

T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİRLEŞTİRİLMİŞ PLAKALARLA TASARLANAN ARITMA SİSTEMİNİN  
DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Mehmet ORUÇ  
DANIŞMAN: Prof. Dr. Sedat YAYLA

VAN-2020



T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİRLEŞTİRİLMİŞ PLAKALARLA TASARLANAN ARITMA SİSTEMİNİN  
DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Mehmet ORUÇ

VAN-2020



## KABUL VE ONAY SAYFASI

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Sedat YAYLA danışmanlığında, Mehmet ORUÇ tarafından sunulan **“Birleştirilmiş Plakalarla Tasarlanan Arıtma Sisteminin Deneysel ve Sayısal Analizi”** isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin hükümleri gereğince .../.../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan:  
.....

İmza:

Üye:  
.....

İmza:

Üye:  
.....

İmza:

Üye:  
.....

İmza:

Üye:  
.....

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....  
Enstitü Müdürü



## TEZ BİLDİRİMİ

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

Mehmet ORUÇ





## ÖZET

### BİRLEŞTİRİLMİŞ PLAKALARLA TASARLANAN ARITMA SİSTEMİNİN DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZİ

ORUÇ, Mehmet

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sedat YAYLA

Aralık 2020, 75 sayfa

Petrol ve türevi ürünlerin; hayatın her alanına girdiği gerçeği göz önüne alındığı zaman, petrolün üretilmesinden tüketilmesine kadar olan bütün ara işlemlerin ciddi bir titizlikle yapılması gerekmektedir. Yeraltı ve kuyu akışkanları genelde petrol, gaz ve su bileşenlerinin karışımıdır. Bu bileşenlerin her birinin belirli bir uygulamada kullanılması için ayrıştırılması gerekir. Petrol, ayrıştırma sürecinde genel olarak iki işleme tabi tutulmaktadır. Petrol, I. işlemde (kuyudan çıkartılan petrolden çamur, gaz ve suyun bir kısmının ayrıştırıldığı proses) geçirildikten sonra II. işleme (petrolden özellikle suyun ayrıştırıldığı proses) geçilmelidir. II. İşlem kapsamında petrolden bir miktar gaz ve çamur da ayrıştırılsa bile temel amaç petrolün içindeki suyun ayrıştırılmasıdır.

Bu çalışmada: suyun ayrıştırıldığı II. İşleme yönelik olarak, ayrıştırma sisteminde kullanılan her bir değişken parametre (birleştirilmiş plaka ebadı, delik çapı, plakalar arası mesafe, birleştirilmiş plakaların sisteme montaj açısı, Re sayısı vb.) göz önünde bulundurularak bu parametrelerin maksimum verimin ayrışma süresine etkisi araştırılmıştır. Yapılması gereken fazla deney sayısından dolayı oluşacak maliyeti azaltmak ve zamandan tasarruf etmek için Box Behnken Tasarımı ile deneme desenleri oluşturulmuştur. Bu deneme desenlerine göre deneyler yapıp ve sonuç olarak elde edilen ayrışma verimlilik değerleri Yanıt Yüzey Metodu (YYM) ile değerlendirilip optimum deneme deseni ve bu desende etkili olan değişken parametreler belirlenmiştir. Bu deneme deseninin deney sonuçları sayısal olarak da bir HAD programı ile 2B olarak elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Birleştirilmiş plakalar, HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği), Petrol-Su ayrışma verimliliği



## ABSTRACT

### EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS OF THE TREATMENT SYSTEM DESIGNED WITH COALESCING PLATES

ORUÇ, Mehmet

M.Sc. Thesis, Mechanical Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. Sedat YAYLA

December 2020, 75 pages

Considering the fact that petroleum and its derivatives enter all areas of life, all intermediate processes from the production of oil to its consumption should be done with great care. Underground and well fluids are generally mixtures of oil, gas, and water components. Each of these components must be separated for use in a specific application. Oil is generally subjected to two processes in the separation process. The oil extracted from the well is subjected to the first process in which some of the sludge, gas, and water are separated and then subjected to the second process in which water is separated from the oil. Even if some gas and sludge are separated from the oil in the second process, the main purpose is to separate the water in the oil.

In this study, for the second process in which the water is separated, the effect of each variable parameters (namely coalescing plate size, hole diameter, the distance between plates, the mounting angle of coalescing plates to the system, Re number, etc.) used in the separation system on the maximum efficiency, the exit velocity of the separated oil from the system and the separation time were investigated. Box Behnken experimental design method was used to reduce the cost and save time due to the excessive number of experiments required. In the experiments conducted according to this experimental design, the separation efficiency values were evaluated by the Response Surface Method (RSM) and the optimum values of the variable parameters were determined. Optimum results obtained with RSM were evaluated numerically with two-dimensional CFD software.

**Keywords:** Coalescing plates, CFD (Computational Fluid Dynamics), Oil-Water separation efficiency



## ÖN SÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında yakın ilgi ve önerileri ile beni yönlendiren, yoğun temposuna rağmen vakit ayırarak yardımlarını esirgemeyen, beni her zaman çalışmaya teşvik eden danışmanım ve hocam Sayın Prof. Dr. Sedat YAYLA' ya teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasındaki deneysel çalışmalar, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından FOA-2019-7591 numaralı 'Öncelikli Alan' kategorisi kapsamında desteklenip kurulan deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiş olduğundan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Akademik çalışma hayatımda destekleriyle yanımda olan; Arş. Gör. Mehmet TOPUZ, Arş. Gör. A. Sadık DURU, Arş. Gör. Şakir Yılmaz, Arş. Gör. Berdan ULAŞ ve Ümit ECER'e teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

2020

Mehmet ORUÇ



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Hedefler .....	6
1.2. Tezin Özgün Değeri .....	8
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ .....	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	33
4.1. Farklı Petrol-Su Karışımlarının Kullanılarak Farklı Re Sayısına Sahip Karışımın Ayrıştırılması (1. Çalışma) .....	33
4.2. Birleştirilmiş Plakalar Arası Mesafelerin Genişliğe Oranı (D/W), Plaka Uzunluklarının Genişliğe Oranı (L/W), Karışımın Ayrışma Sistemine Pompalanma Sıcaklık Değeri ve Plakaların Ayrışma Sistemine Montaj Açısı, Parametrelerinin Ayrışma Verimliliğine Etkisi (2. Çalışma).....	41
4.3. Birleştirilmiş Plakaların Delik Çapının Plaka Genişliğine Oranı (d/w), Karışımın 3 Farklı Re Sayısı ve Plakaların Ayrışma Sistemine Montaj Açısı ( $\alpha$ ) Parametrelerinin Ayrışma Verimliliğine Etkisi (3. Çalışma) .....	52
5. SONUÇ .....	67
KAYNAKLAR.....	71
ÖZ GEÇMİŞ.....	75



## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ele alınan parametre ve seviyeleri (1. Çalışma).....	21
Çizelge 2.2. Ele alınan parametre ve seviyeleri (2. Çalışma).....	21
Çizelge 2.3. Ele alınan parametre ve seviyeleri (3. Çalışma).....	22
Çizelge 4.1. Petrol-Su karışımlarının özellikleri. ....	33
Çizelge 4.2. Deneylerde kullanılan birleştirilmiş plakaların özellikleri.....	35
Çizelge 4.3. Re Sayısı hesaplamasında kullanılan değerler .....	36
Çizelge 4.4. Gerçekleştirilen deneyler.....	37
Çizelge 4.5. Ele alınan parametreler ve seviyeleri .....	42
Çizelge 4.6. Petrol-Su karışımının özellikleri .....	42
Çizelge 4.7. Petrol-Su karışım numunelerinin ayrışma verimlilik sonuçları .....	43
Çizelge 4.8. Numune 1 için ANOVA Çizelgesi.....	45
Çizelge 4.9. Numune 2 için ANOVA Çizelgesi.....	46
Çizelge 4.10. Numune 3 için ANOVA Çizelgesi.....	47
Çizelge 4.11. Petrol-Su karışımlarının özellikleri.....	52
Çizelge 4.12. Deneylerde kullanılan birleştirilmiş plakaların özellikleri.....	53
Çizelge 4.13. Seçilen parametreler ve seviyeleri.....	54
Çizelge 4.14. Deney Planı.....	55
Çizelge 4.15. Mesh bağımsızlık Çizelgesi.....	57
Çizelge 4.16. Petrol-Su karışımının ayrışma verimlilik sonuçları.....	59
Çizelge 4.17. Petrol-Su karışımının ANOVA Çizelgesi.....	60



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. 1. Örnek yatay petrol-su ayrışma prosesi. ....	1
Şekil 2. 1. Yatay petrol-su ayrışma prosesi. ....	12
Şekil 2. 2. Yerçekimsel ayrışma sistemi. ....	13
Şekil 2. 3. Açılı ayrışma sistemi. ....	14
Şekil 2. 4. Birleştirilmiş plaka ayrışma sistemi. ....	15
Şekil 3. 1. Birleştirilmiş plaka ayrışma sistemi. ....	19
Şekil 3. 2. Kullanılan deney düzeneği. ....	23
Şekil 3. 3. a) Kullanılan viskozimetre b) Kullanılan hidrometre. ....	24
Şekil 3. 4. Deneylerde kullanılan petrol-su karışım taşıma borusu. ....	25
Şekil 3. 5. Deneysel çalışmalarda kullanılan birleştirilmiş plakalar. ....	26
Şekil 3. 6. Ayrıştırma tankı. ....	27
Şekil 3. 7. Birleştirilmiş plaka şekli ve ele alınan parametreler. ....	28
Şekil 3. 8. Yapılacak Olan Sayısal Çalışmaya ait örnek ağ yapısı. ....	30
Şekil 4. 1. İş akış diyagramı. ....	34
Şekil 4. 3. Ayrışma sonucu yapılan ölçüm örneği. ....	38
Şekil 4. 4. Kullanılan numunelere ait ayrışma verimlilik değerlerinin karşılaştırılması. ....	39
Şekil 4. 5. Ayrıştırma işleminde elde edilen deneysel ve tahmin edilen yanıtlar. ....	48
Şekil 4. 6. Numune 1 için elde edilen yanıt yüzey sonuçları a) Karışımın sıcaklığı ve d/w parametrelerinin ayrışma verimliliği üzerindeki etkisi b) Plakaların ayrışma sistemine montaj açısı ve l/w parametrelerinin ayrışma verimliliği üzerindeki etkisi. ....	49
Şekil 4. 7. Numune 2 için elde edilen yanıt yüzey sonuçları a) Karışımın sıcaklığı ve d/w parametrelerinin ayrışma verimliliği üzerindeki etkisi b) Plakaların ayrışma sistemine montaj açısı ve l/w parametrelerinin ayrışma verimliliği üzerindeki etkisi. ....	50

Şekil	Sayfa
Şekil 4. 8. Numune 3 için elde edilen yanıt yüzey sonuçları a) Karışımın sıcaklığı ve d/w parametrelerinin ayrışma verimliliği üzerindeki etkisi b) Plakaların ayrışma sistemine montaj açısı ve l/w parametrelerinin ayrışma verimliliği üzerindeki etkisi. ....	51
Şekil 4. 9. HAD Programında uygulanan sınır şartları b) Mesh özellikleri. ....	56
Şekil 4. 10. HAD Programında uygulanan iterasyon. ....	56
Şekil 4. 11. Ayrıştırma işlemi sırasında elde edilen deneysel ve tahmin edilen yanıtlar. ...	61
Şekil 4. 12. Plakaların ayrışma sistemine montaj açısı ve plaka delik açısı/plakalar arası mesafe (d/w) parametrelerinin ayrışma verimliliği üzerindeki etkisi. ....	62
Şekil 4. 13. Plakaların ayrışma sistemine montaj açısı ve Re sayısı parametrelerinin ayrışma verimliliği üzerindeki etkisi. ....	63
Şekil 4. 14. $Re = 4766.2345$ , $\alpha = 25$ ve $d/w = 0.021$ için karışımın hız profili. ....	64
Şekil 4. 15. Optimum şartlardaki petrol hacim fraksiyonu. ....	65

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklama

<b><i>Re</i></b>	Reynolds sayısı
<b><math>\rho</math></b>	Petrol-su karışımının yoğunluğu ( $\frac{kg}{m^3}$ )
<b><math>\mu</math></b>	Karışımın dinamik viskozite değeri (kg/m. s)
<b><math>C^\circ</math></b>	Santigrat derece
<b>G</b>	Yerçekim ivmesi cm/saniye <sup>2</sup>
<b>HAD</b>	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
<b>lt.</b>	Litre
<b>dak.</b>	Dakika

### Kısaltmalar

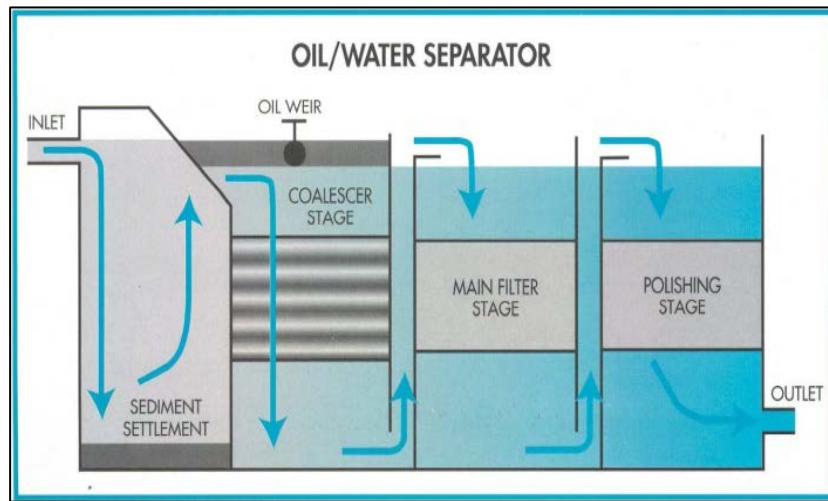
### Açıklama

<b>U</b>	Petrol-su karışımının ayrışma sistemine giriş hızı (m/s)
<b>D</b>	Petrol-su karışımını ayrışma sistemine taşıyan borunun çapı (m)
<b>Vp</b>	Stoke's yasası hız değeri
<b>dc</b>	Bulk fazının yoğunluğu (gram/cm <sup>3</sup> )
<b>dp</b>	Kürecik fazının yoğunluğu (gram/cm <sup>3</sup> )
<b>d/w</b>	Birleştirilmiş plakalar arası mesafe/birleştirilmiş plaka genişliği
<b>l/w</b>	Birleştirilmiş plaka uzunluğu/birleştirilmiş plaka uzunluğu
<b><math>\alpha</math></b>	Birleştirilmiş plakaların ayrışma sistemine montaj açısı
<b>YYM</b>	Yanıt yüzey metodu
<b>RSM</b>	Response Surface metodu



## 1. GİRİŞ

Ham petrol, kuyudan çıkarıldıktan sonra I. proses kapsamında farklı tip ayrıştırıcı sistemlerin bulunduğu tanklarda bekletilip bu ayrıştırma sistemleri tarafından ayrıştırılır. I. proses aşamasında; petrol ile birlikte yeryüzüne çıkartılan çamur vb. atıklar, gaz ve bir miktar da su ayrıştırılır. İçindeki atıkların bir kısmından arınan petrol daha sonra II. Proses aşamasına tabi tutulur (Ngu ve ark., 2014). Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi II. Proses daha pahalı ve daha fazla zaman aldığı için çoğu petrol zengini ülkelerde sınırlı sayıda mevcuttur. Sınırlı sayıdaki II. proses tesislerine boru hattı, tank, tren, gemi taşımacılığı ile taşınan petrol, bu tesiste II. prosese tabi tutulur. II. proses kapsamında farklı ayrıştırma metotları mevcuttur ve bu metotlar arasından farklı delik çaplarına, kavis açısına ve aralık değerine sahip birleştirilmiş plakaların farklı eğim derecelerinde ve ebatlarda sisteme monte edilmesi ve tüm bu parametrelerin kombinasyonu sonucunda maksimum verim elde edilmeye çalışılacaktır. Parametre sayısı ve parametre değişken değerleri çok fazla olduğundan yapılması gereken deney sayısı yüzleri bulmaktadır. Yapılması gereken deney sayısından tasarruf edebilmek için Yanıt Yüzey Metodu (YYM) kullanılıp optimizasyonla deney sayısı minimuma indirgenip maksimum ayrışmanın elde edilebileceği deneme deseni ve ayrışma verimliliği üzerindeki en etkili parametreler belirlenecektir.



Şekil 1. 1. Örnek yatay petrol-su ayrışma prosesi.

Ham petrolün dışında endüstriyel atık sularının ve kanalizasyon suyunun ayrıştırılmasında da kullanılan birleştirilmiş plakaların bu çalışmada kullanılması; birleştirilmiş plakaların, farklı eğim dereceleri, delik çapı, kavis açısına sahip değerleri için, farklı petrol-su karışım örneklerinin sisteme giriş hız değerleri kullanılarak birleştirilmiş plakaların ebatları ve sisteme montaj derecesi değiştirilerek en iyi ayrıştırma verimliliği elde edilmeye çalışılacaktır. Petrol-su arıtma sistemlerindeki birleştirilmiş plakalar dikey açılı, eğim açılı veya yatay olarak yerleştirilebilir. Şekil 1’de örnek yatay petrol-su ayırma prosesi gösterilmiştir. Çalışma sonucunda petrol rafineri sistemine ve endüstriyel atık suyun ayrıştırılma sistemine daha az maliyetli ve daha etkili bir yöntemin geliştirilip bu sektörlere katkıda bulunulacağı düşünülmektedir.

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmakta olup enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde de daha hassas yöntemler geliştirilmektedir (Ulas ve ark., 2018). Her ne kadar yenilenebilir enerji kaynakları son dönemlerde popüler olsa da enerji kaynaklarının kullanımına bakıldığında fosil yakıtlar (kömür, doğalgaz, petrol ve türevleri vb.) hala ilk sırada yerini korumaktadır (IEA, 2019). Başlıca fosil yakıtlardan birisi olan petrolün yer altından çıkartılıp nihai ürüne dönüşmesi için bazı proseslerden geçirilmesi gerekmektedir. Yeraltından çıkarılan ham petrol ilk olarak I. Proses kapsamında barındırdığı suyun büyük bir kısmından ve katı partiküllerin çoğundan arındırılmaktadır (Yayla ve ark., 2019). I. Proses sonucu elde edilen suyun içinde %5-10 aralığında değişen bir oranda petrol mevcuttur. Yerkürenin dengesinin bozulmaması için elde edilen bu suyun büyük bir kısmı enjeksiyon kuyularından tekrar yeraltına basılmaktadır. Yeraltına basılacak bu suyun içinde bulunan petrolün sudan ayrıştırılıp kullanılması, zaten yüksek maliyet ile yeryüzüne çıkartılan petrol-su karışımı açısından önem arz etmektedir. Ham petrolden I. Proses kapsamında ayrıştırılıp elde edilen suyun içindeki petrol, II. Proses kapsamında bir dizi işlemlerden geçirilerek ayrıştırılabilmektedir (Demirbaş ve ark., 2017). Üretilen bu yeraltı suyundan petrolün ayrıştırılması için çeşitli ayrıştırma yöntemleri bulunmaktadır. Petrol/su ayırma sisteminin temel prensibi yüzdürme tekniğinin uygulanmasıdır. Ayırma sistemine büyük bir hacimde karışım girdiğinde, petrol fazı ayırma sisteminin tepe bölgesinde, su fazı ise alt bölgesinde kümelenir. Petrol fazının kümelenildiği bölgede yerçekimsel ayrıştırma meydana gelir ve yüzdürme-ayırma ise su fazının bulunduğu bölgede meydana gelir. Su fazı daha fazla akışkandan oluştuğu için yüzdürme ayırması üretilen akışkanın

başlangıç prosedürüdür (Liu, 2009). Su ve petrolü ayırtmak için en genel olarak kullanılan yöntemler santrifüj ayırma, yerçekimsel ayırma ve filtreleme yöntemleridir (Fleischer, 1984). Santrifüj yerçekimsel ayırma temelde yoğunluk varyanslarına dayanırken filtreleme ise güç varyanslarına, moleküler hacime ve yerçekimsel güçlere dayandırılır. Suyun petrolden ayırılmasında önemli bir etkiye sahip olan viskozite, aynı zamanda petrolün önemli bir fiziksel özelliğidir. Yerçekimsel ayırmanın etkinliği viskozite düşüşünün yanı sıra santrifüj güç kullanılarak kabarcık çapının artırılmasıyla veya yer çekim güç noktasının değiştirilmesiyle arttırılmaktadır. Ayırma sisteminde silindirik siklonlar kullanılarak santrifüj kuvvetinden faydalanılarak gerçekleştirilen çalışmalar mevcut olup siklonların çeşitli parametreleri üzerinde durulup ayırma verimliliği incelenmiştir (Liu ve ark., 2012). Yerçekimsel ayırma yöntemi en kapsamlı ve en çok kullanılan yöntem olup yer çekimi etkisi ile ayırma sağlanmakta olup ayırmadaki kinetik faktörler üzerinde durulmuştur.

Stokes yasasına uygun olarak matematiksel eşitlikler çeşitli yoğunluktaki petrol-su karışımının ve damlacık boyutunun artış miktarını hesaplamaya olanak verir (Kirby ve Mohr, 1993). Su, belli bir hızda yatay olarak hareket ederken kanallar oluşturur ve böylece suyun içindeki petrol küreciklerinin ayırılabilmesi için yeterli zaman oluşturulmuş olur. Stokes yasası baz alınarak tasarlanan farklı şekildedeki petrol-su ayırma sistemleri mevcuttur. Tasarlanan bu ayırma sistemlerinde ayırma verimliliği ile ayırma süresi arasındaki ilişki önemli bir konudur. Daha kısa sürede daha yüksek ayırma verimliliği elde etmek amaçlanmıştır. Standart API ayırıcısının tasarım amacı çapı 150 mm' den büyük petrol damlacıklarının ayırılmasını başarmaktır. Çapı 150 mm' den küçük petrol damlacıklarını yakalayabilmek için ise tabaka ayırıcısı en çok kullanılan tekniktir. Çok katmanlı ve farklı maddelerin karışımı sebebiyle oluşan petrol toplanmasını önlemek için elde edilen bu petrolün bir ön damıtma sürecinden geçirilmesi gereklidir ve bunun için çeşitli ayırma yöntemleri kullanılmaktadır (Burns ve Mohr, 2000). Son yıllarda, "Wavy" birleştirilmiş plaka ile sudan üretilen emülsifiye petrol damlacıklarının ayırılması için yeni sistemler tasarlanmıştır (Ostrovskii, 2003). Yerçekimsel ayırma uzun zamandan beri kullanılmakta olan bir ayırma yöntemi olup çeşitli yönleri ile avantajları olan bu sistem yerçekimi ile farklı yoğunluklara sahip malzemelerin ayırılmasını içeren tüm uygun faz ayırma tekniklerini tanımlar (Yayla ve ark., 2017). Yerçekimi teknikleri petrol üretiminde üretilen suyun ayırılması

için geniş ve çeşitli uygulamalar içermektedir ve yer çekimi sistemi ekonomik olarak faydalı olup yer çekimi tekniği petrol endüstrisinde petrolün ayrıştırılması için en çok kullanılan tekniktir (Gu, 2001; Rao ve Patil, 1998; Ruiz ve Padilla, 1996; Kenawy ve ark., 1997).

Birleştirilmiş plaka setindeki tabakalar arası mesafe 6 mm ile 20 mm'den daha büyük boyutta değiştirilebilir. API 421; 45 veya 60 derece eğimli paralel birleştirilmiş plakalarda, 60-150 mikrondaki petrol küreciklerini ayırtmak için kullanılır. O bölgedeki yarıklar plaklara yardımcı olarak çalışır ve hassas ayarlı sigorta işlevi görür. Bu yarıkların çapı 10 mm' den 15 mm' ye kadar değişiklik gösterebilir (Smith, 1993). Petrollü su, bu yarığın şekline göre dalgalı bir yol çizerek plakaların arasından kanal boyunca akar ve sonunda yukarı yönde dönerek aşağı dökülür. Sudan daha düşük yoğunlukta olan petrol kabarcıkları yukarı doğru hareket eder ve birleştirilmiş plakaların alt kısmına tutunur; adezyon kuvvetinden dolayı muhafaza edilen büyük miktardaki petrol kabarcıkları bir araya geldiğinde birleşerek büyük bir kabarcığa dönüşürler ve sırasıyla film şeklini alırlar. Akışkan düşü yüksekliğinin kinetik etkisiyle film plakanın üst kısmındaki bölümünü geçer ve kanalın tepesine doğru hareket eder ve ondan sonra su yüzeyinde toplanır. Petroldeki boşluklar tabakaların yüzeyinde dikey çizgiler ile belirtilmiştir. Bu durum sistemdeki birleşmiş damlacıkların akışkan yüzeyine ulaşmasını sağlar. Bu dizayn petrol Damlacıklarının yüzeye ulaşma verimliliğinin şartlarını belirler (Ivanenko ve ark., 2010). Stokes yasası; petrol küreciklerinin laminer akış şartlarına bağlı olarak yukarı doğru hareket etmeye devam edeceğini açıklar. Parçacıkların boyutunun artışı laminer akış hızının yükselmesine yol açar. Ayrıştırıcıların gerekli boyutlarını hesaplayabilmek için petrol kabarcıklarının hız artışı bilmek büyük önem taşır. Petrol ayırma sisteminin boyutları hesaplanırken, petrol kabarcıklarının serbest hale gelebilmesi için, birbirine bağlı iki sistemden birinin çıkışının diğer sistemin girişine uygun olması göz önünde bulundurulur. Suyun petrol küreciklerini sistemin diğer tarafına itmesinden önce petrol küreciklerinin en dipten yüzeye hareket edebilmeleri için yeterli zaman verilmelidir (Arnold ve Stewart, 2008).

