

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**DİRSEK VE DİĞER DİFÜZÖR TASARIM PARAMETRELERİ
GELİŞTİRİLEREK ÜRETİLEN BRONZ EJEKTÖR POMPALARININ
PERFORMANSININ İNCELENMESİ NUMERİK VE DENEYSEL
YAKLAŞIM**

DOKTORA TEZİ

Tuncer AYNA

**Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı
Savunma Teknolojileri Doktora Programı**

TEMMUZ 2022

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**DİRSEK VE DİĞER DİFÜZÖR TASARIM PARAMETRELERİ
GELİŞTİRİLEREK ÜRETİLEN BRONZ EJEKTÖR POMPALARININ
PERFORMANSININ İNCELENMESİ NUMERİK VE DENEYSEL
YAKLAŞIM**

DOKTORA TEZİ

**Tuncer AYNA
(181238001)**

**Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı
Savunma Teknolojileri Doktora Programı**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Savaş DİLİBAL

TEMMUZ 2022



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Doktora Tez Onay Belgesi

Enstitümüz Savunma Teknolojileri Doktora Programı 181238001 numaralı öğrencisi Tuncer AYNA'nın "Dirsek ve Diğer Difüzör Tasarım Parametreleri Geliştirilerek Üretilen Bronz Ejektör Pompalarının Performansının İncelenmesi Numerik ve Deneysel Yaklaşım" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 24/06/2022 tarihli kararıyla oluşturulan jüri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

Tez Savunma Tarihi: 01.07.2022

1) Tez Danışmanı: Doç.Dr. Savaş DİLİBAL

2) Jüri Üyesi: Prof.Dr. Mehmet ALİ BAYKAL

3) Jüri Üyesi: Prof. Dr. Aykut KENTLİ

4) Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi. Yaşar MUTLU

5) Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi. Bülent İMAMOĞLU

YEMİN METNİ

Doktora tezi olarak sunduğum “Dirsek ve Diğer Difüzör Parametreleri Geliştirilerek Üretilen Bronz Ejektör Pompalarının Performansının İncelenmesi, Sayısal ve Deneysel Yaklaşım” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim (.../.../20..).

Tuncer AYNA



ÖNSÖZ

Ejektörler mekanik yapıları itibari ile, pompalar gibi döner parçalar içermeyen ve çoğu durumda pompaların kullanımlarının pratik olmadığı çalışma koşullarında kullanılmaktadır. Çoğunlukla gemilerde yangın ve soğutma sistemlerinde, nükleer reaktör soğutma sistemlerinde, yapı olarak sınırlı alana sahip pompa kullanımı sınırlı sayıda olmak zorunda olan tesislerde yangın ve soğutma tesislerinde tercih edilmektedirler. En büyük avantajı yer avantajı sağlaması ile pompa yatırım maliyetlerini düşürmektir.

Doktora programıma başlamama teşvik eden Doç.Dr. Mustafa KOÇAK'a, görüş, öneri ve yönlendirmeleriyle tez danışmanın Doç.Dr. Savaş DİLİBAL'a, izleme sürecinde yönlendirmeleri ve projeye sağladıkları katkıları nedeniyle Prof.Dr. Aykut Kentli ve Prof.Dr. Mehmet Ali Baykal hocalarıma, manevi desteklerinden dolayı eşim ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Temmuz 2022

Tuncer AYNA
(Makine Yüksek Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışma Konusu.....	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Literatür Araştırması	4
1.3.1 Ejektör teorisi, tasarımı ve sayısal çalışmalar.....	4
1.3.2 Deneysel tasarımı ve optimizasyonu.....	23
1.4 Çalışmanın Amacı ve Kullanılan Metodoloji.....	24
2. SU JETİ EJEKTÖRÜ TEORİSİ	25
2.1 Giriş	25
2.2 Su Jeti Ejektörü Yönetici Denklemleri.....	25
2.3 Su Jeti Ejektörü Tasarım İlkeleri.....	28
2.3.1 Ejektör emme dirseğinin boyutlandırılması.....	29
2.3.2 Ejektör nozulunun boyutlandırılması	30
2.3.3 Karışım odasının boyutlandırılması.....	31
2.3.4 Difüzörün boyutlandırılması.....	32
2.4 Boyutsuz Su Jeti Ejektörü Tasarımı	32
3. DENEY TASARIMI VE OPTİMİZASYONU	34
3.1 Amaç	34
3.2 Deneysel Tasarım Prensipleri	35
3.3 Deneysel Tasarımı Yöntemi Modeli ve Süreci.....	35
3.4 Deneysel Tasarımı Yöntemleri	37
3.4.1 Tek faktör tasarımları.....	37
3.4.2 Faktöriyel tasarımları.....	37
3.4.2.1 Genel tam faktöriyel tasarımlar.....	38
3.4.2.2 İki seviyeli tam faktöriyel tasarımlar	38
3.4.2.3 İki seviyeli kesirli faktöriyel tasarımlar	38
3.4.2.4 Plackett-Burman tasarımları.....	38
3.4.2.5 Taguchi'nin ortogonal dizileri	38
3.4.3 Tepki yüzeyleri metodu tasarımı	39
3.4.4 Box-Wilson merkez esaslı kompozit tasarım (CCD)	40
3.4.5 Box-Behnken tasarımı	41
3.5 Deneysel Tasarımı ve Su Jeti Ejektörü Optimizasyonu.....	43
3.5.1 Deneysel tasarımı adımları.....	44
3.6 Deneysel Tasarımı ile Oluşturulan Tasarım Konfigürasyonları	46

3.6.1 Geometrinin boytsuzlaştırılması	46
3.7 Su Jeti Ejektörü Karıştırma Odası (dm/ds) ve Karıştırma Odası Uzunluğunun (Lm/dm) Su Jeti Emme Kapasitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi	47
3.7.1 ‘dm/ds’ karışım odası çapının etkilerinin incelenmesi	47
3.7.2 ‘Lm/dm’ karışım odası uzunluğunun etkilerinin incelenmesi	47
3.7.3 Yüzey tepkileri (RSM) yöntemi ile sonuçların ve eğilimlerin ejektör emme kapasitesine olan etkilerinin analiz edilmesi	48
3.7.4 Yüzey tepkileri (RSM) yöntemi ile sonuçların ve eğilimlerin ejektör verimi üzerine olan etkilerinin analiz edilmesi	49
3.7.5 Karışım odası çapının (dm/ds) değişiminin emme kapasitesine ve ejektör verimine etkisinin sayısal incelenmesi	50
3.8 Su Jeti Ejektörü Emme Çapının (de), Difüzör Çıkış Çapı (dd) ve Difüzör Uzunluğunun (Ld) Su Jeti Emme Kapasitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi	52
3.8.1 ‘de/ds’, ‘dd/ds’ ve ‘Ld/dm’ parametrelerinin ejektör emme kapasitesine etkilerinin incelenmesi	52
3.8.2 ‘de/ds’, ‘dd/ds’ ve ‘Ld/dm’ parametrelerinin ejektör verimi üzerine olan etkilerinin incelenmesi	55
3.8.3 Emme çapının (de/ds) değişiminin ejektör emme kapasitesine etkisinin sayısal olarak incelenmesi	57
3.8.4 Difüzör geometrik boyutlarının ejektör verimine etkisinin sayısal incelenmesi	59
4. NÜMERİK ÇALIŞMA VE OPTİMİZASYON.....	62
4.1 Üç Boyutlu Tasarım Konfigürasyonlarının Oluşturulması	62
4.2 Tasarım Konfigürasyonlarının Boyutlandırılması.....	63
4.3 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizleri	65
4.4 HAD Sonuçları	66
4.5 FEM Analizi ve Cidar Et Kalınlığı Optimizasyonu	71
4.5.1 Sonlu elemanlar yöntemi	71
4.5.1.1 Von Mises Gerilmesi.....	72
4.5.1.2 Temel gerilmeler, P ₁ , P ₂ , P ₃	73
4.5.2 Sınır koşulları.....	73
4.5.3 Analiz sonuçları	74
5. ÜRETİM VE DENEYSSEL DOĞRULAMA	77
5.1 Kalıp Üretimi.....	77
5.2 Döküm Süreci.....	80
5.3 Parça İmalatı ve Montaj	82
5.4 Parça İmalatı ve Montaj	84
5.4.1 Ejektör sızdırmazlık testleri	84
5.4.2 Ejektör deney düzeneğinin kurulması ve kapasite testleri.....	85
5.4.2.1 Deney düzeneğinin kurulması	85
5.4.2.2 Deney düzeneğinde kullanılan ölçüm cihazları	88
5.4.2.2.1 Basınç ölçümü	88
5.4.2.2.2 Debi ölçümü	88
5.4.2.3 Kapasite testlerinin yapılması.....	89
5.4.2.4 Test edilen su jeti ejektörleri.....	92
5.4.2.5 Deneysel sonuçlar	92
5.4.2.6 Deneysel sonuçların sayısal sonuçlarla karşılaştırılması	93
5.4.2.6.1 Tasarım-0 Deneysel sonuçların sayısal sonuçlarla karşılaştırılması	93

5.4.2.6.2 Tasarım-1 Deneysel sonuçların sayısal sonuçlarla karşılaştırılması	93
5.4.2.6.2 Tasarım-2 Deneysel sonuçların sayısal sonuçlarla karşılaştırılması	93
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
6.1 Deneysel Tasarımı Yönteminde Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	95
6.1.1 'de/ds' oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisinin değerlendirilmesi	96
6.1.2 'dm/ds' Oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisinin değerlendirilmesi	97
6.1.3 'dd/ds' Oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisinin değerlendirilmesi	98
6.1.4 'Lm/dm' Oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisinin değerlendirilmesi	98
6.1.5 'Ld/dm' Oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisinin değerlendirilmesi	99
6.2 Deneysel Sonuçlarla Sayısal Sonuçların Değerlendirilmesi	100
6.3 Genel Değerlendirme ve Sonuçlar	101
6.4 Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar	102
KAYNAKLAR	104
EKLER	110
ÖZGEÇMİŞ	114

KISALTMALAR

DoE	: Design of Experiment
FEM	: Finite Element Method
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
RSM	: Response Surface Method
A	: Alan
D	: Çap
E	: Enerji
g	: Yer çekim ivmesi
H	: Basınç Yüksekliği
K	: Katsayı
L	: Uzunluk
N	: Basınç Oranı
Q	: Debi
P	: Basınç
R	: Alan Oranı
Z	: Yükseklik
φ	: Karışım Kayıpları
Ω	: Boyutsuz Kapasite
ρ	: Özgül Ağırlık
η	: Verim

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: Pompa ve Ejektör Yatırım Maliyeti	2
Çizelge 1.2: Nozul Pozisyonu ve Ejektör Verimi	11
Çizelge 2.1: Ejektör Hücrelerinde Tavsiye Edilen Hız Değerleri	30
Çizelge 2.2: Nozul Kapasiteleri	31
Çizelge 2.3: Tasarım Girdileri	32
Çizelge 2.4: Tasarım Girdileri	33
Çizelge 3.1: Faktör Sayısına Bağlı Olarak a Değerleri	41
Çizelge 3.2: dm/ds ve Lm/dm Oranları İçin Tasarım Girdileri ve Sonuçlar	48
Çizelge 3.3: 'de/ds', 'dd/ds' ve Lm/dm Oranları İçin Tasarım Girdileri ve Sonuçlar	53
Çizelge 4.1: Tasarım Konfigürasyonları Boyutsuz Oranları	64
Çizelge 4.2: HAD Analizi Ayarları	65
Çizelge 4.3: Sınır Koşulları	66
Çizelge 4.4: HAD Sonuçları	69
Çizelge 4.5: GCuSn10 Mekanik Özellikler	74
Çizelge 5.1: Test Edilen Ejektörlerin Deneysel Sonuçları	93
Çizelge 5.2: Tasarım-1 Deneysel Sonuçları	93
Çizelge 5.3: Tasarım-2 Deneysel Sonuçları	93
Çizelge 5.4: Tasarım-3 Deneysel Sonuçları	94
Çizelge 6.1: Tasarımlar ve Boyutsuz Sayılar	96
Çizelge 6.2: Tasarımlar ve Boyutsuz Sayılar	101
Çizelge A.1: Ölçme Cihazlarındaki Belirsizlik	110
Çizelge A.2: Ölçme Cihazlarındaki Belirsizlik	111

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Su Jeti Ejektörü	1
Şekil 1.2: Geleneksel Tasarım Algoritması	3
Şekil 1.3: HAD Entegre Edilmiş Tasarım Algoritması	3
Şekil 1.4: DoE Entegre Edilmiş Tasarım Algoritması	4
Şekil 1.5: Su Jeti Ejektörü Bileşenlerindeki Hızı Profili	5
Şekil 1.6: Eksenel Jet Ejektörü Geometrisi	7
Şekil 1.7: Jet Ejektörde Akış Çizgileri, $M1= 1.9$	8
Şekil 1.8: Sayısal ve Deneysel Performans Karşılaştırması	8
Şekil 1.9: Ejektör Test Düzenegi	9
Şekil 1.10: Gaz Ejektör Pompası Test Düzenegi	10
Şekil 1.11: Emme Borusundaki Nozul Pozisyonu	11
Şekil 1.12: Su Jeti Ejektörü Karışım Nozul Açısı	12
Şekil 1.13: Oksijen Çözünürlüğü ve Debi Değişimi	13
Şekil 1.14: Türbülans modelleri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması	13
Şekil 1.15: Basınç katsayısı için türbülans modellerinin sonuçlarının deneysel sonuçlarla kıyaslanması	14
Şekil 1.16: Karıştırıcı Ejektör Sistemi	14
Şekil 1.17: Gaz Ejektörü Ana Bölümleri	15
Şekil 1.18: Gaz Ejektör Pompası Simülasyon Algoritması	16
Şekil 1.19: Değişken Nozullu Jet Ejektör	18
Şekil 1.20: Su Jeti Ejektörü Deney Düzenegi	20
Şekil 1.21: Deneysel ve Sayısal Karşılaştırma	21
Şekil 1.22: Sayısal Çalışmada Kullanılan Türbülans Modellerinin Karşılaştırılması	21
Şekil 1.23: Nozul Tipleri	22
Şekil 2.1: Ejektör Tasarım Ana Boyutları	29
Şekil 2.2: Ejektör Emme Dirseği Tasarım Ana Boyutları	30
Şekil 2.3: 1-Boyutlu Su Jeti Ejektörü	33
Şekil 3.1: Deney Tasarım Yöntemi Modeli	36
Şekil 3.2: Deney Tasarım Yöntemi Süreci	36
Şekil 3.3: Deney Tasarım Modeli Metodolojisi	37
Şekil 3.4: Yüzey Merkezli Tasarımların Geometrik Yapılar	41
Şekil 3.5: Box-Behnken Tasarımı	42
Şekil 3.6: Üç Bağımsız Değişken ve Beş Seviyeli Merkez Esaslı Kompozit Tasarımlar ve Dizayna Bağlı Olarak Toplam Deneme sayıları	43
Şekil 3.7: Solidworks Deney Tasarımı (DoE) Yöntemi Uygulama Adımları	44
Şekil 3.8: Solidworks Deney Tasarımı Yöntemi Ara Yüzü	45
Şekil 3.9: Deney Tasarımında Oluşturulan Tasarım Konfigürasyonları	46
Şekil 3.10: dm/ds ve Lm/dm Parametrelerinin Ejektör Emme Kapasitesine Etkilerinin 3-b Grafikle İncelenmesi	49
Şekil 3.11: dm/ds ve Lm/dm Parametrelerinin Ejektör Verim Üzerine Etkilerinin 3-b Grafikle İncelenmesi	49

Şekil 3.12: Karışım Odası Çapının (dm/ds) Değişiminin Ejektör Emme Kapasitesine ve Verimine Etkisinin Sayısal İncelenmesi	50
Şekil 3.13: Ejektör X-Eksenli Boyunca Statik Basınç Değişimi	51
Şekil 3.14: Ejektör Simetri Düzleminde Toplam Basınç Konturları ve Mutlak Hız Vektörleri	51
Şekil 3.15: $dd/ds=7.14$ Değerinde ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' Değişimlerinin Ejektör Emme Kapasitesine Etkisinin 3-Boyutlu 'RSM' İle Gösterilmesi	53
Şekil 3.16: $dd/ds=6.42$ Değerinde ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' Değişimlerinin Ejektör Emme Kapasitesine Etkisinin 3-Boyutlu 'RSM' İle Gösterilmesi	54
Şekil 3.17: ' $dd/ds=5.71$ ' Değerinde ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' Değişimlerinin Ejektör Emme Kapasitesine Etkisinin 3-Boyutlu 'RSM' İle Gösterilmesi	54
Şekil 3.18: $dd/ds=7.14$ Değerinde ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' Değişimlerinin Ejektör Verimine Etkisinin 3-Boyutlu 'RSM' İle Gösterilmesi	55
Şekil 3.19: $dd/ds=6.42$ Değerinde ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' Değişimlerinin Ejektör Verimine Etkisinin 3-Boyutlu 'RSM' İle Gösterilmesi	56
Şekil 3.20: $dd/ds=5.71$ Değerinde ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' Değişimlerinin Ejektör Verimine Etkisinin 3-Boyutlu 'RSM' İle Gösterilmesi	56
Şekil 3.21: Emme Çapının (de/dm) Değişiminin Ejektör Emme Kapasitesine ve Verimine Etkisinin Sayısal İncelenmesi	57
Şekil 3.22: Emiş Çapı (de/ds) Farklı Oranlarında Ejektör Simetri Ekseninde Oluşan Bağıl Basınç Değişimi Grafiği.....	58
Şekil 3.23: ' de/dm ' Oranlarında Ejektör Simetri Eksenli Boyunca Toplam Basınç Konturları ve Mutlak Hız Vektörleri	59
Şekil 3.24: (Ld/dm) Değişiminin Ejektör Emme Kapasitesine ve Verimine Etkisinin Sayısal İncelenmesi.....	60
Şekil 3.25: Emiş Çapı (de/dm) Farklı Oranlarında Ejektör Simetri Ekseninde Oluşan Bağıl Basınç Değişimi Grafiği.....	60
Şekil 3.26: ' Ld/dm ' Oranlarında Ejektör Simetri Eksenli Boyunca Toplam Basınç Konturları ve Mutlak Hız Vektörleri	61
Şekil 4.1: Su Jeti Ejektörü Tasarım Konfigürasyonları	62
Şekil 4.2: Su Jeti Ejektörü Tasarım Konfigürasyonları	63
Şekil 4.3: Su Jeti Ejektörü Boyutsal Konfigürasyonları	64
Şekil 4.4: Su Jeti Ejektörü Boyutsal Konfigürasyonları	66
Şekil 4.5: Su Jeti Ejektörü Simetri Yüzeyi Statik Basınç Konturları	67
Şekil 4.6: Su Jeti Ejektörü Simetri Yüzeyi Toplam Basınç Konturları	68
Şekil 4.7: Su Jeti Ejektörü Simetri Yüzeyi Eksenel Hız Vektörleri	68
Şekil 4.8: Su Jeti Ejektörü Toplam Basınç Konturları Değişimi	70
Şekil 4.9: Birim Küp Üzerindeki Gerilme Bileşenleri	72
Şekil 4.10: Birim Küp Üzerindeki Gerilme Bileşenleri	73
Şekil 4.11: FEM Analizi Sınır Koşulları	74
Şekil 4.12: Ejektörlerde Oluşan Von Mises Gerilmeleri	75
Şekil 4.13: Ejektörlerde Oluşan Birim Deformasyon Değerleri	76
Şekil 5.1: Ejektör Tasarım, Üretim ve Doğrulama Algoritması	78
Şekil 5.2: Ejektör Tasarım-2 Ahşap Model	79
Şekil 5.3: Döküme Hazır Derece	79
Şekil 5.4: Döküm Süreci.	81
Şekil 5.5: Döküm Ham Parçalar	81
Şekil 5.6: Emme Dirseği Talaşlı İmalatı	82
Şekil 5.7: Emme Dirseği Talaşlı İmalat Teknik Resmi	83
Şekil 5.8: Ejektör Sızdırmazlık Testi	84

Şekil 5.9: Deney Düzeneği İş Akış Programı	86
Şekil 5.10: Deney Düzeneği Şematik Planı	87
Şekil 5.11: Ejektör Kapasite Ölçümü Deney Düzeneği.....	88
Şekil 5.12: DN150 mm Manyetik Debimetre	89
Şekil 5.13: Ejektör Kapasite Ölçümü Deney Düzeneği.....	91
Şekil 5.14: Deneyleri Tamamlanan Su Jeti Ejektörleri	92
Şekil 6.1: ‘de/ds’ Debi Oranı (X) Grafiği	96
Şekil 6.2: ‘dm/ds’ Debi Oranı (X) Grafiği	97
Şekil 6.3: ‘dd/ds’ Debi Oranı (X) Grafiği	98
Şekil 6.4: ‘Lm/dm’ Debi Oranı (X) Grafiği	99
Şekil 6.5: ‘Ld/dm’ Debi Oranı (X) Grafiği	100



**DİRSEK VE DİĞER DİFÜZÖR TASARIM PARAMETRELERİ
GELİŞTİRİLEREK ÜRETİLEN BRONZ EJEKTÖR POMPALARININ
PERFORMANSININ İNCELENMESİ NUMERİK VE DENEYSEL
YAKLAŞIM**

ÖZET

Su jeti ejektörleri, santrifüj pompalar gibi akışkana enerji veren döner çark olmaksızın, birçok endüstriyel uygulamada, akışkanları transfer etmek için kullanılan cihazlardır. Basit ve bakım gerektirmeyen yapıları, montaj de-montaj kolaylığı, yer tasarrufu ve kullanıldığı sistemlerde enerji tüketimini minimize etmeleri nedenleriyle sivil ve askeri gemilerde, enerji santrallerinde vb. farklı endüstrilerde yangın, soğutma ve akışkan tahliye sistemlerinde tercih edilmektedirler.

