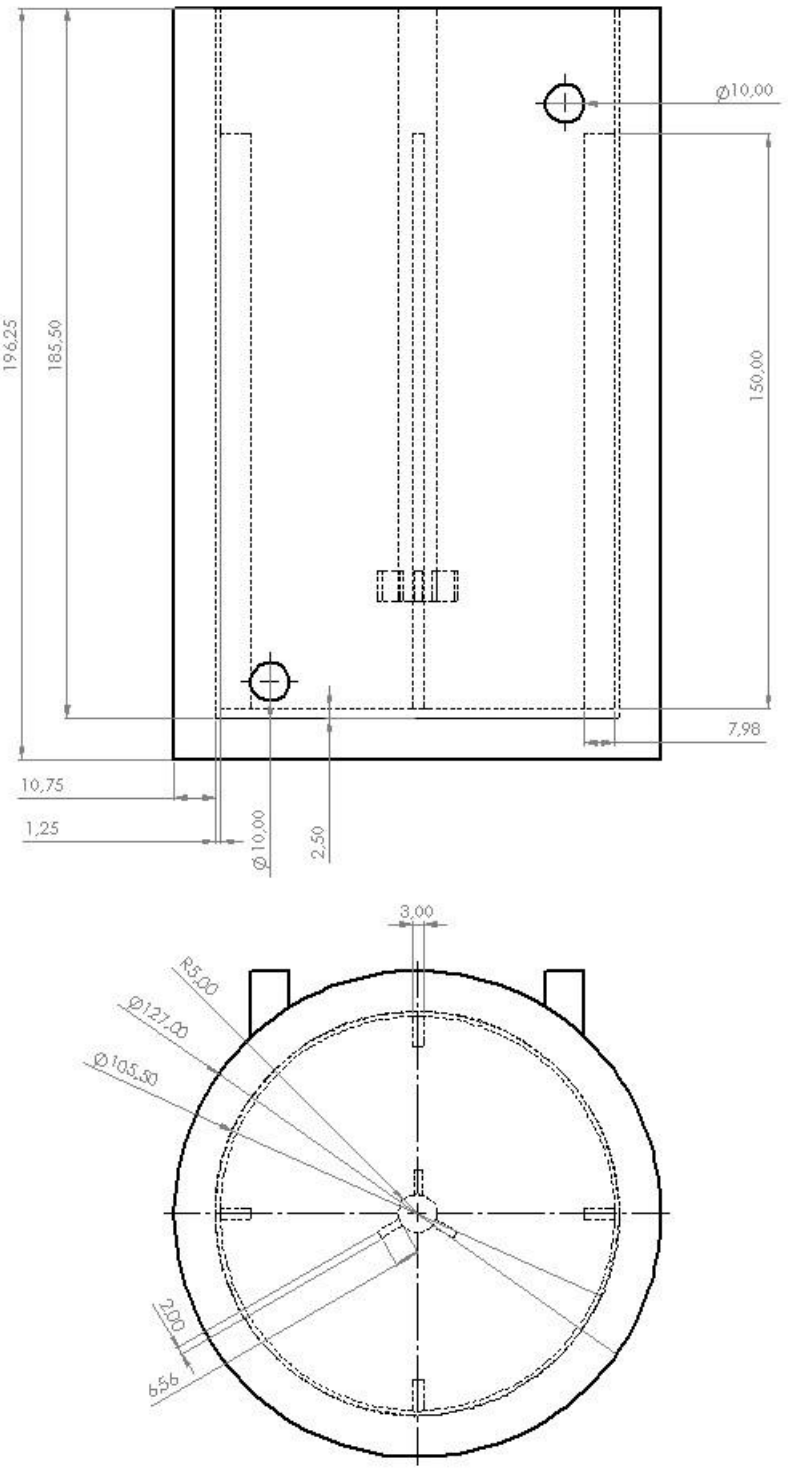
Bilgisayar ortamında tasarım yapmak için farklı paket programlar mevcuttur. Bu tezdeki tasarımlar SolidWorks 2018 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Yapılan karıştırma tankı tasarımında GUNT WL 110.04 Ceketli ve Bobinli Isı Değiştiricisi'nin birebir ölçüleri kullanılmıştır. Karıştırıcı olarak ise 3 kanatlı pervanenin ölçüleri kullanılmıştır. Şekil 3.2.'de karıştırma tankının, Şekil 3.3.'te ise pervanenin 3 boyutlu görselleri gösterilmiştir. Şekil 3.4.'te ise su ceketli ısı değiştiricisinin teknik resmi gösterilmiştir. Resim üzerindeki tüm değerler mm cinsinden verilmiştir.



Şekil 3.2. Modellenen ceketli-karıştırıcılı ısı değiştiricisi



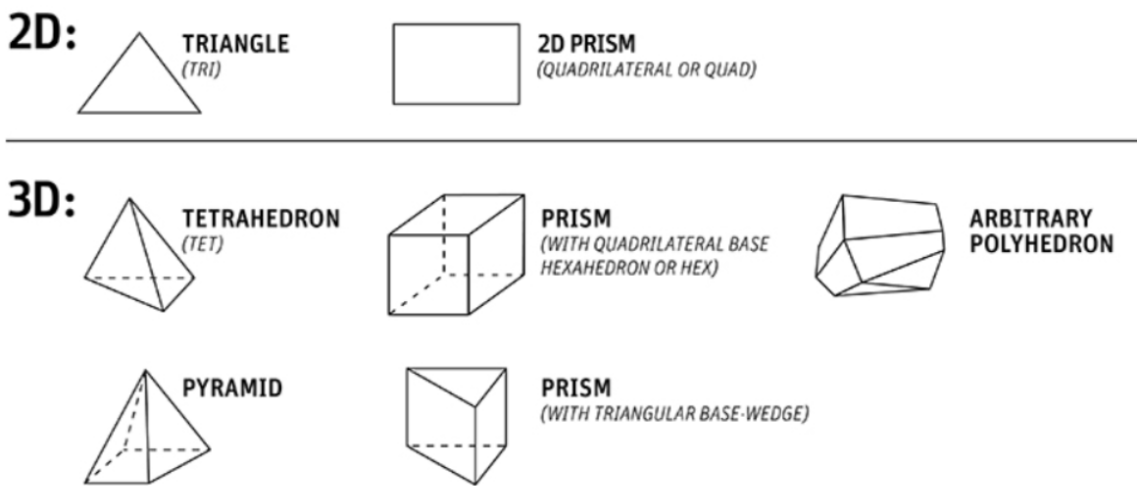
Şekil 3.3. Pervane, A-Pervanenin simetrik görünüşü, B-Pervane üstten görünüşü



Şekil 3.4. Ceketli-karıştırıcılı ısı değiştiricisi teknik resmi (mm)

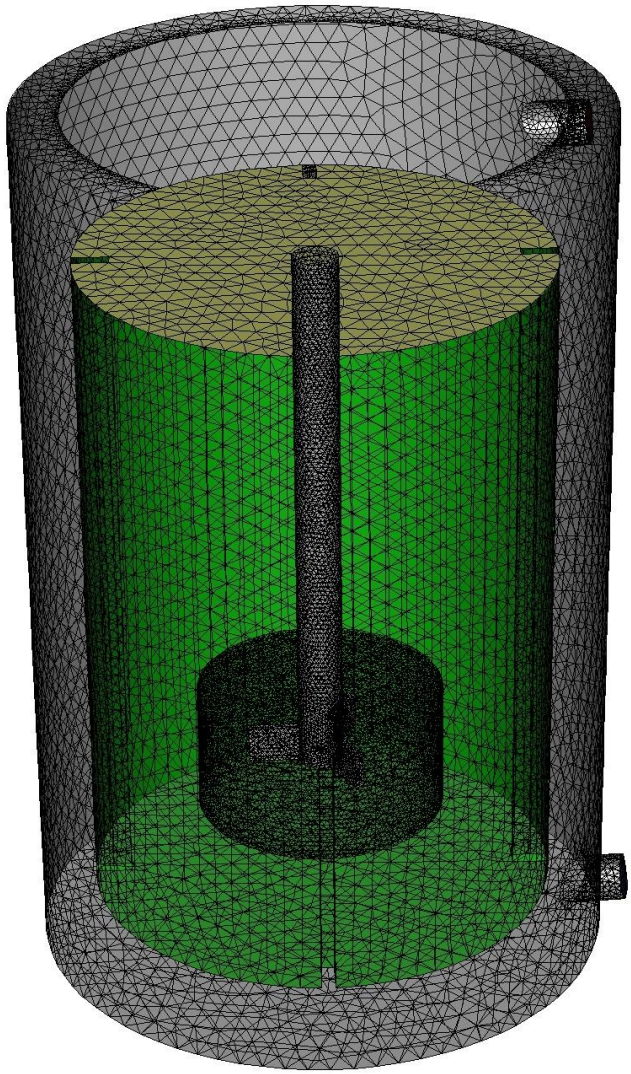
3.1.2. Su ceketli ısı değiştiricisi için çözüm ağı yapısının oluşturulması

Türkçesi çözüm ağı yapısı olan mesh işlemi, nesnenin bilgisayar ortamında fiziksel şeklinin doğru bir şekilde tanımlanması için nesnenin geometrisinin parçalara bölünmesi işlemidir. HAD işlemlerinde sonucun daha doğru bir şekilde yakınsaması için mesh işlemi önemli bir yere sahiptir. Kaliteli bir mesh işlemin sonuca yakınsaması daha doğru olabilir ve daha kısa sürede gerçekleşebilir. Analiz sırasında kullanılacak denklemler herhangi bir bilgisayar destekli tasarım modeli üzerinde ağ yapısı oluşturulmadan çözülemez. Çözüm ağındaki her eleman bu denklemlerin tahmin edilebilir şekilde şekillendirilmiş ve matematiksel olarak tanımlanmış hacimlerde çözülmesine izin verir. Bu elemanların kalitesine göre çözülen denklemlerin sonuçları da o oranda doğru olur. 2 boyutlu ve 3 boyutlu nesneler için farklı türde çözüm ağı yapıları oluşturulabilir. Şekil 3.5.'te bu çözüm ağı türleri gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Çözüm ağı türleri (ANSYS, 2013)

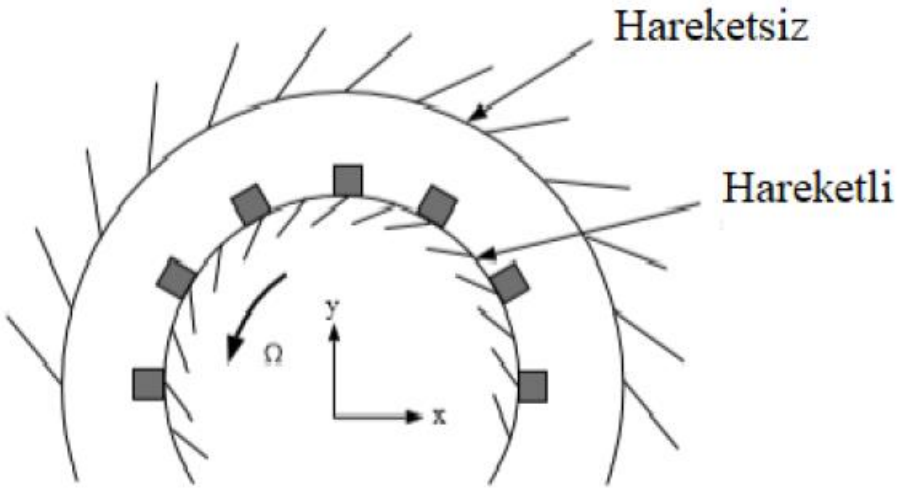
Çözüm ağı yapısı oluşturulurken Ansys 19.0 programı kullanılmıştır. Uygulanan çözüm ağı yapısında tetrahedron çözüm ağı türü kullanılmıştır. Şekil 3.6.'te karıştırma tankına uygulanan çözüm ağı yapısı işlemi gözükmektedir.