Ayrışma sisteminde birleştirme ve yerleştirmenin petrol-su ayırma teknikleri arasında oldukça baskın olarak kullanılmaktadır (Billingham, 1992). Kabarcıkların ara yüzeyinde sıklıkla gerçekleşen kimyasal etkileşimlerinden dolayı birleştirme tekniği iyi anlaşılmalıdır. Cengel ve Turner (2001) yerleştirme tekniğinin Stokes yasasına göre

nispeten daha iyi açıklanıp ve anlaşılabilirdiğini belirtmişlerdir. Dağınık fazın damlacık boyutları nispeten küçük olduğundan petrol-su karışımını ayırştırmak zordur. Standart API gravite değerleri kullanılarak petrol, su ve tuz parçacıkları içeren bir sistem için akışkan taşıma sisteminin modeli tasarlanmalıdır (Keller, 1975). Karışım, petrol ve su içeriğini hassas bir şekilde bölen, çözülmez filtre (çok yataklı) araçlarıyla petrolü ve katı parçacıkları tutabilecek şekilde filtrelenmiştir ve sonradan arıtılmış su ile katı petrol ana hatlarıyla belirtilip bir kanal boyunca taşınmıştır. Rehm ve Shaughnessy, (1983) geleneksel silah fiçisi ve matris plaka birleştirmesi ile ilgili olarak yüksek performans gösteren bir gelişmiş yerçekimsel ayırştırıcıyı ana hatlarıyla anlatmışlardır. Bu ayırştırıcının aparatları çeşitli üretim şartları, sıcaklık ve yerçekimi değerlerinde kullanılabilir.

Ayrışma işleminin temelinde petrol ve diğer maddeler içeren atık suyu arıtmada kullanılacak olan bir petrol-su ayırştırıcısı tasarlama işlemi mevcuttur (Aymong, 1988). Inoue, (1996) birbirine iyice karışmış veya kirlenmiş yüksek viskoziteli petrol-su karışımını ayırştırmak için bir ekipman geliştirmiş olup ayrı bir kaynak tankından tedarik edilen karışımın üstten açılmalı tanka transfer edilebileceği şekilde bir tank tasarımı yapmıştır. Romano, (1990) tapalar içeren, bölmelerden oluşan ve uygulanabilir basit bir ayırştırma sistemi tasarlamış ve bu tupa düzenleyici sistemi ile sadece gres yağı veya petrolün dışarı dökülmesini önlemiştir. Nordvik ve arkadaşları (1996) daha fazla petrolün ayırştırılabilmesi için ön arıtma aşamasında yaygın olarak kullanılan bir petrol-su gravite cihazı tasarlamışlardır. Tasarlanan bu cihazla gerçekleştirilen ayrışma işlemi süresince birleşme olarak adlandırılan petrol kabarcıkları arasındaki tabakanın incilmesi, kırılma süreci ve kırılmadan sonra petrol damlacıklarının arka taraflarda toplanması olayı gözlenmiştir (Tadros, 2009; Sztukowski ve ark., 2003; Frising ve ark., 2006). Ayrıca birleşme için uygulanan sınırlamalar emülsiyonu iki farklı faza ayırştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Binks ve Horozov (2006), tüm ayrışma aşamalarında, kabarcık miktarında azalmaya neden olan birleşme olayının, geri dönüşümü olmayan bir süreç olarak değerlendirmişlerdir. Petrol-su ayırştırma sisteminde kullanılan birleştirilmiş plakalar yöntemi ile yüksek ayrışma verimliliği elde edildiğinden en yaygın kullanılan yöntem ve aparatlardır. Birleştirilmiş plakaların ayrışma verimliliği üzerindeki etkisi incelendiğinde; plakaların uzunluğunun, ayrışma sistemine pompalanan karışım debisinin ve yoğunluğunun oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir.

Daha önce, optimizasyon için kullanılan geleneksel yöntemler sadece bir bağımsız parametrenin değiştirilmesini içerirken, diğer parametreler sabit bir değerde tutulmaktadır. Sonuç olarak, bu yöntemler sadece çok fazla zaman değil, aynı zamanda maliyet artışı ve çok sayıda deney gerektirir. Bu sorunların üstesinden gelmek için birçok istatistiksel program geliştirilmiştir. Bunlar arasında son yıllarda en çok kullanılan yöntem Yanıt Yüzey Metodolojisi (RSM) (Yılmaz ve ark., 2017). RSM, birkaç bağımsız parametrenin etkilerini aynı anda analiz etmek için matematiksel bir algoritma kullanan ve deneylerin optimizasyonunda ve tasarımında kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu matematiksel teknik, birtakım avantajlara sahip olup en önemlisi daha düşük maliyet ile daha kısa zamanda sonuca ulaşabilmektir (Yılmaz ve ark., 2018). RSM'nin en büyük avantajı, optimizasyon için incelenen tüm parametrelerin aynı anda değiştirilmesi ve deneysel verilerle matematiksel bir model oluşturmasıdır. Bu yöntem son zamanlarda optimizasyon amacıyla incelenmiştir. Bu yaklaşımın ana özelliği, tüm operasyonel değişkenlerin aynı anda değişmesi ve test verileriyle matematiksel bir model oluşturmasıdır. RSM'ye dayalı optimizasyon süreci birçok aşamada gerçekleşir. Bunlardan ilki bağımsız değişkenlerin ve istenen yanıtların seçilmesidir; sıradaki deneysel tasarım seçimi. İkinci olarak, seçilen deneysel stratejiye ve sonuçların performansına göre bir dizi deney yapılır. Daha sonra elde edilen deneysel verilerle model denklemi oluşturulur ve daha sonra modelin uygunluğu değerlendirilir. Son olarak, optimum işlem koşulları belirlenir.

### 1.1. Amaç ve Hedefler

- Petrol-su karışımının ayrıştırılması sistemini içeren tezin; deneysel ve sayısal olarak ele alınıp gerçekleştirileceği çalışmalar esnasında yapılması planlanan adımlar aşağıda sıralanmıştır:
- YYM (Yanıt Yüzey Metodolojisi) kullanılarak optimum deneme deseninin bulunması için tüm değişken parametre sınır değerlerinin girilerek yapılması gereken binlerce deney arasından Box-Behnken tasarımı ile deney sayısında azalmaya gidilmesi

- Box-Behnken tasarımı ile belirlenen deneme desenlerine göre yapılan deneylerle ayırma verimlerinin ve çıkış hızlarının belirlenip elde edilen sonuç verileri YYM metodunda kullanılarak optimum deneme deseninin bulunması
- Optimum deneme deseninin hem deneysel hem de bir HAD programı ile sayısal olarak gerçekleştirilmesi.
- Birleştirilmiş plakalar arasındaki akış yapısının kullanılacak bir HAD programı ile incelenip akış ayrılmalarının yoğun olduğu bölgelerin belirlenerek buna göre plakalar üzerinde farklı delik desenlerinin tasarlanması ve delik desenlerinin ayırma verimi üzerindeki etkisinin sayısal olarak araştırılması.
- Petrol-su ayırma sisteminde daha önce denenmeyen (II proses olarak hiç kullanılmamış ancak su arıtma tesislerinde çok sınırlı da olsa uygulamalarda rastlanan) bir metot olan; birleştirilmiş plakaların sisteme eğimli olarak monte edilmesi, ve bu plakaların sistemde maksimum ne kadar ayırma sağlayacağı, birleştirilmiş plaka üzerinde bulunan deliklerin geometrilerinin ve çaplarının değiştirilerek ayırma verimliliği üzerindeki etkisini inceleyip bütün parametrelerin kombinasyonundan oluşacak optimum deneme deseninin belirlenmesi amacıyla yapılacak olan çalışmalar neticesinde aşağıda belirtilen amaçlara ulaşılmış olacaktır:
- Yüksek maliyetler gerektiren bir sektör olan petrol işletmelerinin II. prosesi (petrol-su ayırma prosesi) için daha az maliyet ile daha fazla verim elde edebilecek bir yöntem geliştirmek.
- Ayırma verimini düşürmeden ayırılmış petrolün çıkış hızını artırarak Petrolün ayırma süresinin kısaltılmasına katkıda bulunmak.
- Türkiye dahil dünyanın birçok ülkesinde, fazla maliyetli olduğu için sınırlı sayıda bulunan II. proses tesislerinin maliyetinin düşürülerek sayılarının artırılması ve petrolün sadece bu proses için taşınması maliyetinden tasarruf edip ekonomiye katkıda bulunmak.
- Mevcut işletmelerde kullanılanlardan daha yüksek bir ayırma verimliliği elde edileceğine inanılan bu çalışma sayesinde çevre kirliliğine de neden olan II. prostesten çıkan atık su miktarını azaltıp bu atık sudaki petrol oranını düşürmek.
- Yapılacak çalışmada petrol-su karışımına uygulanacak olan bu yöntem aynı zamanda farklı sektörlerdeki atık su karışımına veya kanalizasyon suyunun

artılmasına da uygulanabileceği için çevreye ve geri dönüşüme çok büyük katkı sunacağı öngörülmektedir.

## 1.2. Tezin Özgün Değeri

- Önerilen tez çalışması, su arıtma tesislerinde ve Petrol rafinerilerinde petrolden özellikle suyun ayrıştırılmasında kullanılan II. proses kapsamında yapılan ayrıştırma işlemlerini daha az maliyetle daha kısa sürede daha yüksek bir ayrıştırma verimi ile elde edilmesini amaçlamaktadır. Birleştirilmiş plakalarda ayrıştırma verimliliğini etkileyen çoğu değişken parametrelerin ele alınıp bunların kombinasyonlarının verim ve ayrıştırma süresi üzerindeki etkisinin incelenmesi için yüzlerce deney yapılması gerekmektedir. Deney sayısının bu denli fazla olması; çok fazla zaman ve maliyet gerektirmektedir. Bu nedenle uzun zaman ve yüksek maliyetlerden tasarruf etmek için optimizasyon yapılması önem arz etmektedir. Önerilen çalışmada yapılacak optimizasyon sonucunda maksimum verim ve ayrılmış petrolün çıkış hızı için optimum değişken parametre değerleri belirlenmiş olacaktır. Daha sonra bu optimum deneme deseni için deney yapıp maksimum verim ve çıkış hızının bu desen ile elde edildiği doğrulanacaktır. Bu deneme deseninin deney sonuçları sayısal olarak da bir HAD programı ile elde edilecektir. Böylelikle doğrulaması (Validation) yapılmış olan sayısal model ile farklı deneme desenine sahip olan birleştirilmiş plakaların verim ve çıkış hızı üzerine etkisi de ayrıca araştırılacaktır.
- Petrol, üretiminden ürüne dönüşene kadar birçok maliyetli ve zaman alan işlemten geçirilen organik bir hidrokarbon bileşimdir. Bu sektördeki her bir işlem çok pahalı ve zaman aldığı için bütün bu işlemlerden herhangi biri üzerine yapılacak olan verimli, etkili ve özgün bir iyileştirme çalışması ülke ekonomisine de büyük katkıda bulunacaktır. Maksimum verim ve minimum ayrıştırma süresinin bu çalışmadan elde edilmesi çalışmalar dizisinin gerçek hayattaki uygulanabilirliğinin, sanayi ile bilime yüksek oranda katkısının olacağı düşünülmektedir.
- Elde edilen sonuçlara bakıldığında ayrışmayı etkileyen bütün parametrelerin bir bütün olarak ele alınıp incelenmesi gerektiğinin elzem olduğu görülmektedir.

Ayrıca çalışma kapsamında, birleştirilmiş plakaların geometrisi üzerinde değişiklikler yapılarak çok daha yüksek debi değerlerinde de yüksek ayrışma verimlilik değerinin elde edilebileceği amaçlanmıştır.

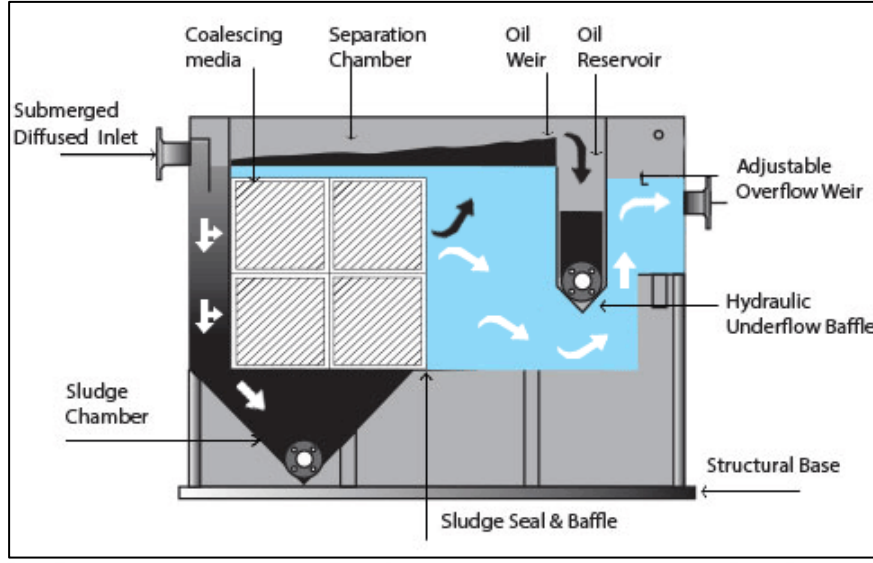




## 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Bu bölümde literatürde bulunan petrol-su ve atık su karışımlarının ayrıştırılması ile ilgili yapılmış çalışmalar, tez çalışmasında kullanılacak ayrışma yöntemine benzer olan çalışmalar üzerine genel bir bakış yapılacaktır.

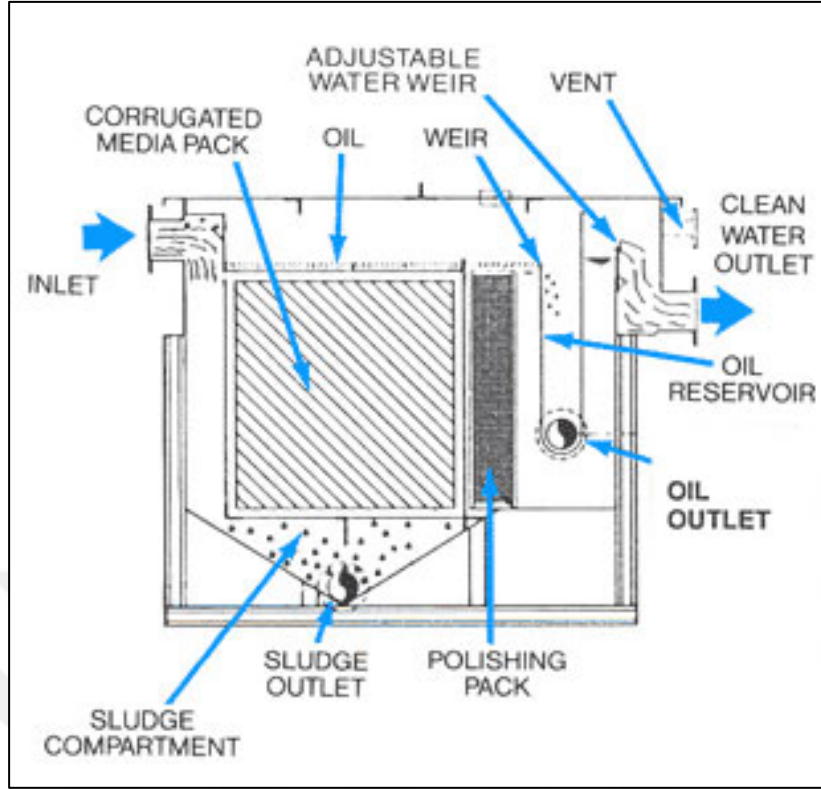
Ham petrol, kuyudan çıkarıldıktan sonra I. proses kapsamında farklı tip ayrıştırıcı sistemlerin bulunduğu tanklarda bekletilip bu ayrıştırma sistemleri tarafından ayrıştırılır. I. proses aşamasında; petrol ile birlikte yeryüzüne çıkartılan çamur vb. atıklar, gaz ve bir miktar da su ayrıştırılır. İçindeki atıkların bir kısmından arınan petrol daha sonra II. Proses aşamasına tabi tutulur (Ngu ve ark., 2014). Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi II. Proses daha pahalı ve daha fazla zaman aldığı için çoğu petrol zengini ülkelerde sınırlı sayıda mevcuttur. Sınırlı sayıdaki II. proses tesislerine boru hattı, tank, tren, gemi taşımacılığı ile taşınan petrol, bu tesiste II. prosese tabi tutulur. II. proses kapsamında farklı ayrıştırma metotları mevcuttur ve bu metotlar arasından farklı delik çaplarına, kavis açısına ve aralık değerine sahip birleştirilmiş plakaların farklı eğim derecelerinde ve ebatlarda sisteme monte edilmesi ve tüm bu parametrelerin kombinasyonu sonucunda maksimum verim elde edilmeye çalışılacaktır. Parametre sayısı ve parametre değişken değerleri çok fazla olduğundan yapılması gereken deney sayısı yüzleri bulmaktadır. Yapılması gereken deney sayısından tasarruf edebilmek için Yanıt Yüzey Metodu (YYM) kullanılıp optimizasyonla deney sayısı minimuma indirgenip maksimum ayrışmanın elde edilebileceği deneme deseni ve ayrışma verimliliği üzerindeki en etkili parametreler belirlenecektir.



Şekil 2. 1. Yatay petrol-su ayırma prosesi.

Ham petrolün dışında endüstriyel atık sularının ve kanalizasyon suyunun ayrıştırılmasında da kullanılan birleştirilmiş plakaların bu çalışmada kullanılması; birleştirilmiş plakaların, farklı eğim dereceleri, delik çapı, kavis açısına sahip değerleri için, farklı petrol-su karışım örneklerinin sisteme giriş hız değerleri kullanılarak birleştirilmiş plakaların ebatları ve sisteme montaj derecesi değiştirilerek en iyi ayrıştırma verimliliği elde edilmeye çalışılacaktır. Petrol-su arıtma sistemlerindeki birleştirilmiş plakalar dikey açılı, eğim açılı veya yatay olarak yerleştirilebilir. Şekil 1’de örnek yatay petrol-su ayırma prosesi gösterilmiştir. Yapılacak çalışmalar sonucunda petrol rafineri sistemine ve endüstriyel atık suyun ayrıştırılma sistemine daha az maliyetli ve daha etkili bir yöntemin geliştirilip bu sektörlere katkıda bulunulacağı düşünülmektedir.

Fleischer (1984), su ve petrolü ayırtmak için genel olarak kullanılan yöntemlerin santrifüj ayırma, yerçekimsel ayırma ve filtrelemekten oluştuğunu açıklamıştır. Çalışmada kullanılacak olan birleştirilmiş plaka yöntemi de yerçekimsel ayırma sınıfına girmektedir. Santrifüj ayırma ve yerçekimsel yerleştirme temelde yoğunluk varyanslarına dayanırken filtreleme ise güç varyanslarına, moleküler hacime ve yerçekimsel güçlere dayandırılır. Aynı zamanda suyun petrolden ayrıştırılmasında önemli bir etkiye sahip olan viskozite, petrolün önemli bir fiziksel özelliğidir. Yerçekimi kanununa göre işleyen ayırma sistemi belirtilmiştir. Yerçekimsel ayırmanın etkinliği viskozite düşüşünün yanı sıra santrifüj güç kullanılarak kabarcık çapının artırılmasıyla veya yerçekim güç noktasının değiştirilmesiyle arttırılmaktadır.



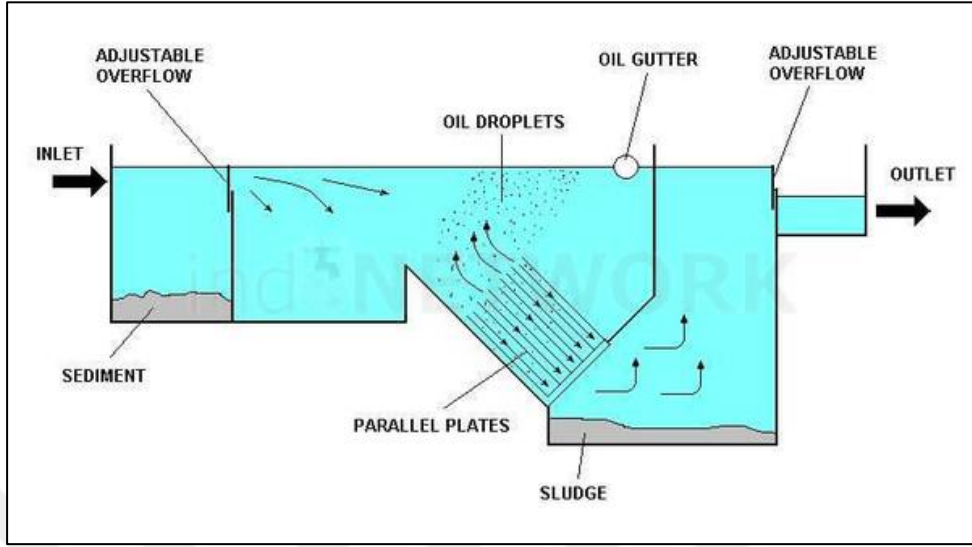
Şekil 2. 2. Yerçekimsel ayırma sistemi.

Morrison (1970), birleştirilmiş plaka kullanılarak yapılan ayırma sisteminin faydalarını API sistemi içermesinin yanı sıra; petrol ayırmasını arttırmak, plakalar içinde laminar akış sağlamak, verimli akış dağılımı, kendi kendini temizleyebilme, petrol çamurunu rahat bir şekilde yeryüzüne çıkarma, sıkıştırılabilir özellikte ve düşük maliyetli olması olarak belirtmiştir. Bu sistemin zayıf yönü ise tıkanabilmesi ve levhaların üzerinden petrol veya su akma potansiyelinin olmasıdır.

Kok ve Marson (1978), delikli plaka ayırıcısı hacminin, daha fazla yerçekimi sistemine olan ihtiyacı azaltıp petrol damlacık hareketlerini önlemek için bu hacmin azaltılması gerektiğini açıklamışlardır. Hacim azaltılmasının ise sisteme daha fazla delikli levha yerleştirilmesi ile mümkün olacağını belirtmişlerdir.

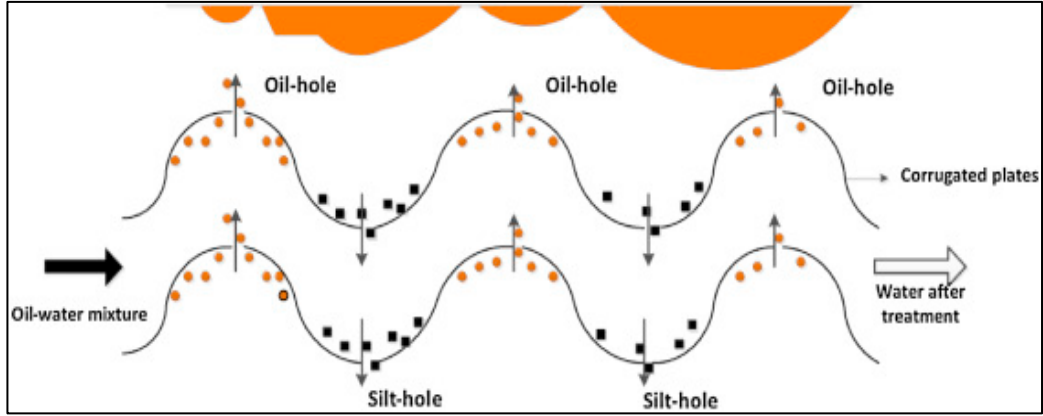
Mohr (1993), sistemin katı parçacıklarla tıkanması ve delikli plaka önleyicileri gibi konularda iyileştirmeler yapmak için farklı açılı sistemlerinin geliştirildiğini açıklamıştır ve şekil 3’de görüldüğü gibi kendi yaptığı çalışmada da eğimli (açılı) birleştirilmiş levhaları kullanmıştır. Bu çalışmada da zaten eğimli (açılı) birleştirilmiş plaklar kullanılacağı için deliklerin tıkanması çok daha zor olacaktır. Kullanılan bu tip

ayırıştırma sistemi sayesinde düşük Reynolds sayısı ile elde edilecek laminar akışla düşük yoğunluklu petrol ayrıştırılıp sistemden dışarıya su akışı elde edilebilir.



Şekil 2. 3. Açılı ayırıştırma sistemi.

Hei (2004), yatay ve eğimli olan birleştirilmiş plakaların iki tür montaj yönteminin olduğunu belirtmiştir. Yatay model kullanılarak yapılan sistemde, laminar akış ve birleştirilmiş plakalar arasındaki ilişkiyi incelenir. Laminar akış şartlarında su akış oranını minimum hızda devam ettirmek, petrol kabarcık boyutunda küçülmeye neden olan türbülanslı akış şartlarının oluşmaması için gereklidir. Stokes kanununa göre, petrol kabarcık boyutu arttıkça, kabarcıklar daha hızlı bir şekilde yüzeye yükselir böylece daha hızlı ayrıştırılır. Yatay ayırıştırıcılar, eğimli ayırıştırıcılarla karşılaştırıldığında levha boyutlarının daha küçük olduğu görülecektir ve aynı boyuttaki parçacıkları ayırıştırma için gerekli olan zamanın yatay ayırıştırıcılarda daha az olduğu fark edilecektir. Yatay ayırıştırıcıdaki dikey yukarı doğru boşluğun kaplanma gerekliliği eğimli levha sistemine göre daha azdır. Petrol elde etme verimliliği, akış hızındaki azalma oranını artırmaya bağlıdır. Bu çalışma kapsamında da eğimli ve yatay plakalar ile ayırıştırma verimliliği incelenip farklı akış hızları ile ayırıştırma verimliliği arasındaki bağlantı ortaya çıkarılacaktır.



Şekil 2. 4. Birleştirilmiş plaka ayırma sistemi.