Geçmişten günümüze su jeti ejektörleri için tasarım ve ürün geliştirme döngüleri incelendiği zaman, günümüz gelişen yazılım ve mühendislik yazılımlarıyla tasarım süreçlerinin geliştirilmesi, ürünlerin daha hızlı tasarlanıp piyasaya sürülmesine ve firmaların piyasa ve müşteri taleplerine hızlı cevap verebilmelerine olanak sağlamaktadır.

Tasarım ve ürün geliştirme, birkaç temel sürecin meydana getirdiği iteratif bir döngüden oluşmakta olup, tasarım girdilerini sağlayacak optimum özelliklerde bir ürünü tasarlayabilmek için iteratif olarak birçok tasarım ve iyileştirme çalışmasının yapılması gerekmektedir. Geçmişte kullanılan tasarım döngülerinde, talep edilen tasarım girdilerini sağlayabilecek yeni bir ürünün piyasaya sunulabilmesi için, her bir tasarım konfigürasyonunun prototip imatları ve onların doğrulama deneylerinin yapılma zorunluluğunun olması nedeniyle, tasarım girdilerini sağlayan yeni bir ürünün ortaya çıkarılması prototip maliyetleri açısından oldukça pahalı ve uzun süreçler gerektiren bir yapıya sahipti.

Geçmişten günümüze gelişen ileri mühendislik araçlarının tasarım süreçlerine dahil edilmesiyle, ürünlerin tasarımdan piyasaya sunulmasına kadar geçen süreçlerinin, tasarım maliyetleri ve firmaların tasarım esneklikleri önemli şekilde gelişmeler göstermektedir. Günümüzün güncel mühendislik yazılımları olan ('HAD' ve 'FEM') geleneksel tasarım algoritması içine entegre edildiğinde, 'n' adet tasarım bilgisayar ortamında tasarlanıp, tasarım girdilerini karşılayıp karşılamadığı bilgisayar

ortamında elde edilebilmesinden dolayı özellikle tasarım ve ürün geliştirme maliyetleri, ciddi şekilde azalmıştır. Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen sonsuz sayıda tasarım konfigürasyonlarından optimum tasarımı bulmak için yapılan iteratif çalışma geniş zaman almakta olup konfigürasyonlar arasındaki farklılıkların etkilerini ortaya konulabilmesi için sistematik bir yapıya ihtiyaç duyulmaktadır

Bu kapsamda deney tasarım yöntemi, sayısal analiz entegre edilmiş olan tasarım algoritmasına entegre edildiğinde, deney tasarımında elde edilen boyutsuz oranlar sayesinde, bilgisayar ortamında yapılan tasarım ve analiz sayısı önemli ölçüde azalmaktadır. DoE entegre edilmiş olan tasarım süreci ile bilgisayar ortamında gerçekleştirilen tasarım süreci kısalmıştır.

Geliştirilmiş olan tasarım metodolojisi ile çalışma kapsamında askeri gemide kullanılan bronz su jeti ejektörünün emme kapasitesi artırılması üzerine çalışılmıştır. Bu kapsamda, bir su jeti ejektörünün geometrik boyutlarının ejektör emme kapasitesi ve verimi üzerine olan etkileri, öncelikle deney tasarımı yöntemi kullanılarak, tasarım konfigürasyonlarının ejektörünü maksimum emme kapasitesi ve maksimum verime ulaştırabilecek olan boyutsuz sayılar, deney tasarımı yöntemiyle (DoE) ile sistematik olarak belirlenmiştir. Deney tasarımı yöntemi ile parametrik olarak belirlenen her geometrik konfigürasyonun yukarıda belirtilen performansları, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile sayısal olarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar, tepki yüzeyleri yöntemi kullanılarak, boyutsuz tasarım konfigürasyonlarının üç boyutlu olarak ejektör emme kapasitesi ve verimi üzerine olan etkilerinin eğilimleri ve optimum değerleri bulunmuştur.

Belirlenen oranlar, askeri gemide kullanılan, emme kapasitesi 52,05 m³/h olan su jeti ejektörünün emme kapasitesini iyileştirmek için kullanılmış olup, bu kapsamda iki farklı tasarım konfigürasyonu üç boyutlu oluşturularak, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle emme kapasiteleri ve verimleri hesaplanmıştır. Optimum değerlere sahip olan iki farklı tasarım konfigürasyonu için, cidar et kalınlığı analizleri yapılarak, üretime esas olan ahşap model üretimi için üç boyutlu model verileri hazırlanmıştır.

İki farklı su jeti ejektörünün tasarım konfigürasyonlarının ana parçaları olan, dirsek, karışım odası ve difüzör parçaları, üretilen ahşap model ve maçaları kullanılarak kum döküm yöntemi ile parçalar firma bünyesinde bulunan dökümhanede bronz malzemeden dökülerek üretilmiştir.

Dökümleri tamamlanan ham parçalar imalat resimlerine göre işlenerek, boyutsal

kontrolleri ve montajları yapılarak, ejektörlerin emme kapasitesi ölçümü ve mukavemet dayanımlarının deneysel doğrulamaları Türk Loydu eşliğinde tamamlanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar sayısal sonuçlar ile karşılaştırıldığında, sonuçların uyumlu ve tatmin edici olduğu görülmüştür.

Çalışma kapsamında deney tasarımı (DoE) yöntemi, sayısal tasarım algoritmasına entegre edilerek askeri gemilerde kullanılan bronz malzemeden üretilmiş su jeti ejektörünün emme kapasitesini geliştirmek için kullanılmıştır. Bir tasarım algoritması ile, su jeti ejektörleri için tasarım ve optimizasyon süreci geliştirilmiştir.

Deney tasarım yöntemi entegre edilmiş tasarım algoritması ile ürün geliştirme süreci %60 mertebelerinde kısalmış olup, prototip maliyetlerini de %30 mertebesinde düşürmüştür.



INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF BRONZE EJECTOR PUMPS MANUFACTURED BY DEVELOPING THE ELBOW AND OTHER DIFFUSER DESIGN PARAMETERS NUMERICAL AND EXPERIMENTAL APPROACH

ABSTRACT

Water jet ejectors are devices which are used to transfer fluids in many industrial applications. Although they don't have any rotating parts, they give the energy to the fluids like centrifugal pumps. Water jet ejectors are used in civil and military ships, power plants, etc., due to their simple, maintenance-free structures, ease of assembly and disassembly, space saving and minimizing energy consumption in the systems in which they are used. They are preferred in fire, cooling and fluid transfer systems in different industries. When the design and product development cycles for a water jet ejector from the past to today are examined, the development of design processes thanks to the developed software and engineering software allows products to be designed and released faster and companies to respond quickly to market and customer demands.

Design and product development consists of an iterative cycle consisting of several basic processes. Many iterative design and improvement studies are needed to design a product with optimum features providing design inputs. To be able to release a new product providing the design specifications to the market in the design cycles used in the past were very cost and needed more time due to the fact that many prototype productions and their validation tests had to be completed.

Thanks to integration of the advanced engineering tools to the design cycle, cost and time from scratch to the market of a new product has decreased. Additionally, the design capability of the company have increased. When the t engineering software such as CFD and FEM have been integrated to design algorithm, the design configurations of a product to obtain the optimal product providing design inputs have been completed in the computer. Thus, number of 'n' prototype production have dramatically decreased and the design cycle has shortened. Iterative work to obtain the optimum design from an infinite number of design configurations carried out in the computer environment takes a lot of time. A systematic structure is needed to reveal the effects of the differences among the configurations.

When design of experiment method 'DoE' is integrated into the design cycle including numerical analysis which are CFD and FEM, number of design configurations in the computer have dramatically decreased because of the dimensionless ratios obtained from the DoE. Therefore, design cycle in the computer has shortened.

The developed design has been validated to improve the suction capacity of the bronze water jet ejector used in the naval ship. In this context, the effects of the geometric dimensions of a water jet ejector on the ejector suction capacity and efficiency were determined systematically via DoE method. The dimensionless design configurations, which bring the ejector to the maximum suction capacity and

maximum efficiency have been determined by the experimental design method (DoE).

The above-mentioned performances of each geometric configuration of the ejector, which was determined parametrically via the DoE method, have been calculated numerically by the CFD. The obtained results have been determined via response surface method (RSM). The effects of the dimensionless design configurations on the ejector suction capacity and efficiency determined in three-dimensional design. The optimum values in the design have been found.

In order to improve the suction capacity of the ejector used in the naval ship with 52.05 m³/h suction capacity, the defined ratios from the DoE methodology have been used in the ejector design. Two different design configurations of the water jet ejectors have been designed as 3-dimensional model. In this concept, suction capacities, efficiency and strength analysis of the ejectors have been computed via CFD and FEM method. 3-dimensional wooden patterns data have been completed.

The main components of two different water jet ejector which are the manufactured wooden patterns of the diffuser, mixing chamber and suction chamber have been completed. The ejector parts have been manufactured as bronze material by sand casting method in the company's foundry.

Casting raw parts such as, diffuser, mixing and suction chamber and the other parts has been machined according to the technical drawings. After machining, dimensional checking and their assembly, validation process of the ejectors which are suction capacity and strength measurement have been completed by the 3.Party named Türk Loyd and the experimental results have been compared to numerical results. The comparison results are satisfied.

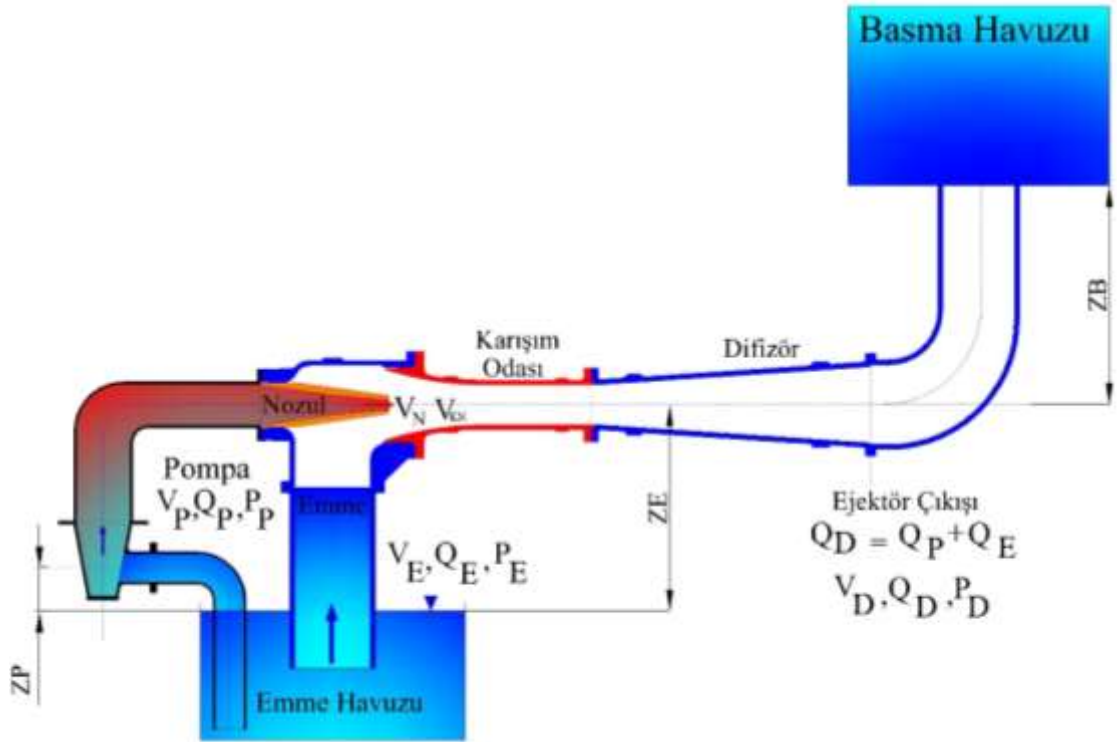
Design algorithm which was developed via integrating DoE method to the numerical design algorithm has been utilized for improving suction capacity of the bronze water jet ejector used in military ship in this study. Thanks to this algorithm, product development cycle is shortened by %60, and prototype costs has been nearly decreased %30 percent.

Keywords: *Water jet ejector, Ejector performance, Ejector design, CFD simulation, Design Improvement, DOE, CFD.*

1. GİRİŞ

1.1 Çalışma Konusu

Su jeti ejektör pompaları, mekanik yapıları itibari ile Şekil 1.1’de de görüldüğü gibi döner parçalar içermeyen ve pompa kullanımlarının pratik olmadığı, montaj ve de montaj alanlarının kısıtlı olduğu çalışma koşullarında tercih edilmektedirler. Bu kapsamda çoğunlukla askeri ve sivil gemilerin yangın, soğutma ve tahliye sistemlerinde kullanılmakla birlikte, nükleer reaktör soğutma sistemleri gibi kritik öneme sahip proseslerde kullanılmaktadırlar.



Şekil 1.1: Su Jeti Ejektörü

Ejektör pompaları sistemlerde pompa yatırım maliyetlerini düşürmenin yanı sıra, buna bağlı olarak enerji maliyetlerini de düşürerek, kullanıldıkları sistemleri daha yalın hale getirmektedirler. Su jeti ejektörü kullanılan sistemlerin maliyet, enerji tüketimi ve hacim olarak kapladıkları bölgelerin pompa ile karşılaştırma değerleri Çizelge 1.1’de verilmektedir. Çizelge 1.1’de yatırım maliyetlerini incelediğimizde,

su jeti ejektörlerinin maliyeti santrifüj pompaya göre hemen hemen %50 daha ucuz olduğu, bununla birlikte su jeti ejektörleri elektrik motoru içermemesinden dolayı yaklaşık yıllık 13.212 USD mertebesinde pompa başına enerji tasarruf sağladığı görülmektedir. Eğer sistemde ejektör yerine pompa kullanılsaydı, yaklaşık dört adet pompa kullanılacağından enerji tüketimi ve maliyeti de yaklaşık dört kat artacaktı. Bununla birlikte sistemde kapladıkları hacim karşılaştırıldığında su jeti ejektörünün uzayda kapladığı hacim pompaya göre on kat daha küçük olduğu da Çizelge 1.1’de görülmektedir. Bu kapsamda, askeri gemide kullanılan, bronz malzemeden üretilen bir su jeti ejektörü, deney tasarımı yöntemi ‘DoE’ kullanılarak elde edilen parametrik tasarım oranları ile, su jeti ejektörünün emme kapasitesini artırılması çalışması üç boyutlu olarak sayısal yöntem kullanılarak yapılmış olup, çalışma deneysel olarak doğrulanmıştır.

Çizelge 1.1: Pompa ve Ejektör Yatırım Maliyeti

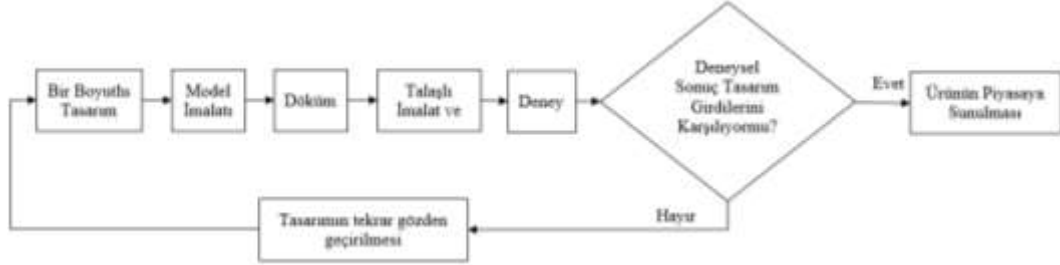
	Pompa	Ejektör
Ağırlık - kg	250	30
Maliyet - USD	3500	1700
Debi - m ³ /h	100	100
Hacim – m ³	0,22	0,02
Enerji Tüketimi - kWh	42	*
Enerji Maliyeti - USD	0,2	*
Çalışma Süresi/Ay	144	144
Enerji Maliyeti/Ay	1026	0
Enerji Maliyeti/Yıl	12312	0

* Sistemde kullanılacak pompa sayısındaki azalma kadar enerji tüketim ve maliyetlerinde düşme meydana gelecektir.

1.2 Tezin Amacı

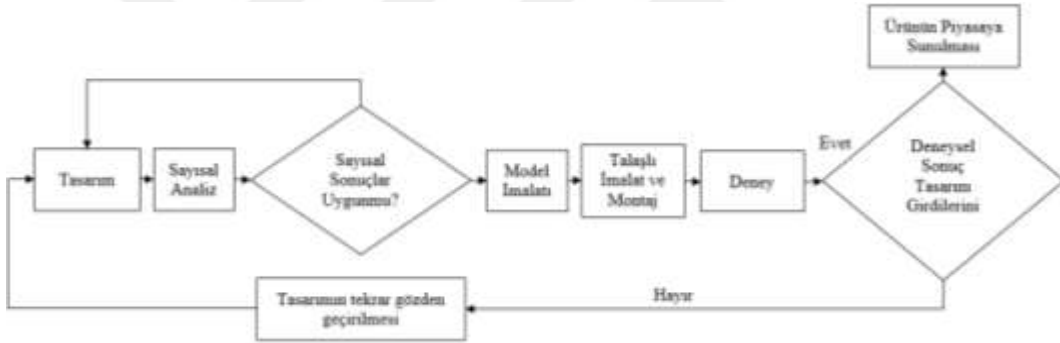
Geçmişten günümüze tasarım ve ürün geliştirme süreçleri, günümüz güncel mühendislik araçlarının tasarım süreçlerine dahil edilmesiyle, ürünlerin tasarım piyasaya sunulma süreçleri, tasarım maliyetleri ve firmaların tasarım esneklikleri önemli şekilde gelişmeler göstermektedir. Şekil 1.2’ de verilen geleneksel tasarım algoritması ile, tasarım girdilerini karşılayana kadar ‘n’ adet tasarım, prototip ve test yapılması gerekmekte olup, ürün geliştirme süreç ve maliyetleri oldukça uzun ve maliyetli olmakla birlikte ürünün piyasaya sürülmesi içinde ciddi süre

gerekmekteydi. Günümüzün güncel mühendislik yazılımları geleneksel tasarım algoritması içine entegre edildiğinde, 'n' adet tasarım bilgisayar ortamında tasarlanıp, tasarım girdilerini karşılayıp karşılamadığı bilgisayar ortamında elde edilebilmesinden dolayı özellikle tasarım ve ürün geliştirme maliyetleri, ciddi şekilde azalmaktadır.



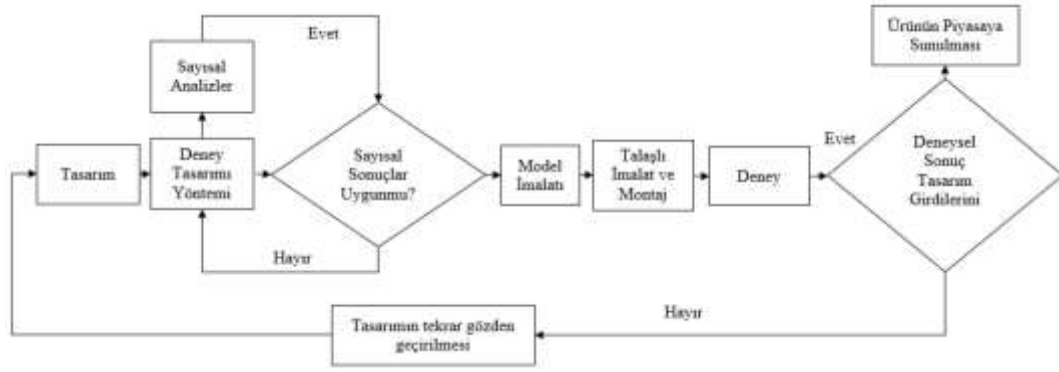
Şekil 1.2: Geleneksel Tasarım Algoritması

Şekil 1.3.'de sayısal analiz programlarının geleneksel tasarım algoritmasına entegre edildiğinde oluşan tasarım algoritması verilmektedir.



Şekil 1.3: HAD Entegre Edilmiş Tasarım Algoritması

Deney tasarım yöntemi sayısal analiz entegre edilmiş olan tasarım algoritmasına entegre edildiğinde, deney tasarımında elde edilen boyutsuz oranlar sayesinde, bilgisayar ortamında yapılan tasarım ve analiz sayısı önemli ölçüde azalmaktadır. Şekil 1.4'te deney tasarımı yönteminin sayısal analiz algoritmasına entegre edilmiş tasarım algoritması verilmektedir.



Şekil 1.4: DoE Entegre Edilmiş Tasarım Algoritması

Çalışma kapsamında deney tasarımı (DoE) yöntemi, sayısal tasarım algoritmasına entegre edilerek askeri gemilerde kullanılan bronz malzemeden üretilmiş su jeti ejektörünün emme kapasitesini geliştirmek için kullanılacak bir tasarım algoritması geliştirilerek, tasarım ve optimizasyon süreci oluşturmaktır.

1.3 Literatür Araştırması

Literatür araştırması iki bölüm altında incelenmiştir. Birinci bölümde ejektör teorisi, tasarım ve sayısal çalışmalar konusunda literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. İkinci bölümde ise deney tasarımı optimizasyon yöntemiyle literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir.

1.3.1 Ejektör teorisi, tasarımı ve sayısal çalışmalar

Taygankov (1968), Ejektör-su pompalarının teorisi, tasarım prensipleri ve ampirik bağıntılar ile 1-boyutlu ejektör su pompasının ana boyutlarını hesaplamak için geliştirilen ampirik formüller, ejektörün bir boyutlu ön tasarımlarında kullanılabilir. Taygankov (1968)'e göre, su jeti ejektörleri için vakum ve nozul çıkışındaki basınç değişimine bağlı olarak vakum Denklem 1.1, nozuldaki basınç değişimi ise Denklem 1.2 ile ampirik olarak hesaplanabilmektedir.

$$H_{vac} = H_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (1.1)$$

Denklemden, H_{vac} : Emme yüksekliği, m, V_2 : Nozul çıkışındaki hız, m/s ve g : Yer çekimi ivmesi, 9.81 m/sn^2 .