Şekil 3.6. Uygulanan çözüm ağı yapısı yapısı

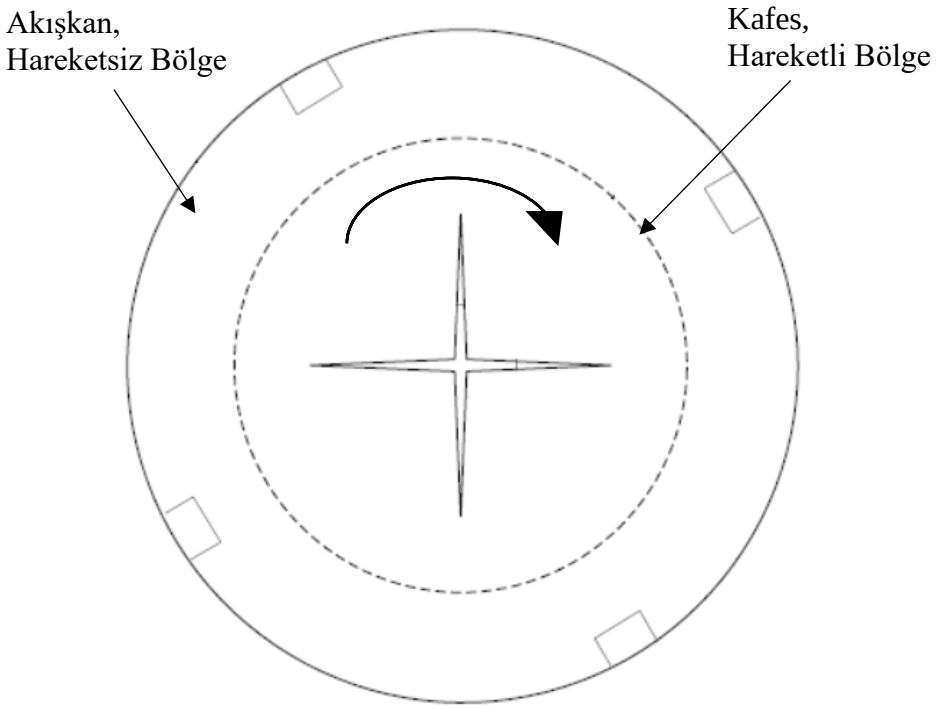
3.1.3. Pervane Etrafındaki Akışkanın Hareketinin Modellenmesi

Pervane etrafındaki akışkanın hareketi single rotating reference frame metodu ile tanımlanmıştır. Bu metodun amacı hareketsiz olan bir problemi dönme hareketi yapan bir ekipmana göre kararlı hale getirmektir. Sabit hızda dönen bir ekipman ile hareketine başlayıp radyal yönde hızlanan akışkanları modellemek için bu metot kullanılır. Dönme hareketi yapan bir şeklin etrafındaki akışkanın hareketi Şekil 3.7'da gösterilmiştir.



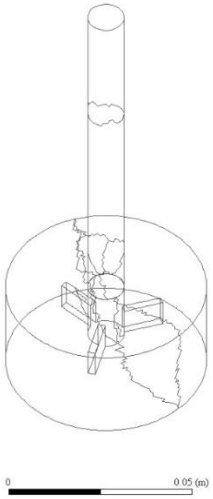
Şekil 3.7. Dönme hareketi yapan katı cisim etrafındaki akışın modellenmesi (ANSYS, 2013)

Benzer şekilde karıştırma tankında bulunan karıştırıcı hareketi Şekil 3.8.'de modellenmiştir. Karıştırıcının hareketi ile hareketli bölge modellenmiş ve hareketsiz bölgenin hareketinin başlaması amaçlanmıştır.



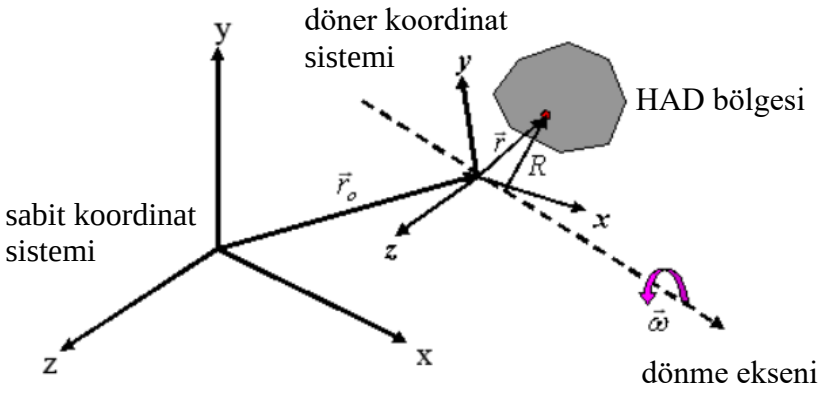
Şekil 3.8. Karıştırma tanklarında karıştırıcı etrafına modellenen kafes (ANSYS, 2013)

Yapılan analizlerde kullanılan ısı değiştiricisi tasarımında da benzer bir hareketli kafes kullanılmıştır. Tasarlanan bu yapı Şekil 3.9'de gösterilmektedir. Bu kafes ile pervanenin hareketi modellenmiştir.



Şekil 3.9. Pervane çevresine oluşturulan kafes

ANSYS Fluent bu tarz denklemleri bağıl hız formüllerini veya mutlak hız formüllerini kullanarak çözebilir. Basınca dayalı çözücülerde her iki formülasyonu da kullanabilirken, yoğunluğa bağlı çözücülerde sadece mutlak hız formülleri kullanılmaktadır (ANSYS, 2013).



Şekil 3.10. Sabit ve döner koordinat sistemleri (ANSYS, 2013)

Şekil 3.10.'da gösterilen sabit ve döner koordinat sistemine göre mutlak ve bağıl hız formülasyonları aşağıda verilmiştir.

Dönen eksene göre bağıl hız;

$$\overrightarrow{v_r} = v_r - (\vec{w} \times \vec{r}) \tag{3.1}$$

Bağıl ve mutlak hız için kütle korunumu denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \overrightarrow{v_r}) = 0 \tag{3.2}$$

x- momentum;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla(\rho \vec{v} \vec{v}) \tag{3.3}$$

Mutlak hız cinsinden x-momentum;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla(\rho \vec{v} \vec{v}) + (\vec{w} \times \vec{r}) \tag{3.4}$$

Bağıl hız cinsinden x-momentum;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \overrightarrow{v_r}) + \nabla(\rho \overrightarrow{v_r} \overrightarrow{v_r}) + \rho(2\vec{w} \times \overrightarrow{v_r} + \vec{w} \times \vec{w} \times \vec{r}) + \rho \frac{\partial \vec{w}}{\partial t} \times \vec{r} \tag{3.5}$$

Coriolis kuvveti;

$$\rho(2\vec{w} \times \overrightarrow{v_r} + \vec{w} \times \vec{w} \times \vec{r}) \tag{3.6}$$

3.1.4. Fiziksel model ve sınır şartlarının belirlenmesi

HAD analizinin sınır şartlarında, 50℃ ve 2.7 kg/dk debi ile yapılan deney referans alınmıştır. Tüm çözücü ayarları ve sınır şartları Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Çözücü ayarları ve sınır şartları

Çözücü Ayarları	
Çözücü tipi	Basınç tabanlı (Pressure-Based)
Zaman	Geçici rejim (Transient)
Denklemler	Akış ve enerji
Akış tipi	SST k-omega
Çözüm metodu	Coupled
Sınır Şartları	
Tank içerisindeki suyun başlangıçtaki sıcaklığı	12.5℃
Cidara giren suyun sıcaklığı	50℃
Cidara giren suyun hacimsel debisi	2.7 l/dk
Pervane hızı	330 1/dk
Pervane dönüş yönü	Saat yönünde
Isı değiştirici adyabatik ortamda mı?	Evet

Oluşturulan mesh yapısı Ansys FLUENT 19.0 programında işleme alınarak çözüm için fiziksel model ve sınır şartları girdileri girilmiştir. Çözüm basınca dayalı (Preasure Based) ve zamana bağlı (Transient) olarak gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan problemde farklı kısımlarda akışkan olacağı için MULTIPHASE; Volume of Fluid modeli ve Implicit formulasyon seçilmiştir. Viskoz model için ısı transferi ve akış analizleri için daha uygun olan SST K-OMEGA modeli kullanılmıştır. Isı transferi çözüleceği için çözüm metodu olarak COUPLED seçilmiştir.

Fluent ortamında yapılan HAD analizleri sonlu hacimler metodu ile çözülür. Sonlu hacimler yöntemi bir veya daha fazla büyüklüğün korunmasını veya dengesini ifade eder. Sonlu hacimler yönteminde kısmi diferansiyel denklemler cebirsel denklemlerle çözülür. Bu kısmi diferansiyel denklemler taşınım denklemleridir. Bu taşınım denklemleri süreklilik denkleminden, momentumun korunumu denkleminden ve enerjinin korunumu denkleminden oluşmaktadır.

Süreklilik denklemi formül 3.7'de gösterilmiştir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla\left(\rho \vec{V}\right) = S_m \tag{3.7}$$

Momentum denklemleri formül 3.8 ile 3.10 arasında gösterilmiştir.

$$\frac{\partial (Pu)}{\partial t} + \nabla\left(\rho u \vec{V}\right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \nabla(\mu \nabla u) + S_{M_X} \tag{3.8}$$

$$\frac{\partial (Pv)}{\partial t} + \nabla\left(\rho v \vec{V}\right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \nabla(\mu \nabla v) + S_{M_y} \tag{3.9}$$

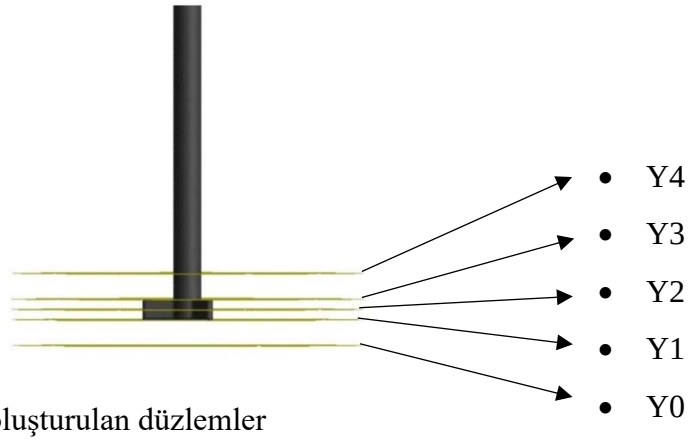
$$\frac{\partial (Pw)}{\partial t} + \nabla\left(\rho w \vec{V}\right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \nabla(\mu \nabla w) + S_{M_z} \tag{3.10}$$

Enerji korunum denklemi formül 3.11'de gösterilmiştir.