Guerin (2002), birleştirilmiş delikli plaka ayırıcısının gravite ayırma sisteminin ana oluşumlarından biri olduğunu belirtmiştir. Şekil 4’de de görüldüğü gibi bu aparatlar, farklı yoğunluktaki petrol ve suyu standart ayırma metodu biçiminde ayırtmak için kullanılır. Birleştirilmiş plaka sistemli ayırmanın prensibi; petrol kabarcıklarının yukarı doğru çıkıp birleşmesine, daha büyük hacimde olmasına ve bu büyük hacimli petrol damlacıklarının daha kolay bir şekilde ayırılmasına olanak sağlamaktır. Birleştirilmiş delikli plaka sisteminin ayırma performansı uygun bir dizayn ile daha da geliştirilebilir. Simetrik delikli plaka sistemi olarak tasarlanan bir ayırıcı, geçmişte de kullanılan bir gravite ayırıcı tekniği ile benzerlik göstermektedir. Bu sistemin etkinliği, separator havza büyüklüğünü arttırmaya gerek kalmadan sistemin içine paralel levhaların yerleştirilmesiyle artırılabilir. Sisteme yerleştirilen paralel levhaların faydaları aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Sistemden geçen akışı arttırmak.
- Bütün bölümler için gerekli olan mesafeyi azaltmak.
- Daha küçük boyuttaki petrol kabarcıklarının ayırma verimini arttırmak.
- Petrol-su ayrışmasında istenmeyen özellik olan, uniform olmayan akış ve türbülanslı akış gibi karakteristiklerde azalma meydana getirmek.

Günümüzde petrol ile suyun ayrıştırılmasını incelemek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği programını (HAD) kullanan araştırmacıların sayısı artmaktadır (Chen ve ark., 2015). Aynı zamanda deneylerin yapılma süreci, karmaşık ve maliyetli olmasına rağmen çeşitli geometrik şekillerin ve işlem sürecinin ayırma üzerindeki etkisini belirlemekte faydalı olduğu için petrol-su ayırma deneylerinde temel olarak kullanılmaktadır (Andresen ve ark., 2000; Klasson ve ark., 2005; Wang ve James, 1998;

Zhao ve ark., 2005). Hesaplamalı akışkanlar dinamiği verilerinin daha fazla uygulanabilir ve deneylerle tutarlı olduğu ispatlanmıştır. (Cooper ve Coronellat, 2005; Zhong ve ark., 2006). Bu nedenlerden dolayı, çeşitli faktörlerin ayrıştırma verimliliği üzerindeki etkisini incelemek için bu çalışmada HAD programı kullanılmıştır. Bu program; akışkanların fiziksel ve kimyasal özelliklerine tipik olarak uygulanır ve aynı zamanda akışkan dinamiklerine ve birbiri ile ilişkili fiziksel olaylara, denklem yönetimi ile çözüm parametreleri bulmaya yardımcı olur. Bu nedenle; HAD programı, hesaplamalara dayalı, komplike bir program olarak nitelendirilebilir (Nowakowski ve ark., 2004). HAD programı aynı zamanda bilgisayar sistemi içinde; gaz ve sıvı akışını, hareketli parçacıkları, kimyasal tepkimeleri, çok fazlı fiziksel olayları, ısı ve kütle transferini, akışkan akustik ve ara yüzey gerilmelerini taklit edebilir. Bu programın uygulanması, analizi gereken sistemlerin düzenlemesine yardımcı olur. HAD programının yazılımı; sistemin karakteristiklerini tahmin etmede kullanılan resim ve unsurların tedarik edilmesini sağlar (Ansys akış teorisi, 2009).

Dünyada üretilen suyunun ortalama olarak 200 milyon varil/gün civarında olduğu değerlendirilir (Khatib ve Verbeek, 2003). Petrol üretim prosesi sırasında çıkarılan su sansasyonel bir şekilde artar ve petrol üretimi boyunca bu artış sabit kalmaz. Bu durum su ve petrol üretimi arasında negatif bir korelasyon olduğunu destekler (Razi ve ark., 2010). Uzun süredir üretim yapılan sahalarda su oranı %90'dan fazla olabilir. (Khatib and Verbeek, 2003; Halliburton, 2010). Küreselleşmeyle birlikte, son günlerde su üretim miktarında artış beklenmektedir ve bu suyun ekosistemde yer alması ciddi bir endişe oluşturacağı belirtilmektedir (Halliburton, 2010). Üretilen sudan petrolün ayrıştırılması için çeşitli yöntemleri bulunmaktadır. Yerçekimsel ayrıştırma uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Çeşitli çalışmalar ile savunulan bu sistem yerçekimi ile farklı yoğunluklara sahip malzemelerin ayrıştırılmasını içeren tüm uygun faz ayrıştırma tekniklerini tanımlar. Yerçekimi teknikleri petrol üretiminde üretilen suyun ayrıştırılması için geniş ve çeşitli uygulamalar içermektedir. Yer çekimi sistemi ekonomik olarak faydalıdır ve yer çekimi tekniği petrol endüstrisinde petrolün ayrıştırılması için en çok kullanılan tekniktir (Gu, 2001; Rao ve Patil, 1998).

Petrol/su ayrıştırma sisteminin temel prensibi yüzdürme tekniğinin uygulanmasıdır. Sisteme büyük bir hacimde karışım girdiği zaman, petrol fazı cihazın tepe bölgesinde kümelenir ve su fazı ise cihazın alt bölgesinde kümelenir. Bundan sonra

petrol fazının kümelendiği bölgede yerçekimsel ayrıştırma meydana gelir ve yüzdürme ayrıştırma ise su fazının bulunduğu bölgede meydana gelir. Su fazı daha fazla akışkandan oluştuğu için yüzdürme ayrıştırması üretilen akışkanın başlangıç prosedürüdür. (Liu, 2009).

Son yıllarda, "Wavy" birleştirilmiş plaka ile sudan üretilen emülsifiye petrol damlacıklarının ayrıştırılması için yeni aletler tasarlanmıştır (Ostrovskii, 2003). Tabakalar arasındaki mesafe 6 mm ile 20 mm'den daha büyük boyutta değiştirilip API 421; 45 veya 60 derece eğimli paralel birleştirilmiş plakalarda, 60-150 mikrondaki petrol küreciklerini ayrıştırmak için kullanılmaktadır. İlgili bölgedeki yarıklar, plaklara yardımcı olarak çalışır ve hassas ayarlı sigorta işlevi görür. Bu yarıkların çapı 10 mm' den 15 mm' ye kadar değişiklik gösterebilir (Smith, 1993). Petrollü su, bu yarığın şekline göre dalgalı bir yol çizerek plakaların arasından kanal boyunca akar ve sonunda yukarı yönde dönerek aşağı dökülür. Sudan daha düşük yoğunlukta olan petrol kabarcıkları yukarı doğru hareket eder ve birleştirilmiş plakaların alt kısmına tutunur; adezyon kuvvetinden dolayı muhafaza edilen büyük miktardaki petrol kabarcıkları bir araya geldiğinde birleşerek büyük bir kabarcığa dönüşürler ve sırasıyla film şeklini alırlar. Akışkan düşü yüksekliğinin kinetik etkisiyle film plakanın üst kısmındaki bölümünü geçer ve kanalın tepesine doğru hareket eder ve ondan sonra su yüzeyinde toplanır. Petroldeki boşluklar tabakaların yüzeyinde dikey çizgiler ile belirtilmiştir. Bu durum sistemdeki birleşmiş damlacıkların akışkan yüzeyine ulaşmasını sağlar. Bu dizayn petrol damlacıklarının yüzeye ulaşma verimliliğinin şartlarını belirler (Oily Bilge Water Separators, 2011; Ivanenko ve ark., 2010).

Günümüzde petrol ile suyun ayrıştırılmasını incelemek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği programını (HAD) kullanan araştırmacıların sayısı artmaktadır. Aynı zamanda deneylerin yapılma süreci, karmaşık ve maliyetli olmasına rağmen çeşitli geometrik şekillerin ve işlem sürecinin ayrıştırma üzerindeki etkisini belirlemede faydalı olduğu için petrol-su ayrıştırma deneylerinde temel olarak kullanılmaktadır (Andresen ve ark., 2000; Klasson ve ark., 2005; Wang ve James, 1998; Zhao ve ark., 2005). Hesaplamalı akışkanlar dinamiği verilerinin daha fazla uygulanabilir ve deneylerle tutarlı olduğu ispatlanmıştır. (Cooper ve Coronellat, 2005; Zhong ve ark., 2006). Oluklu levha ayrıştırıcısının gravite ayrıştırma sisteminin ana oluşumlarından biri olduğu daha önce yapılan çalışmalar ve tasarlanan aparatlarla desteklenmiştir (Guerin, 2002). Bu aparatlar,

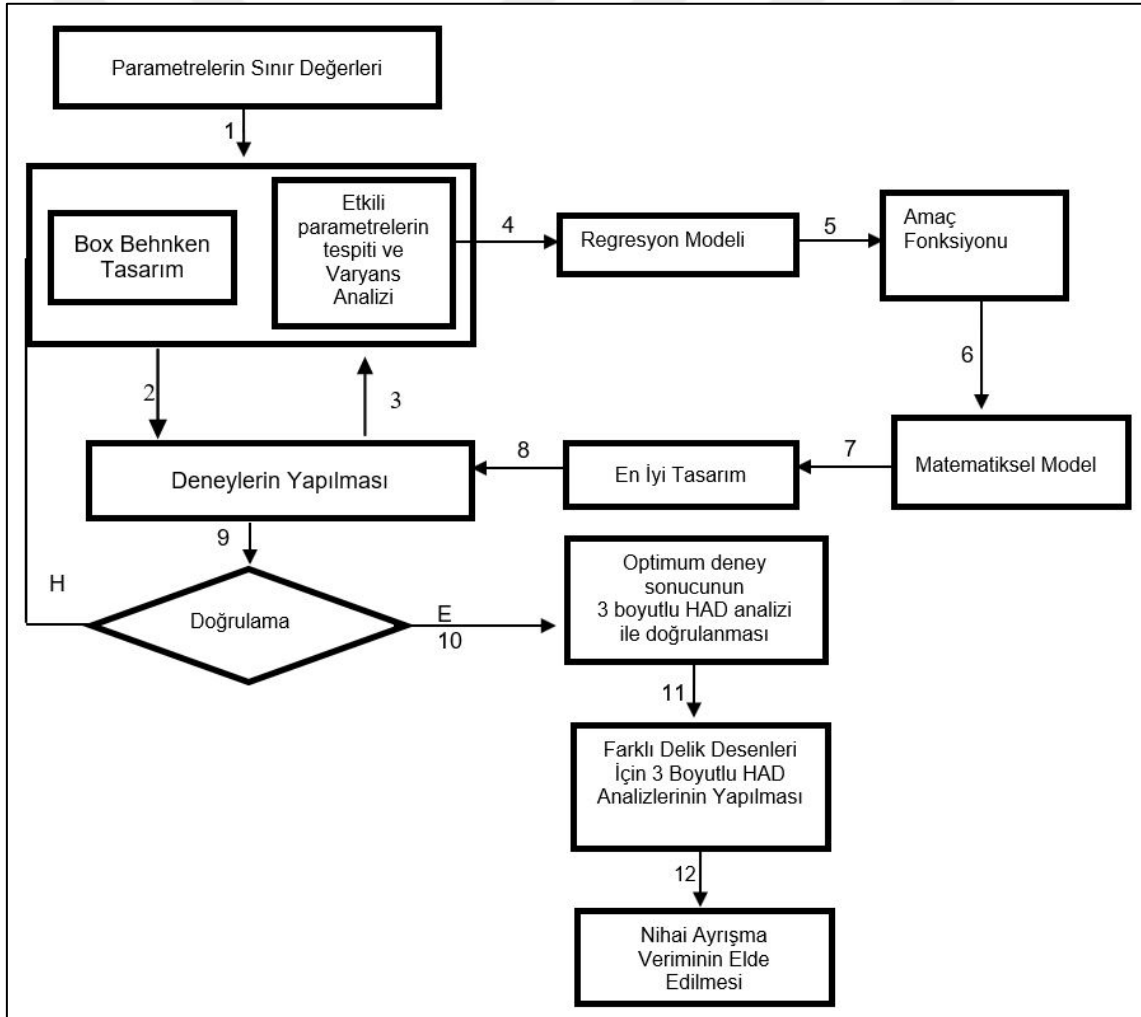
farklı yoğunluktaki petrol ve suyu standart ayırıştırma metodu biçiminde ayırıştırma için kullanılır. Ayırıştırma ünitesi yukarı doğru üç levha ile veya normalde 10-20 mm genişlikte olan iç içe geçirilen simetrik levhalarla uyum içinde olmalıdır. Levha sistemli ayırıştırmanın prensibi; petrol kabarcıklarının yukarı doğru çıkıp birleşmesine, daha büyük hacimde olmasına ve bu büyük hacimli petrol damlacıklarının daha kolay bir şekilde ayırıştırılmasına olanak sağlamaktır. Oluklu levha sisteminin ayırıştırma performansı uygun bir dizayn ile daha da geliştirilebilir. Simetrik oluklu plaka sistemi olarak tasarlanan bir ayırıştırıcı, geçmişte de kullanılan bir gravite ayırıştırıcı tekniği ile benzerlik göstermektedir. Bu sistemin etkinliği, separator havza büyüklüğünü arttırmaya gerek kalmadan sistemin içine paralel levhaların yerleştirilmesiyle arttırılabilir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Türkiye'nin farklı bölgelerinden (Adıyaman, Batman, Diyarbakır) alınacak olan petrol numuneleri ve bunlara ait ilgili değerler hem sayısal hem de deneysel aşamada kullanılacaktır. Kullanılacak olan petrol numunelerinin tüm reolojik özellikleri (yoğunluğu, viskozitesi, petrol/Su oranı yüzdesi vb...) ölçülecek olup, sayısal ve deneysel aşamalarda bu gerçek değerler kullanılacaktır.

Öngörülen tez çalışmasında kullanılacak yöntemlerin sırası ve ilişkisi aşağıdaki diyagram 3.1. 'de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Birleştirilmiş plaka ayırma sistemi.

Çalışma boyunca yapılan çalışmalar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

1.Adım: Tez çalışmasında Kullanılacak Petrol Numunelerinin Temini, Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Box Behnken Tasarımı ile deneme desenlerinin belirlenmesi

Adıyaman, Batman ve Diyarbakır'daki petrol sahalarından temin edilen I. Prosesten geçirilmiş petrol-su karışımı numunelerinin reolojik özellikleri (yoğunluk, viskozite) ve petrol-su karışım oranı ölçülecektir. Reolojik özelliklerin ölçümü Van YYÜ BAP Koordinatörlüğü desteğiyle daha önce alınmış viskozimetre aracılığıyla yapılmıştır.

Petrol numunelerinin belirlenen viskozite ve yoğunluk değerleri ile Reynolds Sayıları hesaplanıp Box Behnken Tasarımında kullanılacak değişken parametreler ve seviyelerine eklenmiştir.

$$Re = (\rho \cdot U \cdot D) / \mu$$

Re: Reynolds Sayısı

$\rho$ : Petrol-su karışımının yoğunluğu(kg/m<sup>3</sup>)

U: Petrol-su karışımının ayırışma sistemine giriş hızı (m/s)

D: Petrol-su karışımını ayırışma sistemine taşıyan borunun çapı (m)

$\mu$ : Petrol-su karışımının dinamik viskozite değeri (kg/m. s)

Adıyaman, Batman ve Diyarbakır'da petrol üretim faaliyeti gösteren firmaların (TPAO Adıyaman Bölge Müdürlüğü, TPAO Batman Bölge Müdürlüğü) her birinden 1500 litre petrol-su karışım numunesi temin edilip tüm ölçümleri (yoğunluk, viskozite, kayma gerilmesi, petrol/su karışım oranı) gerçekleştirilmiştir.

Tez kapsamında 3 farklı çalışma gerçekleştirilmiş olup her bir çalışmada ele alınan parametreler veya seviyeleri farklılık göstermektedir. Çalışmada kullanılacak olan değişken parametreler ve bu değişken parametrelerin seviyeleri mevcut uygulamada kullanılan sistemler göz önüne alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.1. Ele alınan parametre ve seviyeleri (1. Çalışma)

Değişkenler	Seviyeler		
Karşımın sisteme giriş hızı (m/s)	0.5	0.7	0.9
Numune Sayısı	Numune 1	Numune 2	Numune 3
Birleştirilmiş Plaka uzunluğu (mm)	Sabit, 800 mm		
Birleştirilmiş Plaka Delik Çapı (mm)	Sabit, 11 mm		
Birleştirilmiş Plakalar Arası Mesafe (mm)	Sabit, 24 mm		
Sıcaklık (C°)	Sabit, 25 °C		
Birleştirilmiş Plakların Ayrışma Sistemine Montaj Açısı (Derece)	Sabit, 0°		
Birleştirilmiş Plaka Genişliği (mm)	Sabit, 400 mm		

Çizelge 2.2. Ele alınan parametre ve seviyeleri (2. Çalışma)

Değişkenler	Seviyeler		
Karşımın sisteme giriş debisi (lt/dak)	Sabit, 28 lt/dak		
Numune Sayısı	Numune 1	Numune 2	Numune 3
Birleştirilmiş Plaka uzunluğu (mm)	400 mm	600 mm	800 mm
Birleştirilmiş Plaka Delik Çapı (mm)	Sabit, 11 mm		
Birleştirilmiş Plakalar Arası Mesafe (mm)	12 mm	24 mm	36 mm
Sıcaklık (C°)	25 C°	30 C°	35 C°
Birleştirilmiş Plakların Ayrışma Sistemine Montaj Açısı (Derece)	0°	20°	40°
Birleştirilmiş Plaka Genişliği (mm)	Sabit, 400 mm		

Çizelge 2.3. Ele alınan parametre ve seviyeleri (3. Çalışma)

Değişkenler		Seviyeler	
Karışımın Reynolds Sayısı	3033.058	4766.2345	6499.411
Numune Sayısı		Numune 1	
Birleştirilmiş Plaka uzunluğu (mm)		Sabit, 800 mm	
Birleştirilmiş Plaka Delik Çapı (mm)	9mm	13 mm	17 mm
Birleştirilmiş Plakalar Arası Mesafe (mm)		Sabit, 12 mm	
Sıcaklık (C°)		Sabit, 26 C°	
Birleştirilmiş Plakaların Ayırışma Sistemine Montaj Açısı (Derece)	0°	25°	50°
Birleştirilmiş Plaka Genişliği (mm)		Sabit, 400 mm	

Tez çalışması kapsamında 3 (üç) farklı çalışma yürütülmüştür. Her bir çalışmada ele alınan parametreler ve seviyeleri Çizelge 2.1, Çizelge 2.2, Çizelge 2.3.'de belirtilmiştir. Fiziksel olarak gerçekleştirilecek olan deney setlerinde fazla sayıda deneyin yapılması hem zaman ve hem de maddi olarak yüksek bütçe gerektirir. Bu nedenle deney sayısını azaltmak ve elde edilen sonuçların genellenebilir olması açısından Box Behnken Tasarımı ile deneme desenleri belirlenmiştir. Ayrıca kullanılacak Yanıt Yüzey Metodu (YYM) ile değişken parametreler ve seviyeleri arasında kurulacak olan yanıt fonksiyonu yardımı ile değişken parametrelerin denenmemiş olan seviyeleri ile hesaplamalar yapılması da sağlanmış olacaktır. Örneğin tek bir değişken parametre olan D/r için 1300 ile 1550 seviyeleri arasındaki bütün ara değerleri deneysel olarak gerçekleştirmek için milyonlarca deney yapmak gerekecektir. YYM ile elde edilecek yanıt fonksiyonunda faktörlere ait ara değerler kolaylıkla hesaplanacaktır.

2.Adım: Box-Behnken Tasarımı Sonucunda Belirlenen Deneme Desenlerine Göre Deney Düzeneklerinin Oluşturulup İlgili Deneylerin Gerçekleştirilmesi

1. Adımda belirtilen adımlar gerçekleştirilince Box Behnken Tasarımının önerdiği deneme desenine göre deney düzenekleri kurulacaktır. Yapılması gereken deney sayısı ve bu deneylerde belirtilen değişken parametrelerin hangi değerinin kullanılacağı bu tasarımla belirlenip buna göre birleştirilmiş plakaların imalatı gerçekleştirilecektir. İstenilen özellikteki birleştirilmiş plaka ve deney düzenek elemanları temin edilip montajı yapıldıktan sonra önerilen değerler için deneyler yapılacaktır.

Deneyisel çalışmada kullanılacak olan deney düzenek şekli şekil 3.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 3. 2. Kullanılan deney düzenegi.

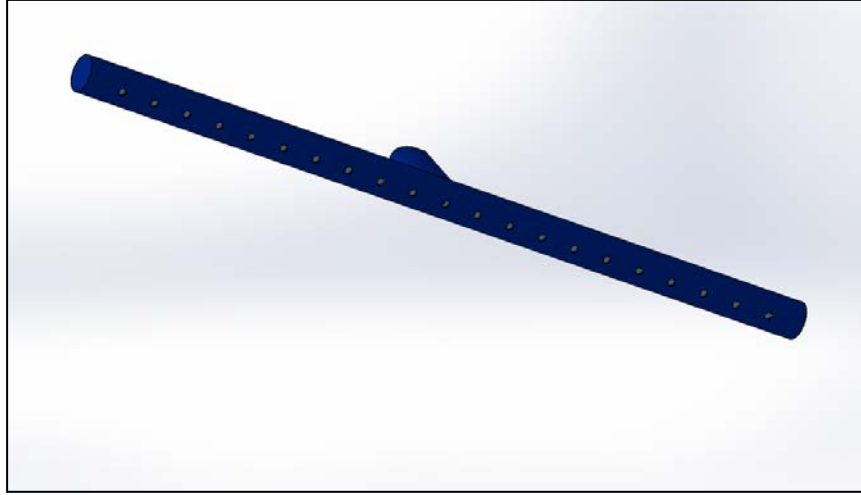
Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi petrol-su karışımı bir pompa yardımıyla ayırıştırma sistemine aktarılmaktadır. Sisteme girecek olan karışımın hızı kademeli pompa ile ayarlanıp istenilen hızlarda sisteme akışkan pompalanacaktır. Sistemin giriş ve çıkışında debimetre bulunmakta olup karışımın sisteme giriş ve çıkış hız değerleri ölçülecektir. Birleştirilmiş plakalardan geçirilen ve bu sürede de ayrışan petrol, yoğunluğunun sudan daha düşük olması sebebiyle petrol-su karışımının üstünde bir tabaka olarak (film şeklinde) birikecek olup bu petrol tabakası da ayrıştırılmış petrol tahliye vanası ile tahliye edilecektir. İçinde kısmen de olsa petrol bulunan su ise su tahliye vanası ile tahliye edilecektir. Ayrıştırılma işlemi bittikten sonra sisteme giren petrol-su karışımının hacmi zaten belli olduğu için sistemden çıkan ayrışmış petrol hacmi de ölçülerek hangi oranda ayrışma sağlandığı belirlenmiş olacaktır.



Şekil 3. 3. a) Kullanılan viskozimetre b) Kullanılan hidrometre.

Petrol-su karışımı, ayrışma sistemi besleme tankında bulunan rezistanslar yardımı ile ısıtılarak istenilen sıcaklık değerine ulaştırılıp petrol-su karışımının sıcaklığı kontrol ünitesi vasıtasıyla bu sıcaklık değerinde sabitlenmiştir. Karışımın viskozite ve yoğunluğu sıcaklık ile değiştiğinden gerçekleştirilecek olan tüm deneylerde karışımın istenilen sıcaklık değeri için ayrışma sistemine pompalanmadan önce viskozitesi ve yoğunluğu ölçülmüştür. Numunelerin viskozite ölçümü için şekil 3.3.a'da görülen LAMY R100 model sıcaklık kontrollü viskozimetre, yoğunluğu ölçümü içinde, şekil 3.3.b'de görülen hidrometre kullanılmıştır.

Ayrışma sistemine pompalanacak olan karışım; ilgili sıcaklık değerine ve homojen hale getirildikten sonra sıcaklık kontrollü viskozimetre aracılığı ile viskozitesi ölçülmüştür. Yoğunluk ölçümünde kullanılan hidrometre ise petrol üretim sahalarından alınan ön bilgiler doğrultusunda kalibre edilmiştir. Kalibrasyonu yapılan hidrometre ile petrol su karışımının yoğunluk değerleri ölçülmüştür. Hidrometreye konulan karışımın sıcaklığının; ayrışma sistemine pompalanacak karışımın sıcaklık değeri ile aynı olmasına dikkat edilmiştir.



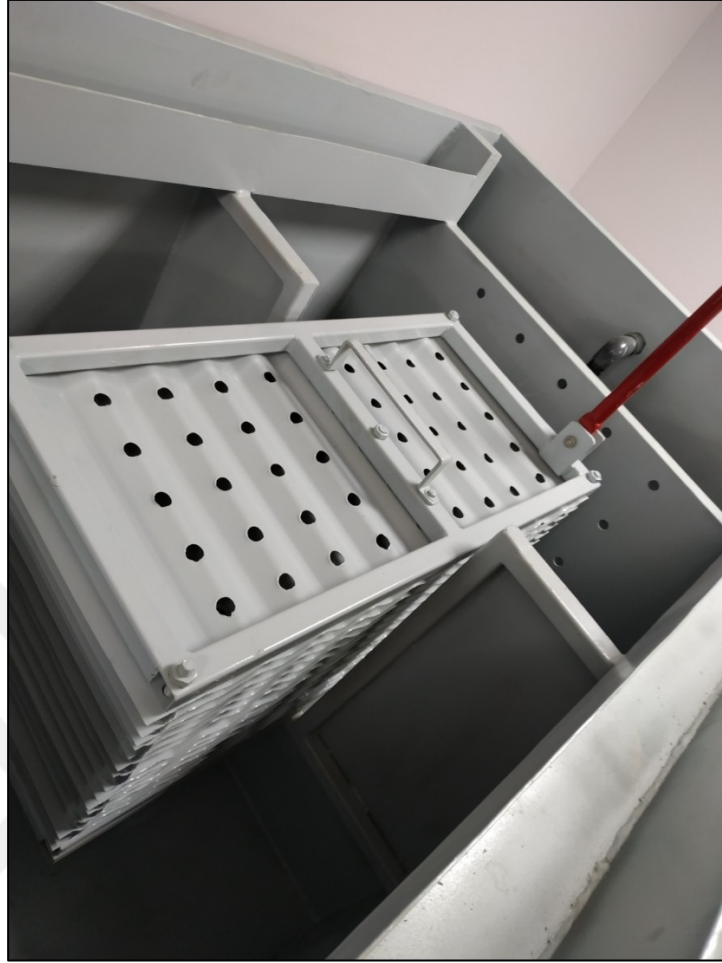
Şekil 3. 4. Deneysel olarak kullanılan petrol-su karışım taşıma borusu.