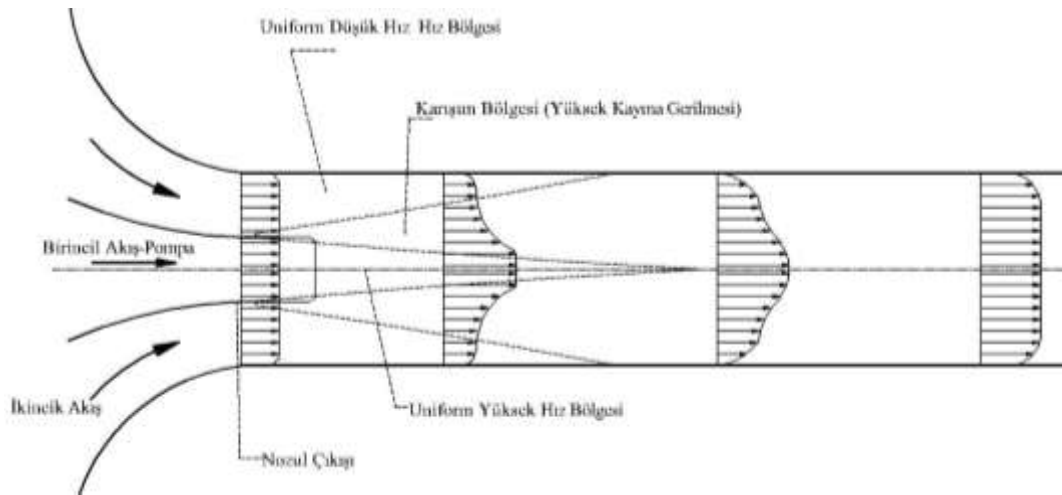
$$H_1 = H_0 - H_{vac} = \frac{V_1^2}{2g} - \left(H_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (1.2)$$

H_0 : Nozul girişindeki pompa basıncı, m.

Ejektörler için maksimum geometrik emme yüksekliği değeri ejektörler için 7 metre dir (Taygankov, 1968).

Normal çalışma koşullarında, ejektörün nozul, emme ve difüzör çıkışlarında kabul edilebilir hız değerlerine göre giriş ve çıkışları boyutlandırılabilir. Standartlara göre ejektörün kabul edilebilir hız değerleri Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Sanger (1968), Jet pompasının çalışma esası ve akışın fiziği hem tasarım hem de analiz sonrasındaki sonuçların yorumlanmasında önemli bir faktördür. Jet pompası çalışmasının temel mekanizması, türbülanslı karıştırma işlemidir. Nozul çıkışında, birincil akış, esasen, yüksek kayma gerilmelerine sahip bölge ile ikincil akışdan ayrılan, sabit yüksek hızlı sıvının bir çekirdeğidir. Başlangıçta, yüksek kayma gerilmesi bölgesi, yüksek hızlı nozul çevresinde karışmaya neden olan ince bir girdap veya girdap tabakasından oluşur. Başlangıçta, yüksek kayma bölgesi, yüksek hız çekirdeğinin çevresinde karışmaya yol açan dalga veya girdapların ince bir tabakasını meydana getirmektedir. Nozul çıkışında aksenel uzaklık arttıkça, kayma ve karışım tabakasının kalınlığı artmaktadır. Potansiyel çekirdek bölgesi enerjisi arttıkça küçülür ve karışım tabakasında türbülansa dağılır. Ejektör akış hacminde meydana hız profillerini Şekil 1.5’te gösterilmiştir.



Şekil 1.5: Su Jeti Ejektörü Bileşenlerindeki Hızı Profili

Kaynak: (Sanger, 1968)

Sanger (1968), Bununla birlikte ejektör performans analizi için, ejektör parametrelerini Denklem 1.3, 1.4 ve 1.5 ile vermektedir.

Nozul-boğaz alan oranı,

$$R = \frac{A_N}{A_T} \quad (1.3)$$

Debi oranını denklem 1.4 ile vermektedir.

$$X = \frac{Q_E}{Q_P} \quad (1.4)$$

Basınç değişimini denklem 1.5 ile vermektedir.

$$N = \frac{(H_D - H_E)}{(H_P - H_D)} \quad (1.5)$$

Sanger (1968), ejektör bileşenlerinde oluşan hidrolik kayıp korelasyonları ampirik olarak modellemiş olup, ejektör bölgelerindeki kayıpları ampirik olarak Denklem 1.6'dan Denklem 1.12'ye kadar verdiği denklemlerle hesaplamaktadır. Bu denklemlerde,

Karışım kayıpları denklem 1.6 ile hesaplanabilir.

$$\varphi_m = 1 + R^2(1 + M)^3 - 2R(1 + M) + \frac{M^3 R^2}{(1 - R)^2} - \frac{2M^2 R^2(1 + M)}{(1 - R)} \quad (1.6)$$

Nozul sürtünme kayıpları

$$\varphi_P = K_P \quad (1.7)$$

Emme sürtünme kayıpları

$$\varphi_S = K_S \frac{M^3 R^2}{(1 - R)^2} \quad (1.8)$$

Boğaz sürtünme kayıpları,

$$\varphi_t = K_t R^2 (1 + M)^3 \quad (1.9)$$

Difüzör sürtünme kayıpları

$$\varphi_d = K_d R^2 (1 + M)^3 \quad (1.10)$$

Toplam sürtünme kayıpları

$$\varphi_f = \varphi_P + \varphi_S + \varphi_t + \varphi_d \quad (1.11)$$

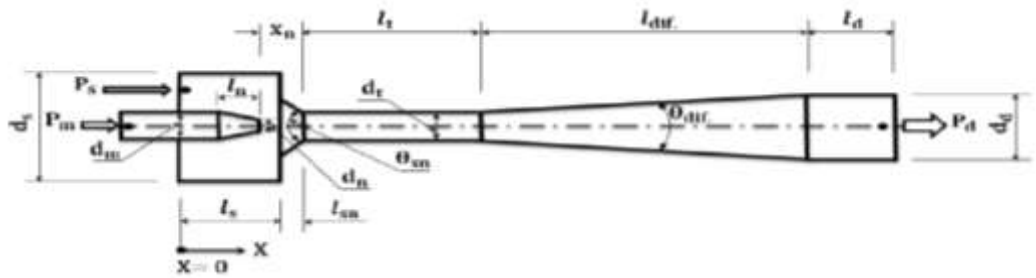
Ejektör toplam kayıpları, karışım kayıpları ile sürtünme kayıplarından oluşmaktadır.

$$\varphi_{toplam} = \varphi_f + \varphi_m \quad (1.12)$$

Sanger (1968), çalışması kapsamında test düzeneği kurarak, su jeti ejektöründe nozul boşluğunun ejektör verimi üzerine etkilerini, nozul çıkışındaki debi ve basınç oranlarını deneysel olarak belirleyerek, elde ettiği sonuçları, 1-boyutlu analitik olarak belirlediği yöntem ile kıyaslamıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda nozul çıkışı karışım odası girişi referans sıfır olarak tanımlanmış olup, teorik ve deneysel olarak en iyi sonuçlar bu noktada elde edilmiştir. Nozul boşluğu arttıkça, yani nozul karışım odasının içerisine girdikçe, boğazda teorik olarak elde edilebilecek basınç artışı sağlanamadığı için, büyük nozul boşluklarının ejektör performansını olumsuz etkilediği ortaya çıkmıştır (Sanger, 1968).

Satish ve Engg. (1966), tez çalışmasında ejektör pompalarının çalışma prensipleri, genel teorileri ve ejektör karakteristikleri üzerine çalışmıştır (Sheha ve diğerleri, 2018; Kuzmenko ve diğerleri, 2016). Bu kapsamda bir ejektöre ait tasarım parametreleri ile optimum tasarım parametrelerinin ne olabileceği konusu üzerinde çalışmış olup, tasarım algoritmasını deneysel olarak doğrulama çalışması yapmıştır. Çalışma 1-boyutlu tasarım algoritması ile onun deneysel olarak doğrulanmasını içermektedir.

Sheha ve diğerleri (2018), çalışmalarında ejektör geometrik değişikliklerinin ejektör verimi üzerine olan etkisini sayısal ve deneysel olarak çalışmışlardır. Bu kapsamda, ejektör veriminin değişimine neden olan ve Şekil.1.6' da gösterilen difüzör açısı, karışım odası uzunluğu, nozul posiyonu ve pompa alan oranı gibi boyutlar değiştirilerek, ejektör pompasında optimum performans elde edilmeye çalışılmıştır.



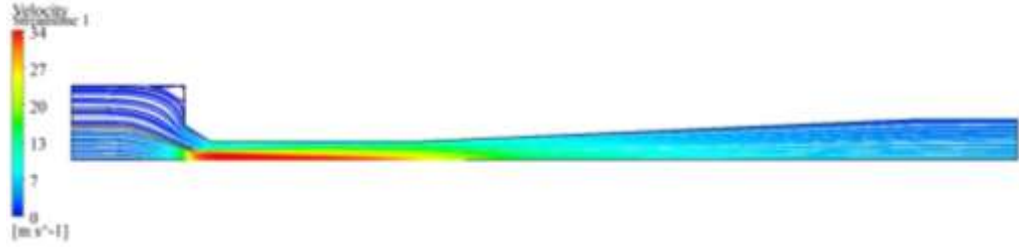
l_2	d_2	l_m	θ_m	l_n	d_m	d_n	l_t	d_t	$l_{dif.}$	$\theta_{dif.}$	l_d	d_d
110	152.4	25	86°	60	60	19	200	36.5	485	5°	100	80

All Dimensions are in (mm).

Şekil 1.6: Aksenal Jet Ejektörü Geometrisi

Kaynak: (Shehal ve diğerleri, 2018).

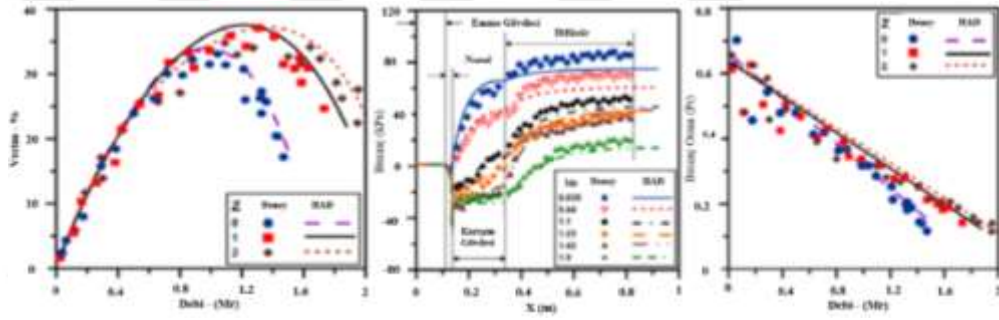
Sayısal çalışma esnasında, sayısal yöntemin kullanacağı yönetici denklemler tanımlanarak sayısal çalışmada elde edilen akış çizgileri Şekil 1.7'de gösterilmiştir.



Şekil 1.7: Jet Ejektörde Akış Çizgileri, $M1= 1.9$

Kaynak: (Shehal ve diğerleri 2018).

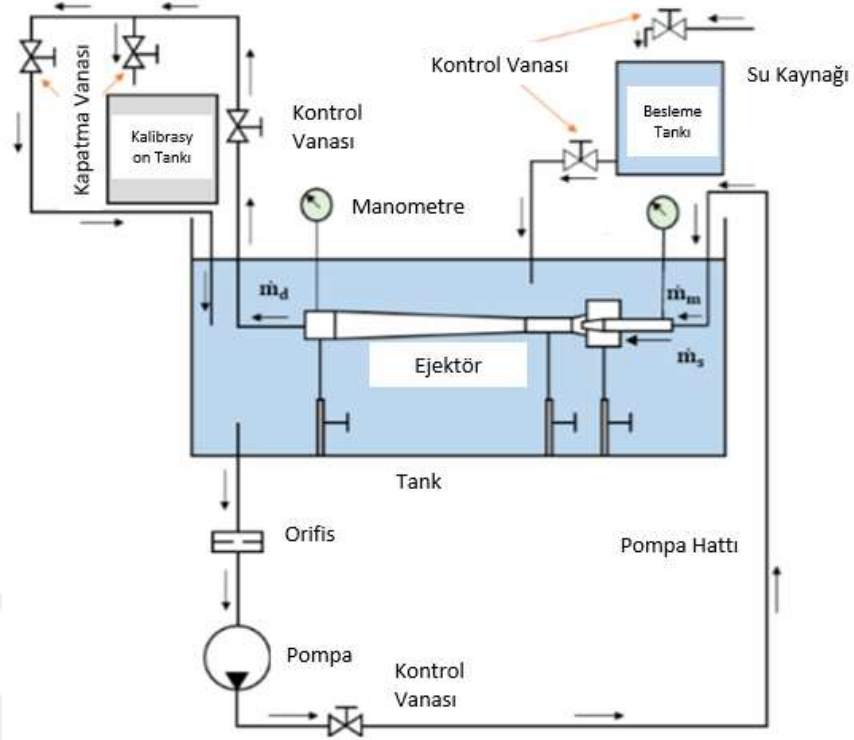
Ejektör performans karakteristikleri belirlenerek, ejektörün verim, hız ve basınç karakteristikleri üzerine yapılan sayısal çalışmaların doğrulaması deneysel çalışmalarla yapılarak, sayısal ve deneysel olarak karşılaştırması Şekil 1.8'de verilmiştir. Çalışmada ejektör verimlerinde erişilebilecek değerler ve karakteristik eğilimler, yapılacak optimizasyon çalışmasında referans niteliğinde olacaktır.



Şekil 1.8: Sayısal ve Deneysel Performans Karşılaştırması

Kaynak: (Shehal ve diğerleri 2018).

Sayısal çalışmanın deneysel olarak doğrulanması için çalışma kapsamında ejektör test düzeneği oluşturulmuş ve Şekil 1.9'da test düzeneği şematik olarak gösterilmektedir.

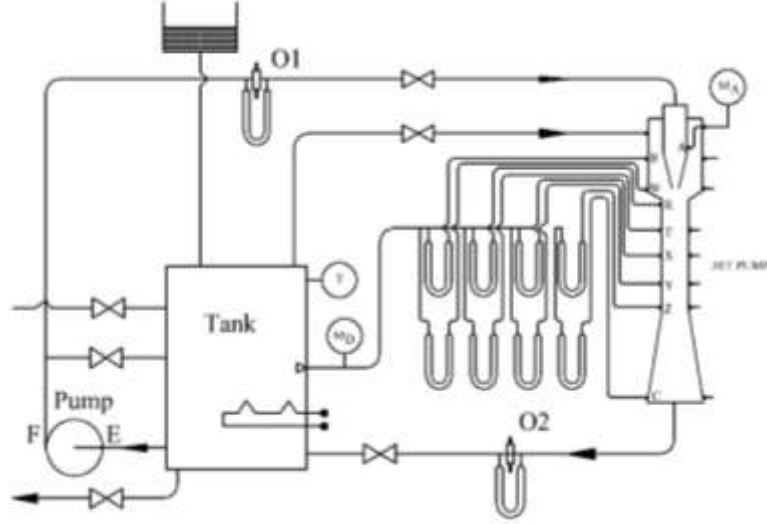


Şekil 1.9: Ejektör Test Düzenegi

Kaynak: (Shehal ve diğerleri 2018).

Trevor Benjamin, (2001) çalışmasında ejektör pompalarının çalışma prensipleri, genel teorileri ve ejektör karakteristikleri üzerine çalışmıştır. Bu kapsamda bir ejektörde nozul çıkışındaki debiyi, farklı pompa basınçları ve farklı nozul çaplarında deneysel olarak belirlemiş olup Çizelge 2.2’de detaylar verilmiştir. Çalışmasında elde edilen veriler ejektör nozul boyutlarının belirlenmesinde faydalanılacaktır.

J. T. Wilman (RCN) (1966), çalışmasında ejektör pompalarının çalışma prensibi ile, bunları karakterize eden yönetici denklemleri ve dolayısıyla ejektör pompalarının tasarımları esnasında dikkat edilecek kriterler ve hesap algoritmaları üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bununla birlikte Şekil 1.10’da gösterilen ejektör pompalarının test düzeneklerinin nasıl olacağı konusunda çalışmalar yapmış bu kapsamda deney esnasında, ejektör üzerinde ölçüm alınacak yerleri belirtmiş olup çalışma deneysel çalışma için bir fikir oluşumunu sağlamıştır



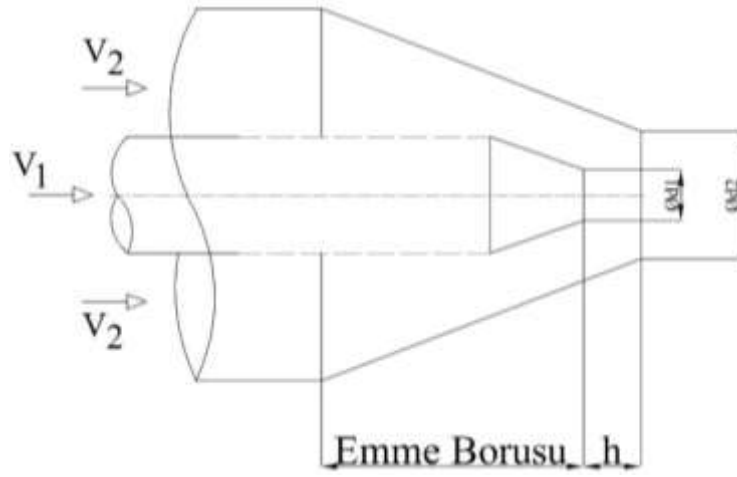
Şekil 1.10: Gaz Ejektör Pompası Test Düzenneği

Kaynak: (Wilman, 1966)

Sonuç olarak ejektör pompaları için bir boyutlu tasarım modeli geliştirerek tasarım modelini deneysel yollar ile doğrulamasını yapmıştır. 1 boyutlu tasarım algoritması ve deneysel sonuçlara dayanarak, ejektör pompalarının tasarım esnasında kullanılabilir olan pratik tasarım tablolarının verilmesi, ejektörlerin başlangıç tasarımları için kullanılabilir referans bilgileri oluşturmaktadır.

Aldaş ve Yapıcı (2014), çalışmalarında su jeti ejektörlerinde yüzey pürüzlülüğünün ejektör performansı üzerine etkisini sayısal olarak çalışmışlardır. Bu kapsamda ölçeklendirme ile mutlak ve bağıl pürüzlülükteki değişimlerin ejektör verimi üzerine etkileri sayısal olarak incelenmiştir. HAD analizleri kapsamında kullanılan dört türbülans modelinden gerçek verilere en yakın tahminleri üreten türbülans modelini seçmek için tam ölçekli bir jet pompası üzerinde bir ön çalışma yapılmıştır. Tüm modeller arasında en iyi sonucu veren geçiş SST modeli kullanılarak, 1/4 ile 20/1 ölçek aralığında ölçek ve pürüzlülüğün pompaların performansına etkileri araştırılmıştır. Geniş bir aralıkta farklı alan oranları için optimum verimler, pürüzlülük ölçeği ve boyutuna göre belirlendi. Sabit bir mutlak pürüzlülükte belirli bir ölçek boyutuna kadar verimliliğin önemli ölçüde arttığı, sabit nispi pürüzlülükte genellikle ölçek boyutundan bağımsız olduğu görülmüştür.

Lin ve Song (2012) çalışmalarında ejektör nozul konumunun değiştirilmesinin ejektörün verimliliği üzerindeki etkisini, sayısal olarak incelenmişlerdir. Çalışmalarında kullanılan emme borusu ve nozula ait geometrik değişkenleri Şekil 1.11'de verilmiştir.



Şekil 1.11: Emme Borusundaki Nozul Pozisyonu

Kaynak: (Ling ve Song, 2012).

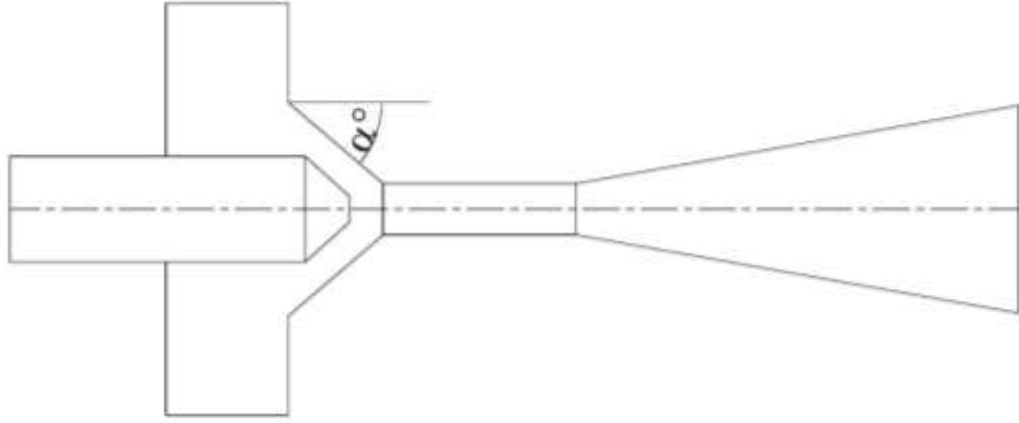
Nozul pozisyonunun ejektör verimine ve debi oranına olan etkilerinin sonuçları Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2: Nozul Pozisyonu ve Ejektör Verimi

No	h (mm)	m1/m2	η -%
1	8	2.09	9.4
2	13	2.24	12.6
3	18	2.68	13.7
4	23	2.26	12.4
5	28	2.12	10.7

Kaynak: (Ling ve Song, (2012).