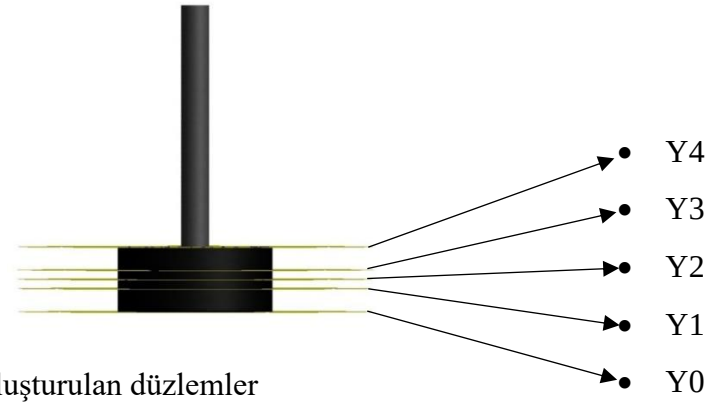
$$\frac{\partial (\rho e)}{\partial t} + \nabla\left(\rho e \vec{V}\right) = -p \nabla \vec{V} + \nabla(k \nabla T) + S_e \tag{3.11}$$

3.1.5. Sonuçların değerlendirilmesi için tanımlanan düzlemler

HAD analiz sonuçlarının görüntülenmesi için şekil üzerinde farklı düzlemler oluşturulmuştur. Bu düzlemler Y eksenine dik, oluşturulan kafes hacminin alt ve üst yüzeylerine teğet, pervanenin alt ve üst yüzeylerine teğet ve pervanenin tam ortasından geçen 5 farklı yüzeydir. Bu düzlemler Şekil 3.10. ve Şekil 3.11.'de gösterilmiştir.

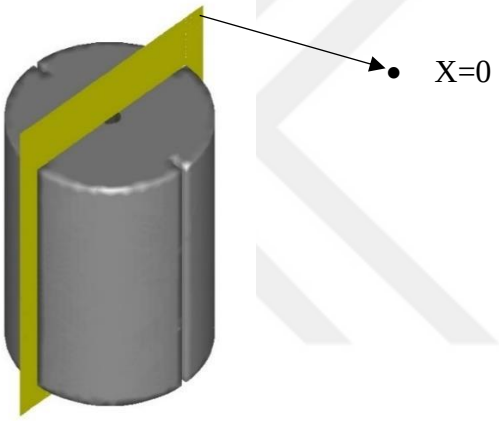


Şekil 3.11. Y eksenine dik oluşturulan düzlemler



Şekil 3.12. Y eksenine dik oluşturulan düzlemler

Şekil 3.13'te X eksenine dik oluşturulan yüzey gösterilmiştir. Bu yüzey ceketli-karıştırıcılı ısı değiştiricisini X ekseninde ortadan ikiye bölmektedir.



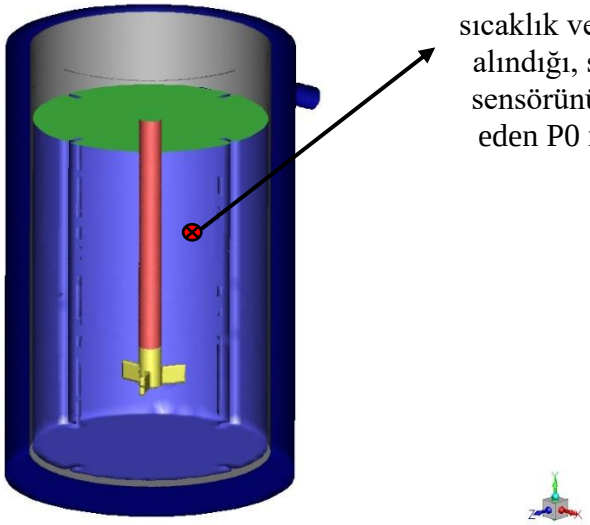
Şekil 3.13. X eksenine dik olarak oluşturulan düzlem

3.1.6. Sayısal sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması

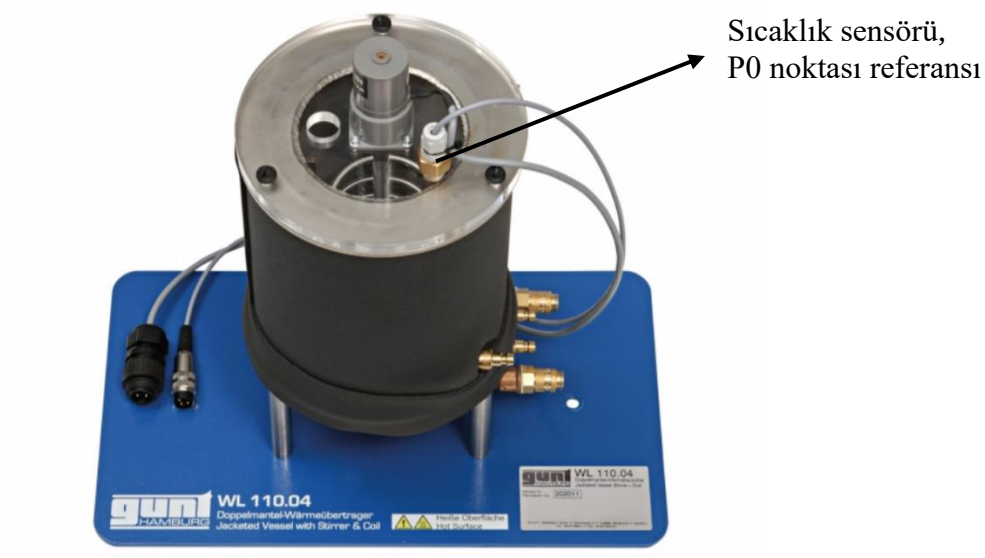
Sayısal sonuçlar ile deneysel veriler karşılaştırılırken, deney yapılan ısı değiştiricisinin üzerinde bulunan tank içerisindeki suyun sıcaklığını ölçen Şekil 3.13'te gözüken sensöre karşılık olarak sayısal sonuçlar Şekil 3.14.'te gözüken HAD analizinde tanımlanan P0 noktası üzerinden alınmıştır. Tanımlanan bu P0 noktası ile sıcaklık verilerinin sensör ile aynı konumdan alınması amaçlanmıştır. Kullanılan sensörün özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Sıcaklık sensörünün özellikleri

Sıcaklık Sensörünün Özellikleri	
Sensör Tipi	Pt100
Ölçme Aralığı	0 - 100°C
Hassasiyeti	+ / - 1°C



Şekil 3.14. HAD analizinin sayısal verilerinin alındığı nokta



Şekil 3.15. Tank içerisindeki suyun sıcaklık verilerinin okunduğu sıcaklık sensörü

3.2. Deneysel Çalışmaların Yapılması

Yapılan deneylerde GUNT WL110 ana ünitesi ve WL110.04 ceketli ve helisel bobinli karıştırıcılı ısı değiştirici kullanılmıştır. Akışkan madde olarak çeşme suyu tercih edilmiştir. Ceketli-karıştırıcılı ısı değiştiricisinin ceket kısmında sıcak su, tank içerisindeki karıştırma haznesinde ise soğuk su kullanılmıştır. Ana ünite vasıtasıyla ceket kısmında hareket eden su ısıtılıp uygun debilerde hareketi sağlanmıştır. Ceketli-karıştırıcılı ısı değiştiricisi üzerinde bulunan sensörler ile cekete giren ve çıkan suyun sıcaklıkları, ısı değiştiricisi haznesi içerisinde karıştırılan suyun sıcaklığı ana ünite üzerinde gözlemlenmiştir. Karıştırıcı pervanenin dönme hızı yine ana ünite üzerinden ayarlanmıştır. Şekil 3.16'da ana ünite gözükmektedir.



Şekil 3.16. Ana ünite

Deneylerde ana ünite ile birlikte GUNT WL110.04 ceketli ve helisel bobinli karıştırıcılı ısı değiştiricisi kullanılmıştır. Isı değiştiricisi hem ceketli tip hem de helisel bobinli tip olarak ayrı ayrı kullanılabilmektedir. Yapılan deneylerde ceketli tip olarak kullanılmıştır. Adyabatik ortam oluşturmak için tank çevresi ısı yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Bu sayede yapılan deneylerin adyabatik ortamda yapıldığı kabul edilmiştir. Karıştırıcı pervane mili ısı değiştiricisinin tavan merkezine ve dik olarak konumlandırılmıştır. Karıştırıcı milinin ucuna istenilen özelliklerde pervane takılabilmektedir. Deneylerde kullanılan pervane 3 kanatlıdır ve Şekil 3.3.'de simetrik görüntüsü, Şekil 3.4.'deki teknik resimde ölçüleri gözükmektedir. Şekil 3.17.'de karıştırıcı tank gözükmektedir.



Şekil 3.17. Ceketli ve Bobinli, Karıştırıcılı Isı Değiştiricisi

Şekil 3.18.'de karıştırma tankı parçaları numaralandırılmıştır.