Şekil 3.4.'de petrol-su karışımını sisteme taşıyacak olan ve aynı karışımından ayrıştırılan petrolün yüzeyden tahliye edileceği, özel olarak tasarlanmış taşıma borusu gösterilmektedir. Sisteme girecek olan petrol-su karışımı, taşıma borusu yardımıyla sisteme düzenli bir şekilde girecek ve ayrılan petrol ise yüzeyden daha kolay bir şekilde tahliye edilecektir. Delikli boru seçilmesinin sebebi; petrol-su karışımının, ayrışma tankına yerleştirilen birleştirilmiş plaka setlerine homojen olarak dağıtılıp etki etmesinin istenmesindedir. Ayrıca petrol-su karışımında az da olsa katı parçacık bulunma ihtimali bulunduğu için bu delikli boru sayesinde katı parçacıkların birleştirilmiş plakalarda bulunan delikleri tıkanması önlenmiş olup katı parçacıklar bu bölümde filtre edilmiş olacaktır. Tez kapsamında sayısal (nümerik) olarak da çalışılacağından homojen hız dağılımı büyük önem taşımaktadır. Kullanılan bu delikli taşıma borusu aracılığı ile homojen hız dağılımı sağlanacak olup, sayısal ve deneysel sonuçların birbiri ile uyumlu olması açısından büyük önem taşımaktadır. Deneysel ve sayısal sonuçların birbiriyle uyumlu çıkması durumunda ileride ilgili konu kapsamında gerçekleştirilecek çalışmalar referans olarak gösterilecek olup tekrar deneysel çalışma yapma ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır.



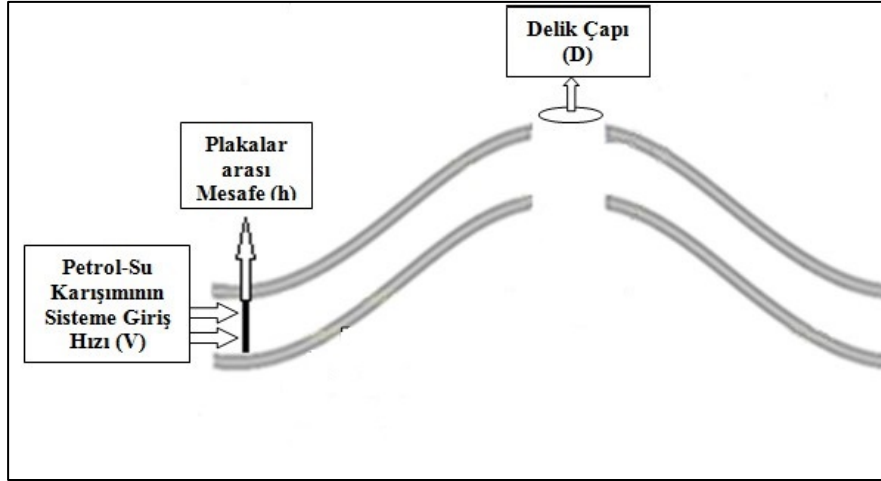
Şekil 3. 5. Deneysel çalışmalarda kullanılan birleştirilmiş plakalar.

Ayrışmayı sağlayacak olan birleştirilmiş plakalar şekil 3.5.'de gösterilmiştir. Birleştirilmiş plakalara ulaşan petrol-su karışımı birleştirilmiş plakaların yüzeyinden yukarı doğru hareket ettikçe karışımındaki küçük petrol damlacıkları birleşip büyüyecektir ve petrol-su yoğunluk farkından dolayı petrol damlacıkları yüzeyde toplanacaktır. Birbirine yapışan petrol damlacıklarının kütle/hacim büyümesi aynı oranda olmayıp hacimsel büyüme oranı, kütleli büyüme oranından daha yüksektir. Bu durumda; petrol damlacıklarının yoğunluğu ile karışım suyunun yoğunluğu arasındaki fark iyice artacağından petrol damlacıkları daha hızlı bir şekilde yüzeyde toplanacaktır. Ayrışma işlemi, birleştirilmiş plakaların olduğu bölümde gözlemlendiğinden, plakaların bulunduğu bölümün hizasındaki yüzeyde sürekli petrol damlacıklarının biriktiği ve ayrışma tankının yan yüzeylerine doğru hareket ettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3. 6. Ayrıştırma tankı.

Petrol-su karışımının ayrıştırılacağı tankın 3 boyutlu ve ölçeklendirilmiş hali şekil 3.6.'da gösterilmiştir. Ayrıştırma tankına giren petrol-su karışımı; tankta ayrışıp yüzeyde ayrıştırılmış petrol film şeridi halinde birikeceği için ayrıştırılmış petrol tahliye vanası ile tahliye edilir ve yoğunluğu daha büyük olan su ise su tahliye vanası ile sistemden tahliye edilir (Andresen ve ark., 2000). Ayrışma tankından da görüleceği üzere, birleştirilmiş plakların genişliği ile ayrışma tankının genişliği birbirine eşit bir şekilde alınmamıştır. Bunun sebebi ise petrol-su karışımının hepsinin birleştirilmiş plaklarla temas edebilmesi ve plakaların yüzeyinde, istenen debi veya hız değerlerinde akış oluşturabilmektir. Birleştirilmiş plakaların çerçevesine monte edilen kol ile plakaların ayrışma sistemine montaj açısı rahatlıkla ayarlanabilmektedir.



Şekil 3. 7. Birleştirilmiş plaka şekli ve ele alınan parametreler.

Çalışmada kullanılan birleştirilmiş plakaların iki boyutlu çizimi ve hangi parametrelerin değiştirileceği Şekil 3.7.'de plaka üzerinde gösterilmiştir. Yapılan ön denemeler ile optimizasyonda kullanılacak olan maksimum-minimum değerler belirlenmiştir. Bu tez kapsamında ise istenen özelliklere sahip birleştirilmiş plaka setleri sipariş edilip ilgili deneyler gerçekleştirilmiştir.

3.Adım: Yanıt Yüzey Metodunun önerdiği deneyler yapıldıktan sonra deney sonuçları programa işlenecektir. Programa işlenen deney sonuçlarına göre maksimum ayırma verimliliği için optimum deney düzeneği belirlenecektir. Ayrıca ayırma verimliliği için bir formülasyon yapılarak ayırma verimliliği üzerinde parametrelerin etkinlik derecesi tespit edilmiştir.

Bilimsel çalışmalara konu olan değişkenler (özellikler) arasındaki ilişkilerin incelenmesi istatistiğin en önemli konularından biridir. Bu ilişkilerin araştırılması, olayların aydınlatılması bakımından gereklidir. Bazı olaylarda, değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkiler karışık formlarda olup, bu gibi durumlarda daha basit yapıdaki modellerle gerçek ilişki temsil edilmeye çalışılır. Eldeki değişkenlerin tarif ettiği uzayın belirli bir bölgesinde yapılan bu yaklaşımlar sayesinde tahmini fonksiyonel ilişki hakkında bir fikir edinmek mümkün olmaktadır.

Çeşitli bağımsız değişkenlere (faktörlere) bağlı olarak elde edilen farklı gözlemler arasındaki bağıntıların incelenmesinde başvurulan Yanıt Yüzeyi Metodolojisi- YYM (Response Surface Methodology- RSM), süreçleri geliştirmek, iyileştirmek ve optimize etmek için yararlı istatistiksel ve matematiksel tekniklerin bütünüdür. Yeni ürün tasarımında, geliştirilmesinde ve formülasyonunda olduğu kadar mevcut ürün

tasarımlarının geliştirilmesinde de önemli uygulamaları vardır. Bu nedenle yapılacak olan çalışmada YYM kullanılmasına karar verilmiştir.

YYM' de araştırmacılar genellikle şunlarla ilgilenir:

YYM deneysel çalışmalarda bağımsız değişken sayısı ve her bir değişkenin farklı seviyelerine bağlı olarak yapılacak olan deney sayısını da oldukça azaltmaktadır.

Denemeye alınmayan faktör kombinasyonları için cevabı tahmin edebilecek uygun bir fonksiyonun oluşturulması.

Bu amaçla çalışmada;

$$Y=f(X_1, X_2, \dots, X_n) + \varepsilon$$

Eşitliği esas alınır. Burada Y bağımlı yanıt değişkeni (Çalışmada verim ve çıkış hızı), f bağımsız değişkenler olarak bilinen kantitatif değişkenler olan  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  'in yanıt fonksiyonu ve  $\varepsilon$  da tesadüfen hata terimi olmaktadır. f yanıt fonksiyonu ve katsayılar En Küçük Kareler yöntemi kullanılarak tahmin edilir.

f Yanıt fonksiyonunda  $Y=f(X_1, X_2, \dots, X_n) + \varepsilon$  doğrusal eşitliği kurulurken başlangıçta bu eşitliğin hangi faktörlerin ve hangi derecedeki faktör kombinasyonlarının modele dahil edileceği bilinmez. Ancak, doğrusal ve kuadratik formlar modele dahil edilerek gerekli tahminler yapılmaktadır. Yanıt fonksiyonunda kullanılacak faktörler ve faktör kombinasyonlarından etkili olanlar belirlenerek yanıt fonksiyonu yeniden düzenlenecektir.

Oluşturulan modelde bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkenleri açıklamada yeterli olup olmadığının araştırılması gerekir. Bunun için, modelin uyum testi yapılarak, modelin yeterli olup olmadığı değerlendirilecektir. Bu çalışmalardan sonra uygun yanıt fonksiyonu elde edilecektir.

Bağımlı değişken fonksiyonunu optimum yapacak, bağımsız değişkenlerin değerlerinin bulunması.

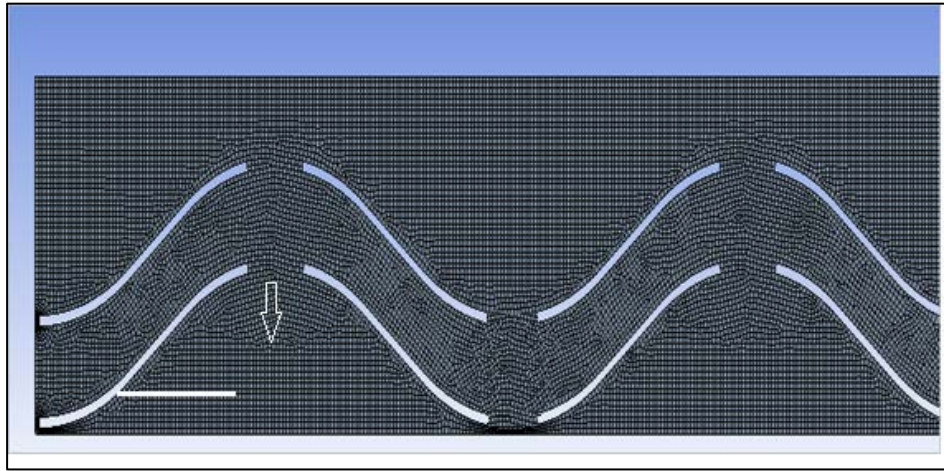
Eğer, uyumu sağlanan yanıt fonksiyon ilgilenilen bölgeyi yeterli bir şekilde temsil edebiliyorsa, uyumu sağlanan yüzeyin analizi sonucunda oluşturulan eşitlik gerçek değeri büyük bir doğruluk derecesiyle tahmin etmemizi sağlar. Çalışmada elde edilen yanıt fonksiyonunda yanıt değişkenlerimiz olan verim ve çıkış hızını maksimum yapacak yanıt fonksiyonuna dâhil edilen faktörlerin seviyeleri hesaplanacaktır. Yanıt fonksiyonunun faktörler göre kısmi türevleri alınarak sıfıra eşitlenerek elde edilen denklem takımı çözülerek faktör seviyelerini maksimum değerleri hesaplanacaktır.

4. Adım: 3. Adımda belirtilen optimizasyonun yapıp, maksimum ayrışma verimlilik değerini hangi parametrenin değerlerle sağlayacağı belirleneceğinden, bu iş paketinde öncelikle optimizasyon sonucu önerilen deney düzeneği kurulup ilgili deneyler gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, aynı parametre değerleri, başlangıç ve sınır şartları için 3-boyutlu HAD modeli oluşturularak sayısal olarak analizler gerçekleştirilecektir. Bunun için öncelikle, problemin uygun bir CAD programı yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmıştır. Ağ oluşturma işlemi olarak bilinen bu işlemler farklı ağ sayılarını elde etmek için tekrarlanacak ve sonuçların ağdan bağımsızlığı kontrol edilecektir (Wang ve ark., 2016). Uygun ağ sayısının belirlenmesini müteakip, çalışma konusu olan parametrelerin etkileri, belirlenen ağ yapısı ve sayısı kullanılarak incelenecektir.

Simülasyonlar sonucunda elde edilen değerlerle, deneysel olarak bulunan değerler mukayese edilecek ve sayısal modelin doğruluğu gösterilecektir. Modelin doğruluğunun saptanmasından sonra, çalışma konusu parametrelerin etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Böylece hem simülasyon programının hem de tasarlanan simülasyon deseninin doğruluğu ispatlanmış olacaktır.

Optimizasyon sonucunda optimum deney düzeneği tasarlandıktan sonra ilk olarak ilgili deney gerçekleştirildikten sonra optimum deney düzeneği üzerindeki deliklerin etrafında oluşan akış yapısı incelenecektir ve akış ayrılma noktalarının yoğun olduğu bölgeler tespit edilecektir. Tespit edilen bu ayrışma noktaları üzerine yoğunlaşacak olup ilgili bölgede daha fazla delik açılıp ayrışma verimliliği arttırılmaya çalışılacaktır.



Şekil 3. 8. Yapılacak Olan Sayısal Çalışmaya ait örnek ağ yapısı.

HAD programıyla yapılan sayısal çalışmalarda kullanılacak olan çalışmaya ait örnek bir ağ yapısı şekil 3.8.'de gösterilmiştir. HAD analizlerinde takip edilmesi planlanan is adımları aşağıda sırasıyla belirtilmiştir:

HAD analizlerinde takip edilmesi planlanan is adımları aşağıda sırasıyla belirtilmiştir:

- Geometrinin Solidworks gibi uygun bir CAD programında üretilmesi
- Geometrinin uygun ölçeklerde tasarlanmış bir hesaplama bölgesine konumlandırılması
- Şekil 3.7.'de örnek olarak gösterildiği gibi çalışma bölgesine uygun ağ sayısını belirlemek üzere ağdan bağımsızlık çalışmasının yapılarak en uygun ağ elemanı sayısının belirlenmesi
- En uygun ağ yapısıyla analizlerin başlatılması için, deneysel çalışmalardan elde edilecek başlangıç ve sınır koşullarının HAD yazılımında tanımlanması
- Deneysel verilerle, sayısal çalışmadan elde edilen sonuçların karşılaştırılması (validation). Bu kısım, her iki metot (deney ve sayısal) ile elde edilen ayrıştırma verimlerinin, belirli istasyonlarda karışıma ve sadece fazlardan birine ait hız profillerinin karşılaştırılması suretiyle yapılacaktır.

Çok-fazlı akışkanların modellenmesi için literatürde temel olarak iki (2) farklı yaklaşım mevcuttur, bunlar; Euler-Euler yaklaşımı ve Euler-Lagrange yaklaşımıdır.

Euler-Lagrange yaklaşımında, akışkan fazı sürekli ortam gibi ele alınarak Navier-Stokes denklemleri ile çözüm elde edilirken, dağınık faz (dispersed phase) akışkan alanında çok sayıda parçacığın, baloncuğun ya da damlacıkların takip edilmesiyle çözdürülür. Dağınık faz, akışkan fazı ile kütle, momentum ve enerji değişimleri yapabilir. Bu model sprey kurutucular, kömür ve sıvı yakıt yanmalarında ve bazı parçacık içeren akışlar için uygunken, sıvı-sıvı karışımları, akışkan yataklar vb. uygulamalarda doğru sonuç vermediği ifade edilmektedir.

Euler-Euler yaklaşımı üç (3) metottan meydana gelmekte olup bunlar Akışkan hacim modeli (Volume of Fluid –VOF-model), Karışım modeli (mixture model) ve Euler modelidir (Euler model). Bu modeller arasından Euler-Euler modelinin daha yüksek doğruluk sağladığı için kullanılması planlanmaktadır. Euler-Euler modelinin dezavantajı

ise yüksek hesaplama altyapısı, zaman ve karmaşıklık içermesidir (Ansys User Guide, 2019).

Hesaplama bölgesinden akacak olan karışımın daimî olması durumunda kullanılacak olan kütle korunumu (süreklilik denklemi) ve momentumun korunumu denklemleri aşağıda Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 ile sunulmuştur:

$$\frac{\partial(\alpha_q \rho_q)}{\partial t} + \nabla(\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) = \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (3.1)$$

Burada  $\vec{v}_q$ , q fazının hızı,  $\dot{m}_{pq}$  ise p fazından q fazına olan kütle transferini karakterize etmektedir. Benzer şekilde p ise q fazından p fazına olan kütle transferini sembolize etmektedir.

$$\frac{\partial(\alpha_q \rho_q \vec{v}_q)}{\partial t} + \nabla(\alpha_q \rho_q \vec{v}_q \vec{v}_q) = -\alpha_q \nabla P + \nabla \cdot \bar{\tau}_q + \alpha_q \rho_q \vec{g} + \sum_{p=1}^n (\vec{R}_{pq} + \dot{m}_{pq} \vec{v}_{pq} - \dot{m}_{qp} \vec{v}_{qp}) + (\vec{F}_q + \vec{F}_{lift,q} + \vec{F}_{wl,q} + \vec{F}_{vm,q} + \vec{F}_{td,q}) \quad (3.2)$$

Denklem 3.3.'de  $\tau_q$ , q fazına ait gerilme-gerinim tensörü (stress-strain tensör) olup aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\bar{\tau}_q = \partial_q \mu_q (\nabla \vec{v}_q + \nabla \vec{v}_q^T) + \alpha_q \left( \lambda_q - \frac{2}{3} \mu_q \right) \nabla \cdot \vec{v}_q \bar{I} \quad (3.3)$$

Denklemdaki  $\mu_{qp}$  ve  $\mu_{pq}$  sembolleri q fazının kayma ve yığın (bulk) viskozitesi;  $F_q$  dış gövde kuvvetlerini,  $F(lift,q)$  kaldırma kuvvetini,  $F(wl,q)$  çeper yağlama kuvvetini,  $F(Vm)$  sanal kütle kuvvetini,  $F(td,q)$  ise türbülans saçılma kuvvetini temsil etmektedir.  $R_{pq}$  ve  $P$  fazlar arasındaki etkileşim kuvveti ve tüm fazlar tarafından paylaşılan basınçtır.  $V_{pq}$  fazlar arası hızdır.

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde petrol-su ayırma sistemi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar, ele alınan parametreler ve her bir parametrenin ayırma verimliliği üzerindeki etkisi sırasıyla incelenmiştir.

##### 4.1. Farklı Petrol-Su Karışımlarının Kullanılarak Farklı Re Sayısına Sahip Karışımın Ayırılması (1. Çalışma)

Bu çalışma kapsamında da Adıyaman, Batman ve Diyarbakır illerindeki tesislerden temin edilen, I. Prosesten geçirilmiş ham petrol numuneleri (içindeki katı partikül ve suyun bir kısmından ayrıştırılan ham petrol) farklı hız değerlerinde ayırma sistemine aktarılıp ayırma verimliliği deneysel olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen bütün çalışmalar şekil 4.1.'deki iş akış diyagramında belirtilmiştir. 3 farklı numuneye ait yoğunluk, viskozite değerleri göz önünde bulundurularak petrol-su karışımının sisteme giriş hızı arasındaki değişim ile ayırma verimliliği arasındaki bağlantı deneysel olarak irdelenmiştir.

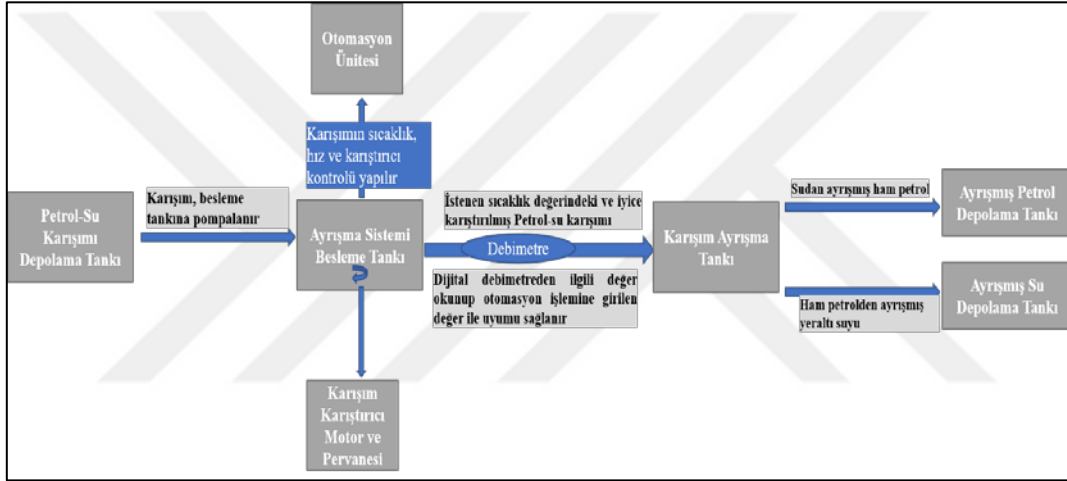
Ayırma verimliliği ve petrol-su karışımının ayırma sistemine pompalanma hızı arasındaki ilişki deneysel olarak incelenmiş olup, sisteme giren ve sistemden ayrılmış bir şekilde çıkan tüm akışkanların reolojik özellikleri de ölçülüp ilgili hesaplamalarda kullanılmıştır. Adıyaman, Batman ve Diyarbakır'daki petrol sahalarından temin edilen; I. Prosesten geçirilmiş petrol-su karışım numunelerinin viskozitesi, yoğunluğu ve petrol oranı ölçülüp Çizelge 4.1.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Petrol-Su karışımlarının özellikleri.

Numune No	Karışımındaki Petrol Oranı (%)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Viskozite (Pa.s)
Numune 1	9	785	6.4 x 10 <sup>-3</sup>
Numune 2	10	805	6.1 x 10 <sup>-3</sup>
Numune 3	11	853	5.7 x 10 <sup>-3</sup>

Petrol-su karışımının viskozitesi sıcaklık kontrollü viskozimetre ve yoğunluğu ise el tipi yoğunluk ölçer ile ölçülmüştür. Karışımı sisteme aktaran boruların iç çapı 1 parmak (inç) olup 25.4 mm'dir. İlgili Reynolds sayısının hesaplanmasında boru iç çapı 25.4 mm olarak ele alınmıştır. Akışkan karışımının ayırma sistemine girmeden önceki ve

girdikten sonraki yoğunluk değerleri ölçülüp karışım yoğunluğunun değişimi de irdelenmiştir. Karışımın petrol/su oranı ise sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcı ile hesaplanmıştır. 55C°'ye kadar ısıtılan numuneler 1000 rpm değerinde 5 dakika boyunca döndürülmüştür. Bu süre içinde belli bir sıcaklık değerine ulaşan petrol damlacıkları uygulanan döndürme kuvveti sayesinde birbirine yapışmakta olup hacmi artan petrol damlacıkları da yoğunluk farkından dolayı karışımın yüzeyine çıkmıştır. 100 ml'lik mezürde yapılan bu işlem sonucunda petrolde bulunan tüm petrol damlacıkları yüzeyde birikip sudan ayrılmıştır. Mezürdeki petrol ve su oranı gözle görülecek seviyeye geldiğinden ilgili değer okunup yazılmıştır.



Şekil 4. 1. İş akış diyagramı.

Deney düzeneğinde kullanılan ayırıştırma tankı metal olup paslanmaması için kaplanıp boyanmıştır. Kapasitesi 2500 litre olan ayırıştırma tankının dibinde; çöken katı parçacıkların tahliyesi için vanalar bulunurken, alt tarafında ise ayrılmış su tahliye vanası bulunmaktadır. İlgili tankın üst noktalarına monte edilen vana sayesinde de ayırıştırıp yüzeye biriken ham petrol tahliyesi sağlanmıştır. Ayrılmış su ve ham petrol bu tahliye vanaları aracılığıyla ayrılmış su ve ayrılmış petrol depolarına tahliye edilmiştir. Ayrılmış su depolama tankı 2000 litre kapasitede iken ayrılmış petrol depolama tankı 500 litre kapasiteye sahiptir. Ayırıştırma sisteminde kullanılan birleştirilmiş plakaların özellikleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir ve özellikleri belirtilen delikli birleştirilmiş plakalar kullanılarak kurulan setler aracılığıyla ayırıştırma sağlanmış olup ilgili tüm deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.2. Deneyleerde kullanılan birleştirilmiş plakaların özellikleri

Plaka Özellikleri	Seviye
Birleştirilmiş Plaka Uzunluğu (mm)	800 mm
Birleştirilmiş Plaka Delik Çapı (mm)	11 mm
Birleştirilmiş Plakalar Arası Mesafe (mm)	24 mm

Birbiri içinde çözünmeyen akışkanların yoğunluk farkından faydalanarak ayrıştırılması ve yoğunluğu düşük olan petrol damlacıklarının yüzeyde birikmesi Stokes Kanunu'na göre meydana gelmiştir. Petrol kürecikleri Stokes yasasının laminer akış şartlarına bağlı olarak yukarı doğru hareket etmeye devam edecektir. Parçacıkların boyutunun artışı laminer akış hızının yükselmesine yol açar. Ayrıştırıcıların gerekli boyutlarını hesaplayabilmek için petrol kabarcıklarının hız artışını bilmek büyük önem taşır. Petrol ayrıştırma sisteminin boyutları hesaplanırken, petrol kabarcıklarının serbest hale gelebilmesi için, birbirine bağlı iki sistemden birinin çıkışının diğer sistemin girişine uygun olması göz önünde bulundurulur. Suyun petrol küreciklerini sistemin diğer tarafına itmesinden önce petrol küreciklerinin en dipten yüzeye hareket edebilmeleri için yeterli zaman verilmelidir.