Pandhare ve Pitale (2017), çalışmalarında, su jeti ejektörünün, nozul karışım odası bölgesinin farklı açılarda yapılan tasarımların, ejektör pompasının emme yüksekliğini karakterize eden önemli bir parametre olduğu deneysel olarak ortaya konulmuştur. Nozul karışım odası koniklik açısı Şekil 1.12’de gösterilmektedir. Deneysel çalışmada nozul koniklik açıları 50°, 45° ve 40° alınmıştır.



Şekil 1.12: Su Jeti Ejektörü Karışım Nozul Açısı

Kaynak: (Pandhare, A., Pitale, A.K., 2017)

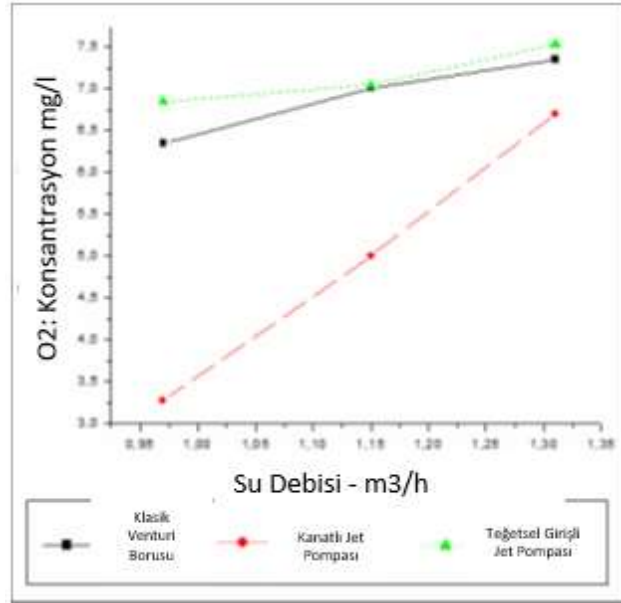
Deneysel çalışma sonucunda giriş basıncına bağlı olarak koniklik açısı arttıkça, su jeti ejektörünün emme basıncının arttığı bulunmuştur. Bununla birlikte farklı giriş basınçlarında, koniklik açısı küçüldükçe çıkış debsinin hemen hemen sabit olduğu deneyler sonucunda elde edilmiştir.

Blatchley, sıkıştırılabilir akışkanlar için kullanılan ejektörlerin performans, tasarım tipleri ve onların kontrolleri hakkında genel literatür bilgisi vermektedir.

Lima (2011), çalışmasında su jeti ejektörlerinde maksimum emme yüksekliğini belirlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmayı içermekte olup bu kapsamda kurulan test düzeneği ile farklı boyutlarda nozul boğaz alanı oranlarının ejektör emme yüksekliğine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Türk Loydu Askeri Gemilerin Donatıları ve Sınıflandırılması, Ocak 2022 dökümanında, askeri gemilerde kullanılan ekipmanların tasarım, deney, kabul ve güvenlik kriterlerini açıklar.

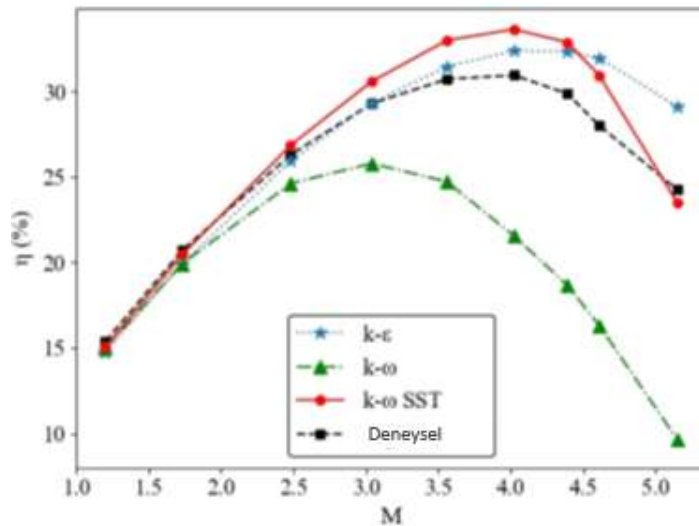
Stayra ve diğerleri (2012), yaygın olarak kullanılan üç su jeti ejektörünün, girdap akışı sağlayan havlandırıcılarda kullanıldığında, venturi tüpüne göre su içindeki oksijen çözünürlüğünü artırdığını ortaya koymuşlardır. Girdap akışlı su jeti ejektörlerinin akışkan havalandırması için en iyi çözümü sunduğunu deneysel olarak ortaya koymuş olup, deneysel karşılaştırma sonuçları Şekil 1.13'de verilmiştir.



Şekil 1.13: Oksijen Çözünürlüğü ve Debi Değişimi

Kaynak: (Styra, A., Vekteris, V., Striska, V., 2012).

Marum ve diğerleri (2021), matematiksel ve HAD modeli kullanarak, su jeti ejektörü için performans analizi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada bir boyutlu matematiksel model, HAD modeline entegre edilmiştir. HAD sonuçları literatürde bulunan farklı türbülans modelleri için deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış olup, ejektör verimi ve basınç katsayısı karşılaştırılmıştır. Verim karşılaştırmasında k-ε türbülans modelinin geniş bir aralıkta deneysel sonuçlara en yakın olduğu Şekil 1.14’te verilmiştir.

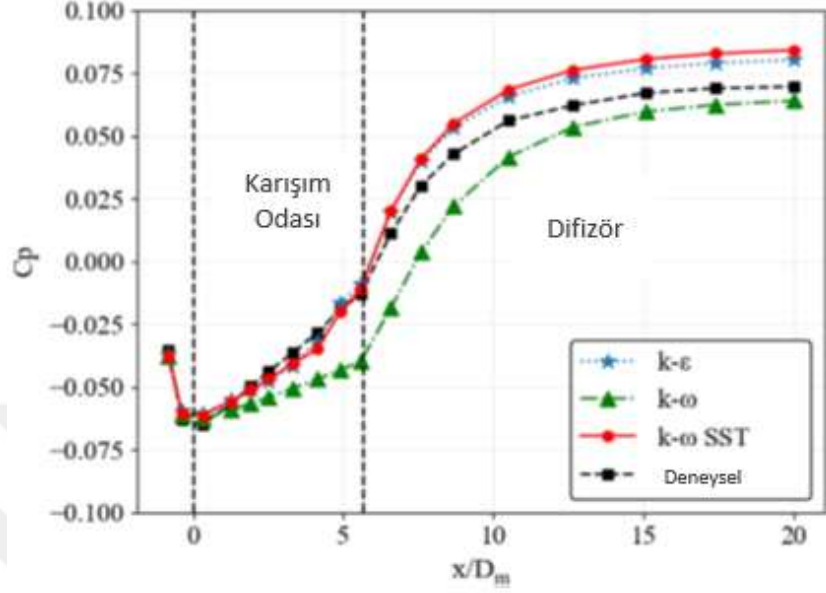


Şekil 1.14: Türbülans modelleri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

Kaynak: (Sanger, 1968)

Basınç katsayısı sonuçları karşılaştırıldığında, difüzör kısmında k-ω türbülans modelinin deneysel sonuçlara daha yakın sonuçlar verdiği, karışım odasında ise k-ε ve

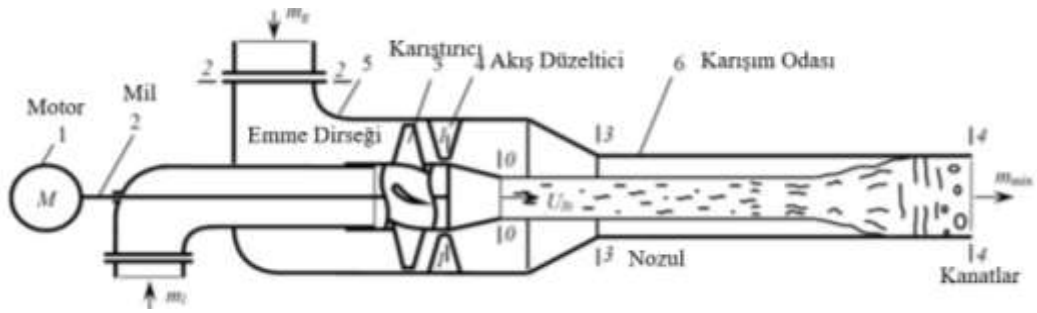
$k-\omega$ SST türbülans modellerinin deneysel sonuçlara daha yakın sonuçlar verdiği Şekil 1.15’de görülmektedir. Çalışmadaki deneysel sonuçlar (Kuzmenko ve diğerleri, 2016)’dan alınmıştır.



Şekil 1.15: Basınç katsayısı için türbülans modellerinin sonuçlarının deneysel sonuçlarla kıyaslanması

Kaynak: (Sanger, 1968)

Ismagilov ve diğerleri (2018), sıvı ejektörü verim iyileştirme konusu üzerinde çalışmışlardır. Bu kapsamda ejektör içine yerleştirilen ve elektrik motor ile tahrik edilen bir karıştırıcı Şekil 1.16’da gösterildiği gibi ejektör nozul önüne yerleştirildiği zaman, ejektör veriminde iyileştirme sağladığı deneyler sonucunda elde edilmiştir.



Şekil 1.16: Karıştırıcılı Ejektör Sistemi

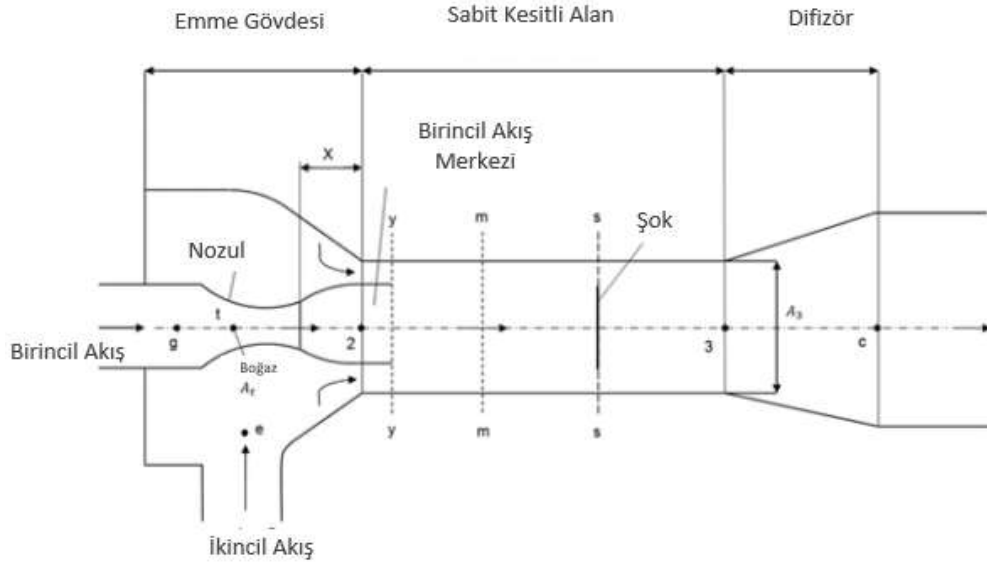
Kaynak: (Ismagilov ve diğerleri, 2017)

Toteff ve diğerleri (2022), yaptığı çalışma kapsamında kullandığı türbülans ve optimizasyon yöntemi ile ham petrol ve endüstriyel borulama tesislerinde, boru hatlarında, yağ tabakası birikmesinden dolayı, zamanla sistemde meydana gelen basınç ve enerji kayıplarını ortadan kaldırmak için, ejektör tasarım ve optimizasyon

çalışması yapmışlardır. Bu kapsamda HAD analizi için ANSYS CFX, ve optimizasyon için ise PIPEIT yazılımını kullanarak, çalışmalarını yürütmüşlerdir. Optimizasyon çalışmasında çoklu geometrik ve farklı çalışma noktalarının ejektör performansına etkisi PPIET optimizasyon programı kullanılarak olarak incelenmiştir. HAD analizinde, akışkan tipi su ve su-yağ karışımı olarak seçilmiştir. Analiz çalışmasında SST türbülans modeli kullanılmıştır. Sınır koşulları için ise, pompa ve emme kısmı için toplam basınç, diğer çıkış için ise statik basınç tanımlanmıştır.

Higgins (1964), çalışmasında, gaz ejektörlerinin genel teorisi, ejektör karakteristiklerinin verim üzerine etkilerinin incelenerek, tasarım parametrelerinin ejektör verimi üzerine etkileri teorik ve deneysel olarak incelemiştir.

Pierre van Eeden ve Dario Ercolani (2013), gaz ejektörleri için, mevcut projelerin deneysel sonuçlarından elde ettikleri bilgiler ile literatürde yayınlanan ampirik formüllere dayanan, ejektör tasarımı ve performans tahmini için basit bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bu kapsamda Ejektör performans analizi için, Huang B.H.'ın bir boyutlu ejektör performans analizi (1) ile ve Huang B.H., Chang'ın (2) Ejektör tasarımı için deneysel korelasyonlar isimli yayınlarından yararlanarak gaz ejektörleri için enerji denge denkleminin Şekil 1.17'de gösterilen ejektörün ayrı bölümleri için oluşturmuşlardır.

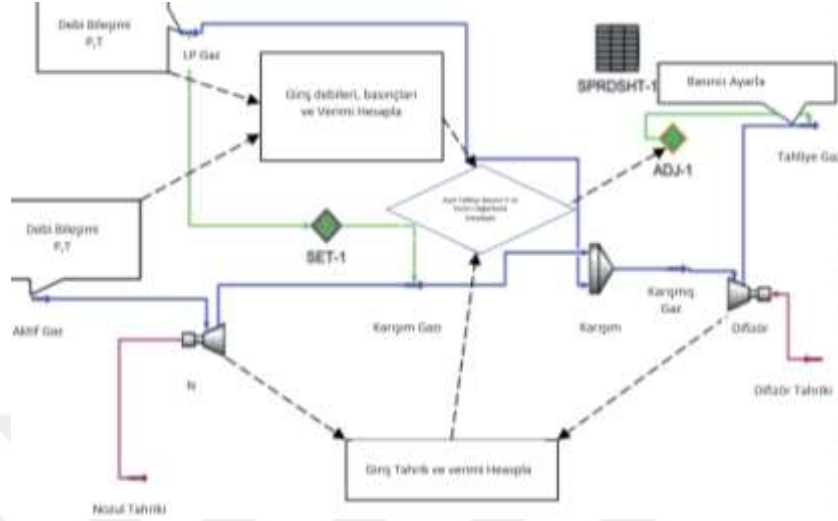


Şekil 1.17: Gaz Ejektörü Ana Bölümleri

Kaynak: (Eeden, P., Ercolani, D. 2013).

Halihazırda mevcut olan simülasyon modellerinde ani genişleme ve daralmalardan dolayı oluşan basınç ve verim kayıplarını, sürtünme ve momentum kaynaklı kayıplarını doğru olarak modellenememesinden dolayı doğru hesaplanmadığı

çalışmada ortaya konulmaktadır. Bu kapsamda simülasyon modelinde sürtünme ve momentum kayıpları iteratif olarak hesaba katılmıştır olup, model ve simülasyon çalışması Şekil 1.18' de belirtilen şemada gösterilmiştir.



Şekil 1.18: Gaz Ejektör Pompası Simülasyon Algoritması

Kaynak: (Eeden, P., Ercolani, D. 2013)

Eric (2010) çalışmasında Yeraltı operasyonlarında ölçeklendirme amacıyla kullanılan su jeti ejektör nozullarının parametrik performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu kapsamda su jeti ejektörlerinde kullanılan mevcut nozul tiplerini ve her birinin performans özelliklerini karşılaştırmaya yardımcı olmaktadır.

Huang ve diğerleri (1998), çalışmalarında ejektör performans tahmini için 1-boyutlu analiz yöntemi geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında sabit-basınç karışımının ejektörün sabit kesit alanı içinde meydana geldiği varsayılarak boğulma durumunda sürüklenen akış analiz edilmiştir. Ayrıca analitik sonuçları doğrulamak için 11 ejektör ve çalışma sıvısı olarak R141b'yi kullanarak, performans tahmini için katsayılar deneysel olarak belirlenerek analitik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılarak 1-boyutlu performans tahmin metodu geliştirildi.

Bogi (2011), çalışmasında soğutma sistemlerinde farklı sıkıştırma ve sürüklenme oranları altında, bir tasarımcının tasarım amaçları için ejektörlerin hızlı ama doğru CFD simülasyonunu gerçekleştirmesini sağlayan analiz üzerine çalışmıştır. Yöntem, viskozite ve özgül ısı sabitinin ölçeklendirilmiş değerlerini uygun şekilde seçerek sistemi mükemmel gaz varsayımları kullanarak modellenmektedir. Analiz tasarıma bağlı olarak, ejektör tasarımındaki geometrik varyasyonlar, mükemmel gaz modeline göre ölçekli parametreleri değiştirir. Bu kapsamda ilk olarak FLUENT kullanılarak

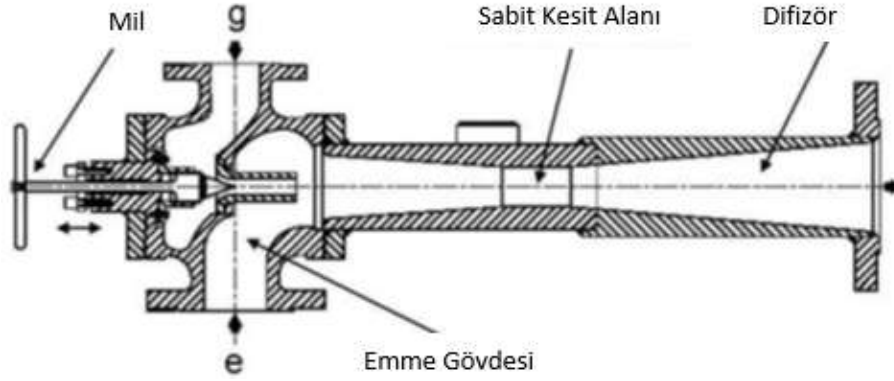
bir ejektör için matematiksel bir model geliştirilir ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılır ve sayısal model doğrulanır. Geometri ve başlangıç sınırı değiştirilerek tasarım odaklı bir yaklaşım benimsenmiştir.

Kracik ve Dvorak (2016), çalışmalarında ejektörün karışım odasına yerleştirilmiş olan 12 süpersonik nozula sahip ejektördeki akışı tahmin etmek analitik bir yöntemin geliştirilmesiyle ilgilidir. Çalışma kapsamında akış izentropik olarak ele alınmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Franciscus (1970); Gebousky ve diğerleri (2021); Zhou ve diğerleri (2022) çalışmalarında roket motorlarında sıvı oksijen ve sıvı hidrojeni pompalamak için roketle çalışan ejektörlerin kullanımının bir ön analizi yapıldı. Tahrik gazı, daha küçük bir hidrojen-oksijen roket motorunun egzoz gazıdır. Analiz bir boyutlu olup sürtünme ve şok kayıplarını içermemektedir.

Atmaca ve Ezgi (2019) çalışmalarında, ısı pompası sistemlerinde düşük basınçlı akışı daha yüksek basınca sıkıştırmak için kullanılan bir buhar ejektörünü modelleyerek, sonlu hacimler yöntemi ile sabit kesit, Mach sayısı ve basınçta HAD analiz sonuçlarını literatür değerleriyle karşılaştırmış olup, HAD yönteminin ejektör sayısal analizleri için, hız ve basınç alanlarını hesaplamada bazı saptamalara sahip olsada, yöntemin ejektör sayısal analizinde kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Varga ve diğerleri (2010); Zohbia ve diğerleri 2022 çalışmalarında, değişken nozul geometrisine sahip 5 kW kapasiteli buhar ejektörü için deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır. Değişken nozul geometrisi Şekil 1.19'da gösterilen hareketli bir mil kullanılarak elde edilmiştir. Vakum tüplü geniş kollektörlerinden sağlanan termal enerji ile kurulan bir iklimlendirme uygulamasının esaslarına göre çalışma koşulları seçilmiştir. HAD çalışması, eksenel simetrik çözüm yöntemi kullanılarak sıkıştırılabilir akış için momentum ve enerji denklemleri çözülerek, basınç, sıcaklık ve hız bilinmeyenleri için çözümler elde edilmiştir. Mil uç pozisyonu ve çalışma koşullarına bağlı olarak debi oranı çalışma kapsamında 0.1 ile 0.5 arasında alınmıştır. Yüksek buhar basıncı elde etmek için 24 kW kapasiteye sahip buhar jeneratörü kullanılarak deney düzeneği kurulmuştur. Çalışma ile ejektörde HAD çözümleri ve deneysel düzenek kurulumu ile ilgili yeni fikirler oluşmuş olup, değişken nozul geometrisinin gelecek çalışmalarda su jeti ejektörlerinde olası kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.



Şekil 1.19: Değişken Nozullu Jet Ejektör

Kaynak: (Varga ve diğerleri 2010)

Saleh (2016) çalışmasında, termal enerji tarafından tahrik edilen soğutma devresi ejektör için bir boyutlu model geliştirmiştir. Ejektörün sabit alan bölümünde, sabit basınçlı karışım olduğu varsayılarak, farklı akışkan tipleri için en uygun akışkanı bulmaya çalışmış bununla birlikte farklı çalışma parametrelerinin çevrim performansı üzerine etkilerine çalışmıştır. Geliştirilen model, literatürde bulunan deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış olup, çevrimin parametrik analizi, her bir parametrenin, çalışma sıvısından bağımsız olarak çevrim performansı ve ejektörün davranışı üzerine benzer etkilere sahip olduğunu göstermiştir.