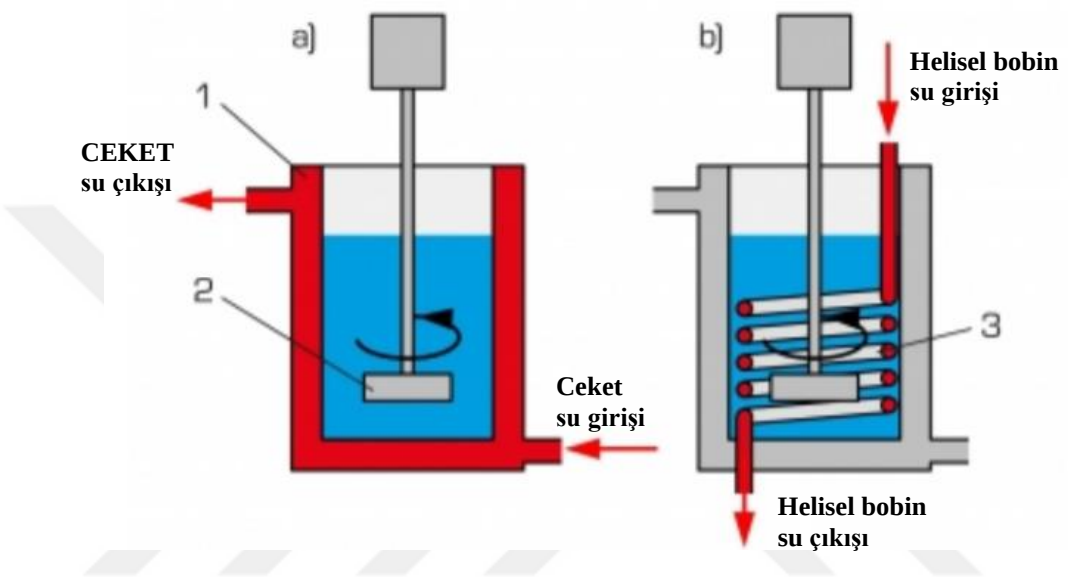


Şekil 3.18. Isı Değiştiricisi Parçaları

Bu parçalar;

1. Karıştırıcı motoru
2. Isı değiştirici
3. Karıştırıcı motor bağlantısı
4. Sıcaklık sensörü bağlantısı
5. Ceket bağlantı noktası
6. Isı değiştiricisi sıvı giriş-çıkış bağlantı noktası
7. Helisel bobin bağlantı noktası
8. Sıcaklık sensörü

Ceket giriş ve çıkışlarına bağlanan bağlantı elemanları üzerindeki sensörler vasıtasıyla cekete giren ve çıkan su sıcaklıkları ana ünite üzerindeki ilgili ekranlarda gözükmektedir. Ceket içerisinde dolaşacak olan su ana ünitede istenilen sıcaklığa getirildikten sonra istenilen debilerde cekete gönderilmiştir. Suyun cekette dolaşımı Şekil 3.19.'da şematik olarak gösterilmiştir. "a" şemasında ceketli tip, "b" şemasında helisel bobinli tip ısı değiştiricisi gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Isı değiştiricisi şematik gösterim (G.U.N.T., 2018),
a) Ceketli-karıştırıcılı ısı değiştiricisi, b) Helisel bobinli-karıştırıcılı ısı değiştiricisi,
1) Ceket, 2) Karıştırıcı, 3) Helisel bobin

Numaralarla gösterilenler;

1. Ceket
2. Karıştırıcı
3. Helisel bobin

Yapılan deneylerde ceket suyu sıcaklığının, ceket suyu debisinin ve karıştırıcı ekipman olarak kullanılan pervanenin ısı transferi sürelerine etkileri incelenmiştir. Isı değiştirici çevresi, ortam ile ısı transferini engelleyen bir malzeme ile kaplandığı için deneylerin adyabatik ortamda yapıldığı kabul edilmiştir. Isı değiştiricisi içerisindeki su ve ceket içerisinde dolaşan su çeşme suyudur ve her deneyde tank içerisinde 1.2 kg çeşme suyu kullanılmıştır. Yapılan deneyler için temelde pervanenin olmadığı ve olduğu iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Pervanenin olduğu senaryoda pervane hızı sabit 330 1/dk olarak ayarlanmıştır. Her iki senaryoda da ceket suyu sıcaklıkları 30°C, 40°C, 50°C olarak 3

farklı sıcaklık ayarlanmıştır. Her sıcaklık için 0.5 l/dk, 1.5 l/dk, 2.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için deney yapılmıştır. HAD ile karşılaştırmak için karıştırıcının kullanıldığı, ceket suyu sıcaklığı 50℃ ve ceket suyu debisi 2.7 l/dk olan bir deney yapılmıştır. Bununla birlikte toplamda 19 adet deney yapılmıştır. Deney ana ünitesinde okunan değerler GUNT yazılımı ile eş zamanlı olarak bilgisayar ortamında da okunmuştur. Deney süreleri bilgisayar ortamında deneyin başlangıç ve bitiş sürelerine bakılarak hesaplanmıştır. Yapılan deneyler Çizelge 3.3.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Deney Planı

Pervaneli / Pervanesiz				
Cekete giren suyun giriş sıcaklığı	**Cekete giren suyun hacimsel debisi**			
30℃	0.5 l/dk	1.5 l/dk	2.5 l/dk	-
40℃	0.5 l/dk	1.5 l/dk	2.5 l/dk	-
50℃	0.5 l/dk	1.5 l/dk	2.5 l/dk	2.7 l/dk*

*Sadece pervaneli olarak deney yapılmıştır.

Hesaplamalarda ısı enerjisi formülü kullanılmıştır. Bu formül 3.12'de gösterilmiştir.

$$\dot{Q} = \dot{m}c\Delta T \tag{3.12}$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Deneysel Çalışmaların Sonuçları

Ceket suyunun hacimsel debisinin ve pervanenin ısı transferine etkilerini görmek için tank içerisindeki suyun ceket suyuna ulaşma süreleri GUNT WL110 ana ünite vasıtasıyla belirlenmiştir. Bu süre değerleri ısı transferinin artıp artmadığı konusunda bilgi vermektedir. Aşağıdaki çizelgelerdeki süre değerleri incelendiğinde pervanesiz olarak yapılan deneylerde ceket suyu hacimsel debisi arttıkça süre değerlerinin kısaldığı görülmektedir. Deneylere pervane eklendiğinde bu süre değerlerinin hacimsel debideki gibi istenilen sıcaklığa ulaşma sırasını koruduğu ve sürenin daha da azaldığı gözükmektedir. Çizelge 4.1.'de pervanesiz 30℃ için değerler, Çizelge 4.2.'de pervaneli 30℃ için değerler, Çizelge 4.3'de pervanesiz 40℃ için değerler, Çizelge 4.4.'de pervaneli 40℃ için değerler, Çizelge 4.5.'de pervanesiz 50℃ için değerler, Çizelge 4.6.'de pervaneli 50℃ için değerler gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Ceket suyu giriş sıcaklığı 30℃ / Pervanesiz deney sonuçları

Ceket suyu giriş sıcaklığı 30℃ / Pervanesiz			
Tank içerisindeki suyun deney başlangıcındaki sıcaklığı (℃)	11.5	11.8	10.7
Ceket suyu hacimsel debisi (l/dk)	0.5	1.5	2.5
Tank içerisindeki suyun ceket suyu sıcaklığına ulaşma süresi	35dk 3s	28dk 56s	26dk 35s

Çizelge 4.2. Ceket suyu giriş sıcaklığı 30℃ / Pervaneli deney sonuçları

Ceket suyu giriş sıcaklığı 30℃ / Pervaneli			
Tank içerisindeki suyun deney başlangıcındaki sıcaklığı (℃)	12.7	12.7	12.7
Ceket suyu hacimsel debisi (l/dk)	0.5	1.5	2.5
Tank içerisindeki suyun ceket suyu sıcaklığına ulaşma süresi	27dk 25s	21dk 38s	16dk 8s

Çizelge 4.3. Ceket suyu giriş sıcaklığı 40℃ / Pervanesiz deney sonuçları

Ceket suyu giriş sıcaklığı 40℃ / Pervanesiz			
Tank içerisindeki suyun deney başlangıcındaki sıcaklığı (℃)	11.9	10.5	11.7
Ceket suyu hacimsel debisi (l/dk)	0.5	1.5	2.5
Tank içerisindeki suyun ceket suyu sıcaklığına ulaşma süresi	49dk 15s	36dk 9s	33dk 35s

Çizelge 4.4. Ceket suyu giriş sıcaklığı 40℃ / Pervaneli deney sonuçları

Ceket suyu giriş sıcaklığı 40℃ / Pervaneli			
Tank içerisindeki suyun deney başlangıcındaki sıcaklığı (℃)	12.7	12.8	12.6
Ceket suyu hacimsel debisi (l/dk)	0.5	1.5	2.5
Tank içerisindeki suyun ceket suyu sıcaklığına ulaşma süresi	42dk 30s	24dk 17s	22dk 15s

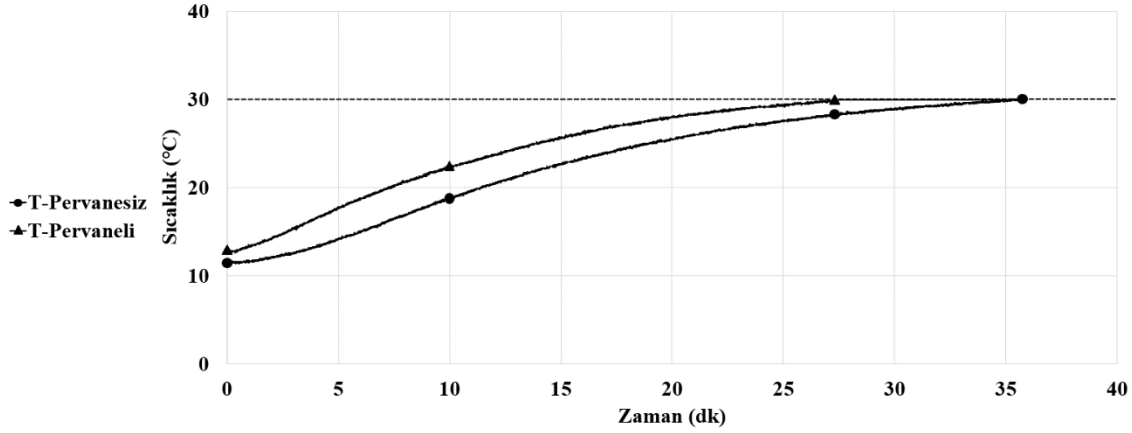
Çizelge 4.5. Ceket suyu giriş sıcaklığı 50℃ / Pervanesiz deney sonuçları

Ceket suyu giriş sıcaklığı 50℃ / Pervanesiz			
Tank içerisindeki suyun deney başlangıcındaki sıcaklığı (℃)	11.4	11.4	11.8
Ceket suyu hacimsel debisi (l/dk)	0.5	1.5	2.5
Tank içerisindeki suyun ceket suyu sıcaklığa ulaşma süresi	87dk 31s	43dk 1s	37dk 25s

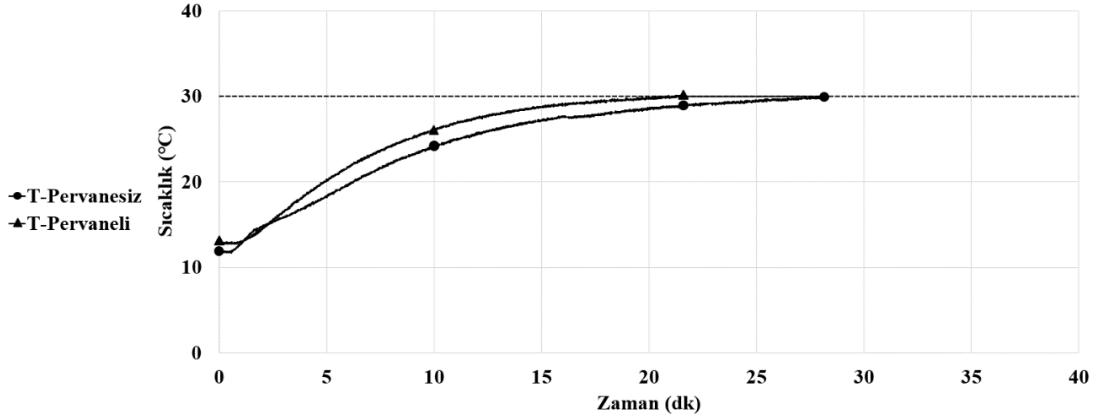
Çizelge 4.6. Ceket suyu giriş sıcaklığı 50℃ / Pervaneli deney sonuçları