Aşağıdaki denklem Stokes yasasını tanımlamaktadır (Perry ve ark., 1963).

$$V_p = \left( \frac{G}{18 \cdot \mu} \right) * (d_p - d_c) * D^2 \quad (4.1.)$$

Bu denklemde

$V_p$  = hız, cm/sn.

$G$  = yerçekim ivmesi, 980 cm/sn<sup>2</sup>.

$\mu$  = bulk fazının viskozitesi.

$d_c$  = bulk fazının yoğunluğu, gr/cm<sup>3</sup>.

$d_p$  = kürecik fazının yoğunluğu, gr/cm<sup>3</sup>.

$D$  = kürecik çapı, cm.

Tüm ölçümleri yapılan petrol numunelerinin Reynolds Sayıları hesaplanmış olup Re sayısı ile ayırışma verimliliği arasındaki ilişki bu çalışma kapsamında irdelenmiştir.

$$Re = \frac{\rho \cdot U_1 \cdot D}{\mu} \quad (4.2)$$

Re: Reynolds Sayısı

$\rho$  : Petrol-su karışımının yoğunluğu(kg/m<sup>3</sup>)

$U_1$ : Petrol-su karışımının ayırışma sistemine giriş hızı (m/s)

D: Petrol-su karışımını ayırışma sistemine taşıyan borunun çapı (m)

$\mu$ : Petrol-su karışımının dinamik viskozite değeri (kg/m.s)

Reynolds Sayısı hesaplamaları ve çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler Çizelge 4.3.'de görülmekte olup ayırışma verimliliği ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki incelenip tüm veriler bu doğrultuda sentezlenmiştir.

Çizelge 4.3. Re Sayısı hesaplamasında kullanılan değerler

	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Hız (m/s)	Boru Çapı (m)	Viskozite (Pa.s)	Re Sayısı
Numune 1	785	0.5	0.0254	6.4 x 10 <sup>-3</sup>	1557.73
		0.7			2180.82
		0.9			2803.92
Numune 2	805	0.5	0.0254	6.1 x 10 <sup>-3</sup>	1675.98
		0.7			2346.37
		0.9			3016.77
Numune 3	853	0.5	0.0254	5.7 x 10 <sup>-3</sup>	1900.54
		0.7			2660.76
		0.9			3420.97

İlgili deneyler 800 mm uzunluğuna, 11 mm delik çapına ve 24 mm plaklar arası mesafeye sahip birleştirilmiş plakalardan oluşan set ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tüm deneyler sırasında sıcaklık sabit ve 25 °C'de iken gerçekleştirilmiştir. Deney boyunca sıcaklık değeri otomasyon kontrol ünitesinden kontrol edilerek sabit tutulmuştur.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde ayırışmış su depolama tankına su akışı başladıktan sonra her 15 dakikada bir 100 ml numune alınıp ilgili deney sonuna

kadar toplanan tüm numunenin sonucuna göre ayrışma verimlilik değeri bulunmuştur. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Gerçekleştirilen deneyler

Numune No	Re <sub>1</sub>	Re <sub>2</sub>	Re <sub>3</sub>
Numune 1	1557.73	2180.82	2803.92
Numune 2	1675.98	2346.37	3016.77
Numune 3	1900.54	2660.76	3420.97

Deney süresince alınan her bir numune, deney sonrasında 55 °C’ye kadar ısıtılıp 1000 rpm devrinde 5 dakika boyunca döndürme kuvvetine maruz bırakılmıştır. Ağzı kapalı karışım kabında uygulanan bu karıştırma işlemi ile numune içinde bulunan petrol damlacıkları birbiri ile çarpıştırılıp yapışması sağlanmıştır. Birbirine yapışan bu damlacıkların hacmi kütesine göre daha çok arttığından yoğunluğu azalmış ve suyun yüzeyinde birikmeye başlamıştır. 5 dakikalık karıştırma işleminden sonra her bir numune 18 saat boyunca dinlendirilmiştir. Bu işlem sonucunda da suyun içinde bulunan tüm petrol damlacıklarının yüzeye çıkıp suyun da tamamen dibe çökmesi sağlanmış olup daha sonra mezürdeki ilgili değer ölçülmüştür. Numunenin ayrışma sistemine girmeden önceki petrol/su oranı ile ayrışma sonrası petrol/su oranı karşılaştırılıp ayrışma verimlilik değeri hesaplanmıştır. Manyetik karıştırıcı ile yapılan çalışma sonucu ölçülen değerlerin bir örneği şekil 4.3.’de gösterilmiştir. İlgili şekilden de görülebileceği üzere, karışımda bulunan petrol tamamen yüzeyde birikmiştir ve ayrışan su alt kısımlarda birikmiştir. Ayrıca petrol ve su bileşenleri arasında keskin bir ayırım olduğu da göze çarpmaktadır. Yani, ayrışan petrol ve ayrışan su tamamen birbirinden ayrılmıştır denilebilir. Bu sayede, ayrılmış sudan alınan numunelerdeki petrol/su oranı çok rahat bir şekilde ölçülebilmektedir.



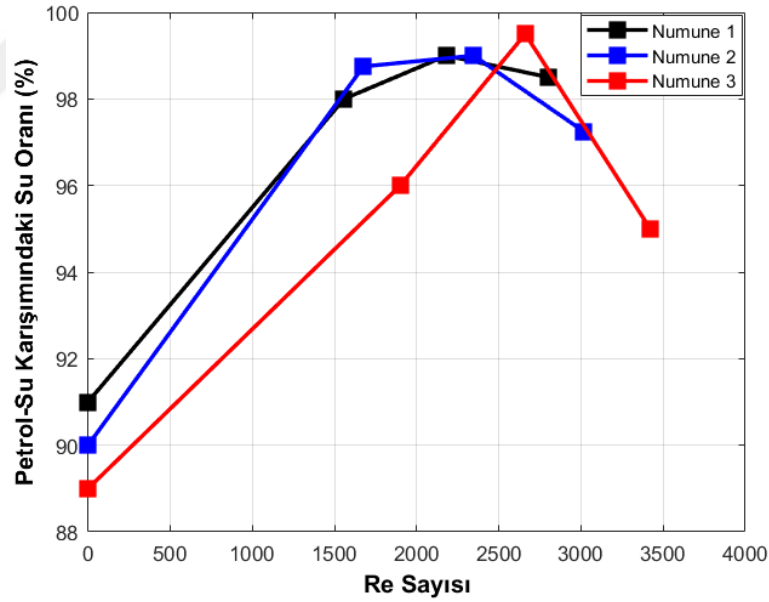
Şekil 4. 2. Ayırışma sonucu yapılan ölçüm örneği.

Şekil 4.3.'de de görüldüğü üzere daha önce bahsedilen işlemlerden geçirilen petrol-su karışımındaki su, tamamen dibe çöküp içindeki tüm petrol damlacıkları da yüzeyde toplanmaktadır. Numune 1 kullanılarak bu yöntemle yapılan ölçümler neticesinde elde edilen ayırışma verimlilik değerleri ve Re sayısı ile karşılaştırılması şekil 4.3.'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere başlangıçta ( $Re=0$ ) %91 su içeren petrol-su karışımının ayırışma sistemine 3 farklı Re sayısı (1557.73, 2180.82, 2803.92) için elde edilen ayırışma verimlilik değerleri incelendiğinde Re sayısının 2180.82 olduğu durumda en yüksek ayırışma verimliliği sağlandığı görülmektedir. Re sayısının 2803,92 ( $v=0.9$  m/s) olması durumu için yapılan ölçüm sonucunda da %98.5 oranında su içerdiği görülmüş olup Re sayısının artması ile ayırışma verimliliğinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Numune 2 için yapılan analiz sonuçları şekil 4.3.'de görülmektedir. Başlangıçta %90 su içeren petrol-su karışımı 3 farklı hız değerinde (0.5, 0.7, 0.9 m/s) ayırışma sistemine pompalandığında en yüksek ayırışma verimliliğinin 0.7 m/s hız ve 2346.37 Re sayısı değerinde elde edildiği görülmektedir. Petrol-su karışımının hızı 0.9 m/s olarak ayarlandığında ayırışma verimlilik değerinde düşüş gözlenmiş olup ayırışma sonucu elde edilen karışımın içindeki petrol-su oranı %97.75 olarak ölçülmüştür. Bunun sonucunda da Re sayısı arttıkça laminer akıştan türbülanslı akışa doğru geçiş olurken ayırışma verimlilik değerinin düştüğü gözlemlenmiştir (Burns ve Mohr, 2000). Ayırışmada

kullanılan delikli birleştirilmiş plaka setlerinin uzunluğu 800 mm olduğundan belli bir hız değerine kadar ayırışma sağlanırken hız değerinin yükseltilmesi ayırışma verimliliğinde düşüşe sebep olmaktadır.

En az su içeren (%89) ve viskozitesi en düşük ( $5.7 \times 10^{-3}$ ) olan Numune 3 için yapılan ayırışma sonucu elde edilen ayırışma verimlilik değerleri şekil 4.4.'de görülmekte olup Re sayısı-karışımındaki su oranı arasındaki ilişki irdelenmektedir. Tüm numuneler arasında en yüksek Re sayısı (3420.97) değerine sahip numune 3 için yapılan analizlerde en düşük ayırışma verimlilik değeri (%95 su) elde edildiği görülmüştür. Bu analiz sonuçlarına bakılarak karışımın hızı arttıkça Re sayısı da artmaktadır ve bununla birlikte ise akışkan karışımının türbülanslılık özelliği artmakta olup ayırışma verimliliği de buna bağlı olarak düşmektedir. Tasarlanan deney düzeneğinde 800 mm uzunluğundaki birleştirilmiş plakalar kullanıldığından hız değeri ile ayırışma verimlilik değeri arasından belli bir hız değerine kadar doğru orantı olmakla birlikte hız değerinin sürekli artırılmasının sonucunda ayırışma verimlilik değerinde de düşüş gözlemlenmektedir.



Şekil 4. 3. Kullanılan numunelere ait ayırışma verimlilik değerlerinin karşılaştırılması.

Yapılan deneylerden elde edilen tüm ayırışma verimlilik sonuçları şekil 4.4.'de gösterilmektedir. İlgili şekilden de görüleceği üzere en yüksek ayırışma verimlilik değeri %11 oranında petrol içeren Numune 3 ve 0.7 m/s pompalanma hızında, % 99.5 olarak ölçülmüştür. Ayrıca ilgili şekilden de görüleceği üzere en düşük ayırışma verimlilik değeri de numune için 0.9 m/s pompalanma hızında %95 olarak elde edilmiştir. En yüksek ve

en düşük ayırma verimlilik değerinin en yüksek oranda petrol içeren karışımdan elde edilmesi ayırma için en uygun hız değerinin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Birleştirilmiş plaka kullanılarak gerçekleştirilen ayırma sistemlerinde en önemli nokta, pompalanan akışkanı mümkün olduğunca birleştirilmiş plakalar ile temas ettirmek ve akış yapısında değişiklik meydana getirip birleştirilmiş plakadaki delikler etrafında akış ayrılma noktaları oluşturmaktır. Birleştirilmiş plakaların delikleri etrafında akış yapısı değişmekte olup delikler etrafında ayrılma noktaları (Separation point) oluşmaktadır. Oluşan bu ayrılma noktaları sayesinde de petrol damlacıkları birbiriyle daha fazla etkileşime geçip damlacıkların birbirine yapışma ihtimali artmaktadır. Birbirine yapışan damlacıklar da yüzeye rahatça çıkabilmektedir.

Gerçekleştirilen bir dizi çalışma neticesinde ham petrol ve ayrılmış yeraltı suyu elde edilmiştir. Elde edilen ham petrol, rafinerilerde bir dizi ön işlemden geçirilip ayrımsal damıtma sürecine tabi tutulur. Ayrımsal damıtma neticesinde ise, ham petrolün çıkarıldığı bölgeye göre farklılık göstermekle beraber asfalt, fuel-oil, mazot, benzin elde edilmektedir. Ham petrolden ayrılan su ise içerdiği mineraller (kükürt ve türevleri) bakımından tarımda veya herhangi bir sektörde kullanılamamaktadır. Ham petrolün üretildiği bölgede yer altından ham petrol ve su çekildiği için ilgili bölgede yer altında ciddi boşluklar meydana gelmektedir. Oluşan bu boşluklar da ilerleyen zamanlarda toprak çökmelerine neden olmaktadır. Bu nedenle elde edilen ayrılmış su, petrol sondajının yapıldığı bölgede özel olarak sondajı yapılan enjeksiyon kuyuları vasıtasıyla tekrar yer altına basılmaktadır

Birleştirilmiş plakalar arası mesafelerin genişliğe oranları (0.02, 0.05, 0.07), uzunluklarının genişliğe oranları (0.8, 1.2, 1.6), karışımın ayırma sistemine pompalanmadan önceki sıcaklık değerleri (25, 30, 35 °C) ve bu plakaların ayırma sistemine montaj açıları (0°, 20°, 40°) gibi ayırma verimini ve süresini etkileyecek değişken parametreler ele alınmıştır. Bu değişken parametreler ele alınmıştır ancak bazı parametrelerin boyutsuz yapılması yoluna gidilmiştir. Böylece, yapılan çalışma herhangi bir sayısal değer için geçerli olmayıp belirlenen boyutsuz sayıların hepsi için geçerliliğini korumuş olacaktır. Bu çalışmada plakalar arası mesafe ve plakaların uzunluğu, sabit olan birleştirilmiş plakaların genişliğine bölünerek boyutsuz sayılar elde edilmiştir. Böylece plaka uzunluğunun ve plakalar arası mesafenin öznellik etkisi ortadan kaldırılmıştır.

#### **4.2. Birleştirilmiş Plakalar Arası Mesafelerin Genişliğe Oranı (D/W), Plaka Uzunluklarının Genişliğe Oranı (L/W), Karışımın Ayrışma Sistemine Pompalanma Sıcaklık Değeri ve Plakaların Ayrışma Sistemine Montaj Açısı, Parametrelerinin Ayrışma Verimliliğine Etkisi (2. Çalışma)**

Bu çalışma kapsamında; I. Prosesten geçirilmiş 3 farklı petrol üretim tesisinden (Karakuş, Arpatepe, Batı Raman) temin edilen petrol-su karışım numunesinin yerçekimsel ayrışma metotlarından biri olan birleştirilmiş plakalar kullanılarak ayrıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen ayrışma sistemine 28 lt/dak. sabit debide pompalan petrol numunelerinin 3 farklı sıcaklık (25 °C, 30 °C, 35 °C), birleştirmiş plakalar arası mesafe (12, 24, 36 mm), uzunluk (400, 600, 800 mm) ve plakaların ayrışma sistemine montaj açısı (0°, 20°, 40°) değerleri için ayrışma verimlilikleri hesaplanmıştır. Ele alınan 4 farklı parametre ve her bir parametrenin de 3 farklı seviyesi olduğundan tüm olasılıklar için yapılması gereken deney sayısı oldukça fazladır. Ayrışma verimliliğinin en yüksek olan değerini bulma olasılığını etkilemeden, deney sayısını azaltıp maliyetten ve deney sürelerinden tasarruf etmek amacıyla Response Surface Metodu (RSM) kullanılarak Box-Behnken yöntemi ile optimize edilip ilgili deneme desenleri oluşturulmuştur. Elde edilen bu deneme desenleri doğrultusunda ilgili deneyler gerçekleştirilmiştir.

Farklı petrol üretim sahalarından temin edilen petrol-su karışım numuneleri Response Surface Method (RSM) kullanılarak Box-Behnken Tasarımı aracılığıyla optimize edilmiştir. Optimizasyon işlemi için Design Expert 7 (Deneme) programı kullanılmış olup programa girilen parametrelerin değerleri ve seviyeleri Çizelge 4.1’de görülmektedir. Seçilen parametrelerin değerleri en düşük (-1), merkez (0) ve en yüksek (+1) olarak sembolize edilmiştir. Çizelge 4.5’de gösterilen deney planı, her bir numune için uygulanmış olup toplamda 29 deney gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.5.’de görüldüğü gibi Box-Behnken Tasarımıyla toplam 29 deney yapılması tavsiye edilmiştir ve tavsiye edilen her bir deney, doğruluğunun ispatı için iki defa tekrarlanmış olup ortalama değerleri temel alınmıştır. İkinci dereceden modelin doğruluğu, tespit katsayısının ( $R^2$ ) değeri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.5. Ele alınan parametreler ve seviyeleri

Bağımsız Parametreler	Seviyeler		
	-I	0	+I
A-Karışımın Sıcaklığı (°C)	25	30	35
B-d/w	0.02	0.05	0.07
C-l/w	0.8	1.2	1.6
<b>D-Plakaların Ayrışma Sistemine</b>			
Montaj Açısı	0	20	40

Optimizasyon programının tavsiye ettiği deneyler doğrultusunda her bir numunenin ilgili sıcaklık değerindeki yoğunluk, viskozite ve petrol-su oranı ölçülmüş olup Çizelge 4.6.'da gösterilmektedir. Farklı sahalardan temin edilen numunelerin tüm özellikleri birbirinden farklı olup ayrıca her bir numunenin sıcaklık değeri değiştikçe yoğunluk ve viskozitesinin de değişiklik gösterdiği dikkate alınarak bütün sıcaklık değerleri için gerekli ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.6. Petrol- Su karışımlarının özellikleri

Numune	Petrol-Su Karışımının Petrol Oranı (%)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Viskozite (Pa. s)	Sıcaklık(C°)
Numune 1	7	805	6.13 x 10 <sup>3</sup>	25
		803	6.01 x 10 <sup>3</sup>	30
		800	5.98 x 10 <sup>3</sup>	35
		784	7.15 x 10 <sup>3</sup>	25
Numune 2	9	779	7.00 x 10 <sup>3</sup>	30
		773	6.80 x 10 <sup>3</sup>	35
		758	9.70 x 10 <sup>3</sup>	25
		751	9.40 x 10 <sup>3</sup>	30
Numune 3	13	744	8.60 x 10 <sup>3</sup>	35

Farklı petrol üretim sahalarından temin edilen petrol-su karışım numuneleri, fiziksel özellikleri farklı olan (uzunluk, genişlik, montaj açısı) birleştirilmiş plakalardan oluşan setlerden geçirilerek ayrışma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrışma işlemi kapsamında 4 farklı parametre (plakaların l/w, d/w, ayrışma sistemine montaj açısı ve karışımın sisteme pompalanma sıcaklığı) ele alınmış olup her bir numune için bu parametreler Design Expert (Deneme Sürümü) programına işlenip Box-Behnken

Tasarımı vasıtasıyla optimizasyon yapılmıştır. Gerçekleştirilen optimizasyon işlemi doğrultusunda ilgili deneyler gerçekleştirilip elde edilen ayırışma verimlilik değerleri yorumlanmıştır.

Çizelge 4.7. Petrol-Su karışım numunelerinin ayırışma verimlilik sonuçları

Deney Numarası	Factor 1		Factor 2		Factor 4		
	Karışımın Sıcaklığı (A, C°)	d/w (B)	l/w (C)	Plakaların Ayırışma Sistemine Montaj Açısı (D, °)	Numune 1 – Ayırışma Verimliliği	Numune 2 – Ayırışma Verimliliği	Numune 3 – Ayırışma Verimliliği
1	35.00	0.02	1.20	20.00	97.3	96.3	95.3
2	30.00	0.05	1.20	20.00	99.6	98	97
3	25.00	0.07	1.20	0.00	96.5	95.5	94.5
4	30.00	0.05	1.60	40.00	95.6	94.8	93.8
5	30.00	0.02	1.20	0.00	96.4	95.4	94.4
6	30.00	0.05	0.80	0.00	95.8	94.8	93.8
7	30.00	0.05	1.20	20.00	99.6	98	97
8	30.00	0.07	1.20	40.00	96	95	94
9	35.00	0.02	0.80	20.00	97	95.9	94.9
10	30.00	0.07	1.20	20.00	97.5	96.5	95.5
11	30.00	0.05	1.60	20.00	96.9	95.9	94.9
12	30.00	0.05	0.80	20.00	97.1	96.1	95.1
13	25.00	0.05	1.20	0.00	97	96	95
14	35.00	0.05	1.20	20.00	99.6	98	97
15	25.00	0.07	0.80	20.00	96.5	95.5	94.5
16	35.00	0.07	1.60	20.00	96.7	95.7	94.5
17	25.00	0.02	1.20	20.00	98.1	96.4	95.4
18	30.00	0.05	1.20	20.00	99.6	98	97
19	30.00	0.05	1.20	20.00	99.6	98	97
20	30.00	0.05	0.80	20.00	96.9	95.9	94.9
21	30.00	0.02	1.60	20.00	96.8	95.8	94.8

Çizelge 4.7. Petrol-Su karışım numunelerinin ayırışma verimlilik sonuçları (devam)

Deney Numarası	Factor 1	Factor 2 d/w (B)	Factor 3 l/w (C)	Factor 4	Numune 1 – Ayırışma Verimliliği	Numune 2 – Ayırışma Verimliliği	Numune 3 – Ayırışma Verimliliği
	Karışımın Sıcaklığı (A, C°)			Plakaların Ayırışma Sistemine Montaj Açısı (D, °)			
22	25.00	0.07	1.20	20.00	97.3	96.4	95.4
23	35.00	0.05	1.60	20.00	97.5	96.5	95.5
24	35.00	0.02	1.20	40.00	96.3	95.1	94.1
25	30.00	0.05	1.60	0.00	96.5	95.5	94.5
26	30.00	0.05	1.20	0.00	96.8	95.8	94.8
27	30.00	0.05	1.20	40.00	97	96	95
28	25.00	0.05	0.80	40.00	96	95	94
29	30.00	0.05	1.20	40.00	96.3	95.3	94.3

Birbirinden farklı 3 petrol-su karışım numunesi (numune 1, numune 2, numune 3) için ele alınan 4 parametrenin ayırışma verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Verilerin optimizasyonu neticesinde sistem analizi için 29 deney yapılması planlanmıştır. Bütün bu deneylerde, parametrelerin seviyeleri ve her bir numune için elde edilen ayırışma verimlilik değerleri Çizelge 4.7’de gösterilmektedir.

Ayırışma işlemi için 3 farklı petrol numunesi kullanıldığından bütün optimizasyon işlemleri ve deneyler her bir numune için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için gerçekleştirilen optimizasyon işlemi neticesinde elde edilen ANOVA sonuçları, Çizelge 4.8-4.9-4.10’da ayrı ayrı gösterilmektedir. Optimizasyon işlemlerinde her bir parametrenin ve model eşitliğinin p değerinin 0.05’den küçük olması gerekmektedir (Myers ve Montgomery, 2002). İlgili çizelgelerden de görüleceği üzere farklı özelliklere sahip numunelerin kullanılmasıyla ilgili çizelgede de farklılıklar görülmekte olup bu farklılıklar, petrol-su karışım numunelerinin reolojik özelliklerinin de ayırışma verimliliği üzerinde etkili olduğunu kanıtlamaktadır. Numunelerin özelliklerinin farklı olması aynı zamanda ele alınan parametrelerin ayırışma işlemi üzerindeki etki derecesini de bağladığı görülmektedir. Ayrıca bütün numuneler için elde edilen  $R^2$  değerlerinin 1’e çok yakın bir değer olduğu görülmekte olup (0.9962 (numune 1 için), 0.9940 (numune 2 için) ve 0.9917

(numune 3 için)), bu durum uygulanan modelin ve elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu kanıtlanmaktadır.