Galanis ve Sorin (2016), çalışmalarında ejektörde kritik basınç oranının belirleyebilmek için 1-boyutlu termodinamik model ile sabit giriş koşulları emme ve sürüklenme debileri için olası en yüksek sıkıştırma oranını sağlayan optimum ejektör boyutlarını bulmaya çalışmışlardır. Çalışmada ayrıca ejektörün tasarım dışı performansını belirleyebilmek için bir metod geliştirilmiş olup sonuçları ideal gaz için elde etmişlerdir. Termodinamiğin klasik korunum denklemleri ve tersinmez sıvı akışı kurallarını esas alarak geliştirilen yöntem, ejektör boyutlarını hesaplayarak, akışkan özelliklerine karşılık gelen aksenal gelişimi hesaplanmıştır. Ayrıca tasarım dışı noktalarda ejektör geometrisinin yanı sıra, sürüklenme oranı, sıkıştırma oranı ve giriş basınç oranı arasındaki ilişki, tasarım dışı noktalarda ejektör performans tahmini için başarılı sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır.

Aidoun ve diğerleri (2019), ısı pompası ve soğutma çevrimlerinde kullanılan ejektör uygulamaları için, ejektörlerin modellenmesi, deneysel ve sayısal çalışma içerikleri ile, ejektör çalışma eğrileri ile ejektörler hakkındaki güncel gelişmeler ve yenilikler üzerinde durmuşlardır.

Kuzmenko ve diğeri (2016), süpersonik gaz ejektörünün çalışma optimizasyonu üzerine deneysel olarak çalışmış olup, testleri farklı basınç aralıklarında ve döngü sürelerinde gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testlerde incelenen fiziksel olay jet ayrılmasıdır. Jet ayrılması, püskürtülen havanın debisini artırmak için keyfi basınç artışını sınırladığı için çalışma kapsamında ejektör çıkış ekseninde jet akışı üzerine odaklanmışlardır.

Gullo ve diğeri (2019) çalışmalarında, gıda ve perakendecilik uygulamalarında kullanılan çoklu ejektör kavramıyla, ejektör destekli paralel buhar sıkıştırma sistemi yerleşimlerinin gelişimi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, temel teorik değerlendirmelere ilişkin sonuçlar ve bazı deneysel sonuçlar özetlenmiştir. Ayrıca, çoklu ejektör kullanımının, CO₂ tüketiminin yüksek olduğu ve yüksek enerji gerektiren binalarda (örn. oteller, spor salonları, kaplıcalar) sıcak iklimlerde bile önemli enerji tasarrufu sağlayacağı öngörülmektedir.

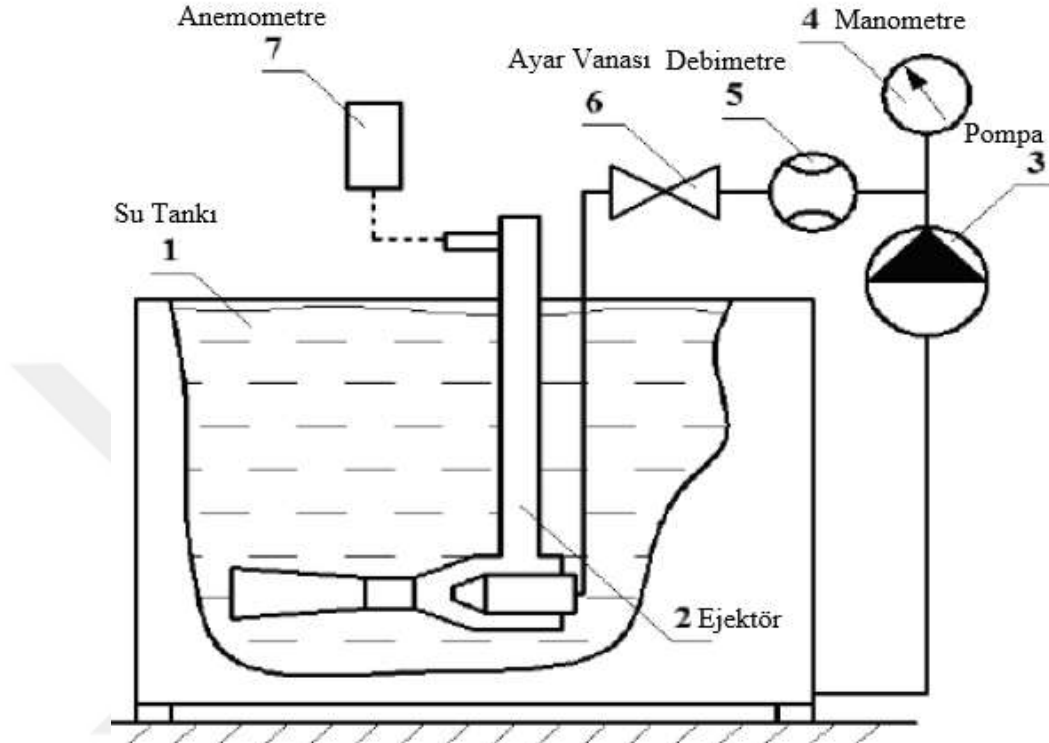
Besagni ve diğeri (2015), tasarım ve tasarım dışı noktalarda ejektörlerin performans değerlendirilmesi için sayısal bir yöntem sunmaktadır. Yöntem adiyabatik duvar, ideal gaz, her kesitte düzgün hız dağılımı ile birincil ve ikincil akışlar girişlerde durma durumuna sahip olduğu varsayılmaktadır. Sayısal çalışma kapsamında, akış modelinin oluşturulması, türbülans modellerinin verdikleri sonuçların karşılaştırılması kapsamına olup, model literatürde verilen sayısal sonuçlarla doğrulanmıştır.

Pounds ve diğeri, elektrik sınırlı veya olmadığı durumlarda, ejektör soğutma sistemi sıcak su, atık ısı ve güneş gibi termal enerjiyle çalıştırılabilir. Ejektör soğutma sisteminin deneysel çalışma, nozul boyutlarının ve nozulun aksel lokasyonun etkileri ile, yüksek sıcaklık, buharlaşma sıcaklığı ve soğutma sıcaklıklarının etkilerini belirlemek için deneysel çalışma yapmışlardır.

Croquer ve diğeri, farklı çalışma koşullarında, sayısal olarak sistematik olarak ejektör performans tahmini için sistematik bir yaklaşım sunarlar. Çalışmada kullanılan ejektörün boyutları hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ve termodinamik olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında HAD modeli, ideal gaz koşulları için ejektörün benzerlik çözüm karakteristiklerini geçerli kılmaktadır.

Vekteris ve diğeri (2011) su jeti ejektörlerinde verim konusu üzerine çalışmışlardır. Bu kapsamda farklı tasarımlara sahip ejektörlerin, vortex akışlı

ejektörlerin su hava sistemlerinde su içinde çözünmüş hava konsantrasyonunu, sabit venturi tüplerinde kullanılan ejektörlere göre hava çözünürlük oranı 0,76 dan 1'e çıktığını yapılan deneyler sonucunda bulmuşlardır. Çalışma kapsamında kurulan deney düzeneği Şekil 1.20'de verilmektedir.

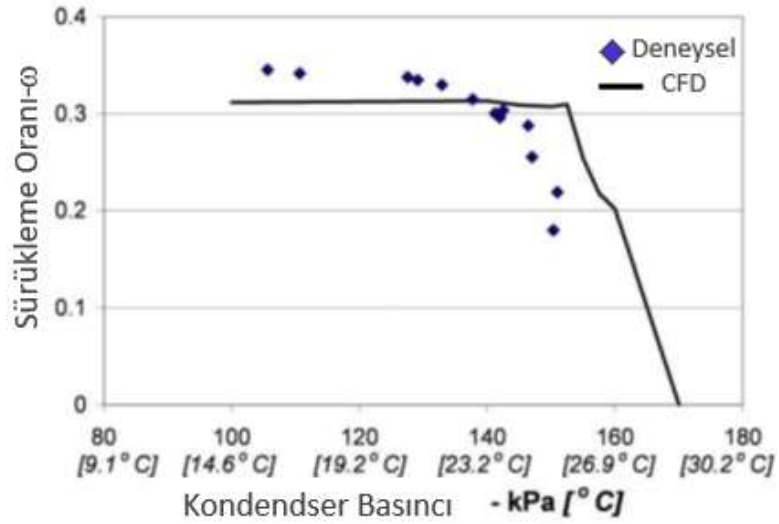


Şekil 1.20: Su Jeti Ejektörü Deney Düzeneği

Kaynak: (Scott ve diğerleri 2011)

Mohamed ve diğerleri (2018), hidrokarbon soğutma sisteminde kullanılan ejektörün HAD esaslı tasarım ve simülasyon üzerine çalışmıştır. Bu kapsamda ideal gaz için ejektör teorisi, HAD esaslı tasarımı yapılmış olup, çözümler iki boyutlu aksel simetrik çözüm ağı için elde edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan akışkan pentan gazı olup, farklı çalışma koşulları için sayısal sonuçlar elde edilmiştir.

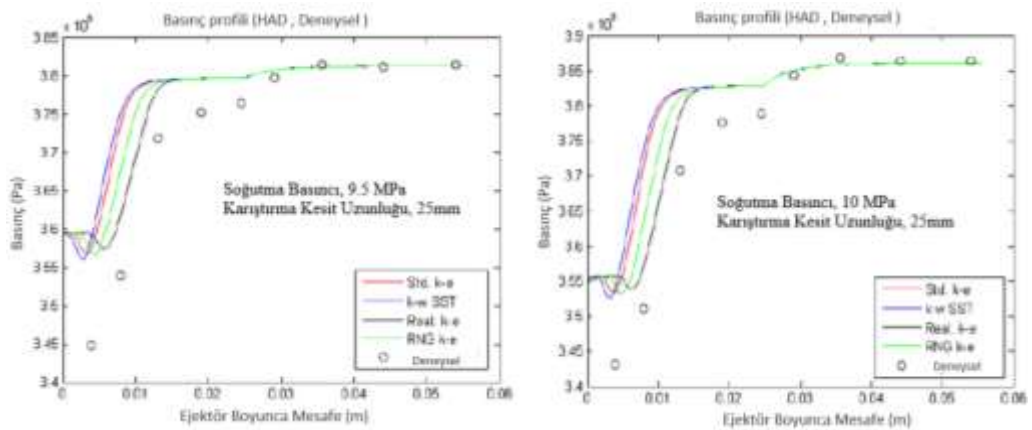
David Scott ve diğerleri, soğutma sistemlerinde kullanılan ejektörlerin sayısal çalışmaların geçerli kılınması için çalışmış olup, bu kapsamda Aidoun ve Ouzzane (2003) tarafından tanımlanan bir boyutlu ejektörü kullanmışlardır. Deneysel çalışma koşullarının üçünü modelleyerek, Scott ve diğerleri (2008) kullandıkları hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelini kullanarak kritik kondens basıncına bağlı olarak karışım oranını değişimleri karşılaştırmışlardır. Sayısal ve deneysel karşılaştırma Şekil 1.21'de verilmiştir.



Şekil 1.21: Deneysel ve Sayısal Karşılaştırma

Kaynak: (Scott ve diğerleri 2011)

Colorasi (2011), yoğuşmalı iki fazlı ejektörün çok boyutlu modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Sayısal çalışma kapsamında kullanılan farklı türbülans modellerinin sayısal sonuçları ile deneysel sonuçlar basınç profilleri farklı soğutma basınçları için karşılaştırılmış olup, sonuçlar Şekil 1.17’de verilmiştir. Çalışmada verilen bütün kesitlerde türbülans modellerinin verdiği sonuçlar, deneysel sonuçlar ile kıyaslandığında, ejektör boyunca 0,01 ile 0,02 m aralığında, Realizable k-Epsilon türbülans modeli, deneysel sonuçlara en yakın sonuçları verdiği görülmüştür. Ejektör boyunca 0,02 ile ejektör çıkışına kadar ise dört türbülans modeli de deneysel sonuçlara yakın benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.



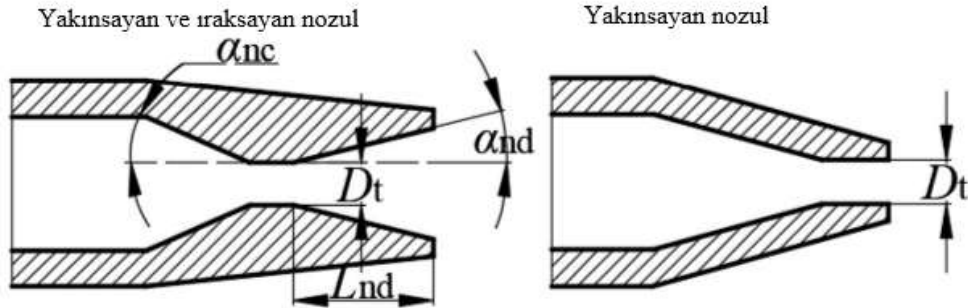
Şekil 1.22: Sayısal Çalışmada Kullanılan Türbülans Modellerinin Karşılaştırılması

Kaynak: (Colarossi, 2014)

Murillo ve diğerleri (2021), vakum damıtmada kullanılan ejektörlerin geometrik optimizasyonunu, farklı çalışma koşullarında genetik algoritma kullanarak

yapmışlardır. Genetik algoritmada tekli ve çoklu hedef fonksiyonlarını kullanmışlardır. Çalışmalar kapsamında etanol kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan boyutsuz tasarım parametreleri (λ , R_d , X , L_{1g} ve R_A) beş adettir. Performans çıktıları ise (C_d , P_R ve η) üç adettir.

λ , Giriş basıncına bağlı parametre olup, tekli hedef fonksiyonunda sürüklenme katsayısı (C_d) ve verimin optimizasyonu için kullanılmış olup, basınç geri kazanım oran P_R ve verim λ ile bir eşik değere kadar artarak oradan azalmaya başlar. Bu da yakınsayan ve ıraksayan nozulların vakum uygulamalarında sadece yakınsayan nozullara göre daha uygun olabileceğini göstermektedir. Nozul tipleri Şekil 1.21’de verilmiştir.



Şekil 1.23: Nozul Tipleri

Kaynak: (Murillo ve diğerleri, 2022)

Geometrik parametrelerin vakum operasyonlarında ejektör performansına olan etkileri çalışma kapsamında belirlenmiştir.

Ejektör sisteminin çalışma özellikleri ile ejektörlerde çıkabilecek olası problemler ve yapılan düzeltici önleyici faaliyetlerin incelenmesi iyi bir tasarım oluşturabilmek için önemli faktörlerden birini oluşturmaktadır. Bununla birlikte farklı sistemlerde ve farklı akışkanlar için kullanılan ejektör tiplerinin seçilmesi ve seçim kriterlerinin belirlenerek sistemlerdeki montaj şekillerinin belirlenmesi tasarım esnasında göz önüne alınması gereken diğer nemli kriterlerdendir (Körting, 2020; Tyco International Ltd., 2005).

Yapılan çalışmalarda kullanılan tasarım kriterleri ve onların performans etkileri ile, sayısal analiz çalışma metodolojisinin ortaya konulması, farklı amaçlar için deney düzeneği kurulma metodolojisi ve ölçme yöntemleriyle elde edilen bilgiler, tez kapsamında derlenerek kullanılmıştır.

1.3.2 Deney tasarımı ve optimizasyonu

Gökçe ve Taşgetiren (2009) çalışmalarında, kaliteli ürün geliştirmek ve üretmek için deney tasarımı yöntemini, kalite sistemine entegre etmeye çalışmışlardır. Bu kapsamda deney tasarımı yönteminin teorisini, probleme göre hangi deney tasarımı yönteminin seçilmesi gerektiğini, klasik metodoloji ile deney tasarımı yöntemi arasındaki farkları ile deney tasarımında kullanılan metodlar ile, Taguchi yöntemi üzerinde detaylar paylaşmışlardır.

Baray ve Sarı (2006) çalışmalarında, deney tasarım yönteminin aşamaları ile faktöriyel tasarımlar ve yanıt yüzeyleri yöntemlerinin teorileri üzerine değinerek, otomotiv sektöründe, kumanda tellerini üreten bir firmada, ürün kalitesini geliştirmek için tam faktöriyel tasarımın ANOVA çözümü ve tepki yüzeyleri çözümleri için deney tasarımı yöntemini örnek bir projede kullanılarak, kalite geliştirmede deney tasarımı yönteminin kullanılabilirliğini sınamışlardır.

Akkuş ve Karabudak (2020), deneysel çalışmalarda hedefe en az deneye ve maliyetle ulaşmak için biyoteknoloji alanında deney tasarımı yöntemini kullanmışlardır. Bu kapsamda biyolojik süreçlerde kullanılan deneysel tasarım yöntemlerinin uygulamam esasları üzerine çalışmışlardır.

Özkurt (1999), deney tasarımları ve istatistiksel veri analizi üzerine çalışmıştır. Çalışmada deney tasarımı yönteminin teorisini, temel prensiplerini, tipik uygulamaları ile yöntemin tarihçesi konularına değinmiştir. Bununla birlikte istatistik kavramları ve istatistiksel analiz konuları üzerine çalışmış olup, 2^k faktöriyel deney tasarım yöntemini bir fabrikada uygulamasını yaparak deneysel sonuçları karşılaştırmıştır. Çalışmada tanımlanan probleme göre doğru seçilen deney tasarımı ve istatistik yöntemi ile doğru sonuçların elde edilebileceği yapılan uygulamada görülmüştür.

Demir ve Aksu (2017) çalışmalarında ilaç formülasyonu geliştirilmesinde deney tasarımı yöntemi teorisi ve uygulaması incelenmiştir.

Basmacı ve diğerleri (2018), ASTM B574 (Hastelloy C-22) malzemesi üzerinde tornalama işlemi sonrasında kesme parametrelerinin (kesme derinliği, kesme hızı, radius, ilerleme hızı, debi, talaş açısı, yavaşma açısı) yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık üzerindeki etkileri varyans analizi (ANOVA) ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen

parametrelerin optimizasyonu Taguchi orthogonal deney tasarımına dayanan Tepki Yüzeği Metodolojisi (RSM) ile incelenmiştir.

Tekindal (2009) çalışmasında, deney tasarımı ve tepki yüzeyleri optimizasyon yöntemlerinin teorik ve pratik uygulaması çalışılmıştır.

Değirmencioğlu ve diğerleri (2006), çalışmalarında optimizasyon problemlerinde, tepki yüzeyleri metodolojisinin temel prensipleri ve yöntemin tarımsal mekanizasyon alanında yapılan çalışmaları ortaya koymaktadırlar.

Box-Behnken optimizasyon yöntemi çözüm süresi avantajı sunması bakımından, üç boyutlu tasarım yazılımlarının optimizasyon versiyonlarında çoğunlukla tercih edilen yöntemlerden biridir. Box-Behnken yöntemi bu özelliği ile endüstrinin farklı alanlarında tasarım, süreç optimizasyonu gibi uygulamalarda tercih edilmekte olup, döküm süreç optimizasyonu ve tank tasarımları gibi konularda yöntemin uygulanabilirliği literatürde görülmüştür. Bununla birlikte yöntemin optimizasyon esnasında kullandığı algoritmanın esaslarını öğrenmek, optimizasyon çalışmasında doğru sonuçlar elde edebilmek için önemli faktörlerden birini oluşturmaktadır (Solidworks 2021; Yıldız ve diğerleri, 2021).

Tasarım optimizasyon yöntemleri, üretim de fire oranının azaltılması, sünger prosesinin optimizasyonu, rulman montajı gibi endüstrinin farklı alanlarında yaygın olarak kullanılmakta olup, bu kapsamda optimizasyon yöntemlerinin teorileri ve uygulamaları, verilmektedir (Shukuralsraf, 2019; Karadaş, 2010; Karşlıoğlu, 2013).

Deney tasarımı yöntemi hakkında teoriler ve uygulamalar incelenerek, tez kapsamında sayısal analiz metoduna deney tasarımı yöntemi entegre edilerek çalışma yapılmıştır.

1.4 Çalışmanın Amacı ve Kullanılan Metodoloji

Deney tasarımı yönteminin su jeti ejektörlerinin tasarım algoritmasına entegre edilerek tasarım süreci kısaltılması ile, deney tasarımı yöntemi ile ejektör geometrik boyutlarının ejektör emme kapasitesi ve verimi üzerine olan etkileri incelenmiş olup, deney tasarımı ve sayısal çalışmalar deneysel deneysel olarak geçerli kılınmıştır.

2. SU JETİ EJEKTÖRÜ TEORİSİ

2.1 Giriş

Su jeti ejektörü bir kaynak veya sistemden akışkanları transfer etmek için kullanılan sistemlerdir. Bir su jeti ejektörü Şekil 1.1’de gösterildiği gibi, emme, pompa, nozul, karışım odası ve difüzör olmak üzere beş farklı kısımdan oluşmaktadır. Santrifüj pompada oluşturulan basınç enerjisi ejektör nozulunda kinetik enerjiye dönüşmektedir. Nozul çıkışı ile karışım odası girişi arasında, pompa tarafından gelen akışkanın ani basınç düşüşünden dolayı düşük basınç bölgesi meydana gelmektedir. Meydana gelen düşük basınç bölgesi ejektörün emme kısmına bağlanan rezervuar veya tanktan ejektörün vakum yapmasını sağlayarak, pompa tarafından gelen akışkan ile emme kısmından gelen akışkan karışım odasında karışarak, ejektörün difüzör kısmından tahliye edilir. Ejektörün difüzör kısmında hız enerji basınç enerjisine dönüşür.