Ceket suyu giriş sıcaklığı 50℃ / Pervaneli			
Tank içerisindeki suyun deney başlangıcındaki sıcaklığı (℃)	12.6	12.9	12.7
Ceket suyu hacimsel debisi (l/dk)	0.5	1.5	2.5
Tank içerisindeki suyun ceket suyu sıcaklığına ulaşma süresi	84dk 30s	35dk 11s	23dk 43s

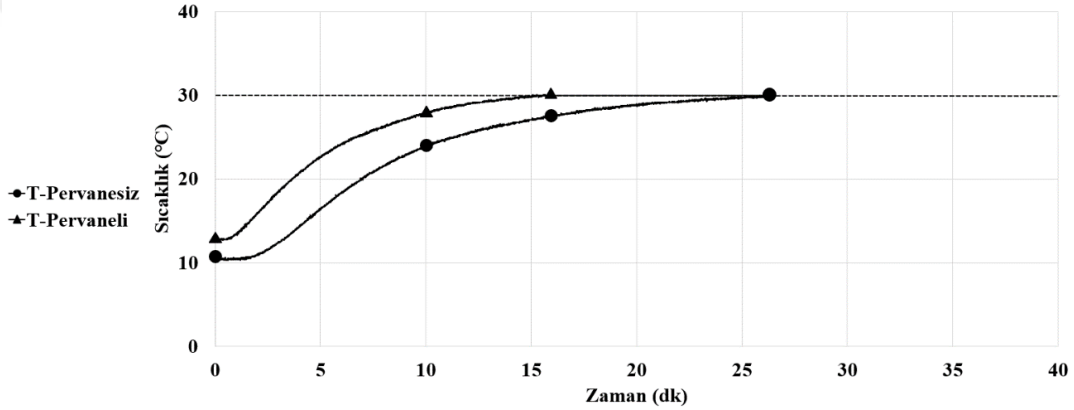
Şekil 4.1.'den Şekil 4.9.'a kadar olan grafiklerde, tank içerisindeki suyun zamana bağlı olarak sıcaklığının nasıl değiştiği gözükmektedir. Grafiklerin açıklama kısmında hangi ceket suyu sıcaklığı ve hangi ceket suyu hacimsel debisi için yapılan deney olduğu yazmaktadır. Aynı hacimsel debiler için pervaneli ve pervanesiz değerler aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Tank içerisindeki su sıcaklığının ulaşması gereken hedef sıcaklık kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Tüm grafiklerde üzerinde üçgen bulunan eğriler pervaneli değerleri, üzerinde daire bulunan değerler pervanesiz değerleri göstermektedir. Grafikler incelendiğinde pervaneli deneylerdeki tank içerisindeki suyun sıcaklığının, ceket suyu sıcaklığına ulaşma süresinin daha kısa olduğu gözükmektedir. Ayrıca hacimsel debinin artışının bu süreye etkisi grafiklerde daha net bir şekilde anlaşılmaktadır. Aynı ceket suyu sıcaklığı olan deney grafiklerini aynı zamanlar için incelediğimizde 2.5 l/dk hacimsel debili ve pervaneli deneyde daha yüksek sıcaklığı ulaşıldığı gözükmektedir. Bu değeri takip eden 1.5 l/dk hacimsel debi deney verileri ve son sırada da 0.5 l/dk hacimsel debi deney verileridir. Bu veriler göz önünde bulundurularak ceketli tip ısı değiştiricilerde ceket suyu debisi arttırılarak ısı transferinin artacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bu türde bir ısı değiştiricisine karıştırıcı eklenerek ısı transferinin daha da artacağı gözlemlenmiştir. Isı transferinin artması tank içerisindeki suyun sıcaklığının daha kısa sürede hedef sıcaklığa ulaşacağı anlamına gelmektedir.



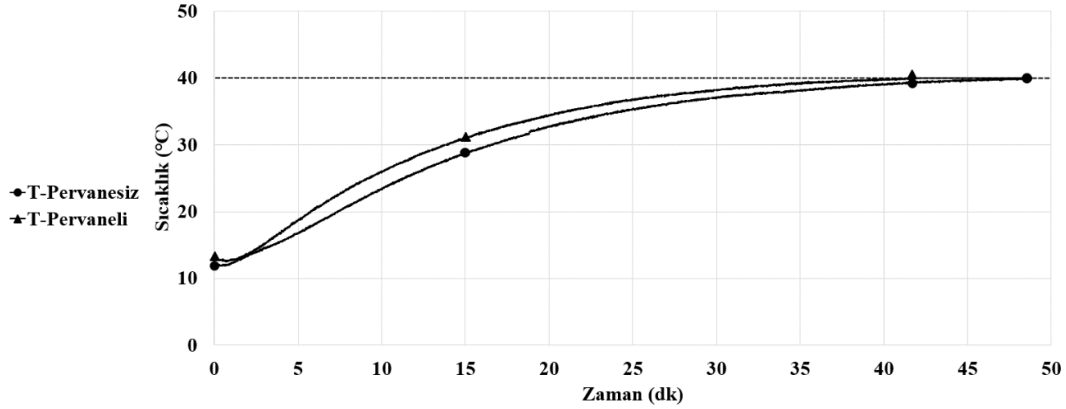
Şekil 4.1. 30°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 0.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği



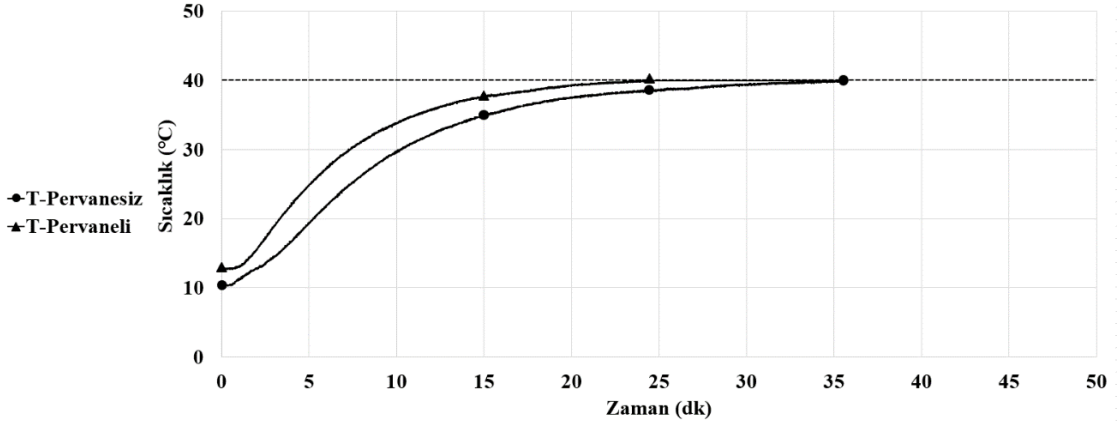
Şekil 4.2. 30°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 1.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği



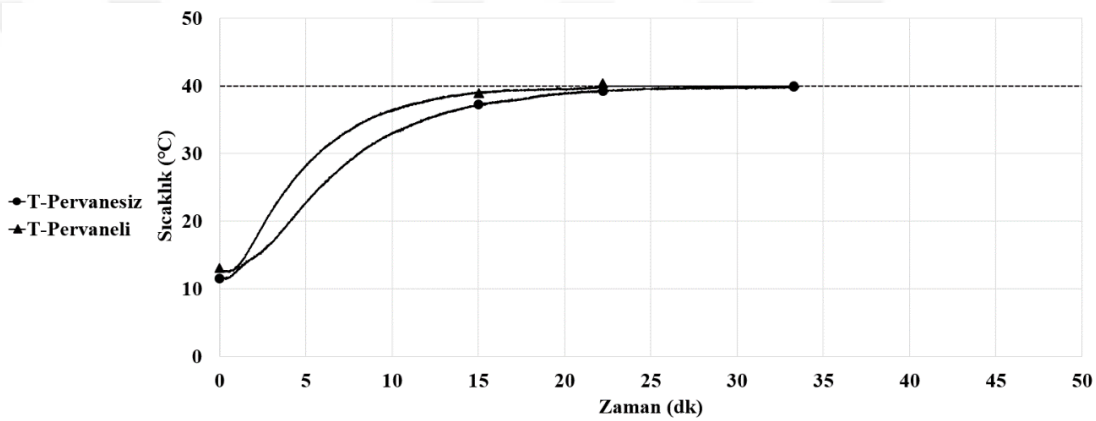
Şekil 4.3. 30°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 2.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği



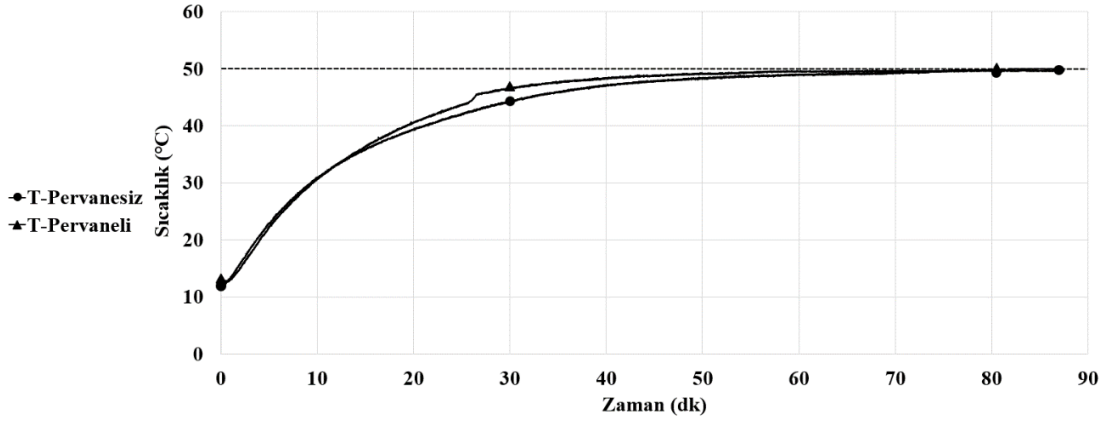
Şekil 4.4. 40°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 0.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği



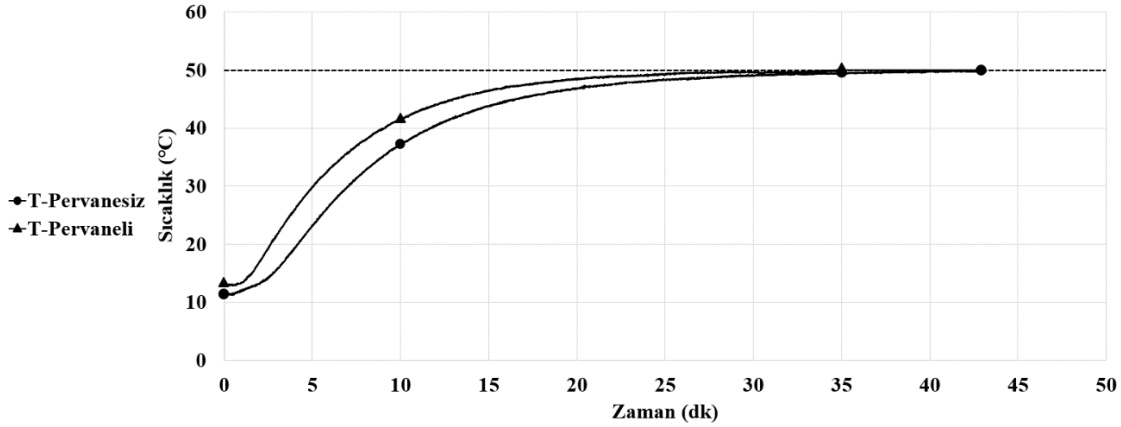
Şekil 4.5. 40°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 1.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği



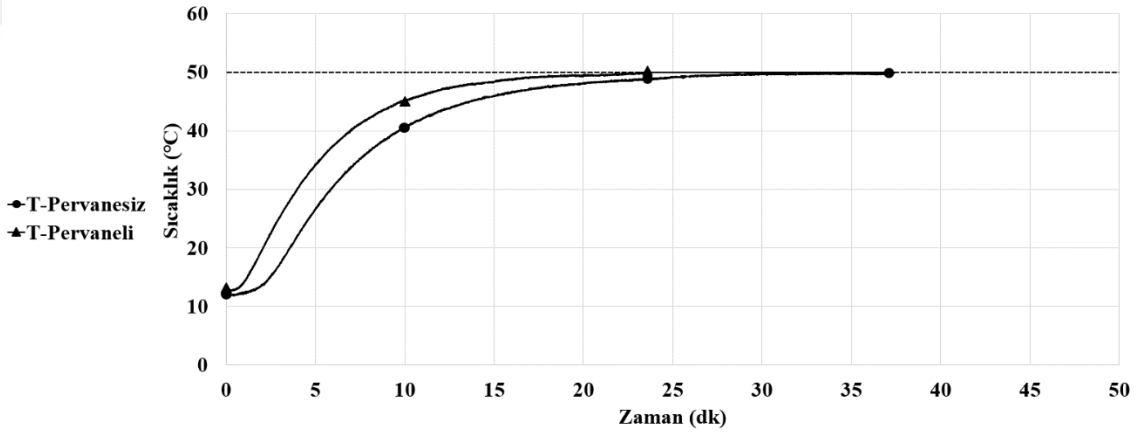
Şekil 4.6. 40°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 2.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği



Şekil 4.7. 50°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 0.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği



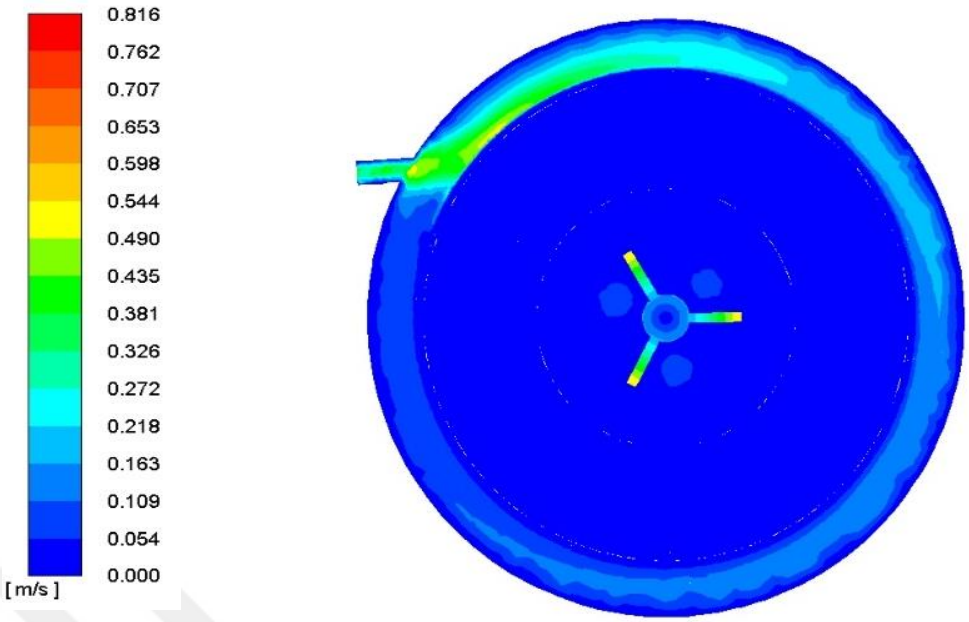
Şekil 4.8. 50°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 1.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği



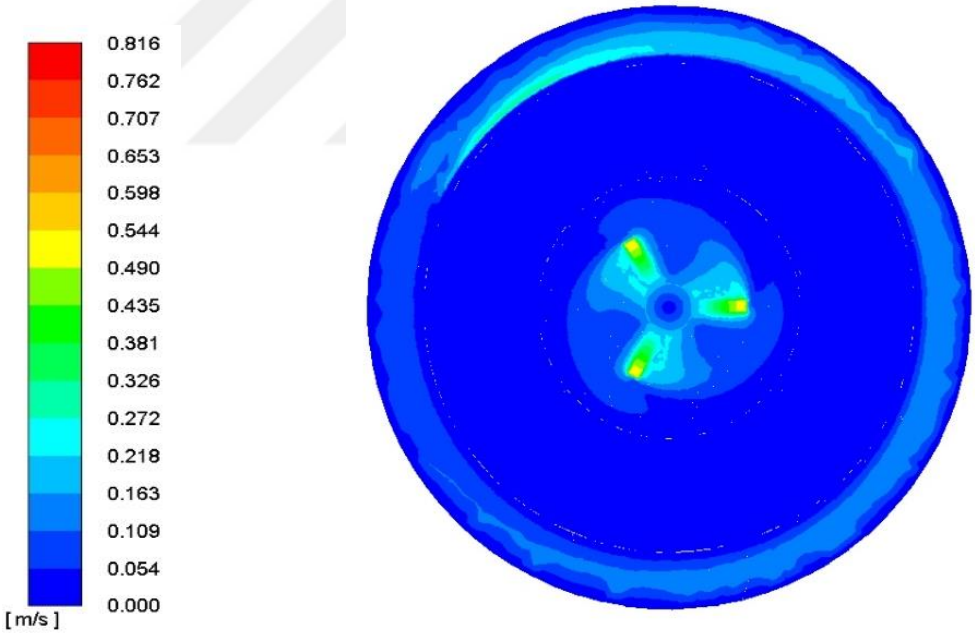
Şekil 4.9. 50°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 2.5 l/dk ceket suyu hacimsel debisi için tank içerisindeki suyun sıcaklık-zaman grafiği

4.2. HAD Analizi Sonuçları

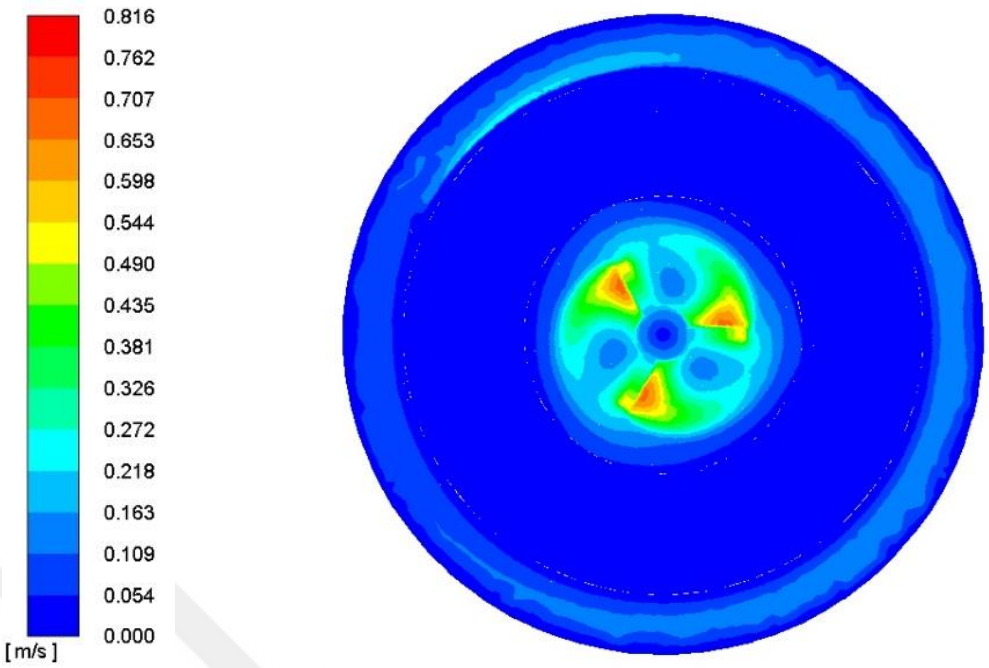
50°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 2.7 l/dk ceket suyu hacimsel debisi ve pervaneli olarak yapılan deney verileri referans alınarak yapılan HAD analizi sonucuna ait hız dağılımları farklı düzlemler için Şekil 4.10. – Şekil 4.15. arasında gösterilmiştir. Şekillere bakıldığında pervanenin suya verdiği hareket ve ceket kısmında bulunan suyun hareketi gözükmektedir.