Çizelge 4.8. Numune 1 için ANOVA tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	df	Karelerin Ortalaması	F değeri	p- Değeri Prob> f
Model (etkili)	41.68	14	2.98	393.82	< 0.0001
A-Karışımın Sıcaklığı	0.44	1	0.44	58.31	< 0.0001
B-d/w	0.16	1	0.16	21.61	0.0004
C-l/w	0.041	1	0.041	5.40	0.0357
D-Plakaların Ayrışma Sistemine Montaj Açısı	0.27	1	0.27	35.72	< 0.0001
AB	0.090	1	0.090	11.91	0.0039
AC	0.040	1	0.040	5.29	0.0373
AD	0.20	1	0.20	26.79	0.0001
BC	0.040	1	0.040	5.29	0.0373
BD	0.040	1	0.040	5.29	0.0373
CD	0.30	1	0.30	40.02	< 0.0001
A <sup>2</sup>	4.46	1	4.46	589.93	< 0.0001
B <sup>2</sup>	10.00	1	10.00	1322.89	< 0.0001
C <sup>2</sup>	17.22	1	17.22	2277.44	< 0.0001
D <sup>2</sup>	26.38	1	26.38	3489.66	< 0.0001
<b>R<sup>2</sup> = 0.9962</b>					

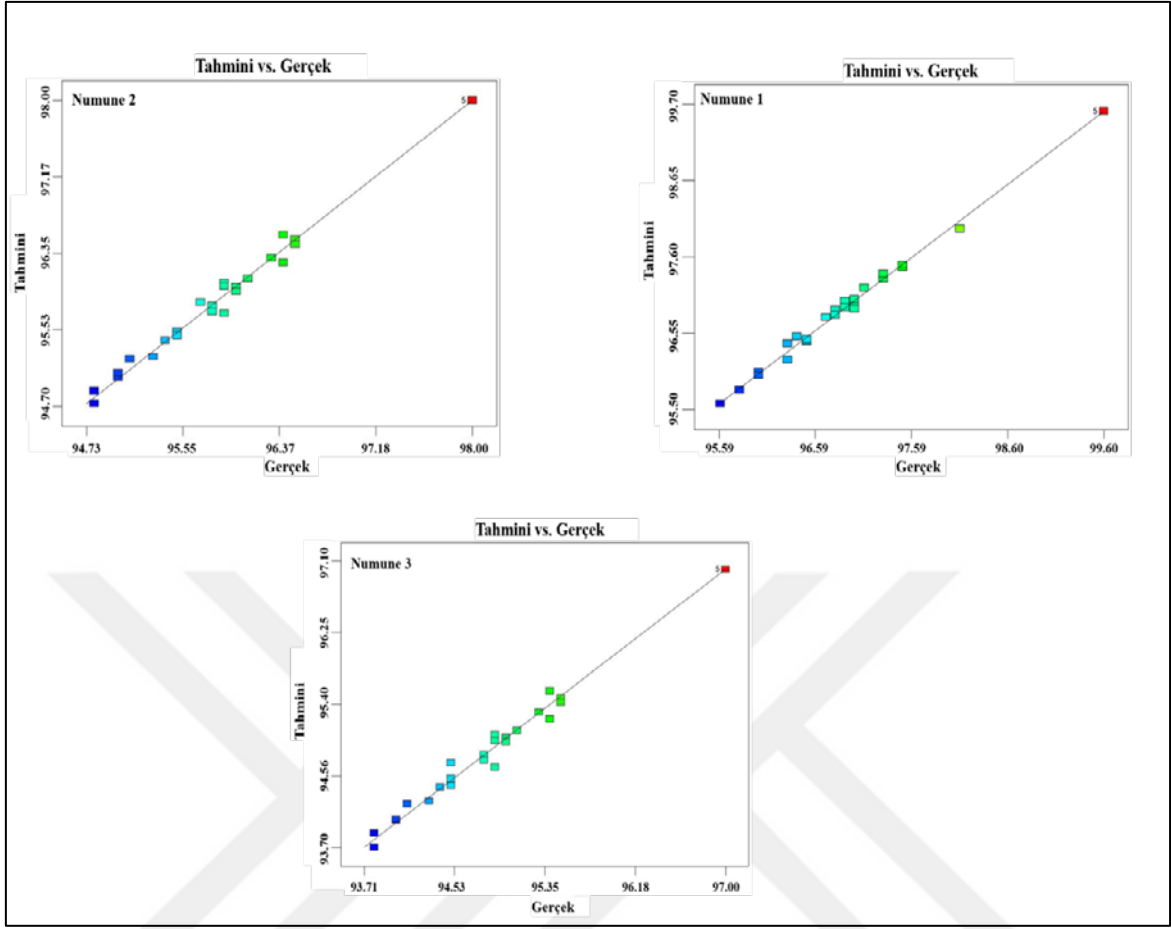
Çizelge 4.9. Numune 2 için ANOVA tablosu

<b>Kaynak</b>	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>df</b>	<b>Karelerin Ortalaması</b>	<b>F değeri</b>	<b>p- Değeri Prob&gt; f</b>
<b>Model (etkili)</b>	27.91	14	1.99	164.98	< 0.0001
<b>A-Karışımın Sıcaklığı</b>	0.19	1	0.19	15.52	0.0015
<b>B-d/w</b>	7.500E-003	1	7.500E-003	0.62	0.4439
<b>C-l/w</b>	0.083	1	0.083	6.90	0.0199
<b>D-Plakaların Ayrışma Sistemine Montaj Açısı</b>	0.27	1	0.27	22.34	0.0003
<b>AB</b>	0.000	1	0.000	0.000	1.0000
<b>AC</b>	0.040	1	0.040	3.31	0.5710
<b>AD</b>	0.20	1	0.20	16.76	0.0011
<b>BC</b>	0.023	1	0.023	1.86	0.1939
<b>BD</b>	1.000E-002	1	1.000E-002	0.83	0.3784
<b>CD</b>	0.20	1	0.20	16.76	0.0011
<b>A2</b>	2.14	1	2.14	177.48	< 0.0001
<b>B2</b>	6.81	1	6.81	563.99	< 0.0001
<b>C2</b>	10.75	1	10.75	889.85	< 0.0001
<b>D2</b>	18.47	1	18.47	1528.66	< 0.0001
<b>R<sup>2</sup> = 0.9940</b>					

Çizelge 4.10. Numune 3 için ANOVA tablosu

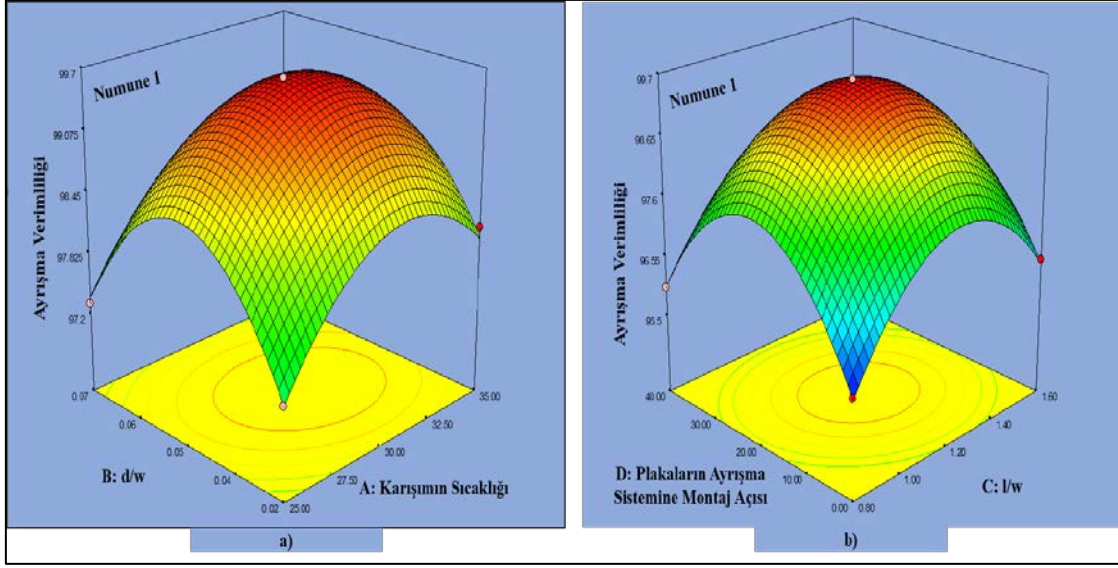
Kaynak	Kareler Toplamı	df	Karelerin Ortalaması	F değeri	p- değeri Prob> f
Model (etkili)	28.05	14	2.00	119.77	< 0.0001
A-Karışımın Sıcaklığı	0.19	1	0.19	11.21	0.0048
B-d/w	0.021	1	0.021	1.25	0.2832
C-l/w	0.053	1	0.053	3.19	0.0958
D-Plakaların Ayrışma Sistemine Montaj Açısı	0.27	1	0.27	16.14	0.0013
AB	0.000	1	0.000	0.000	1.000
AC	0.040	1	0.040	2.39	0.1443
AD	0.20	1	0.20	12.11	0.0037
BC	2.500E-003	1	2.500E-003	0.15	0.7049
BD	0.010	1	0.010	0.60	0.4523
CD	0.20	1	0.20	12.11	0.0037
A2	2.08	1	2.08	124.53	< 0.0001
B2	7.04	1	7.04	420.79	< 0.0001
C2	11.03	1	11.03	659.60	< 0.0001
D2	18.29	1	18.29	1093.45	< 0.0001
$R^2 = 0.9917$					

Şekil 4.5’de her bir numune için deneysel veriler ile model denkleminin sonuçları arasındaki ilişki gösterilmektedir. Deneysel veriler ile optimizasyon modelinin tahmin ettiği verilerin birbirine çok yakın değerler olduğu ve lineer çizgi etrafında kümelendiği görülmekte olup bu verilerin birbiriyle uyumlu olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Aynı zamanda bu verilerin uyumluluğu yapılan deneyler sonucu elde edilen ayrışma verimlilik değerlerinin doğruluğunu ve hassaslığını göstermektedir. Numunelerin reolojik özelliklerinin farklı olması sebebiyle elde edilen ayrışma verimlilik değerleri farklılık göstermiş olup bu farklılık da elde edilen deneysel sonuçlar ve model denkleminin sonuçlarının karşılaştırılmasına yansımıştır. Numune 1 için tahmin edilen değerlerin gerçek değerlere daha yakın olduğu Şekil 4.4.’de görülmektedir; bu durum modellerin  $R^2$  değerleri ile de uyumludur. Bununla birlikte bütün numuneler için gerçek değer-tahmin edilen değer uyumunun çok yüksek olduğu ( $R^2 > 0.99$ ) görülmektedir.



Şekil 4. 4. Ayırıştırma işleminde elde edilen deneysel ve tahmin edilen yanıtlar.

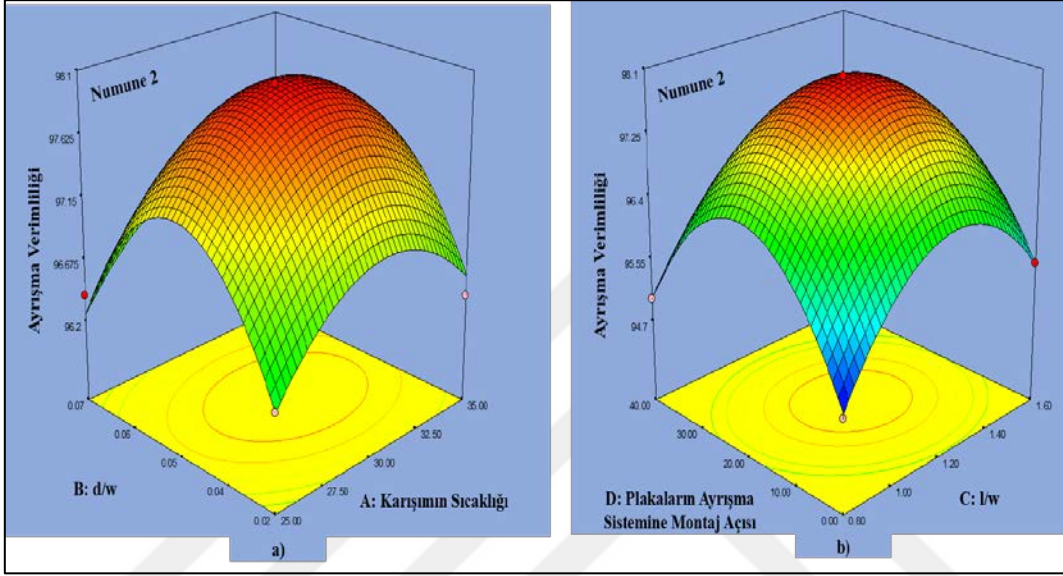
Yapılan optimizasyon sonucunda belirlenen deney planına göre hazırlanan tüm deneyler hata oranını azaltmak için çift tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney ve analizler sonucu elde edilen ayırıştırma verimlilik değerleri seçilen tasarım modeline işlenerek ele alınan tüm parametrelerin ayırıştırma verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucu karışımın ayırıştırma sistemine pompalanma sıcaklığı-plakaların d/w oranı ile plakaların ayırıştırma sistemine montaj açısı-plakaların l/w oranı arasındaki ilişkinin ayırıştırma verimliliği üzerindeki bileşik etkisinin yüksek olduğu görülmüş olup ayırıştırma verimlilik değeri ve ele alınan parametreler arasındaki ilişki de bu doğrultuda incelenmiştir.



Şekil 4. 5. Numune 1 için elde edilen yanıt yüzey sonuçları a) Karışımın sıcaklığı ve d/w parametrelerinin ayırışma verimliliği üzerindeki etkisi b) Plakaların ayırışma sistemine montaj açısı ve l/w parametrelerinin ayırışma verimliliği üzerindeki etkisi.

Petrol-su karışımının ayırıştırılmasında ele alınan; birleştirilmiş plakaların d/w ve karışımın sıcaklık parametrelerinin ayırışma verimliliği üzerindeki etkisi her bir numune için ayrı ayrı olarak şekil 4.5.(a) - 4.6.(a) - 4.7(a)'da görülmektedir. Birleştirilmiş plakaların d/w değeri 0.50-0.55 ve sıcaklık 30-32.5 °C aralığında iken en yüksek ayırışma verimliliği elde edilmektedir. Her iki parametrenin birbiriyle uyumlu olup yüzey oluşturması, ilgili parametrelerin ayırışmayı etkilediği ve aynı zamanda ayırışma üzerinde bağımlı parametreler olarak etki bıraktığı söylenebilir. Her bir numune için alınan farklı ayırışma verimlilik değerleri petrol-su karışım numunelerinin farklı sahalardan temin edilen farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olduğundan farklı ayırışma verimlilik değerleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan numuneler incelendiğinde en yüksek ayırışma verimlilik değeri Numune 1'in petrol oranının (%7) diğer numunelere göre daha düşük olmasından dolayı Numune 1 ile gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilmiştir. Ayrıca petrol-su karışım numunelerindeki petrol oranı arttıkça en yüksek ayırışma verimliliğinin elde edildiği sıcaklık değeri de artmaktadır. Bu durum karışımındaki petrol oranı arttıkça karışımın viskozitesinin artmasından ve petrol damlacıklarının birbirinden bağımsız hale gelip yüzeye çıkmasının zorlaşmasından kaynaklanmaktadır. Sıcaklık değeri arttıkça viskozitesi düşecek olup petrol damlacıklarını birbirine bağlayan bağlar zayıflayıp damlacıklar rahatça yüzeye çıkabilecektir. Birleştirilmiş plakaların d/w

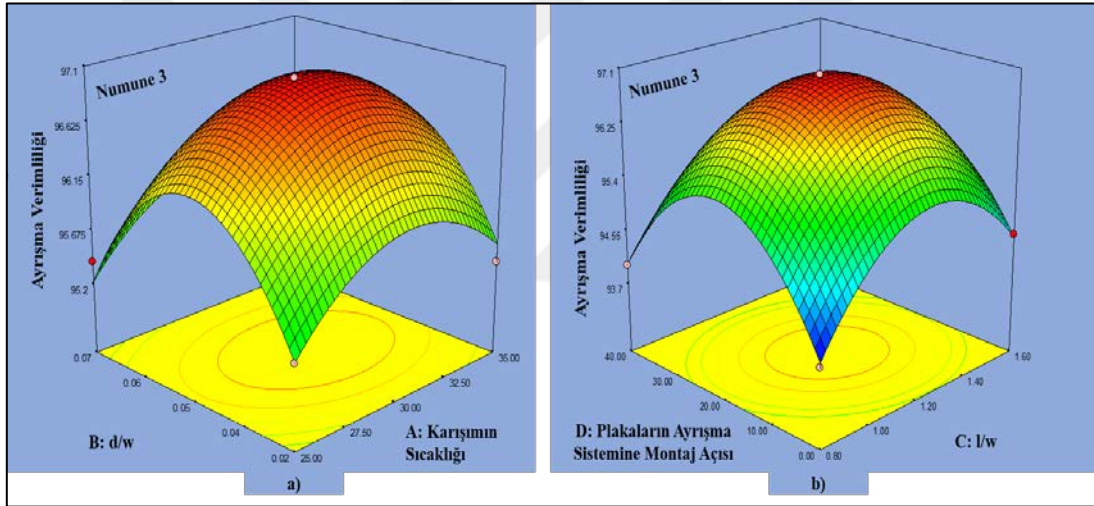
oranı da her bir numune için değişiklik göstermektedir. Karışımdaki petrol oranı arttıkça en yüksek ayırma verimliliğinin elde edileceği  $d/w$  değeri de çok az da olsa farklılık gösterip düşmektedir. Bunun nedeni de karışımdaki petrol oranının artmasıyla birlikte birleştirilmiş plaka yüzeyinden karışımın daha fazla temas etme ihtiyacının doğmasıdır. Karışımın temas yüzeyi arttıkça da ayırma verimliliği artıp dengeye ulaşmaktadır.



Şekil 4. 6. Numune 2 için elde edilen yanıt yüzey sonuçları a) Karışımın sıcaklığı ve  $d/w$  parametrelerinin ayırma verimliliği üzerindeki etkisi b) Plakaların ayırma sistemine montaj açısı ve  $l/w$  parametrelerinin ayırma verimliliği üzerindeki etkisi.

Her bir numune için gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçların tasarım modeline işlenmesiyle, ele alınan parametrelerin ayırma verimlilik değeri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Plakaların  $l/w$  oranı ve ayırma sistemine montaj açısı parametrelerinin ayırma verimliliği üzerindeki etkisi şekil 4.5.(b) - 4.6.(b) - 4.7.(b)'da görülmektedir. Bütün numuneler için maksimum ayırma verimlilik değeri;  $l/w$  oranının 0.8-1.4, plakaların ayırma sistemine montaj açısının  $9-36^\circ$  aralığında olması durumunda elde edilmiştir. Numunelerdeki petrol oranı arttıkça, karışımdaki petrol damlacıklarının daha uzun süre plaka yüzeyleri ile temas etmesinin gerekliliğinden dolayı en yüksek ayırma verimlilik değerinin elde edilebileceği  $l/w$  oranı da artmaktadır. Optimum  $l/w$  oranı, karışımdaki petrol oranına bağlı olarak artmaktadır. Karışımdaki petrol oranı arttıkça; karışımın viskozitesi, yoğunluğu vb. değişmektedir. Ayırma işleminin temelinde karışımın birleştirilmiş plakalar ile temas etmesi olduğundan maksimum

ayırışma verimliliği için karışımın plakalar ile yeterince temas ettirilmesi gerekmektedir. Her bir numune baz alınarak plakaların ayırışma sistemine montaj açısının ayırışma verimliliği üzerindeki etkisi incelendiğinde de karışımındaki petrol oranı arttıkça; artan viskozite, düşen yoğunluk değerine bağlı olarak maksimum ayırışma verimlilik değerinin elde edilebileceği açı değeri de artmaktadır. Ayrıca şekil 4.6, 4.7, 4.8’de de görüldüğü üzere plakaların ayırışma sistemine montaj açısının ayırışma verimlilik değeri üzerindeki etkisi yüksektir. Ayırışma sisteminde; açı ve  $l/w$  değerleri göz önüne alındığında maksimum ayırışma verimliliği için açı arttıkça  $l/w$  değeri de artmaktadır. Yüksek açı değerlerinde eğim daha fazla olup karışım daha kısa sürede ayırışma sisteminin terk etmektedir. Ancak yeterince temasın olabilmesi için plaka  $l/w$  değerinin de istenen oranda artırılması gerekmektedir. Böylece maksimum ayırışma verimliliği elde edilebilecektir.



Şekil 4. 7. Numune 3 için elde edilen yanıt yüzey sonuçları a) Karışımın sıcaklığı ve  $d/w$  parametrelerinin ayırışma verimliliği üzerindeki etkisi b) Plakaların ayırışma sistemine montaj açısı ve  $l/w$  parametrelerinin ayırışma verimliliği üzerindeki etkisi.

Yapılan optimizasyon, kullanılan yanıt yüzey metodu ve gerçekleştirilen deney sonuçlarına bakıldığında çalışma kapsamında ele alınan; petrol-su karışımının sıcaklığı, plakaların sisteme montaj açısı, plakaların  $l/w$  ve  $d/w$  parametrelerinin tamamının petrol-su ayırışma verimliliği üzerinde etkili olup aynı zamanda birbiriyle de uyumlu bir yanıt yüzey modeli oluşturduğu görülmektedir.

#### 4.3. Birleştirilmiş Plakaların Delik Çapının Plaka Genişliğine Oranı (d/w), Karışımın 3 Farklı Re Sayısı ve Plakaların Ayrışma Sistemine Montaj Açısı ( $\alpha$ ) Parametrelerinin Ayrışma Verimliliğine Etkisi (3. Çalışma)

Bu çalışma kapsamında Batman Batı Raman tesisinden temin edilen, I. Prosesten geçirilmiş ham petrol numunesinin 3 farklı Re sayısı (3033.058, 4766.2345, 6499.411), birleştirilmiş plakaların 3 farklı delik çapının plaka genişliğine oranı (0.018, 0.021, 0.024) ve birleştirilmiş plakaların ayrışma sistemine 3 farklı montaj açısı (0, 25, 50 derece) parametreleri ele alınmıştır. Bu parametreler doğrultusunda ilgili deney düzenekleri kurulup gerekli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ele alınan 3 farklı parametre ve her bir parametrenin de 3 farklı seviyesi olduğundan tüm olasılıklar için yapılması gereken deney sayısı oldukça fazladır. Ayrışma verimliliğinin en yüksek olan değerini bulma olasılığını etkilemeden, deney sayısını azaltıp maliyetten ve deney sürelerinden tasarruf etmek amacıyla Response Surface Metodu (RSM) kullanılarak Box-Behnken yöntemi ile optimize edilip ilgili deneme desenleri oluşturulmuştur. Elde edilen bu deneme desenleri doğrultusunda ilgili deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aynı deney düzeneği Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) programında da tasarlanıp aynı deneyler sayısal olarak gerçekleştirilmiş olup deneysel ve sayısal sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu ispatlanmıştır.

Batman Batı Raman petrol üretim temin edilen, I. Prosesten geçirilmiş petrol-su karışım numunesinin viskozitesi, yoğunluğu ve petrol oranı ölçülüp Çizelge 4.11’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.11. Petrol-Su karışımlarının özellikleri

Numune Adı	Karışımındaki Petrol Oranı (%)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Viskozite (Pa. s)
Batman Batı Raman	10	870	5.1 x 10 <sup>-3</sup>

Genel deney düzeneğinde kullanılan ayrışma sistemi besleme tankı, 2000 litre kapasitede olup yüksek sıcaklık ve darbelere karşı dayanıklı olması için Polietilenden üretilmiştir. Deneysel işlemler sürecinde ilk olarak petrol-su karışımı; ayrışma sistemi besleme tankında 30 dakika süreyle hem karıştırıcı ile karıştırılmıştır hem de karışımın ilgili sıcaklık değerine ulaşılması sağlanmıştır. Yapılan bu karıştırma işlemi sayesinde karışımın homojenliği sağlanmış olup petrol-su karışımı ayrışma sistemine

pompalanmaya hazır hale getirilmiştir. Diyaframlı pompa-Kompresör (4000 lt kapasiteli) setinin çalışması ve kurulan otomasyon ünitesi ile karışımın debisi ayarlanıp istenilen debi değerlerinde karışım sisteme pompalanmıştır. İlgili tüm deneylerde karışımın sıcaklığı da aynı şekilde kurulan otomasyon sistemi ile sabit tutulup 26 °C’de gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerin 26 °C’de yapılmasının nedeni; sahada II. Proses kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar 22-30 °C aralığında değişen sıcaklık değerlerinde gerçekleştirilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmaların sahadaki gerçek verilerle uygunluk gösterebilmesi için sıcaklık değeri gerçekleştirilen bütün deneysel ve sayısal çalışmalarda 26 °C’de sabit tutulmuştur.

Ayrışma sisteminde kullanılan ayrışma tankı metal olup metalin paslanmaması için ayrışma tankı kaplanıp boyanmıştır. Kapasitesi 2500 litre olan ayrışma tankının dibinde; çöken katı parçacıkların tahliyesi için vanalar bulunmaktadır, tankın alt tarafında ise ayrılmış su tahliye vanası bulunmaktadır. İlgili tankın üst noktalarına monte edilen vana sayesinde de ayrışıp tankın yüzeyinde biriken ham petrol tahliyesi sağlanmıştır. Ayrışan su ve ham petrol bu tahliye vanaları aracılığıyla ayrılmış su ve ayrılmış petrol depolarına tahliye edilmiştir. Ayrılmış su depolama tankı 2000 litre, ayrılmış petrol depolama tankı ise 500 litre kapasiteye sahiptir. Ayrışma sisteminde kullanılan birleştirilmiş plakaların özellikleri Çizelge 4.12’de verilmiştir ve özellikleri belirtilen delikli birleştirilmiş plakalar kullanılarak kurulan setler aracılığıyla ayrışma sağlanmış olup ilgili tüm deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.12. Deneylerde kullanılan birleştirilmiş plakaların özellikleri

<b>Plaka Özellikleri</b>	<b>Seviye</b>
Birleştirilmiş Plaka Uzunluğu (mm)	800 mm
Birleştirilmiş Plaka Genişliği (mm)	400 mm
Birleştirilmiş Plakalar Arası Mesafe (mm)	12 mm
Birleştirilmiş Plaka Delik Çapı (mm)	9, 13, 17 mm

Ayrışma sistemi kapsamında ele alınan parametreler, parametrelerin seviyeleri ve her bir parametrenin ayrışma verimliliği üzerindeki etkinin incelenebilmesi amacıyla Response Surface Method (RSM) (Deneme Sürümü) metodunun Box-Behnken Tasarım ara yüzü kullanılarak ilgili parametreler optimize edilmiştir. Design Expert 7 (Deneme Sürümü) programı optimizasyon için kullanılmış olup programa girilen parametrelerin

değerleri ve seviyeleri Çizelge 4.13’de görülmektedir. Seçilen parametrelerin değerleri en düşük (-1), merkez (0) ve en yüksek (+1) olarak sembolize edilmiş olup çizelge 4.13’de gösterilen deney planı deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tavsiye edilen optimum deney planı da hem deneysel hem de sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama sonucunda da toplam 17 deney gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.14’de görüldüğü gibi Box-Behnken Tasarımıyla toplam 17 deney yapılması tavsiye edilmiştir ve tavsiye edilen her bir deney, doğruluğunun ispatı için iki defa tekrarlanmış olup ortalama değerleri temel alınmıştır. Yanıt ve çözüm parametreleri arasındaki değerlerin ve etkileşim etkilerinin istatistiksel önemini değerlendirmek için Design-Expert 7.0 yazılımı (test sürümü) ile varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. İkinci dereceden modelin doğruluğu, tespit katsayısının ( $R^2$ ) değeri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.13. Seçilen parametreler ve seviyeleri

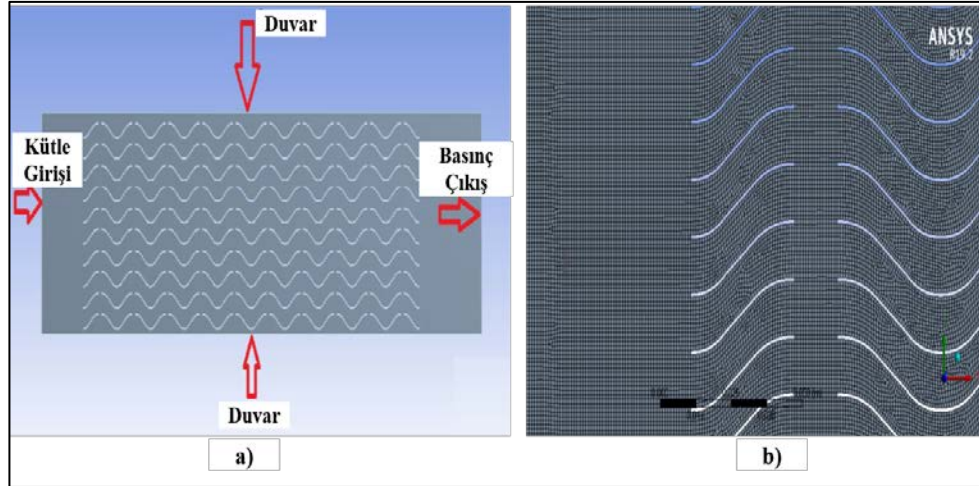
Seçilen Parametreler	Seviyeler		
	-1	0	+1
<b>A- Karışımın Re Sayısı (Re)</b>	3033.06	4766.23	6499.41
<b>B- Plakaların Delik Çapı / Plakalar Arası Mesafe (d/w)</b>	0.015	0.021	0.028
<b>C-Plakaların Ayrışma Sistemine Montaj Açısı (<math>\alpha</math>)</b>	0	25	50

Optimizasyon programının tavsiye ettiği deneyler doğrultusunda her bir numunenin ilgili sıcaklık değerindeki yoğunluk, viskozite ve petrol-su oranı ölçülmüştür ve RSM programının tavsiye ettiği deney planı çizelge 4.14’de gösterilmektedir. Deney sonuçlarının güvenilirliği açısından tüm deneyler çift tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Normal şartlarda 27 deney yapılması gerekirken optimizasyon sayesinde yapılması gereken deney sayısı 17’ye düşürülmüştür.