2.2 Su Jeti Ejektörü Yönetici Denklemleri

Ejektör pompalarının temel prensibi Şekil 1.1’de gösterilen ejektör bölgelerindeki akışkanın momentum transferi esasına dayanır. Mehta (1963) ejektör teorisini sürtünme, çarpma ve basınç kayıplarını göz önüne alarak, sıkıştırılmaz daimi akış için geliştirilmiş olup ejektör yönetici denklemlerini Denklem 2.1’den 2.27’e kadar vermiştir. Mehta (1963) bu denklemlerde ; Ejektör emme tarafı enerji denklemi,

$$E_E = \frac{P_E}{\gamma} + \frac{V_E^2}{2g} + Z_E \quad (2.1)$$

Ejektör pompa tarafı enerji denklemi,

$$E_P = \frac{P_P}{\gamma} + \frac{V_P^2}{2g} + Z_P \quad (2.2)$$

Ejektör basma tarafı enerji denklemi,

$$E_P = \frac{P_P}{\gamma} + \frac{V_P^2}{2g} + Z_P \quad (2.3)$$

Pompa ve nozul tarafı enerji denklemi,

$$P_P - P_N = -\frac{1}{2}[\rho V_P^2 - \rho V_N^2] - \rho g[Z_P - Z_E] + \frac{1}{2}\rho V_N^2 \quad (2.4)$$

Ejektör emme tarafı ve nozul çıkışı enerji denklemi,

$$P_E - P_N = -\frac{1}{2}[\rho V_E^2 - \rho V_M^2] - \rho g[Z_E - Z_N] + \frac{1}{2}\rho V_{EN}^2 \quad (2.5)$$

Daimi akış prensibinde momentum korunumu prensibine göre,

$$[Q_P + Q_E] V_M = Q_P V_P + Q_E V_E \quad (2.6)$$

Pompa tarafından ejektöre verilen enerji,

$$= Q_P \gamma (E_P - E_B) \quad (2.7)$$

Ejektörün emme tarafında üretilen enerji,

$$= Q_E \gamma (E_B - E_E) \quad (2.8)$$

Ejektör nozulunda meydana gelen jet kayıpları,

$$= K_N Q_P \gamma \frac{V_{PN}^2}{2g} \quad (2.9)$$

Ejektör emme tarafı kayıpları,

$$= K_E Q_E \gamma \frac{V_E^2}{2g} \quad (2.10)$$

Ejektör basma tarafı kayıpları,

$$= (K_B + K_T)(Q_1 + Q_2) \gamma \frac{V_D^2}{2g} \quad (2.11)$$

Ejektör karışım odası hidrolik kayıpları ,

$$= Q_P \gamma \frac{(V_{PN} - V_M)^2}{2g} + Q_E \gamma \frac{(V_M - V_A)^2}{2g} \quad (2.12)$$

Ejektör karışım odası sürtünme kayıpları,

$$= K_T \gamma (Q_P + Q_E) \frac{(V_M)^2}{2g} \quad (2.13)$$

Şekil 1.1'e göre ejektör pompası için Bernoulli denklemi yazılabilir. Pompa tarafı için basma yüksekliği,

$$H_P = \frac{P_N}{\gamma} + (1 + K_N) \frac{V_{PN}^2}{2g} + Z_P \quad (2.14)$$

Emme tarafı için toplam basma yüksekliği,

$$H_E = \frac{P_N}{\gamma} + (1 + K_E) \frac{V_E^2}{2g} + Z_E \quad (2.15)$$

Basma tarafı için toplam basma yüksekliği

$$H_E = \frac{P_N}{\gamma} + (1 + K_E) \frac{V_E^2}{2g} + Z_E \quad (2.16)$$

Pompa tarafı için süreklilik denklemi,

$$Q_P = A_N V_{PN} \quad (2.17)$$

Emme tarafı için süreklilik denklemi,

$$Q_E = A_K V_{KN} \quad (2.18)$$

Toplam alan,

$$A_T = A_N + A_K \quad (2.19)$$

Süreklilik denklemi,

$$Q_P + Q_E = (A_N + A_K) V_D \quad (2.20)$$

Debi oranı,

$$X = \frac{Q_E}{Q_P} \quad (2.21)$$

Alan oranı,

$$A_R = \frac{A_N}{A_T} \quad (2.22)$$

Denklem 2.15, denklem 2.14'den çıkarılıp denklem 2.23'de yerine konulduğunda, dairesel düz karışım odaları için enerji denklemi elde edilebilir.

$$E_P - E_E = \frac{V_{PN}^2}{2g} ((1 + K_N) - (1 + K_E)X^2 \frac{(AR)^2}{(1 - AR)}) \quad (2.23)$$

$$W = \frac{\frac{(XA_R)^2}{(1 - A_R)} (1 + X)}{(1 + K_N) - (1 + K_E)X^2 \left(\frac{A_R}{(1 - A_R)}\right)^2} \quad (2.24)$$

Boyutsuz kapasite denklemi.

$$\Omega = \frac{1 - W}{W + X} = \frac{H_D - H_E}{H_P - H_D} \quad (2.25)$$

Toplam enerji ve yapılan iş esas ejektör verimi denklem 2.26'ya göre hesaplanabilir.

$$\eta = \frac{(H_D - H_E)Q_E}{(H_P - H_D)Q_P} \quad (2.26)$$

Daimî akış koşullarında, nozul tarafından gelen akış, ejektörün emme tarafında bulunan akışkanı karışım odasına vakum yapmaya zorlar. Emme yüksekliği askeri gemilerde yaklaşık 3-3,5 m arasındadır.

Ejektör emme tarafında oluşan vakum denklem 2.27'ye göre hesaplanabilir.

$$H_{\text{vacuum}} = Z_E + \frac{V_E^2}{2g} \quad (2.27)$$

Bu denklemde

Z_E : Emme yüksekliği, (metre)

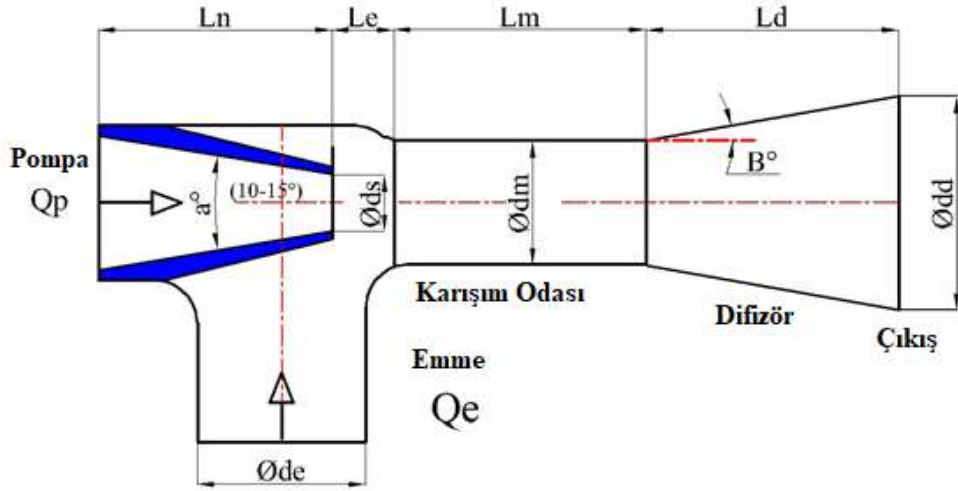
V_E : Ejektör emme tarafındaki ortalama hız (m/s)

g : Yer çekim ivmesi, m/s^2

2.3 Su Jeti Ejektörü Tasarım İlkeleri

Bir su jeti ejektörü tasarlanırken, tasarım girdileri, pompa debisi ve pompa basıncı, ve emme yüksekliği değerlerinin bilinmesi gerekir. Tasarım girdilerine karşılık

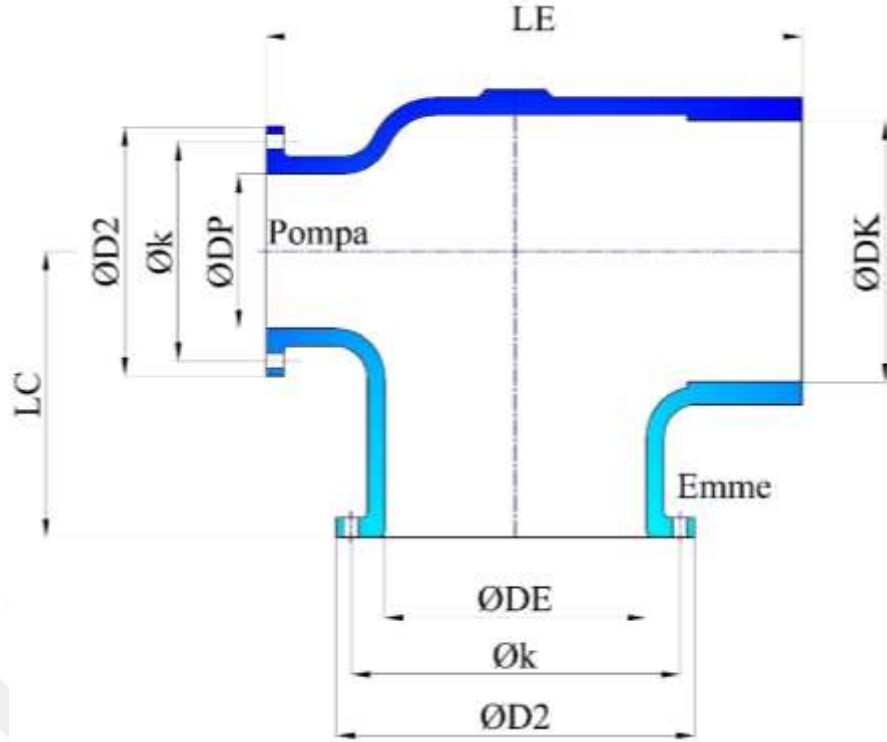
tasarım sonucunda emme kapasitesi, toplam kapasite ve çıkış basıncı ise tasarım çıktılarıdır. Bir su jeti ejektörünün tasarım esnasında bulunması gereken ana boyutları Şekil 2.1’de verilmektedir.



Şekil 2.1: Ejektör Tasarım Ana Boyutları

2.3.1 Ejektör emme dirseğinin boyutlandırılması

Ejektör emme dirseğinin boyutlandırılması, ejektör pompasının emme kapasitesini belirlemesinden dolayı, tasarım esnasında bu bölgede oluşacak hidrolik kayıpların minimize edebilecek şekilde olması gerekir. Emme dirseği hem dirsek geometrisine sahip olması, hem de içinden geçen nozulun dış çapının emme geometrisini daraltması ve dolayısıyla hidrolik kayıp oluşturmasından dolayı, 1 ve 2 boyutlu tasarım yapılırken dirsek ve akışkanın nozula çarpma kayıplarını minimize eden bir geometri tasarlanması gerekmektedir. Emme dirseğine ait temel tasarım boyutları Şekil 2.3’ de gösterilmektedir. DP, DE, D2 ve k çapları uluslararası normların basınç sınıflarına göre belirlediği standard ölçüler olup, askeri gemilerde VG normunun belirlemiş DK ölçüsü ise emme dirseğine nozul yerleştirildikten sonra kalan net akış alanı ve dolayısıyla Çizelge 2.1’de gösterilen tavsiye edilen akış hızlarına göre boyutlandırılmaktadır.



Şekil 2.2: Ejektör Emme Dirseği Tasarım Ana Boyutları

Çizelge 2.1: Ejektör Hücrelerinde Tavsiye Edilen Hız Değerleri

Hız Bölgeleri	Hız – m/s
Pompa Tarafı Ejektör Giriş Hızı	3-6
Karışım Odasının Çıkışındaki Hız	2-4
Emme Dirseğinde Tavsiye Edilen Ortalama Hız	1,3

Kaynak: (Sanger, 1968)

2.3.2 Ejektör nozulunun boyutlandırılması

Sistemi tahrik eden, pompanın çıkış basıncına göre ejektör nozulundan geçen debi nozulun iç çapına bağlıdır. Ejektör pompasının nozulu sistemde kullanılan santrifüj pompanın basınç ve debi değerine göre, nozul çapı ϕ_{ds} , ejektörde pompa tarafının debisini belirlemektedir. Diğer bir anlatımla ejektörün emme flanşı tarafından akışkanın karışım odasına girmeye zorlayan akışın debisi nozulun ϕ_{ds} çapına bağlıdır. Nozulun ϕ_{ds} çapı arttığında basıncın da artışına bağlı olarak nozuldan geçen debi ve buna bağlı olarak da yaklaşık artış miktarı kadar da ejektörün emiş kapasitesi de artmaktadır. Literatürde nozul iç çaplarına göre sistemi tahrik eden nozulun çıkışındaki debi değerleri nozul jet çapı ve basınca bağlı olarak Çizelge 2.2’de verilmiştir. Ejektör kullanılacak olan sistemlerde kullanılacak pompanın basıncı ve debisi belirli olmasından dolayı, sistemi tahrik edecek debi ile basınç miktarı nozulun

tasarım girdisini oluşturmaktadır. Yapılan deneylerle de Çizelge 2.2'de verilen değerlerin elde edildiği görülmüştür.

Çizelge 2.2: Nozul Kapasiteleri

Nozul Jet Çapı, ds, mm	8	10	12	14	16	18	20	24	30	40	
Pompa Basıncı -Bar	2	3,5	5,5	7,8	10,6	14,1	17,8	22,1	31,9	50	89
	3	4,3	6,8	9,7	13,3	17,4	22	27,2	39,3	61,5	109
	4	4,9	7,8	11,3	15,4	20,1	25,4	31,4	45,4	71,4	126
	5	5,5	8,7	12,6	17,2	22,4	28,4	35,2	50,8	79,4	141
	6	6,6	9,5	13,8	18,8	24,6	31,1	38,5	55,6	87,5	155
	7	6,5	10,3	14,9	20,3	26,6	33,7	41,6	60,1	97,7	167
	8	7,7	11,9	15,9	21,7	28,4	36,3	44,5	64,3	101,9	179
	9	7,4	11,7	16,9	23,9	30,1	38,2	47,2	68,2	107,9	189
	10	7,8	12,3	17,8	24,2	31,7	40,2	49,7	71,8	112,8	200

Kaynak: (Benjamin , 2001)

Sistemde verilen pompa tehrik değerlerine göre nozul jet çapı DN Çizelge 2.2.'den seçilerek kullanılabilir. Bununla birlikte yapılan deneysel çalışmalarda nozulun eksenden verilen L uzunluğu ejektörün toplam emme performansının etkilemekte olup, nozul ucu en iyi performansta karışım odasının içine girmesi gerekmektedir. Nozulun koniklik açısı α , başlangıç tasarımında 10-15° arasında seçilebilir.

2.3.3 Karışım odasının boyutlandırılması

Sistemi tahrik eden nozul jetinden çıkan akışkan karışım odasına girmektedir. Karışım odasına akışkanın girişi sırasında hidrolik kayıpları azaltmak için, püskürtülebilir akış ile ejektör eksenini arasındaki açının minimum olması istenir. Karışım odasında nozudan çıkan akış ile ejektörün emmesinden gelen akış karışmakta olup, akışın tamamen karıştırılması için difüzör boğazı ile karıştırma odasının uzunluğu şu şekilde kabul edilir. Taygankov (1968), başlangıç tasarımında difüzör ve karışım odası uzunlukları için Denklem 2.28 ve Denklem 2.29'da ampirik bağıntılar vermiştir.

$$L_M + L_D = (7 - 8) D_D \quad (2.28)$$

Denklem 2.28'de D_D difüzörün boğaz çapıdır. Nozulun çıkış ucundan difüzör boğazının başlangıcına kadar karışım odasının uzunluğu aşağıdaki şekilde tavsiye edilir.

$$L_M = (1,5 - 2,5) D_D \quad (2.29)$$

Ejektör karışım odasının uzunluğu seçilirken, sürtünme kayıplarını minimize etmekle birlikte akışın tamamen karışmasını sağlamak esas alındığında ilk yaklaşımla 2.28 ve 2.29 denklemleri ile tasarım başlangıcındaki boyutlar belirlenebilmektedir.

2.3.4 Difüzörün boyutlandırılması

Difüzörün başlangıçta minimum açıklık ile tasarlanması ve bu açıklığın kademeli olarak difüzör çıkışına doğru genişlemesi gerekir. Akış ayrılmalarının önüne geçmek için difüzör açıklık açısı (B°), 8-12 derece arasında seçilebilir. Büyük açıklık açılarının seçilmesi difüzör çıkışına doğru akış ayrılmaları oluşturabileceğinden, difüzör açıklık açısı çalışmada optimize edilecektir. Difüzörün toplam L_D uzunluğunun olabildiğince kısa tercih edilmesi sürtünme kaynaklı hidrolik kayıpları minimize edeceğinden, difüzör tasarımı yapılırken uzunluk ve difüzörün açıklık açısı birlikte göz önüne alınarak tasarım yapılacaktır.

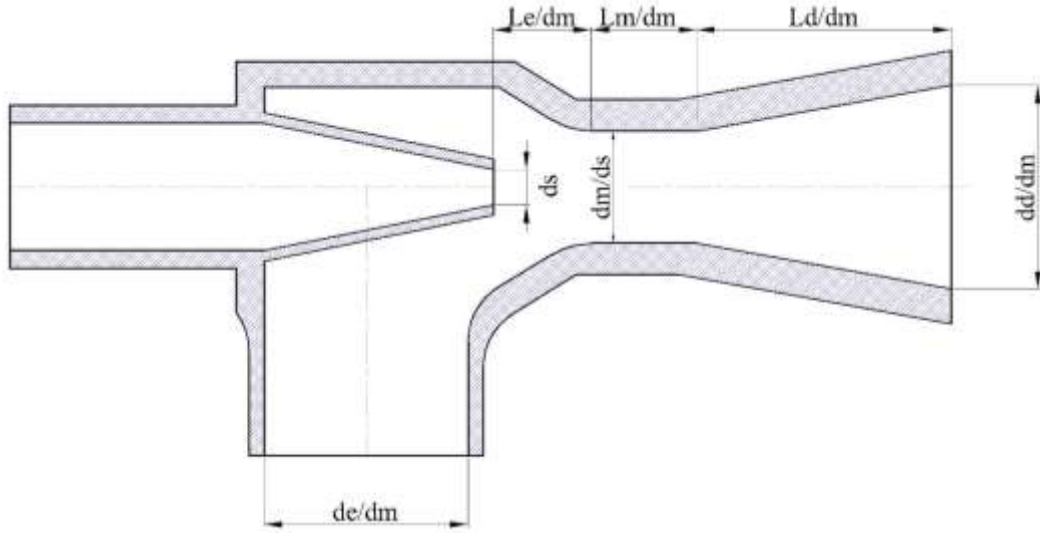
2.4 Boyutsuz Su Jeti Ejektörü Tasarımı

Ejektör tasarım değişkenlerinin ejektör emme kapasitesi ve verimi üzerine olan etkilerinin eğilimlerini görmek amacıyla bir su jeti ejektörünün bir boyutlu olarak tasarım girdileri boyutsuz hale getirilerek, Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3: Tasarım Girdileri

Tasarım Girdisi	Sembol	Değer
Pompa Debisi	Satır A	1
Emme Debisi	Q_E/Q_P	2,43
Debi Oranı	X	2,43
Pompa Basıncı	P_P	9 Bar

Tasarım optimizasyonunda kullanılan su jeti ejektörünün boyutsuz geometrisi Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.3: 1-Boyutlu Su Jeti Ejektörü

Bir boyutlu performans analizi için tasarımı yapılan su jeti ejektörünün boyutsuz değerleri Çizelge 2.4’de verilmektedir.

Çizelge 2.4: Tasarım Girdileri

Geometrik Boyut	Sembol	Değer
Nozul Çapı	ds/ds	1
Karışım Odası Çapı	dm/ds	3,44
Karışım Odası Uzunluğu	Lm/dm	1,13
Difüzör Uzunluğu	Ld/dm	2,27
Nozul ile Karışım Odası Mesafesi	Le/dm	0,68
Nozul Koniklik Açısı	α°	15°
Difüzör Koniklik Açısı	β°	7°

Çizelge 2.4’te boyutsuz olarak değerleri verilen su jeti ejektörü esas alınarak Bölüm.3’te tasarım optimizasyonu çalışması yapılmıştır.

3. DENEY TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

Herhangi bir endüstriyel ürünü üretip, piyasada satışa sunabilmek ve kullanıcılar tarafından kabul edilebilen bir ürünü geliştirebilmenin en önemli adımlarından biri de ürünün deneysel doğrulamasının yapılmasıdır. Klasik deneysel doğrulama süreçleri, deneysel girdilere bağlı olarak, her bir girdinin deneysel çıktıya olan etkisi deneme yanılma yöntemiyle bulunmaya çalışılmakta olmakta, bu da deneysel doğrulama sürecini ve maliyetlerini artırmaktadır.

Deney tasarımı yöntemi ise, deneysel girdilerin, sonuçlara olan etkileri, problemlere göre kullanılan ‘DoE’ yöntemleri sayesinde deneysel doğrulama süreçleri daha hızlı ve az maliyetli olarak gerçekleşmektedir.

Günümüzün gelişen yazılım ve bilgisayar teknolojisi kapsamında, deney tasarımı yöntemi birçok yazılım içinde entegre olarak bulunmasının yanı sıra, deney tasarımı ve optimizasyon yazılımlarının artışı, yöntemin endüstriyel alanda kullanılmasını da hızla geliştirmektedir.

3.1 Amaç

Deney tasarımı, araştırma ve geliştirme, ürün geliştirme, üretim ve kalite süreçlerinde optimum çözümleri ve girdilerin olası sonuçları üzerine olan etkilerinin eğilimlerini görmemizi sağlayan istatistiksel bir yöntemdir. Deney tasarımı yöntemi ‘DoE’, minimum örneklem büyüklüğü ile neden-sonuç ilişkisi hakkında maksimum miktarda bilgi elde etmek için, girdi değişkenlerinde kontrollü değişiklikler yaparak, optimizasyon sürecinde girdilerin çıktılar üzerinde olan önem derecelerini ve optimum hedef fonksiyonunu bulmaya yardımcı olur.