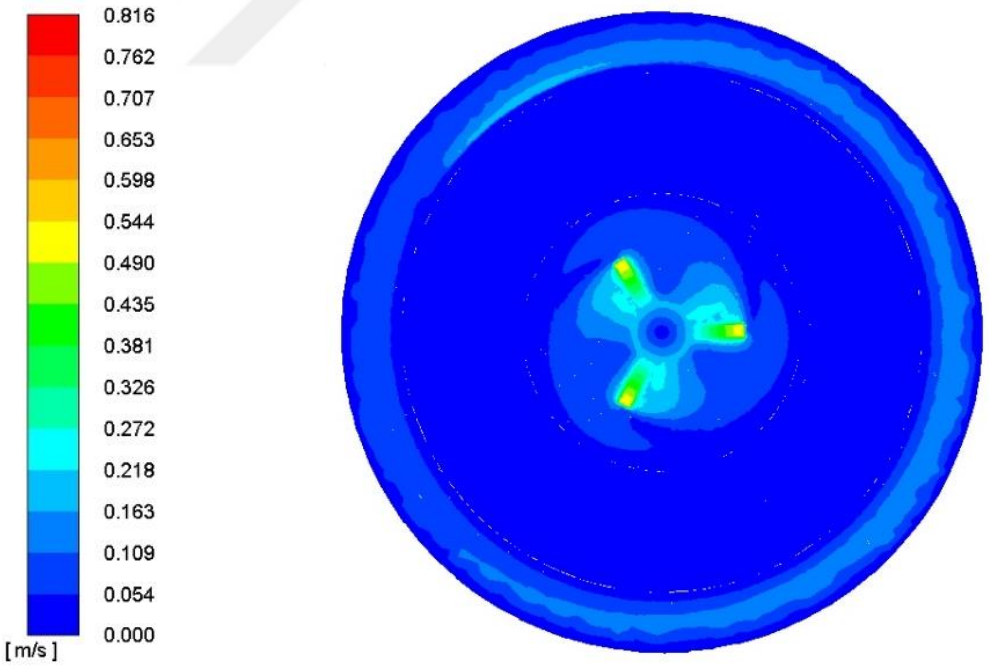
Şekil 4.10. Y0 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen hız (m/s) dağılımı



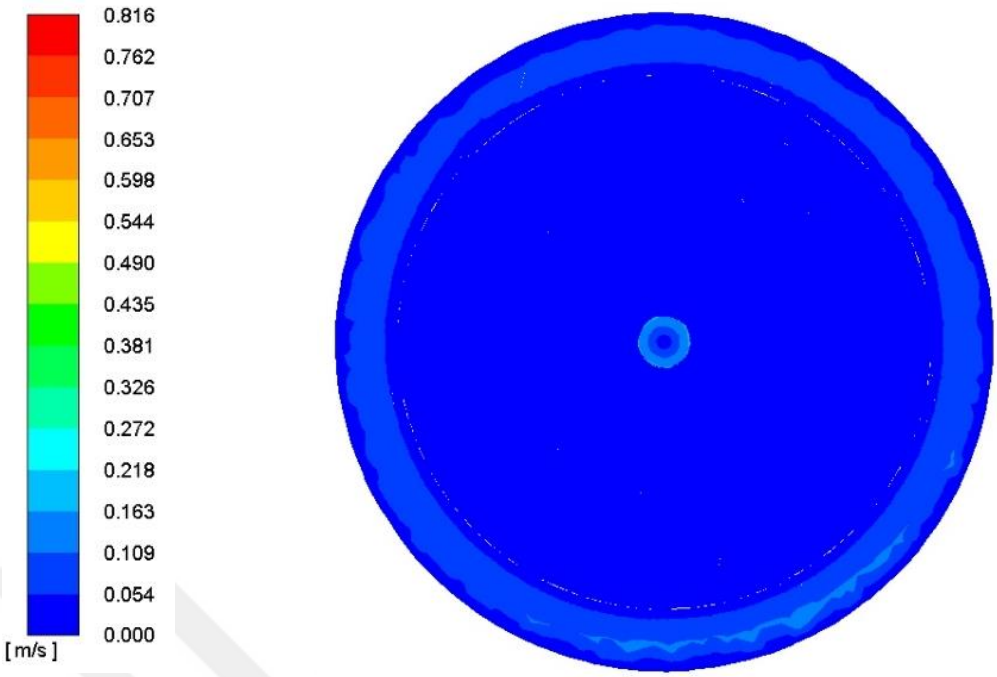
Şekil 4.11. Y1 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen hız (m/s) dağılımı



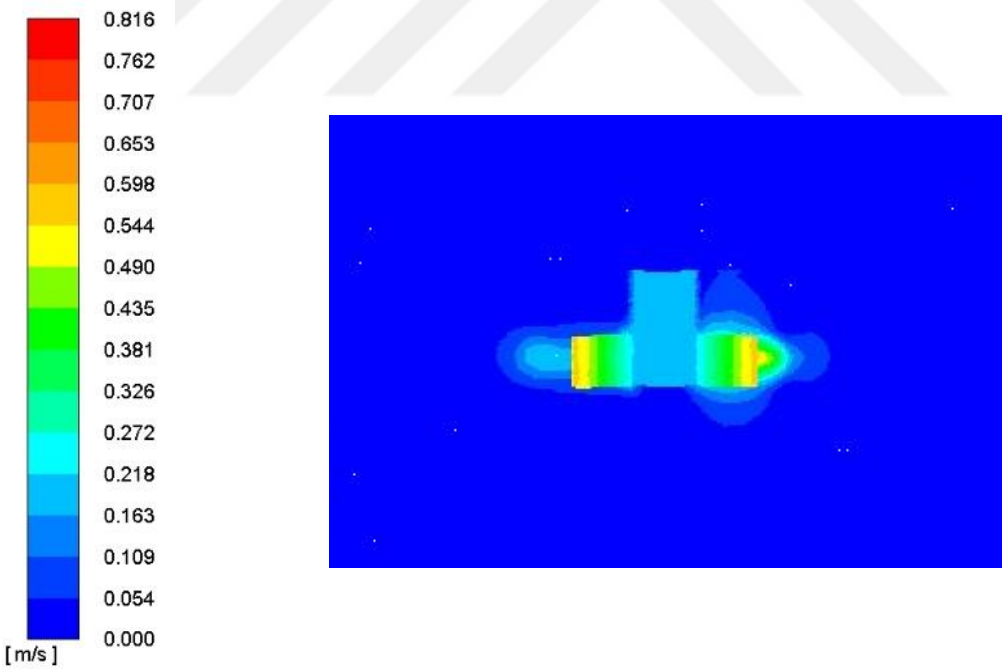
Şekil 4.12. Y2 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen hız (m/s) dağılımı



Şekil 4.13. Y3 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen hız (m/s) dağılımı

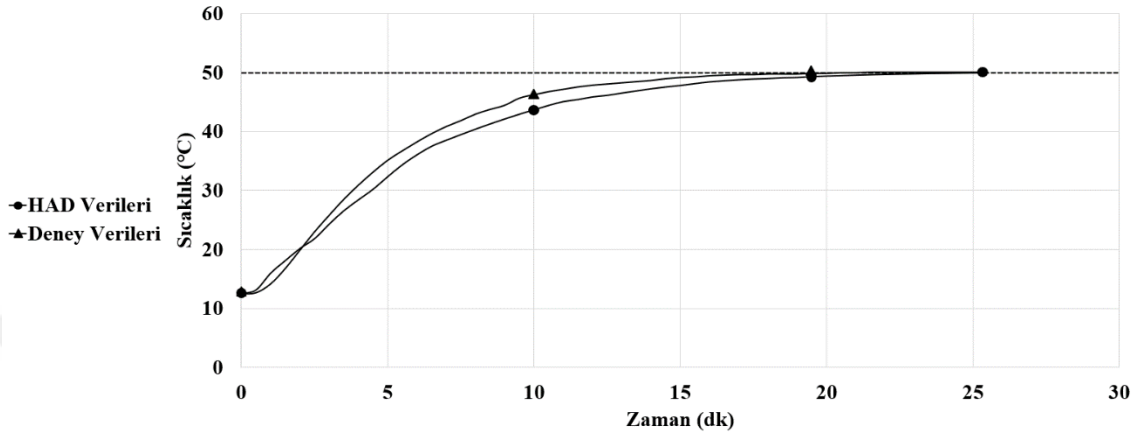


Şekil 4.14. Y4 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen hız (m/s) dağılımı



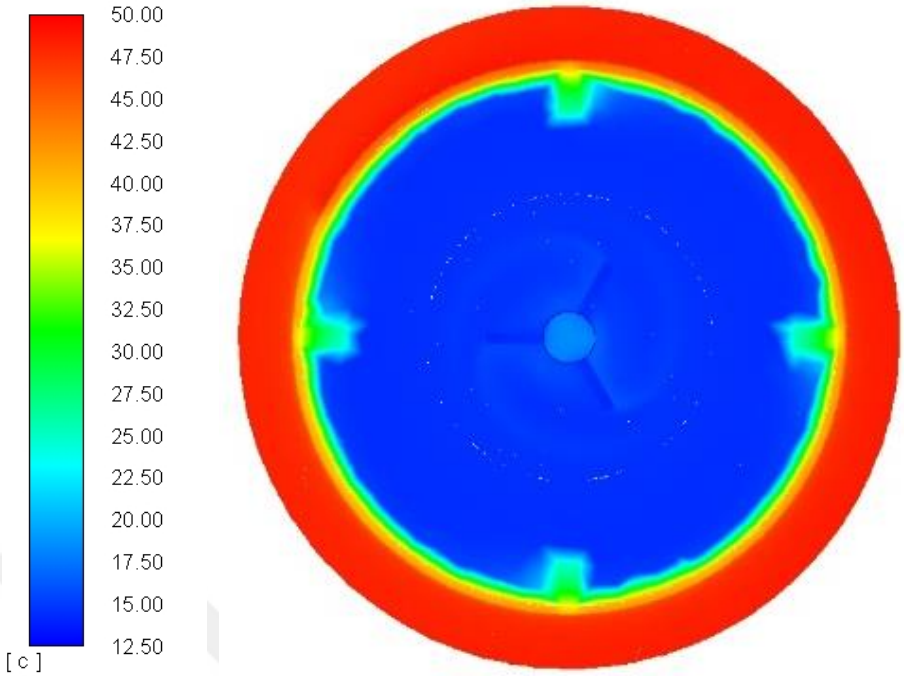
Şekil 4.15. X0 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen hız (m/s) dağılımı

50°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 2.7 l/dk ceket suyu hacimsel debisi ve pervaneli olarak yapılan deney verileri referans alınarak yapılan HAD analizi sonucunda ve deney sonucunda elde edilen tank içerisindeki P0 noktasının sıcaklığının zamana bağlı değişimi Şekil 4.16.'da gösterilmiştir.