Çizelge 4.14. Deney planı

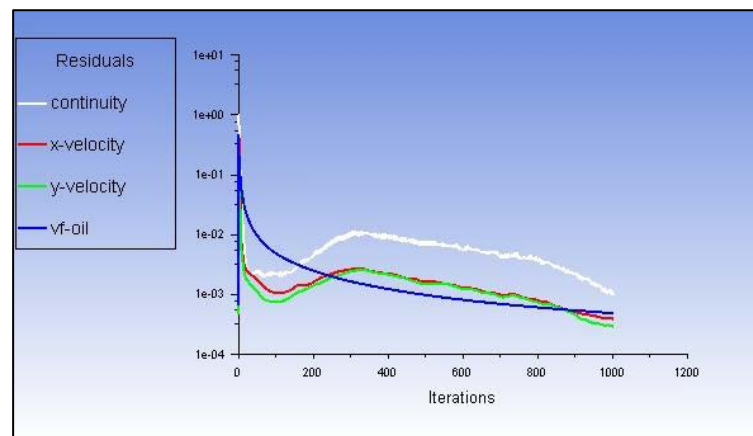
<b>Denev Numarası</b>	<b>d/w</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>Re Sayısı</b>
1	0.015	0.00	4766.23
2	0.028	0.00	4766.23
3	0.015	50.00	4766.23
4	0.028	50.00	4766.23
5	0.015	25.00	3033.06
6	0.028	25.00	3033.06
7	0.015	25.00	6499.41
8	0.028	25.00	6499.41
9	0.021	0.00	3033.06
10	0.021	50.00	3033.06
11	0.021	0.00	6499.41
12	0.021	50.00	6499.41
13	0.021	25.00	4766.23
14	0.021	25.00	4766.23
15	0.021	25.00	4766.23
16	0.021	25.00	4766.23
17	0.021	25.00	4766.23

HAD, akışkan davranışlarının incelendiği, akış bölgesi ve akışa ait temel diferansiyel denklemlerin simülasyonunun gerçekleştirildiği, özetle akışkanın fiziksel ve kimyasal özelliklerine uygun olarak sayısal çözüm imkânları sunarak simüle edebilen ve birçok mühendislik dalının çok geniş uygulama alanlarında kullanılan akışkanlar mekaniğinin bir koludur. HAD kapsamında deneysel işlemlere gerek kalmadan aynı akış ve sınır şartları belirlenerek ilgili deney düzeneği simüle edilebilmektedir. Bu sayede sadece bir tane deney yapıp bu deney sonucunun da HAD programında aynı çıkması durumunda simülasyon modelinin doğru yapıldığı sonucuna ulaşıp doğrulama yapılmış demektir. Aynı model üzerinde, ele alınan parametrelerde değişiklik yapılarak çözümler yapılabilir.



Şekil 4. 8. HAD Programında uygulanan sınır şartları b) Mesh özellikleri.

Sayısal yöntem kapsamında yapılacak olan çalışmalar için uygulanan mesh özellikleri ve sınır şartları şekil 4.9’da gösterilmiş olup, sınır tabaka koşulları göz önünde bulundurularak daha sağlıklı sonuçlar elde edilmektedir. Mesh sayısının çok fazla olması daha iyi sonuçlar elde edilebileceği anlamına gelmemekte olup uygulanacak olan problemin cinsine, geometriye, akışkan cinsine ve özelliklerine göre optimum mesh modelini ve sayısını belirlemek gerekmektedir. Problemin uygulanacağı geometri dikdörtgenel olduğundan bu geometriye uygun olarak mesh geometrisi seçilerek 80615 element sayısına sahip mesh atılmıştır. Aynı zamanda uygulanan mesh özelliklerinin ve duvar baz alınarak uygulanan sınır tabaka koşullarının değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4. 9. HAD Programında uygulanan iterasyon.

Şekil 4.10.'da HAD programı kapsamında yapılacak olan analiz çözümlerinin daha sağlıklı olabilmesi için uygulanan iterasyonlar ve belli bir noktadan sonra iterasyon uygulandıkça ele alınan değişken değerlerin değişmediği gösterilmiştir. İterasyon uygulanırken dikkat edilmesi gereken nokta; çözüm için ele alınan değişkenlerin (x,y, hız değeri...vb.) iterasyon sayısının arttırılması ile değişmemesi gerektiği hususudur. Bu çalışmada da uygulanan iterasyon sayısı ve değişimine bakıldığında 1000 iterasyondan sonra parametrelerde herhangi bir değişiklik görülmemektedir.

Çizelge 4.15. Mesh bağımsızlık çizelgesi

Mesh Yapısı	Element Sayısı	Ayrışma Verimliliği (%)
Daha Kaba	45489	97.8
Kaba	60523	98.2
Normal	70821	98.9
İyi	80615	99.23
Çok İyi	86198	99.25

Çizelge 4.15'de çalışmanın meshden bağımsızlaştırılmış hali gösterilmektedir. Çizelgeden de görüldüğü üzere element sayısı 86198 iken maksimum ayrışma verimliliği olan %99.25 elde edilmiştir. Yapılan tüm sayısal çalışmalarda element sayısı 86198 olarak alınmıştır.

Laminerden türbülanslı akışa geçiş; geometri, yüzey pürüzlülüğü, akış hızı, yüzey sıcaklığı, akışkan türü ve daha birçok parametreye bağlıdır. Akış rejimi temelde akışkandaki atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranına bağlıdır.

Süreklilik denklemi, bir akışkanda mevcut hacmin zaman ve konuma göre değişimi ile ilgilidir. Genel süreklilik denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\text{Süreklilik denklemi: } \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (4.1)$$

Çalışma kapsamında yapılan deneylerde kanal içerisinde akmakta olan su akışının, akışkan yoğunluğunun sabit kaldığı sürekli ve sıkıştırılmaz akış olduğu kabul edilmiştir.

$$\text{Sıkıştırılmaz akışın süreklilik denklemi: } \vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad (4.2)$$

Navier Stokes denklemi kullanımında kütle ve momentum korunumu kabulleri yapılmaktadır.

$$\text{Kütle korunumu: } \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (4.3)$$

$$\text{Momentum korunumu: } \rho \frac{\partial U}{\partial t} + (U \cdot \nabla)U = -\nabla p + \rho g + \mu \nabla^2 U \quad (4.4)$$

k - ε modeli bilinen en yaygın modeldir ve diğer modellere göre daha basit bir yapıya sahiptir. Yürütülen çalışmada kullanılan akış türbülanslı akış olduğu için çözümlenelerde standart k - ε modeli kullanılmıştır.

$$\text{k denklemi: } u \frac{\partial k}{\partial x} + \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{1}{Re} \left( \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \nabla^2 k + P - \varepsilon \quad (4.5)$$

$$\varepsilon \text{ denklemi: } u \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = \frac{1}{Re} \left( \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla^2 \varepsilon - C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4.6)$$

Tasarlanan petrol-su ayırma sistemine; 3 farklı petrol numunesi farklı çap değerlerine sahip birleştirilmiş plaklar kullanılarak farklı debi değerlerinde pompalanmıştır. Kullanılan parametreler ve seviyeleri doğrultusunda Response Surface programı aracılığıyla Box-Behnken ara yüzü kullanılarak optimizasyon işlemleri için bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon programının belirlediği deneme desenleri esas alınarak ilgili tüm deneyler çift tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerin çift tekrarlı yapılmasının sebebi; deney sırasında gözden kaçan olası herhangi bir sorunun daha erken tespit edilip sorunun çözümünün daha kısa sürede çözülebilmesidir. Gerçekleştirilen deneylerin her ikisinde de herhangi sorun çıkmayıp birbirine çok yakın (aradaki fark ihmal edilebilir) ayırma verimlilik değerlerinin elde edilmesi durumunda ayırma verimlilik değerlerinin aritmetik ortalaması alınıp optimizasyon işlemine tabi tutulmuştur.

Çizelge 4.16. Petrol-Su karışımının ayırışma verimlilik sonuçları

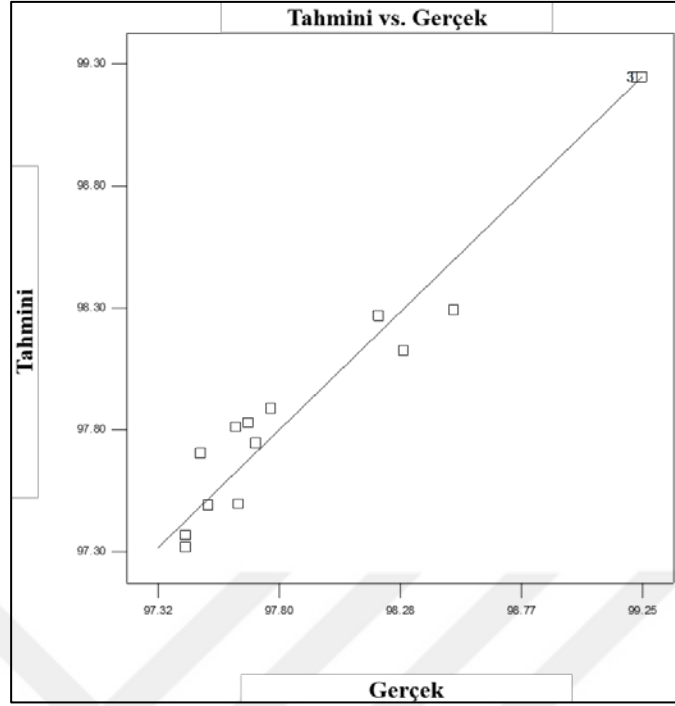
Deney Sırası	Faktör 1 d/w	Faktör 2 $\alpha$	Faktör 3 Re Sayısı	Ayırışma Verimliliği
1	0.015	0.00	4766.23	97.50
2	0.028	0.00	4766.23	97.42
3	0.015	50.00	4766.23	97.79
4	0.028	50.00	4766.23	97.71
5	0.015	25.00	3033.06	97.68
6	0.028	25.00	3033.06	97.63
7	0.015	25.00	6499.41	97.72
8	0.028	25.00	6499.41	97.64
9	0.021	0.00	3033.06	97.43
10	0.021	50.00	3033.06	97.74
11	0.021	0.00	6499.41	97.46
12	0.021	50.00	6499.41	97.77
13	0.021	25.00	4766.23	99.25
14	0.021	25.00	4766.23	99.24
15	0.021	25.00	4766.23	99.25
16	0.021	25.00	4766.23	99.23
17	0.021	25.00	4766.23	99.25

Çalışma kapsamında, ele alınan 3 parametrenin ayırışma verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ele alınan verilerin optimizasyonu sonucunda sistem analizi için 17 deney yapılması planlanmıştır. Bütün bu deneylerde, parametrelerin seviyeleri ve her bir numune için elde edilen ayırışma verimlilik değerleri çizelge 4.16.'da gösterilmektedir. Elde edilen ayırışma verimlilik değerleri incelendiğinde, her bir deney planı sonucu elde edilen ayırışma verimlilik değerlerinin değişiklik gösterdiği görülmektedir. Bu durum, ele alınan parametrelerin ayırışma verimliliği üzerinde etkili olduğunu göstermektedir (Liu, 2009).

Çizelge 4.17. Petrol-Su karışımının ANOVA tablosu

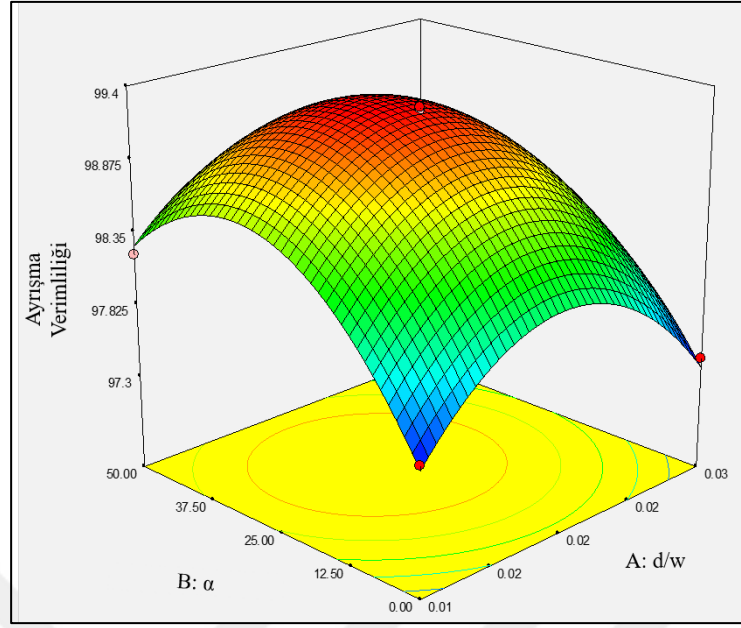
Kaynak	Kareler Toplamı	df	Karelerin Ortalaması	F değeri	p- Değeri Prob > f
Model (significant)	8.80	9	0.98	29.42	< 0.0001
A- d/w	0.21	1	0.21	6.26	0.0409
B- $\alpha$	0.67	1	0.67	20.07	0.0029
C- Re Number	2.000E-004	1	2.000E-004	6.016E-003	0.9403
AB	0.040	1	0.040	1.20	0.3090
AC	0.093	1	0.093	2.80	0.1383
BC	0.16	1	0.16	4.69	0.0670
A2	2.41	1	2.41	72.58	< 0.0001
B2	2.51	1	2.51	75.49	< 0.0001
C2	1.92	1	1.92	57.63	0.0001
$R^2 = 0.9742$					

Ele alınan parametreler ve gerçekleştirilen optimizasyon işlemi neticesinde elde edilen ANOVA sonuçları, çizelge 4.17.'de gösterilmektedir. Optimizasyon işleminde her bir parametrenin ve model eşitliğinin p değerinin 0.05'den küçük olması gerekmektedir (Myers ve Montgomery, 2002). İlgili çizelgeden de görüldüğü üzere ele alınan her bir parametre bağımsız ve bağımlı olarak ayrışma verimliliğini etkilemektedir. Ayrıca ayrışma verimliliği üzerinde en etkili parametrenin birleştirilmiş plakların ayrışma sistemine montaj açısı ( $\alpha$ ) olduğu görülmektedir. Aynı zamanda elde edilen  $R^2$  değerinin 1'e çok yakın bir değer olduğu görülmekte olup (0.9742) bu değere bakılarak uygulanan modelin ve elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu sonucuna varılmaktadır.



Şekil 4. 10. Ayrıştırma işlemi sırasında elde edilen deneysel ve tahmin edilen yanıtlar.

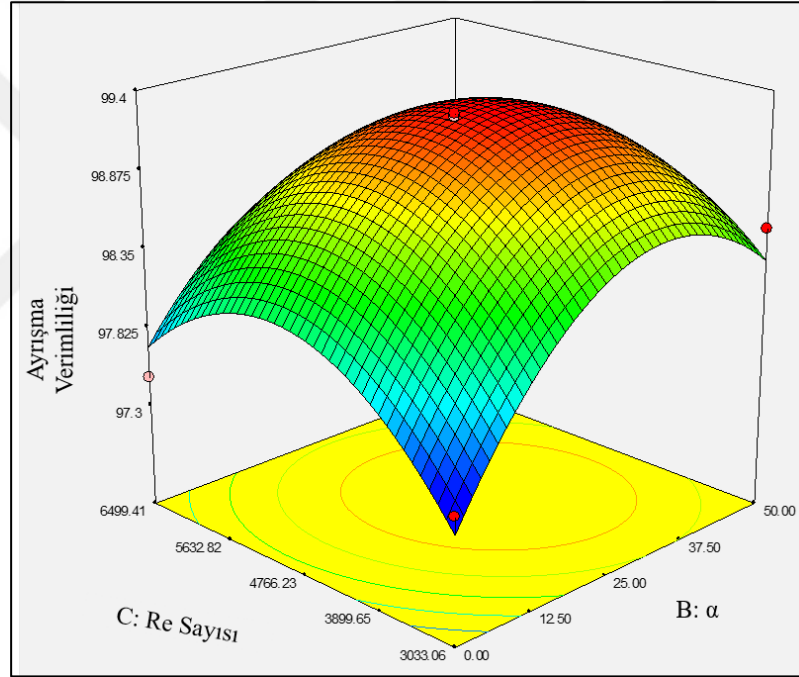
Gerçekleştirilen çalışma kapsamında ele alınan parametreler için deneysel veriler ile model denkleminin sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.11’de gösterilmektedir. Elde edilen deneysel sonuçlar ile optimizasyon programının tahmin ettiği sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve deneysel sonuçların lineer çizgi etrafında kümelendiği görülmektedir. Lineer çizgi etrafında meydana gelen bu kümelenmeye bakarak ölçülen ayrıştırma verimlilik değerlerinin doğru olduğu sonucuna varılmaktadır. Aynı zamanda bu verilerin uyumluluğu yapılan deneyler sonucu elde edilen ayrıştırma verimlilik değerlerinin doğruluğunu ve hassaslığını göstermektedir. Doğrusal olan çizgi, optimizasyonun tahmin ettiği ayrıştırma verimlilik değerleridir ve doğrusal çizgi etrafında kümelenen kutucuklar ise deneysel işlemlerden elde edilen ayrıştırma verimlilik değerleridir. Yapılan optimizasyon sonucu elde edilen bu sonuca bakarak, hangi deneyin sonucunda sorun olduğu da belli olduğu için bu sonuç sayesinde sadece sorunlu olan deneylerin belirlenmesi tekrarlanması daha kolay olmuştur. Doğrusal çizgi etrafında gerçekleşen kümelenmeden de görüleceği üzere; uygulanan optimizasyon modeli, parametrelerin sınır değerleri ve ayrıştırma verimlilik değerleri birbiri ile uyum içerisindedir.



Şekil 4. 11. Plakaların ayırma sistemine montaj açısı ve plaka delik açısı/plakalar arası mesafe ( $d/w$ ) parametrelerinin ayırma verimliliği üzerindeki etkisi.

Gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçların tasarım modeline işlenmesiyle, ele alınan parametrelerin ayırma verimlilik değeri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Birleştirilmiş plakaların ayırma sistemine montaj açısı ve birleştirilmiş plakaların delik çapının plaka genişliğine oranı parametrelerinin ayırma verimliliği üzerindeki etkisi şekil 4.12’de gösterilmektedir. Plakaların ayırma sistemine montaj açısı arttıkça 25-30 dereceye kadar ayırma verimliliği artmakta olup ilgili açı değerlerinden daha yüksek açı değerlerinde ayırma verimliliği düşmektedir. Açı değerinin artması ile plakaların eğim derecesi artmaktadır. Artan bu eğim değeri ile karışımın plakalar yüzeyinden akma hızı da artmaktadır. Artan hız değeri de belli bir değere kadar ayırma verimliliği üzerinde pozitif etki oluştururken optimum değer üzerindeki eğim değerlerinde negatif etki oluşturmaktadır. Oluşan optimum açı değerine kadar eğim artınca ayırma tankındaki akışkanın dinamik basıncı artmakta olup plakalarda bulunan delikler etrafında akışta daha fazla bozulma meydana gelmektedir. Akışta meydana gelen bu bozulma sayesinde karışımında bulunan petrol damlacıkları daha rahat serbest hale gelmektedir ve birbirine yapışıp yüzeye çıkmaktadır (Guerin, 2002). Ayırma işlemi kapsamında ele alınan  $d/w$  parametresinin ayırma verimliliği üzerindeki etkisi irdelendiğinde  $d/w$  değerinin 0.20-0.25 değerleri arasında optimum olduğu ve bu aralıkta maksimum ayırma verimliliğinin elde edildiği görülmüştür. Ayırma işleminde optimum

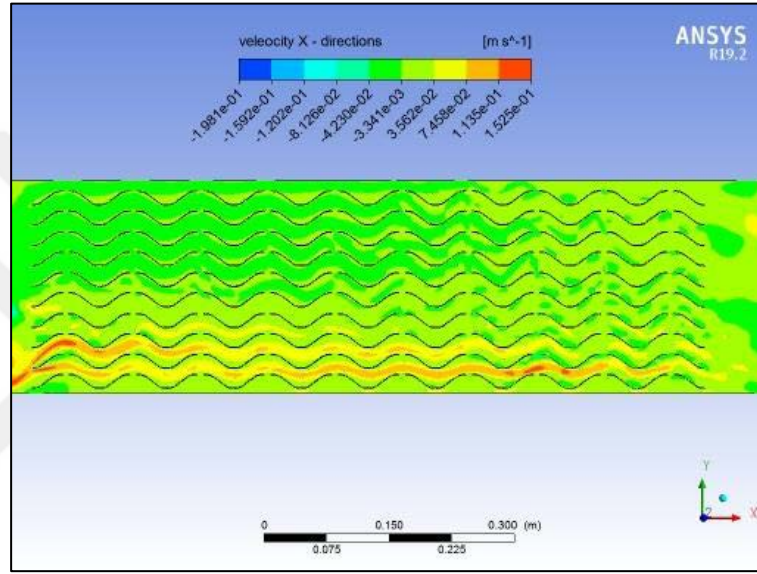
$d/w$  değerinin belirlenmesinde karışımın ayırma tankı içerisindeki akış hızı ve birbirine yapışan petrol damlacıklarının ilgili deliklerden rahatça yüzeye çıkabilmesi önem taşımaktadır. Ayırma işlemi sırasında plakalarda bulunan delikler aracılığı ile hem akışta bir bozulma meydana gelip ayırma noktaları oluşmakta hem de birbirine yapışan petrol damlacıkları deliklerden yukarı doğru hareket edip yüzeyde birikmektedir. Bu sebeple  $d/w$  değerinin düşük olması durumunda akışta bozulma meydana gelmektedir ancak  $d/w$  değeri düşük olduğu için birbirine yapışan petrol damlacıkları yüzeye çıkamamaktadır. Aynı şekilde  $d/w$  değerinin yüksek olması durumunda da plaka yüzeyindeki delik sayısı azalmaktadır ve akışta yeterince bozulma oluşturulamamaktadır. Bu sebeple de akışta ayrılma noktaları oluşmamaktadır.



Şekil 4. 12. Plakaların ayırma sistemine montaj açısı ve Re sayısı parametrelerinin ayırma verimliliği üzerindeki etkisi.

Birleştirilmiş ayırma sistemine montaj açısı ve ayırma sistemine pompalanan karışımın Re sayısının ayırma verimliliği üzerindeki etkisi şekil 4.13’de görülmektedir. İlgili parametrelerin hem ayırma verimliliği üzerinde hem de birbiri üzerinde etkisinin olduğu görülmektedir. Maksimum ayırma verimliliği için karışımın optimum Re sayısının 4500-4900 aralığında olması gerektiği görülmektedir. Karışımın Re sayısı arttıkça akışın tipi laminardan türbülanslı akışa doğru değişkenlik göstermektedir.

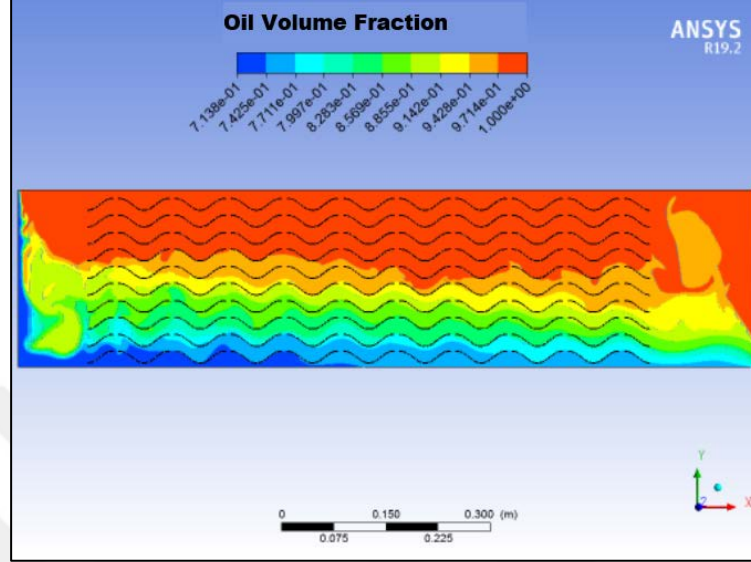
Birleştirilmiş plakalar kullanılarak gerçekleştirilen ayrışma işlemlerinde akışın laminar-türbülanslı akış geçiş bölgesinde olması istenir. Akışın türbülanslılığı arttıkça petrol damlacıklarının birbirine yapışması zorlaşır (Gu, 2001). Çünkü yüksek Re sayısı değerlerinde akıştaki türbülans çok fazladır ve birbirine yapışan damlacıkların da akış ayrılmalarının gerçekleştiği bölgelerde oluşan girdaplarda tekrar birbirini bırakıp serbest hale gelme riski yüksektir. Serbest hale gelen damlacıklar da ayrılmış su ile birlikte tahliye edilip ayrılmış sudaki petrol oranını arttırmaktadır.