Deney tasarımı yöntemi, günümüzün hızlı gelişen rekabet ve küreselleşme döneminde, firmaların daha rekabetçi şekilde, kaliteli ve sürdürülebilir ürünleri piyasaya sürebilmelerinde ve piyasada kalıcı olmalarında, deney tasarımı ve optimizasyon yöntemi tasarım, ürün geliştirme, imalat ve kalite süreçlerine entegre edilerek, yeni ürün geliştirme süreleri azalmakta, mevcut süreçlerin ve ürünlerin

performanslarını iyileştirmekle birlikte, malzeme, tasarım alternatifleri, parça ve sistem analizlerinde optimum sonuçlar elde edilmesine yardımcı olarak firmaları daha rekabetçi olmalarında fark yaratmaktadırlar.

Deney tasarımı yöntemi, günümüzde ürün kalitesini ve karlılığını artırma, maliyetleri düşürme, tasarım süreçlerini kısaltarak deneysel hatayı en aza indirerek deneysel doğruluk oranını artırmak için birçok farklı disiplinde kullanılmakta olup, yöntem üç boyutlu tasarım ve analiz programlarına entegre edilmiştir. Bu kapsamda yöntem su jeti ejektörü tasarımında araştırma geliştirme süreçlerine entegre edilerek, ürün geliştirme süreçlerinin kısaltılması ve ürün tasarım ve veri alt yapısının oluşturulması sağlanmıştır (Taşgetiren ve Gökçe, 2009; Karslıoğlu, 2013).

3.2 Deney Tasarım Prensipleri

Deneysel tasarımı yönteminde doğru sonuçların elde edilebilmesi için, deneylerde toplanan doğru ve deneysel hata içeren verilerin istatistiksel yöntemlerle analiz edilmesi gerekir. Deneysel tasarımın temel prensipleri üç başlık altında toplanabilir.

Tekrarlama, ana deneyin tekrar edilmesidir, bu şekilde deneysel hatalar en aza iner.

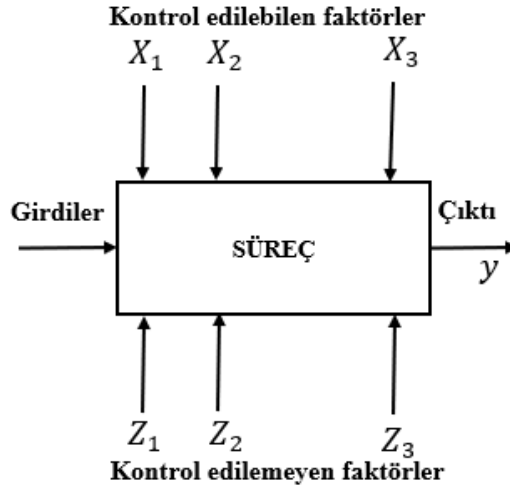
Rasallık, deneyin bireysel koşullarında, deneysel malzeme ile sıralamanın rassal olarak dağıtılması olması dış etkenlerin deney sonularına etkisini yok etmiş olur.

Bloklama, birbiri içinde homojen dağılmış verilere sahip olan deneysel malzeme parçası blok oluşturur ve deneyin kesinliğini artırmak amacıyla kullanılır (Özkurt, 1999).

3.3 Deney Tasarımı Yöntemi Modeli ve Süreci

Deney tasarımı yöntemi temel olarak, faktörler, ayarlar ve bunlara bağlı olarak sistemin verdiği cevaptan oluşmaktadır.

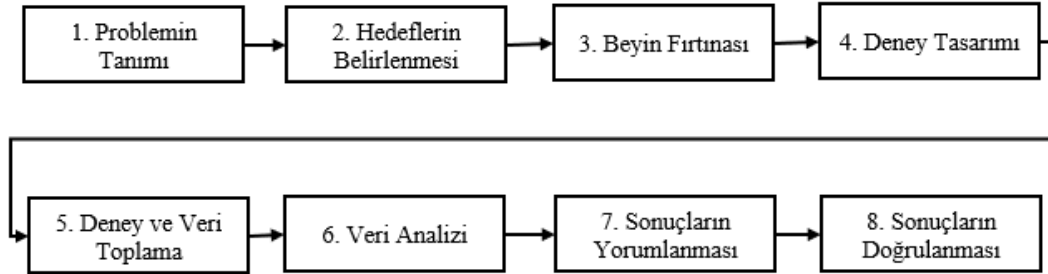
Faktörler, sistemin tasarım girdilerini oluşturmaktadır. Her tasarım girdisinin yapılan ayarına göre, sistemin verdiği cevap ve eğilimler istatistiksel olarak ortaya konulmaktadır. Deney tasarım süreci modeli Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Deney Tasarım Yöntemi Modeli

Kaynak: (Mongomery, (2001)

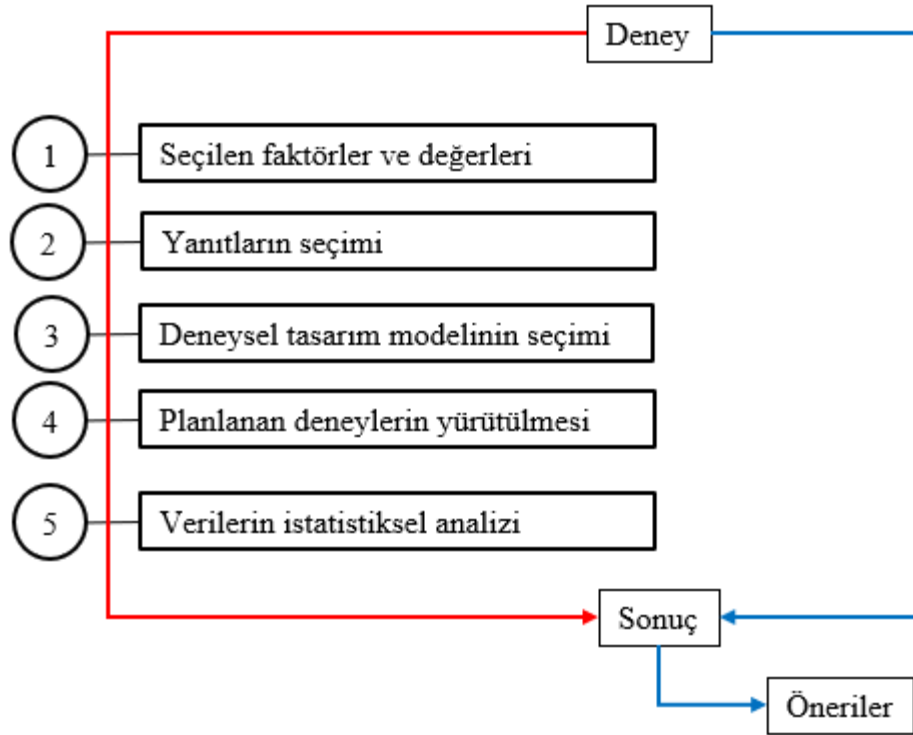
Deney tasarımı süreci, problemin tanımlanması ile başlar. Tanımlanan probleme göre hedefler belirlenerek beyin fırtınası yapılarak, deney tasarımı yapılır ve deneysel veri toplanır. Veri analizi ve sonuçlar yorumlanarak, yöntem ile elde edilen sonuçlar doğrulanarak süreç tamamlanır. Deney tasarımı yöntemi süreci Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.2: Deney Tasarım Yöntemi Süreci

Kaynak: (Upendra, K., 2013).

Deney tasarımı yöntemi ile ilgili birçok yöntem olmasına rağmen, yöntemlerin ortak süreçleri Şekil 3.3’de verilmiştir. Deney planı oluştururken Şekil 3.3’te verilen süreç adımlarından yararlanılabilir.



Şekil 3.3: Deney Tasarım Modeli Metodolojisi

Kaynak: (Yıldız ve diğerleri, 2021; Jacyna ve diğerleri, 2019)

3.4 Deney Tasarımı Yöntemleri

En yaygın olarak kullanılan deney tasarım yöntemleri iki başlık altında toplanmaktadır.

3.4.1 Tek faktör tasarımları

Tek faktör tasarımları, yalnızca bir faktörün araştırıldığı tasarımlardır ve amaç, cevabın farklı faktör seviyelerinde önemli ölçüde farklı olup olmadığını belirlemektir. Faktör niteliksel veya niceliksel olabilir. Niteliksel faktörler (örneğin farklı tedarikçiler, farklı malzemeler vb.) durumunda, test edilen seviyelerin dışında ekstrapolasyon yapılamaz ve yalnızca faktörün yanıt üzerindeki etkisi belirlenebilir. Öte yandan, faktörün nicel olduğu (örn. sıcaklık, voltaj, yük vb.) testlerden elde edilen veriler, yeterli verilerin mevcut olması koşuluyla hem etki araştırması hem de tahmin için kullanılabilir.

3.4.2 Faktöriyel tasarımları

Faktöriyel tasarımlarda, test sırasında birden fazla faktör aynı anda incelenir. Tek faktörlü tasarımlarda olduğu gibi, nitel ve/veya nicel faktörler dikkate alınabilir. Bu

tasarımların amacı, yanıt üzerinde önemli bir etkiye sahip olan faktörleri belirlemek ve etkileşimlerin etkisini araştırmaktır (kullanılan deney tasarımına bağlı olarak). Tahminler, nicel faktörler mevcut olduğunda da yapılabilir, ancak tahmine dayalı model seçiminde belirli tasarımlar çok sınırlı olduğundan dikkatli olunmalıdır. Örneğin, iki seviyeli tasarımlarda yanıt ve faktörler arasında gerçekçi olmayabilecek sadece doğrusal bir ilişki kullanılabilir. Faktöriyel tasarımlar kendi içerisinde beş farklı tipe ayrılır.

3.4.2.1 Genel tam faktöriyel tasarımlar

Genel tam faktöriyel tasarımlarda, her bir faktörün farklı sayıda seviyesi olabilir ve faktörler nicel, nitel veya her ikisi de olabilir.

3.4.2.2 İki seviyeli tam faktöriyel tasarımlar

Bunlar, her bir faktör için seviye sayısının iki ile sınırlandırıldığı faktöriyel tasarımlardır. Düzeyleri ikiye sınırlamak ve tam bir faktöriyel deney yürütmek, tedavilerin sayısını azaltır (genel bir tam faktöriyel deneye kıyasla) ve tüm faktörlerin ve tüm etkileşimlerinin araştırılmasına izin verir. Tüm faktörler nicel ise, bu tür deneylerden elde edilen veriler, yanıtı modellemek için doğrusal bir modelin uygun olması koşuluyla tahmin amacıyla kullanılabilir (yalnızca iki seviye kullanıldığından eğrilik modellenemez).

3.4.2.3 İki seviyeli kesirli faktöriyel tasarımlar

Bu, tüm faktör seviyesi kombinasyonlarının dikkate alınmadığı ve deneycinin hangi kombinasyonların hariç tutulacağını seçebileceği iki seviyeli tasarımlardan oluşan özel bir kategoridir. Hariç tutulan kombinasyonlara dayalı olarak, belirli etkileşimler belirlenemez.

3.4.2.4 Plackett-Burman tasarımları

Bu, R. L. Plackett ve J. P. Burman tarafından önerilen iki seviyeli kesirli faktöriyel tasarımların özel bir kategorisidir ve burada sadece etkileşim olmayan parametrelerin ana etkileri araştırmak için sadece birkaç özel olarak seçilmiş çalışma gerçekleştirilir.

3.4.2.5 Taguchi'nin ortogonal dizileri

Taguchi'nin ortogonal dizileri, sadece birkaç deneysel çalıştırma kullanarak ana

etkileri tahmin etmek için kullanılan oldukça kesirli tasarımlardır. Bu tasarımlar sadece iki seviyeli faktöriyel deneylere uygulanamaz, aynı zamanda faktörlerin ikiden fazla seviyeye sahip olduğu durumlarda ana etkileri araştırabilir. Dahil edilen faktörlerin aynı sayıda seviyeye sahip olmadığı belirli karma seviye deneyler için ana etkileri araştırmak için tasarımlar da mevcuttur.

3.4.3 Tepki yüzeyleri metodu tasarımı

Bunlar, yanıtın optimum değerini elde etmek için faktörlerin ayarlarını belirlemek için kullanılan özel tasarımlardır. Tepki yüzeyleri metodolojisinin temeli, herhangi bir fiziksel sisteme ait k sayıdaki bağımsız değişkene (x) bağlı olarak meydana gelen tepki hesaplamasına dayanır. Tekindal (2010) metodolojiyi Denklem 3.1 ve 3.2 ile modeller.

$$y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (3.1)$$

Bu denklemde,

y: Sistemin cevabı

X_k : Bağımsız değişkenler olarak adlandırılır.

Herhangi bir denemede gözlenen y' değerleri ile beklenen y değerleri arasındaki uyumsuzluk, sistemin hatası olarak yorumlanır ve ε ile gösterilir.

Herhangi bir denemede gözlenen değer, $y' = f(x) + \varepsilon$,

Tepki yüzey modelleri, değişkenler ve değişkenlerin interaksiyonlarını içeren 2. Derece veya 3 derece polinom denklemleri şeklinde olup böyle bir polinom denklemi teorik olarak

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon_0 \quad (3.2)$$

Bu denklemde,

y' : Sistemin tepkisi

β_0 : Model sabiti

$\beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$: Değişken katsayıları

X_i, X_j , Bağımsız değişken

ε_0 : Deneysel hata

Metodun çalışma sırası aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

1. Bağımsız değişkenlerin seçimi
2. Deneme deseninin çıkarılması
3. Kullanılacak değişkenlerin formu
4. Tepki ölçüm yöntemi
5. Model denkleminin çıkarılması
6. Model denkleminin uygunluğunun test edilmesi
7. Denemenin grafiksel gösterimi

3.4.4 Box-Wilson merkez esaslı kompozit tasarım (CCD)

Yöntem bir merkez noktalı tam ya da kısmi 2^k faktöriyel dağılımını içerir. Maksimum ve minimum değerleri bir faktör olarak tasarımda daima iki defa bulunmaktadır. Üç tip merkez esaslı kompozit tasarımı bulunmaktadır [65].

a. İlgi alanını dıştan çevreleyen tasarım (CCC), CCD' nin orijinal formudur. Tüm deney alanında yüksek bir tahminleme yapılması sağlanır. Her faktör için 5 seviyeye ihtiyaç vardır. Dizayn döndürülebilirlik özelliğine sahiptir.

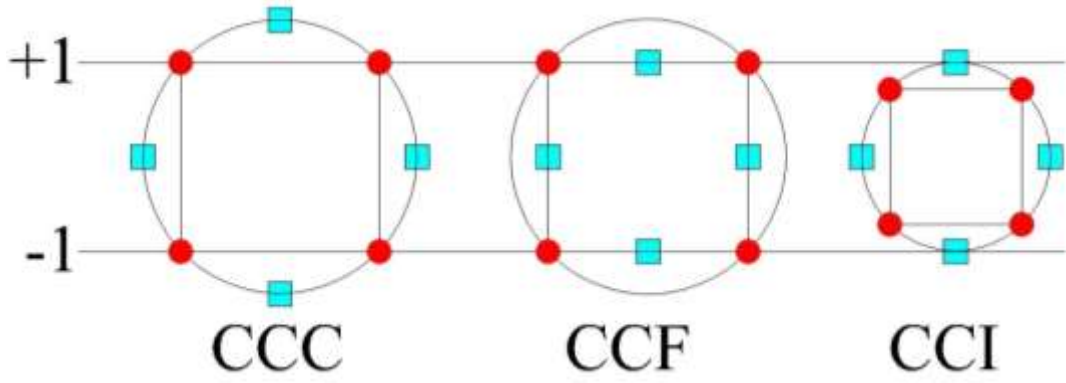
b. İlgi alanını içten çevreleyen tasarım (CCI), Belirli faktör limitlerinde tam ya da kısmi faktöriyel tasarım yaratır. CCC' nin her faktör seviyesinin ' α ' ile bölünmesiyle oluşur. Her faktör için 5 seviye istenir. Döndürülebilirlik özelliğine sahiptir. Değirmencioğlu ve diğerleri (2006), CCD tasarımındaki işlem sayısını Denklem 3.3 ve 3.4 ile hesaplar.

$$a = \text{İşlem Sayısı}^{1/4} \quad (3.3)$$

Eğer sistem tam faktöriyel ise,

$$a = (2k)^{1/4} \quad (3.4)$$

c. Yüzey merkezli tasarım (CCF), Her faktör için 3 seviye istenir. Döndürülebilirlik özelliği yoktur.



Şekil 3.4: Yüzey Merkezli Tasarımların Geometrik Yapılar

Kaynak: (Değirmencioğlu ve diğerleri, 2006)

Çizelge 3.1’de faktör sayısına bağlı olarak α değerinin değişimi verilmektedir.

Çizelge 3.1: Faktör Sayısına Bağlı Olarak α Değerleri

Tasarım	Faktöriyel Bölüm	± 1 'e bağlı α değerleri
2	2^2	$2^{2/4} = 1.414$
3	2^3	$2^{3/4} = 1.862$
4	2^4	$2^{4/4} = 2.000$

Kaynak: (Değirmencioğlu ve diğerleri, 2006)

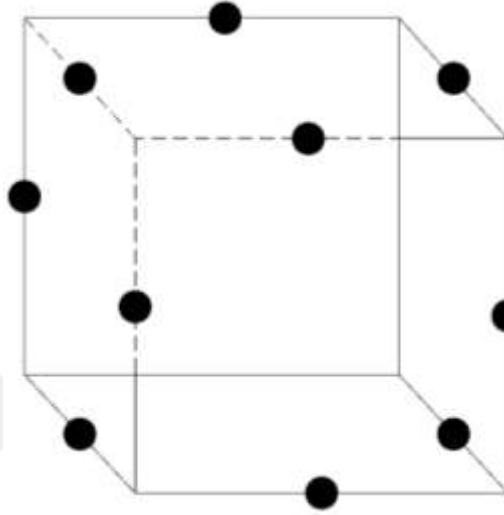
3.4.5 Box-Behnken tasarımı

Çalışma kapsamında kullanılan deney tasarımı yöntemi, Solidworks üç boyutlu tasarım ve simülasyon programı içine entegre edilmiş olan deney tasarım yöntemi kullanılarak deney tasarımı çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda Solidworks programı, deney tasarımında yüksek kalite ayarı için Box-Behnken, ikinci dereceden tasarım ve hızlı sonuçlar ayarı için Rehtschafner ikinci dereceden planını kullanmaktadır (Değirmencioğlu ve diğerleri, 2006; Karadaş 2010).

Yöntem, tam ya da kısmi faktöriyel tasarımları içermeyen, bağımsız karesel dizayndır. Bu yöntemde çözüm bileşenleri, süreç yüzeyinin kenarlarının orta noktaları ve merkezidir. En az işlem gerektirir. Her faktör için üç seviyeye ihtiyaç vardır. Tam ya da kısmen döndürülebilir. Tasarımın geometrisi işlem aralığında küre oluşturur. Bu yöntemde faktörlerin nicel olması gerekir. Bu tasarımlar geometrik olarak Şekil 3.2’de gösterilmiştir (Değirmencioğlu ve diğerleri, 2006; Karadaş 2010).

Box-Behnken tasarımı, yöntemi modelleyen ikinci derece polinom um yanıt

yüzeyleri yöntemine entegre edilmesiyle oluşturulmuş verimli bir tasarım yöntemidir. Aynı sayıda faktöre sahip merkezi kompozit tasarımlara göre, daha az deney sayısı ile tüm deney parametrelerinin etkilerini belirleyebilen bir yöntemdir. Bu yöntemde tasarım noktası sayısı polinom katsayılarının sayısı kadar artar (Raghupathy ve Amirthagadeswaran, 2014). Değirmencioğlu ve diğerleri (2006) toplam deneme sayısını Denklem 3.5 ve 3.6 ile tarif etmektedir.



Şekil 3.5: Box-Behnken Tasarımı

Kaynak: (Değirmencioğlu ve diğerleri, 2006)

$$TDS = 2^k + 2k + m \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'te,

TDS, Toplama deneme sayısını göstermekte olup, 'TDS değeri faktör sayısına bağlı olarak 15-20-25 olarak değişmektedir.

k: Faktör sayısını

2^k : Faktöriyel deneme sayısı

2k: Yıldız noktalı deneme sayısı

m: Merkezdeki deneme sayısını göstermektedir.

Bu tasarım, çözünürlük V tipindeki 2k ve 3k faktöriyel tasarımlarının doymuş parçalarından oluşan ortogonal tasarımlardır. Tüm ana faktör etkileri ve birinci dereceden ikili etkileşimler, birbirine karıştırılmadan tahmin edilebilir.

Rechtschaffner tasarımı 6 adet ve üzerinde faktör olduğunda ve ana faktör etkilerinin

yanı sıra, bu faktörlerin birbirleriyle olan birinci derece etkileşimlerinin de değerlendirilmesi gereken durumlar için elverişlidir. Rechtschaffner tasarımı için yapılması gereken deneme sayısı denklem 3.7’de verilmiştir.

$$N = 1 + k + \frac{k(k - 1)}{2} \quad (3.6)$$

Farklı deney tasarımı yöntemlerinin üç bağımsız değişken ve beş seviyeli merkez esaslı dizayna bağlı olarak deneme sayıları Şekil 3.6’da verilmektedir.