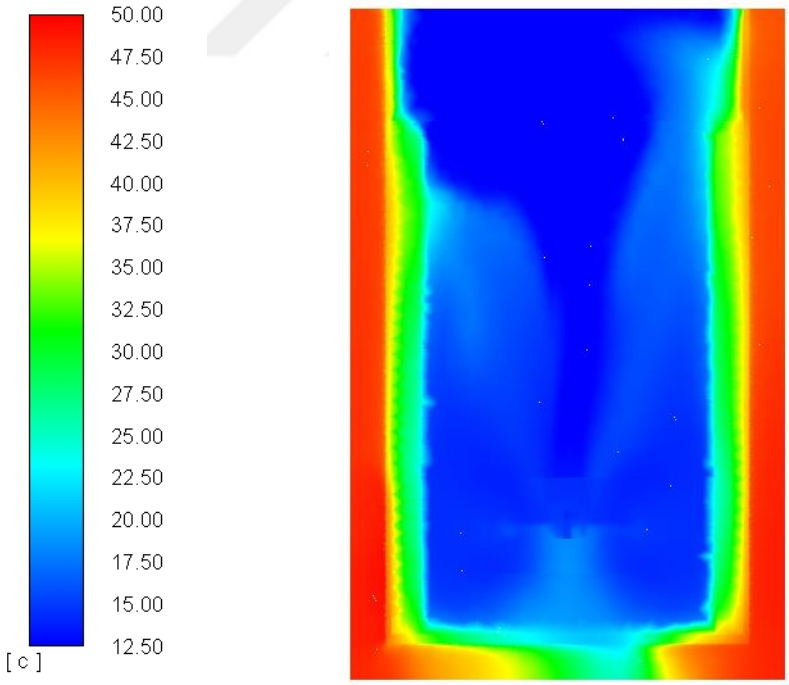


Şekil 4.16. Sayısal hesaplamalar sonucunda P0 noktası için elde edilen sıcaklık değerlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

Şekil 4.17.'de HAD analizinin ikinci dakikasındaki cekette dolaşan sıcak suyun, tank çeperinin ve tank içerisindeki suyun sıcaklıkları gösterilmiştir. Ceket kısmında dolaşan sıcak sudan önce tank çeperine buradan da soğuk suya ısı transferi gerçekleşmektedir. Deney verileri göz önüne alındığında, deneyde geçen bu sürede ceket suyu sıcaklığı ile tank çeperi sıcaklığının eşitlendiği anlaşılmaktadır. Bu sürede cekete giren suyun sıcaklığı ile ceketten çıkan suyun sıcaklığı arasındaki fark kapandığı için bu sonuca ulaşılmıştır. Aynı süreler için HAD sonucuna bakıldığında tank çeperinin ceket suyu sıcaklığına ulaştığı gözükmektedir. Tank cidarı ile temas halindeki soğuk suyun sıcaklığı tankın orta bölgelerindeki suya göre daha hızlı artmakta ve pervane vasıtasıyla sıcaklığı artan sıcak su tank içerisinde karışmaktadır. Bu sayede tank içerisindeki suyun sıcaklığı daha kısa sürede istenilen sıcaklığa ulaşmaktadır. Tank içerisindeki suyun sıcaklık dağılımı üstten Y2 düzleminde Şekil 4.17.'de ve yandan X0 düzleminde Şekil 4.18.'de gösterilmektedir. Şekil 4.18'e bakıldığında tank çeperinde sıcaklığı artan suyun pervanenin hareketi ile birlikte tankın orta kısmına doğru gerçekleşen hareketi gözükmektedir.



Şekil 4.17. Y2 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen sıcaklık (°C) dağılımı



Şekil 4.18. X0 düzleminde sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen sıcaklık (°C) dağılımı

5.SONUÇ

Bir ısı değiştiricisi türü olan ceketli tip karıştırma tankında gerçekleşen ısı transferi Çizelge 3.3.'de gösterilen deneyler yapılarak incelenmiş, yapılan deneylerden 50°C ceket suyu giriş sıcaklığı, 2.7 l/dk ceket suyu hacimsel debisi ve pervaneli olarak yapılan deney verileri referans alınarak HAD analizi yapılmış ve bulgular karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel ve HAD verileri sonuçları aşağıda verilmiştir.

Yapılan deneylerde farklı ceket suyu giriş sıcaklıkları için, ceket suyu hacimsel debisi değiştirilmiş ve ceket suyu hacimsel debisinin ısı transferine etkisi incelenmiştir. Yapılan tüm deneylere karıştırıcı olarak sabit hızda saat yönünde dönme hareketi yapan üç kanatlı pervane eklenmiş ve sonuçlar pervaneli ve pervanesiz deneyler olarak karşılaştırılmıştır.

Pervanesiz deney sonuçlarına bakıldığında, ceket suyu hacimsel debisinin artması ısı transferini hızlandırmıştır. Ceket suyu hacimsel debisinin arttığı deneylerde tank içerisindeki su daha kısa sürede ceket suyu sıcaklığına ulaşmıştır.

Pervaneli deney sonuçlarına bakıldığında, tank içerisindeki suyun sıcaklığının ceket suyu sıcaklığına ulaşma süreleri bakımından pervanesiz deney sonuçlarındaki sıra korunmuş ve ısı transferi arttığı için pervaneli deneylerde tank içerisindeki su daha kısa sürede ceket suyu sıcaklığına ulaşmıştır. Pervanenin hareketi tank içerisindeki suya hareket kazandırarak karışmasını sağlamıştır. Tank içerisindeki sıcaklığı artan su ve halen soğuk kalan su karışmaya başladığı için tank içerisindeki suyun sıcaklığı pervane ile birlikte daha kısa sürede istenilen sıcaklığa ulaşmıştır.

Şekil 4.1.'den Şekil 4.9'a kadar olan grafiklerde pervaneli ve pervanesiz deney sonuçları net bir şekilde gözükmektedir. Tüm pervaneli deneylerde tank içerisindeki suyun sıcaklığının hedef sıcaklığa ulaşma süreleri pervanesiz yapılan deneylere göre daha kısadır.

Şekil 4.16'ya bakıldığında HAD analizi ile deney sonucunun karşılaştırılması gözükmektedir. Grafik incelendiğinde deney ile HAD sonuçlarının birbiri ile örtüştüğü gözükmektedir. Fakat deney sonucu incelendiğinde ısı transferinin daha fazla olduğu ve tank içerisindeki suyun ceket suyu sıcaklığına daha kısa sürede ulaştığı gözükmektedir.

Deney ekipmanlarının adyabatik ortam şartlarını tam olarak yerine getirmemesinden dolayı böyle bir sonuca ulaşılmıştır.

Yapılan çalışmalar ile ceketli tip ısı değiştiricisinde, ceket kısmında hareket eden akışkanın hacimsel debisinin artması ile ısı transferinin arttığı ve böyle bir ısı değiştiricisine karıştırıcı eklenerek ısı transferinin daha da iyileştirildiği kanıtlanmıştır.

KAYNAKLAR

Alimoradi, A., 2017. Investigation of exergy efficiency in shell and helically coiled tube heat exchangers. *Case studies in thermal engineering*, *10*, 1-8.

ANSYS Fluent User's Guide, Release 15.0, 2013.

Chakravarty, A., 2017. CFD Simulation of Heat Transfer in an Agitated Vessel. *Master's Degree Thesis*. Czech Tecnical University in Prague, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Process Engineering.

Cui, Y., Zhang, H., Li, X., Yang, M., Guan, Z., 2018. Computational and experimental investigation of laminar flow mixing system in a pitched-blade turbine stirred tank. *Int J Agric & Biol Eng*. 11(4): 111–117.

Da Silva Rosa, V., De Moraes Junior, D., 2017. Design of heat transfer surfaces in agigated vessels. DOI: 10.5772/66729

Debab, A., Chergui, N., Bekrentchir, K., Bertrand, J. 2011. An investigation of heat transfer in a mechanically agitated vessel. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, Vol. 4, No. 2, Issue 1, pp. 43-50.

Delgado, M., Lázaro, A., Mazo, J., Peñalosa, C., Marín, J. M., & Zalba, B., 2017. Experimental analysis of a coiled stirred tank containing a low cost PCM emulsion as a thermal energy storage system. *Energy*, *138*, 590-601.

Dostál, M., Petera, K., Rieger, F., 2010. Measurement of heat transfer coefficients in an agitated vessel with tube baffles. *Acta Polytechnica* Vol. 50 No. 2/2010.

G.U.N.T. Gerätebau GmbH, 2018. Catalogue 3: Thermal Engineering, Heat Exchangers, s 66-108.

Jaimes, R. & Jose, R., 2015. Obtaining the nusselt equation with the use of CFD for a stirred tank heated with helical coils. *In Icheap12: 12th International Conference on Chemical & Process Eengineering*. Aidic Servizi SRL.

Jamies, R., Nunhez, J. R., 2015. Obtaining the nusselt equation with the use of cfd for a stirred tank heated with helical coils. *Chemical Engineering Transactions*, Vol. 43.

Jassim, E., 2016. Spiral coil heat exchanger – experimental study. *Proceedings of the 3rd International Conference on Fluid Flow, Heat and Mass Transfer (FFHMT'16), 02 – 03 Mayıs 2016, Ottawa, Canada.*

Kaçar, E. N., Erbay, L. B., 2013. Isı değiştiricilerin tasarımına bir bakış. *Mühendis ve Makine*, cilt 54, sayı 644, s 14-43.

Kakac, S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A., 2012. Heat exchangers: selection, rating, and thermal design. *CRC press.*

Kharat, R., Bhardwaj, N., Jha, R.S., 2009. Development of heat transfer coefficient correlation for concentrichelical coil heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences,* 48 2300–2308.

Lakghomi, B., Kolahchian, E., Jalali, A., Farhadi, F., 2008. Coil and jacket's effects on internal flow behavior & heat transfer in stirred tanks. *International Journal of Chemical and Molecular Engineering,* Vol:2, No:12.

Luyben, W. L., 2004. Quantitative comparison of temperature control of reactors with jacket cooling or internal cooling coils. *Industrial & engineering chemistry research*, *43*(11), 2691-2703.

Major-Godlewska, M., 2014. An effect of different factors on heat transfer process in an agitated vessel. *Technical Transactions Chemistry*, 2-Ch.

Missen, R. W., Mims, C. A., & Saville, B. A., 1999. Introduction to chemical reaction engineering and kinetics. *J. Wiley.*

Peixoto, S. M. C., & Nunhez, J. R., 1999. Improving internal flow of coiled stirred tanks. *In Second International Conference on CFD in The Minerals and Process Industries, CSIRO, Melbourne*.
Prada, R. J., & Nunhez, J. R., 2017. Numerical prediction of a nusselt number equation for stirred tanks with helical coils. *AIChE Journal*, *63*(9), 3912-3924.
Rezend, C. F., 1996. CFD Analysis of Flow Field in a Mixing Tank With And Without Baffles. *Master's Degree Thesis*. Rochester Institute of Technology in New York, College of Engineering, Department of Mechanical Engineering.
Sevilgen, G., Bayram, H., 2018. Numerical investigation of the effects of different baffle types on the thermal performance of a shell and tube heat exchanger. *Academic Platform Journal of Engineering and Science 6-3*, s 58-66.
Sevilgen, G., Bayram, H., 2020. Numerical analysis of heat transfer of a brazed plate heat exchanger. *Academic Platform Journal of Engineering and Science 8-3*, 491-499.
Sharafan, A., 2015. CFD Simulation of The Agitated Batch. *Master's Degree Thesis*. Czech Tecnical University in Prague, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Process Engineering.
Zakrzewska, B., & Jaworski, Z., 2004. CFD modeling of turbulent jacket heat transfer in a Rushton turbine stirred vessel. *Chemical engineering & technology*, *27*(3), 237-242.