Şekil 4. 13.  $Re = 4766.2345$ ,  $\alpha = 25$  ve  $d/w = 0.021$  için karışımın hız profili.

Elde edilen optimum deney planı doğrultusunda ilgili deney çift tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir ve optimizasyon modelinin tahmin ettiği ayrışma verimlilik değeri elde edilmiştir. Maksimum ayrışma verimliliğinin elde optimum deney düzeneği 2B (2 Boyutlu) olarak simüle edilip HAD programında ilgili deney sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deney sonucu elde edilen ayrışma verimlilik değerinin deneysel sonuç ile uyduğu gözlemlenmiştir. Birleştirilmiş plakaların ayrışma sistemine montaj açısı 25 derece, karışımın Re sayısı 4766.2345, plakaların  $d/w$  değeri 0.021 alındığında elde edilen karışımın hız profili şekil 4.14’de görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere plakaların zemininde hız profili yüksek iken yüzeye doğru çıkıldıkça karışımın hızında düşüş gözlenmektedir. Yüzeye doğru çıkıldıkça petrol damlacıklarının ayrışma tankının dibinden yüzeye doğru hareketi sebebiyle ayrışma tankında hem dikey

yönde hem de yatay yönde akış hareketi oluşmaktadır. Bu akış hareketleri sebebiyle tankın yüzeyine doğru çıkıldıkça karışımın yatay hızında azalma meydana gelmektedir.



Şekil 4. 14. Optimum şartlardaki petrol hacim fraksiyonu.

Optimum şartlardaki deney düzeneğinin HAD programında simüle edilmesi sonucu elde edilen petrol hacim fraksiyonu şekil 4.15.'de görülmektedir. Ayrışan petrolün yüzeyde biriktiği, ayrışmış suyun ise tankın dibinde biriktiği görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda da petrolün, ayrışma tankının yüzeyinde biriktiği ve ayrışmış suyun ise ayrışma tankının dibinde biriktiği gözlemlenmiştir. Elde edilen petrol hacim fraksiyon sonucu, yapılan deneysel çalışma ile uyumludur.



## 5. SONUÇ

İlgili çalışma kapsamında Adıyaman-Batman ve Diyarbakır'da bulunan petrol sahalarından alınan farklı özelliklere sahip petrol numuneleri 3 farklı hız değerinde ayırma sistemine pompalanıp her bir numune için ayırma verimliliği irdelenmiştir. Gerçekleştirilen tüm deneylerde farklı ayırma verimlilik değerleri elde edilmiş olup bu ayırma verimlilik değerlerine bakılarak ulaşılan sonuçlar;

Akışkan karışımının hızı arttıkça karışımın ayırma verimliliği de belli bir noktaya kadar artarken daha yüksek hız değerlerinde ayırma verimlilik değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Bu düşüşün de sisteme giren karışımın; hızının artmasından dolayı daha kısa sürede sistemi terk etmesinden ve delikli birleştirilmiş plakalar ile etkileşime girememesinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Karışımın hızının yüksek olmasından dolayı akışkanın büyük bir kısmı birleştirilmiş plaka yüzeyi ile temas etmemekte olup birleştirilmiş plakalarda bulunan kavislerin, deliklerin akışkan karakteristikleri üzerindeki etkisi azalıyor ayırma verimliliği de düşmektedir.

Ayırma sistemine yüksek hızda giren akışkan karışımının; birleştirilmiş plakalar ile temas ettiği noktadan itibaren ayırma başlamakta olup birbirine yapışan petrol damlacıkları da deliklerden yukarı doğru hareket etmektedir. Yüksek hızdaki karışım, bu petrol damlacıklarının yüzeye doğru çıkma süresini geciktirmekte olup ayırma sisteminin çıkış noktasına doğru sürüklenmektedir. Sistemin çıkış noktasına gelen akışkan karışımının içinde bulunan petrol damlacıkları birbirine yapışmış olsa bile yüksek hızdan doğan kuvvetin etkisiyle yüzeye çıkamamakta ve ayrılmış su ile birlikte tahliye olmaktadır.

Ayırma sistemine pompalanan karışımın ayırma verimliliğini etkileyen parametrelerden biri de kullanılan petrol-su karışımının yoğunluğudur. İçinde %89 su bulunan karışımın sisteme yollanmasıyla yapılan tüm deneyler arasında en yüksek ayırma verimlilik değerinin (%99.5) elde edildiği görülmüştür. Karışımın petrol oranı yüksek olduğundan petrol damlacıkları daha hızlı bir şekilde etkileşime geçip birbirine kolayca yapışabilmektedir. Ancak diğer taraftan 0.9 m/s hız ile sisteme pompalanan aynı numuneye bakıldığında tüm deneyler arasından en düşük ayırma verimlilik değerinin %95 olarak elde edildiği görülmüştür. Yüksek oranda petrol içeren (%11) karışımın

kullanılıp sisteme 0.9 m/s hız değerinde pompalanması sırasında petrol damlacıklarının birleştirilmiş plakaların yarısından (400mm) sonra yüzeye çıktığı görülmüştür.

Sonuç olarak ayırışma verimlilik değerinin akışkanın sisteme pompalanma hızı ve karışımdaki petrol oranına bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Akış karakteristiklerinden ve karışımın birleştirilmiş plakalar ile etkileşime geçebilmesinden dolayı ayırışma verimliliği değişmektedir. Ayırışma verimliliği ve karışımın sisteme pompalanma hızı arasındaki optimum bağlantı belirlenmiş olup buna bağlı olarak maksimum ayırışma verimlilik değeri belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında farklı petrol üretim istasyonlarından temin edilen farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip 3 adet petrol-su karışım numunesi için yerçekimsel ayırışma metotlarından biri olan birleştirilmiş plakalar kullanılarak ayırıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayırışma işlemi kapsamında; tasarlanan düzenekte birleştirilmiş plakalar arası mesafelerin genişliğe oranları (d/w) (0.02, 0.05, 0.07), uzunluklarının genişliğe oranları (l/w) (0.8, 1.2, 1.6), karışımın ayırışma sistemine pompalanmadan önceki sıcaklık değerleri (25, 30, 35 °C) ve bu plakaların ayırışma sistemine montaj açıları (0°, 20°, 40°) gibi parametreler üzerinde durulmuş olup her bir parametrenin birbiriyle olan etkileşimi ve ayırışma verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Birleştirilmiş plakaların l/w arttırıldığında 0.05 değerinden sonra petrol-su karışımında kalan petrol damlacıklarının birbiriyle etkileşime geçememesi ve yüzeye çıkamamasından dolayı ayırışma verimliliğinde düşüş gözlenmektedir. Plakaların l/w değeri 0.05 değerine ulaşana kadar ayırışma sağlanmış olduğundan dolayı bu değerden sonraki kısımda karışım içinde kalan petrol damlacıkları çok düşük çaptadır ve yapılan ölçümler sonucu karışımın en fazla %1-2'lik kısmını oluşturmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında %98-99 oranında ayırışma verimliliği elde edildiği görülmektedir.

Ayırışma sistemine pompalan petrol-su karışımının sıcaklığının ayırışma verimliliği üzerindeki etkisi incelendiğinde ise en iyi ayırışma verimlilik değerinin 30-32.5 °C değerinde elde edildiği görülmüştür. Sıcaklık değeri çok düşük olduğunda petrol-su karışımındaki petrol damlacıklarının viskozitesi yüksek olup petrol damlacıkları birbiriyle yeterince etkileşime geçememektedir. Bundan dolayı petrol damlacıkları birbiri ile bütünleşip yüzeye çıkamamakta ve sistemden ayırışmış su ile birlikte atılmaktadır. Karışımın sıcaklık değeri arttırıldığında ise optimum olarak belirtilen sıcaklığın üzerindeki değerlerde petrol damlacıklarını birbirine bağlayan bağlar zayıflamakta olup

birbiri ile bütünleşip yüzeye çıkması zorlaşmaktadır. Bu nedenle de ayrışma verimliliğinde düşüş gözlenmektedir. İlgili sıcaklık değerlerinin aralığına bakıldığında ekstradan ısıtıcı gerektirmeyecek bir değer olduğu görülmekte olup bu çalışma kapsamında ele alınan diğer parametrelerin ve elde edilen sonuçların ilgili sektöre uygulanabilirliğinin kolay olduğu görülmektedir.

İlgili çalışma kapsamında birleştirilmiş plakalar kullanılarak ayrışma işlemi gerçekleştirilmiştir. Birleştirilmiş plakaların d/w değerinin, maksimum ayrışma için olması gereken değer 0.50-0.55 aralığında olması gerektiği elde edilen grafiklerden görülmektedir. İlgili d/w değerinden daha yüksek değerlerde ayrışma işleminin gerçekleştirildiği yüzey alanı azaltılmış olup petrol-su karışımı birleştirilmiş plakalar ile etkileşime geçemeyip petrol damlacıklarının birbiri ile bütünleşmesini tam olarak gerçekleştirememektedir. Birbirine bütünleşmeyen petrol damlacıkları yüzeye çıkamayıp ayrıştırılamamaktadır. Birleştirilmiş plakalar arası mesafe azaltıldığında ise viskozitesi yüksek olan petrol-su karışımı birleştirilmiş plaka sistemine girince karışımdaki petrol damlacıklarının birbiriyle etkileşime geçebilecekleri alan olan plakalar arasındaki hacmin yetersizliğinden dolayı etkileşim yeterince olmayıp düşük ayrışma verimliliği elde edilmektedir.

Yukarıda belirtilen hususlar ve elde edilen sonuçlara bakıldığında yüksek bir hızda ayrışma sistemine pompalan petrol-su karışımında %96-99 oranında ayrışma verimlilik değerinin elde edildiği görülmektedir. Ayrışma sistemine yüksek hızda petrol-su karışımının pompalanması ile daha kısa sürede daha fazla karışım ayrıştırılabilmektedir. Tamamen akış dinamikleri baz alınarak geliştirilen ve ayrışma işleminin maliyetini arttıracak herhangi bir kimyasal yöntem içermeyen bu ayrışma yöntemi incelendiğinde piyasada da en fazla tercih edilen ayrışma metodu olduğu görülmektedir.

Tez kapsamında ele alınan parametreler ve elde edilen sonuçların hepsine bakıldığında; ele alınan parametrelerin hem ayrışma verimliliğini hem de ayrışma işlemi boyunca birbirini etkilediği görülmüştür. Birleştirilmiş plakalar kullanılan ayrıştırma işleminde parametrelerin bir bütün olarak ele alınması gerektiği görülmüştür. En yüksek ayrışma verimlilik değerinin elde edilebilmesi için optimum deney düzeneğinin tek bir parametre üzerinden değil de bütün parametrelerin göz önünde bulundurulup değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bütün parametreler ele alınırken

optimizasyon yapma ihtiyacının doğduğu ve Yanıt Yüzey Metodunun ilgili problem için en uygun optimizasyon modeli olduğu görölmüştür. Optimizasyon işlemlerinde dikkat edilmesi gereken hususun, ele alınan parametrelerin sınır değerlerinin iyi bir şekilde belirlenmesinin önem arz ettiği görölmüştür.



## KAYNAKLAR

- Agency USEP, 1998. National Center for Environmental Assessment–Washington Office of Research and Development. *Effects of Benzene: An Update*, Washington, DC.
- Algifri, AH., Bhardwaj, RK., Rao, YVN., 1988. Turbulence measurements in decaying swirl flow in a pipe. *Applied Scientific Research*, **45**: 233-250.
- Almarouf, H.S., Nasser, M.S., Al-Marri, M.J., Khraisheh, M., Onaizi, M.S., 2015. Demulsification of stable emulsions from produced water using a phase separator with inclined parallel arc coalescing plates. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **135**: 16-21.
- Andresen, PAK., Arntzen, R., Sjøblom, J., 2000. Stability of model emulsions and determination of droplet size distributions in a gravity separator with different inlet characteristics, *Colloid Surface A.*, **170**(1): 33–44.
- Ansys, Inc., *Ansys Fluent (ANSYS FLUENT) Theory and Guide*, 2009.
- Arnold, K.E., Stewart, M., 2008. *Surface Production Operations Design of Oil Handling Systems and Facilities*. Gulf Publishing Co., Third ed., Houston, Texas.
- Aymong, G., 1988. *Oil-Water Separator*. U.S. Patent: 4722800.
- Balasubramanian, R., Sathyaprakash, B.S., Dhurandhar, S.V., 1996. Gravitational waves from coalescing binaries: Detection strategies and Monte Carlo estimation of parameters. *Phys. Rev. D Part Fields*, **53**(6): 3033-3055.
- Billingham, JF., 1992. *Modeling of Inclined Plate Separators*. PhD Thesis, UMIST.
- Binks, B., Horozov, T., 2006. *Colloidal Particles at Liquid Interfaces*. Cambridge University Press.
- Burns, D.L., Mohr, D.S., 2000. Coolant waste minimization using a coalescing plate separator. *Water Environment Federation Industrial Wastes Technical Conference*. **2000**(5):293-299.
- Çengel, Y., Turner, R., 2001. McGraw Hill. *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*.
- Chen, L., Wu, S., Lu, H., Huang, K., Zhao, L., 2015. Numerical simulation and structural optimization of the inclined oil/water separator. *Journal of Plos One*, **10**(4): 1-15.
- Cooper, S., Coronellat, CJ., 2005. Cfd simulations of particle mixing in a binary fluidized bed. *Powder Technology*, **151**: 27–36.
- Demirbaş, A., Bamufleh, H.S., Edris, G., Alalayah, W.M., 2017. Treatment of contaminated wastewater. *Petroleum Science and Technology*, **35**(9): 883-889.
- Escobar, OM., 2005. *The Graduate School Performance Evaluation of Modified Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone*. Petroleum Engineering the Graduate School the University of Tulsa.
- F. Mao, 2002. Study on Separation Characteristics of Corrugated Plate Dryer. *Petroleum Science and Technology*, **25**: 42-50.
- Fleischer, A., 1984. Separation of oily wastewaters. *The Annual Technical Conference Canadian Institute of Marine Engineers, —The State-Of-The-Art, Mari-Tech 84*, 7-8 March 1984, Ottawa.
- Frising, T., Noik, C., Dalmazzone, C., 2006. The liquid -liquid sedimentation process: from droplet coalescence to technologically enhanced water/oil emulsion gravity separators: a review. *Journal of Dispersion Science and Technology*, **27**:1035–1057.

- Gu, Y., 2001. Separation of produced petroleum fluids using a coalescer column. *Research Proposal Submitted to Petroleum Technology Research Centre (PTRC)*, **15**: 53-61.
- Guerin, T.F., 2002. Heavy equipment maintenance wastes and environmental management in the mining industry, *Journal of Environmental Management*, **66**: 185–199.
- Gutierrez, J.M., Mamuscari, D., Mohr, K.S., 2000. Upgrading petroleum terminal separators using coalescing plates. *WEF and Purdue University Industrial Wastes Technical Conference*:1-7.
- Haidar, S., Almarouf, M.S., Nasser, M.J., Marri A., Khraisheh, M., Sagheer, A. 2015. Demulsification of stable emulsions from produced water using a phase separator with inclined parallel arc coalescing plates. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **135**: 16-21.
- Hai-fei, L., Jing-yu X., Jun, Z., Huan-qiang, S., Jian Z., Ying-xiang, W., 2012. Oil/water separation in a liquid-liquid cylindrical cyclone. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, **24**(1): 116-123.
- Halliburton, 2010. Water management. <http://www.halliburton.com>.
- Hansen, E.W.M., Heitmann, H., Laksa B., Ellingsen, A., Ostby, O., Morrow, T.B., Dodge, F.T., Fluid flow modelling of gravity separators. *Elsevier Science Publishers*, **45**: 364-380.
- Hashim, R., Abdolhamid, A., Mars, E., 2009. Evaluation of bio-surfactants enhancement on bioremediation process efficiency for crude oil contaminated soil at oilfield. *Strategic Study*, **20**: 25-30.
- Hei, N.L., 2004. Development and performance test of a separation system for removal of physically emulsified and free oils from wastewaters. *Faculty of Engineering University Malaysia Sarawak*, Master of Engineering.
- IEA, Key World Energy Statistics 2019 Report, <https://webstore.iea.org/key-world-energy-statistics-201>.
- Inoue, N., 1996. Oil-Water Separation Apparatus. *U.S. Patent* 5494586.
- Ivanenko, A., Yablokova, Y., Petrov, SI., 2010. Simulation of the separation of emulsified oil products from water in an apparatus with sinusoidal profiled oleophilic plates. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, **44**(5): 729–741.
- James, P., Rainer, EF. 1993. Produced Water: Technological/Environmental Issue and Solutions. *In Environmental Science Research*: 616.
- John, A., Veil, Markus, G., Puder, Elcock, D., Robert, J., Redweik, J., 2004. A white paper describing produced water from production of crude oil. *Natural Gas and Coal Bed Methane Produced Water*, P0401pdf.
- Keller, Jr. HF., 1975. *Oil-Water Separation Process*. U.S. Patent 3867285, February.
- Kenawy, FA., Kandil, ME., Aboarab, TW., 1997. Produced water treatment technology- a study of oil/water separation in gravity-type cross flow pack separators for qualitative separation. *SPE Prod. & Facilities*, **12**: 112.
- Khatib, Z., Verbeek, P., 2003. Water to value produced water management for sustainable field development of mature and green fields. *Journal of Petroleum Technology*, Jan: 26–28.
- Kirby, S., Mohr, P.E., 1993. Proposed best management practice to prevent storm water pollution utilizing coalescing plate separators. *Mohr Separations Research*, 1-15.

- Klasson, K.T., Taylor, P.A., Walker, J.F., Jones, S.A., Cummins, R.L., Richardson, S.A., 2005. Modification of a centrifugal separator for in-well oil-water separation. *Separation. Science and Technology*, **40**(1–3): 453–462.
- Kok, D.F., Marson, H.W., 1978. Tanker ballast water meets through treating specs. *Oil and Gas Journal*, **76**(49): 7-92.
- Liming, Z., Limin, H.E., Tao, W., Yuling, L., Zhaoyang, H., 2008. Researches on the numerical simulation and optimum of the coalescing components of gravity separators. *Chemical Engineering & Machinery*, **01**: 158-169.
- Liu H., Xu J., Zhang J., Sun H., Zhang J., Wu Y., 2012. Oil/water separation in a liquid-liquid cylindrical cyclone. *Journal of Hydrodynamics*, **24** (1): 116-123.
- Liu Y.H., 2009. The study of high efficiency inclined separator for free-water. *M.Sc. Thesis*, Tianjin University.
- Mohr, K.S., 1993. *A New Type of High Efficiency Oil-Water Separator for Better Water Quality Management*. Submitted to the Faculty of the Graduate College of the Oklahoma state University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of master of science, December.
- Morrison, J., 1970. Tilted Plate Separators for Refinery Wastewater. *Oil and Gas Journal*, **68**(50): 80-86.
- Myers, R.H., Montgomery, D.C., 2002. *Response Surface Methodology*. New York: John Wiley.
- Ngu, L.H., Law, P.L., Wong, K.K., 2014. Effects of co-current and cross flows on circular enhanced gravity plate separator efficiencies. *Environmental Engineering Research*, **19**(2): 151-155.
- Nordvik, A.B., Simmons, J.L., Bitting, K.R., Levis, A., Kristiansen, T.S., 1996. Oil and water separation in marine oil spill clean-up operations. *Spill science & Technology*, **3**(3): 107-122.
- Nowakowski, A.F., Cullivan, J.C., Williams, R.A., Dyakowski, T., 2004. Application of CFD to modeling of the flow in hydrocyclones. *Journal of Minerals Engineering*, **17**: 661-669.
- Ohya, H., Kim, J.J., Chinen, A., Aihara, M., Semenova, S.I., Negishi, Y., Mori, O., Yasuda, M., 1998. Effects of pore size on separation mechanisms of microfiltration of oily water using porous glass tubular membrane. *Journal of Membrane Science*, **145**(1): 1 -14.
- Ostrovskii, G.M. 2003. Theory of gravity separation of particles from liquid in co current and countercurrent thin layer settlers. *Teor. Osn. Khim. Technology* **37**(5): 503-537.
- Perry, J.H., Perry, R.H., Chilton, C.H., Kirkpatrick, S.D., 1963. *Chemical Engineers Handbook*. Fifth edition. McGraw-Hill Book Company, New York, NY.
- Rao, T.C., Patil, D.P., 1998. Developments in Gravity Separation. *Journal of Mines Metals & Fuels*, **46**: 383.
- Razi, F.A., Alireza, P., Zainal, A.Z., Chuah, A.L., Awang, B.D.A., Siavash, M.S., 2010. Application of membrane-coupled sequencing batch reactor for oilfield produced water recycle and beneficial re-use. *Bio Resource Technology*, **101**(18): 6942-6949.
- Rehm, S.J., Shaughnessy, R.J. 1983. Enhanced oil-water separation – the performance coalescer. *SPE 11562 presented at the SPE Production Operation Symposium*, Oklahoma, and February 27- March.

- Reusser, DE., Field, JA., 2002. Determination of benzyl succinic acid in gasoline-contaminated ground water by solid-phase extraction coupled with gas chromatography. *Mass Spectrometry*, **953**: 215-225.
- Romano, F., 1990. Oil and water don't mix: the application of oil-water separation technologies in storm water quality management. *Office of Water Quality*, Municipality of Metropolitan Seattle.
- Ruiz, MC., Padilla, R., 1996. Separation of liquid-liquid dispersion in a deep-layer American chemical society gravity settler. *Part II Mathematical Modeling of the Settler, Hydrometallurgy*, **42**: 281.
- Smith, R., 1993. Storm water and combined sewer overflow. Management and Control Kansas City. [www.freyllit.com](http://www.freyllit.com).
- Sztukowski, DM., Jafari, M., Alboudwarej, H., Yarranton, HW., 2003. Asphaltene self-association and water-in-hydrocarbon emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*, **265**(1): 179-186.
- Tadros, TF. 2009. Emulsion science and technology. *Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGAA*.
- Ulas, B., Caglar, A., Sahin, O., Kivrak, H., 2018. Composition Dependent Activity of PDAGNI Alloy Catalysts for Formic Acid Electrooxidation. *Journal of Colloid and Interface Science*, **532**: 47-57.
- Wang, X., Yan, Y., Xu, Z., 2016. Application experiment and numerical simulation analysis of oil-water separator with two-oriented corrugated coalescence plate. *Journal of Dispersion Science and Technology*, **38**(10): 1509-1511.
- Wang, Y., James, P.W., 1998. Calculation of wave-plate demister efficiencies using numerical simulation of the flow field and droplet motion. *Chemical Engineering Research and Design*, **76**(48): 980-985.
- Yayla, S., Kamal, K., Bayraktar, S., Oruç, M., 2019. Two phase flow separation in a horizontal separator by inlet diverter plate in oilfield industries. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, **5**: 97-100.
- Yayla, S., Olcay, A.B., Ibrahim, S.S., 2017. Numerical investigation of coalescing plate system to understand the separation of water and oil in water treatment plant of petroleum industry. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, **11**(1): 184-192.
- Yılmaz, Ş., Ecer, Ü., Şahan, T., 2018. Modelling and optimization of As(III) adsorption onto thiol-functionalized bentonite from aqueous solutions using response surface methodology approach. *Chemistry Select*, **3**(32): 9326-9335.
- Yılmaz, Ş., Şahan, T., Karabakan, A., 2017. Response surface approach for optimization of Hg(II) adsorption from aqueous solution by 3-mercaptopropyl trimethoxysilane-modified kaolin mineral. *Korean Journal of Chemical Engineering*, **34**: 2225-2235.
- Zhao, Y., Hua, W., Wang, Y.J., Ma, S.C., Yan, J., 2005. Numerical simulation of separation efficiency of demisters with serrated baffles in wet flue gas desulfurization towers. *Chinese Journal of Power Engineering*, **25**: 293-297.
- Zhaohui, X., Ashok, M., Wilfred, C., 2003. Detection of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (btex) using toluene dioxygenase-peroxidase coupling reactions. *Biotechnology Progress*, **19**(6): 1812-1815.
- Zhong, W.Q., Xiong, Y.Q., Yuan, Z.L., Zhang, M.Y., 2006. DEM simulation of gas-solid flow in a spout-fluid bed. *Chemical Engineering*, **61**: 1571-1584.

## ÖZ GEÇMİŞ

1990 yılında Kahta'da doğdu. İlk ve orta öğrenimi Celal Bayar İlköğretim Okulu'nda ve lise öğrenimini Kahta Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2015 yılında İskenderun Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2016 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2016 yılından itibaren Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.



**T.C**  
**VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU**

**Tarih:** 24/12/2020

Tez Başlığı / Konusu:

**BİRLEŞTİRİLMİŞ PLAKALARLA TASARLANAN ARITMA SİSTEMİNİN DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZİ**

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 75 sayfalık kısmına ilişkin, 24/12/2020 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %1 (bir)'dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

24.12.2020

Adı Soyadı: Mehmet ORUÇ

Öğrenci No: 169101032

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı: Enerji

Statüsü: Y. Lisans

Doktora

**DANIŞMAN ONAYI**  
**UYGUNDUR**

**ENSTİTÜ ONAYI**  
**UYGUNDUR**

Prof. Dr. Sedat YAYLA