CCC ve CCI				CCF				BOX-BEHNKEN			
İşlem Sayısı	X ₁	X ₂	X ₃	İşlem Sayısı	X ₁	X ₂	X ₃	İşlem Sayısı	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	0
1	+1	-1	-1	1	+1	-1	-1	1	+1	-1	0
1	-1	+1	-1	1	-1	+1	-1	1	-1	+1	0
1	+1	+1	-1	1	+1	+1	-1	1	+1	+1	0
1	-1	-1	+1	1	-1	-1	+1	1	-1	0	-1
1	+1	-1	+1	1	+1	-1	+1	1	+1	0	-1
1	-1	+1	+1	1	-1	+1	+1	1	-1	0	+1
1	+1	+1	+1	1	+1	+1	+1	1	+1	0	+1
1	-1.682	0	0	1	-1	0	0	1	0	-1	-1
1	+1.682	0	0	1	+1	0	0	1	0	+1	-1
1	0	-1.682	0	1	0	-1	0	1	0	-1	+1
1	0	+1.682	0	1	0	+1	0	1	0	+1	+1
1	0	0	-1.682	1	0	0	-1	3	0	0	0
1	0	0	+1.682	1	0	0	+1				
6	0	0	0	6	0	0	0				
TOPLAM İŞLEM: 20				TOPLAM İŞLEM: 20				TOPLAM İŞLEM: 15			

Şekil 3.6: Üç Bağımsız Değişken ve Beş Seviyeli Merkez Esaslı Kompozit Tasarımlar ve Dizayna Bağlı Olarak Toplam Deneme sayıları

Kaynak: (Değirmencioglu ve diğerleri, 2006)

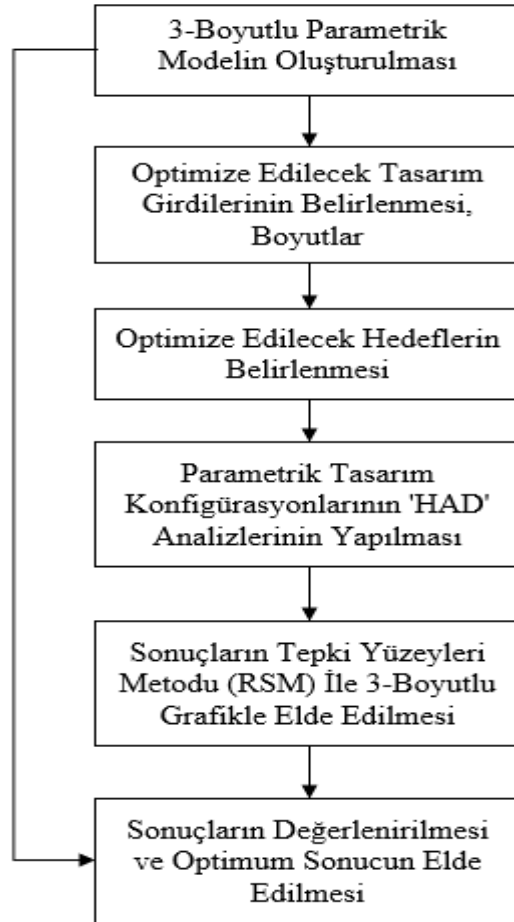
3.5 Deney Tasarımı ve Su Jeti Ejektörü Optimizasyonu

Çalışma kapsamında üç boyutlu tasarım ve analiz yazılımı Solidworks programı içine entegre edilmiş olan deney tasarım modülü kullanılmıştır. Tasarım etüdü, optimizasyon sürecini hızlandırmak için yazılımın parametrik tabanlı modelleme ve otomatik yenileme yeteneklerinden yararlanır. Yazılım, eğilimleri hızlı bir şekilde algılayan ve en az sayıda çalıştırmada optimum çözümü belirleyen bir teknolojiyle donatılmıştır. Yazılım deney tasarımı yönteminde önceki bölümde detayları verilen

Box-Behnken ikinci dereceden planını ve hızlı Sonuçlar ayarı için Rechtschafner ikinci dereceden planını kullanır.

3.5.1 Deney tasarımı adımları

Programın deney tasarımı modülünü kullanabilmek için öncelikle, optimizasyon çalışması yapılacak geometrinin parametrik tasarımı yapılır. Parametrik tasarımı yapılan geometri üzerinden optimize edilmek istenilen geometrik boyutlar seçilir. Bununla birlikte çalışmada optimize edilmek istenilen hedefler belirlenerek, çalışmada yapılacak deney tasarımı (konfigürasyon) sayıları belirlendikten sonra program çalıştırılarak, her konfigürasyon için HAD analizleri yapılarak, hedef fonksiyonlarının sonuçları hesaplanır. Hesaplanan sonuçlar, yüzey tepkileri yöntemi metodu ile görsellenerek, geometrik boyutların etkilerinin eğilimleri belirlenerek, sonuçlar değerlendirilir. Solidworks deney tasarımı optimizasyon yöntemi adımları Şekil 3.7’de verilmiştir. Solidworks deney tasarımı yöntemi arayüzü Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.7: Solidworks Deney Tasarımı (DoE) Yöntemi Uygulama Adımları

Summary	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3	Experiment 4	Experiment 5	Experiment 6	Experiment 7	Experiment 8	Experiment 9	Experiment 10	Experiment 11	Experiment 12	Experiment 13	Experiment 14	Experiment 15
D1@Sketch3@Design_3R.Part [mm]	75	78.5714286	71.4285714	53.5714286	64.2857143	67.8571429	85.7142857	60.7142857	50	96.4285714	82.1428571	57.1428571	100	92.8571429	89.2857143
D8@Sketch2@Design_3R.Part [mm]	400	485.714286	271.428571	442.857143	571.428571	185.714286	100	142.857143	357.142857	314.285714	700	657.142857	528.571429	228.571429	614.285714
D9@Sketch2@Design_3R.Part [mm]	90	100	80	97.1428571	81.4285714	98.5714286	87.1428571	88.5714286	85.7142857	84.2857143	92.8571429	91.4285714	94.2857143	95.7142857	82.8571429
SG Mass Flow Rate 3E1kCks [kg/s]	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
SG Mass Flow Rate 11_Emme [kg/s]	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
SG Mass Row Rate 15_Pompa [kg/s]	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
EjectorEfficiency []	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Status	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated
Run at	[auto]	[auto]	[auto]	[auto]	[auto]	[auto]	[auto]	[auto]	[auto]	[auto]	[auto]	[auto]	[auto]	[auto]	[auto]
Number of cores	[use all]	[use all]	[use all]	[use all]	[use all]	[use all]	[use all]	[use all]	[use all]	[use all]	[use all]	[use all]	[use all]	[use all]	[use all]
Recalculate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tasarım Girdileri ve Değişkenler

- Ejektör Emme Çapı,
- Difüzör Uzunluğu
- Ejektör Çıkış Çapı

Çıkış Parametreleri (Optimizasyon Hedefi)

- Ejektör Emme Debisi
- Ejektör Çıkış Debisi
- Ejektör Toplam Debisi

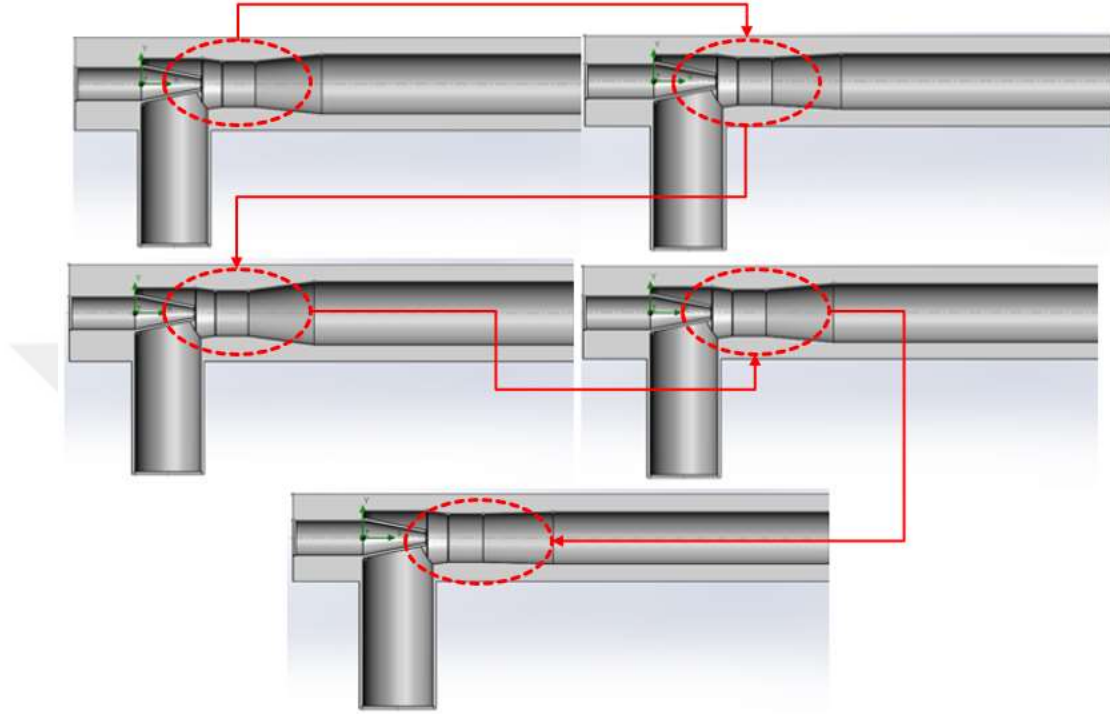
Nümerik Hesaplamalar

Tasarım konfigürasyonları

Şekil 3.8: Solidworks Deney Tasarımı Yöntemi Ara Yüzü

3.6 Deneysel Tasarımla Oluşturulan Tasarım Konfigürasyonları

Su jeti ejektörü optimizasyonu kapsamında, parametrik olarak oluşturulan geometrik konfigürasyonlar Şekil 3.9’da verilmektedir.



Şekil 3.9: Deneysel Tasarımla Oluşturulan Tasarım Konfigürasyonları

Şekil 3.9’da oluşturulan tasarım konfigürasyonları, su jeti ejektörünün karışım odası çapının, programda oluşturulan tasarım büyüklüğüne göre parametrik olarak oluşturulup, oluşturulan konfigürasyonun sayısal analizi yapılarak hedef fonksiyonları hesaplanmaktadır.

3.6.1 Geometrinin boyutsuzlaştırılması

Ejektörlerde sabit basınç altında nozul çıkışındaki debi değeri sabit olmasından dolayı, pompanın sabit basınç ve debisinde, ejektörün geometrik çaplarının ejektör emme kapasitesine ve verimine etkilerini görebilmek için, geometrik çaplar nozul çapına ‘ d_s ’ göre boyutsuz yapılmıştır. Literatürde yapılan araştırmalarda karışım odası ejektör performansına etki yapan geometrik boyutlardan biri olmasından dolayı, boyut çap oranlarını belirlemek içinse, uzunluklar karışım odası çapı ‘ d_m ’ ye göre boyutsuz hale getirilmiştir.

3.7 Su Jeti Ejektörü Karıştırma Odası (dm/ds) ve Karıştırma Odası Uzunluğunun (Lm/dm) Su Jeti Emme Kapasitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Bu çalışma kapsamında karıştırma odası çapının (dm) ve uzunluğunun (Lm) su jeti ejektörü emme kapasitesi ve verimine etkisi araştırılmıştır.

Solidworks DOE yazılımı ile oluşturulan tasarım konfigürasyonları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Karıştırma odası çapı (dm), nozul çapına (ds) göre boyutsuz hale getirilmiş ve optimizasyon çalışmasında (dm/ds) olarak tanımlanmıştır. Karıştırma odası uzunluğu (Lm), karıştırma odası çapına (dm) göre boyutsuz hale getirilmiş ve çalışmada (Lm/dm) olarak tanımlanmıştır.

Geometrik boyutsuz tasarım parametreleri dm/ds ve Lm/dm olup, yazılım tarafından Çizelge 3.2'de gösterildiği gibi 16 farklı tasarım konfigürasyonu oluşturulmuştur. Oluşturulan tasarım konfigürasyonlarına göre, yazılımın parametrik olarak yaptığı HAD hesaplamaları sonucunda elde edilen ejektör emme kapasitesi ve verim değerleri de Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2'de ejektör emme kapasitesi ve verim değerleri HAD analizi sonucunda elde edilen en büyük değer '100' kabul edilerek, diğer sonuçlar buna göre orantılı yapılmıştır.

3.7.1 'dm/ds' karışım odası çapının etkilerinin incelenmesi

On altı farklı 'dm/ds' parametrik konfigürasyondan elde edilen sonuçlar analiz edildiği zaman, ejektör emme kapasitesi için optimum dm/ds oranı ise 4.57'dir. Ejektör verimi incelendiğinde ise optimum dm/ds oranı 5'tir. 'dm/ds' oranının 4.14-5 arasında ejektör emme kapasitesinin ve veriminin maksimum değerlere ulaştığı Çizelge 3.2'de görülmektedir.

3.7.2 'Lm/dm' karışım odası uzunluğunun etkilerinin incelenmesi

On altı farklı 'Lm/dm' parametrik konfigürasyondan elde edilen sonuçlar analiz edildiği zaman, ejektör emme kapasitesi için optimum Lm/dm oranı ise 3.18'dir. Ejektör verimi incelendiğinde ise optimum Lm/dm oranı 4.55'tir. 'Lm/dm' oranının 3.18 -5 arasında ejektör emme kapasitesinin ve veriminin maksimum değerlere

ulaştığı Çizelge 3.2’de görülmektedir.

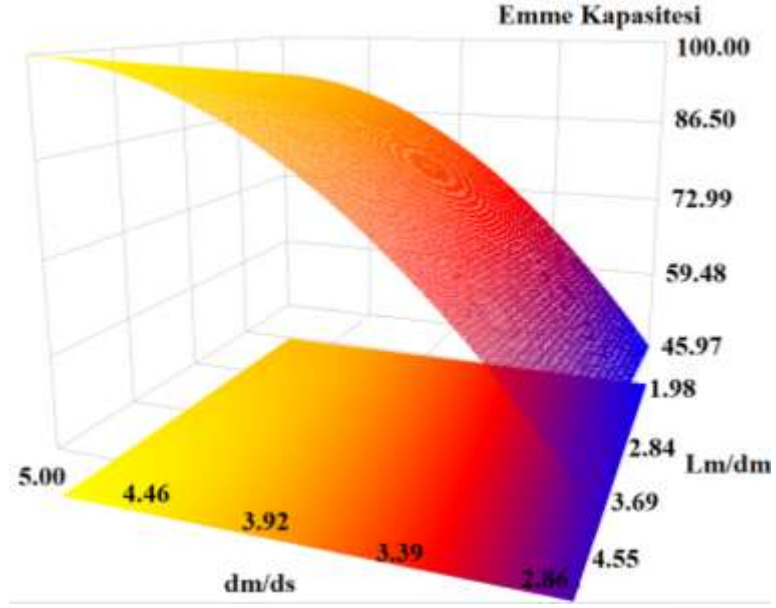
3.7.3 Yüzey tepkileri (RSM) yöntemi ile sonuçların ve eğilimlerin ejektör emme kapasitesine olan etkilerinin analiz edilmesi

HAD hesaplamaları sonucunda elde edilen, dm/ds ve Lm/dm oranlarının değişimlerinin ejektör emme kapasitesine olan etkileri üç boyutlu olarak Şekil 3.10’da verilmektedir.

Çizelge 3.2: dm/ds ve Lm/dm Oranları İçin Tasarım Girdileri ve Sonuçlar

Tasarım Konfigurasyonları	dm/ds	Lm/dm	Ejektör Emme Kapasitesi- kg/s	Ejektör Verimi- %
Tasarım-1	5.00	4.55	87.84	100
Tasarım-2	2.86	1.99	42.44	12.81
Tasarım-3	4.46	1.14	84.18	23.46
Tasarım-4	5.00	3.69	87.70	92.08
Tasarım-5	3.93	2.84	78.53	12.78
Tasarım-6	3.39	4.55	61.00	5.72
Tasarım-7	4.29	4.32	93.09	70.70
Tasarım-8	4.14	1.82	83.84	15.42
Tasarım-9	3.71	2.27	60.81	3.07
Tasarım-10	3	3.86	61.82	2.18
Tasarım-11	4.86	1.59	85.42	50.68
Tasarım-12	4.71	2.50	88.37	57.21
Tasarım-13	3.14	2.73	61.47	8.06
Tasarım-14	3.57	3.41	66.08	10.35
Tasarım-15	4.57	3.18	100	81.08
Tasarm-16	3.29	1.36	57.62	6.88

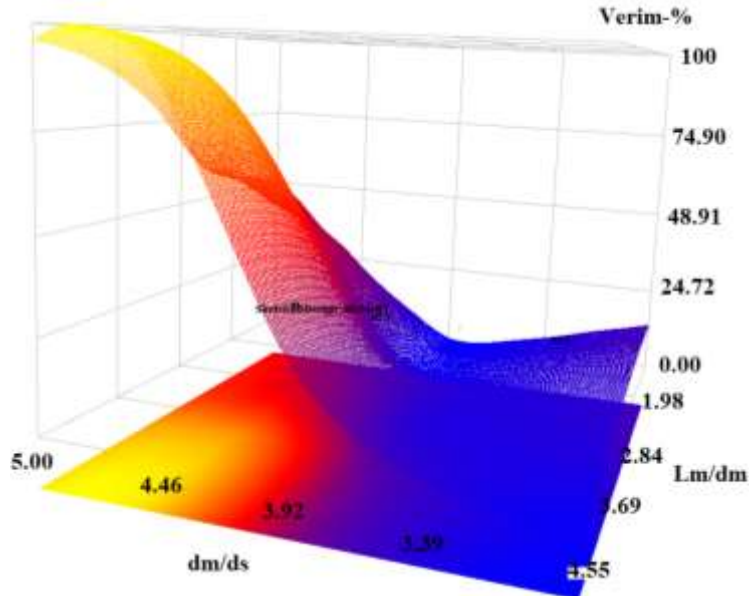
‘ dm/ds ’ ve ‘ Lm/dm ’ oranları arttıkça ejektör emme kapasitesine olumlu etki yaptığı görülmektedir. Ejektör emme kapasitesi için optimum dm/ds oranının ‘5’, optimum ‘ Lm/dm ’ oranının ise 4.55 olduğu Şekil 3.10’da görülmektedir.



Şekil 3.10: dm/ds ve Lm/dm Parametrelerinin Ejektör Emme Kapasitesine Etkilerinin 3-b Grafikle İncelenmesi.

3.7.4 Yüzey tepkileri (RSM) yöntemi ile sonuçların ve eğilimlerin ejektör verimi üzerine olan etkilerinin analiz edilmesi

HAD hesaplamaları sonucunda elde edilen, dm/ds ve Lm/dm oranlarının değişimlerinin ejektör verimine olan etkileri üç boyutlu olarak Şekil 3.11’de verilmektedir.



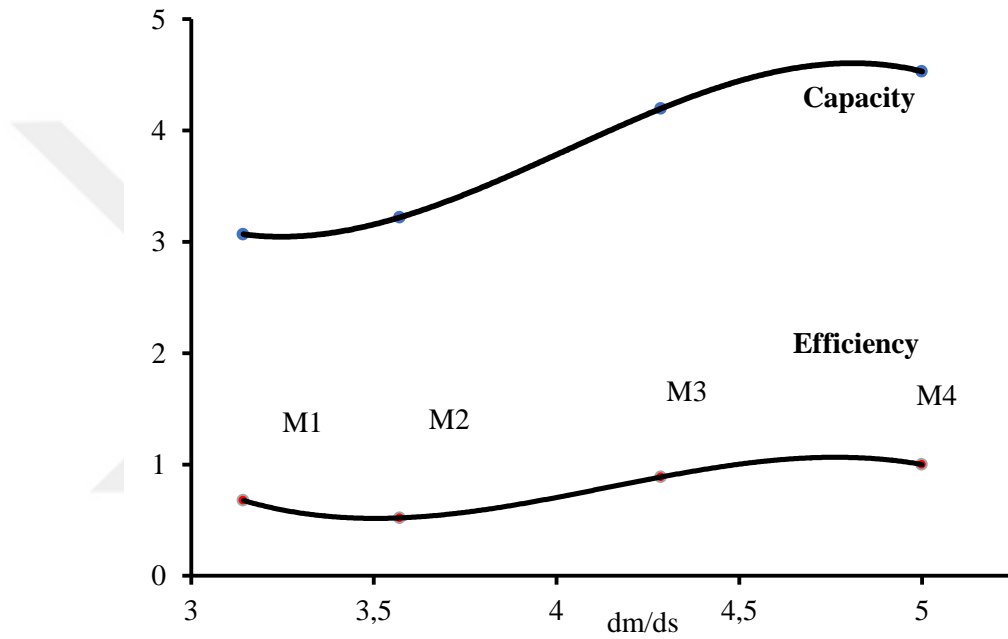
Şekil 3.11: dm/ds ve Lm/dm Parametrelerinin Ejektör Verim Üzerine Etkilerinin 3-b Grafikle İncelenmesi.

‘ dm/ds ’ ve ‘ Lm/dm ’ oranları arttıkça ejektör verimine olumlu etki yaptığı

görülmektedir. Ejektör verimi için optimum dm/ds oranının '5', optimum ' Lm/dm ' oranının ise 4.55 olduğu Şekil 3.11'de görülmektedir.

3.7.5 Karışım odası çapının (dm/ds) değişiminin emme kapasitesine ve ejektör verimine etkisinin sayısal incelenmesi

Dm/ds oranının farklı değerleri için, deney tasarımı yöntemi kapsamında gerçekleştirilen sayısal analiz sonuçları incelendiğinde, dm/ds oranı arttıkça, ejektör emme kapasitesinin ve veriminin arttığı arttığı, Şekil 3.12'de görülmektedir.

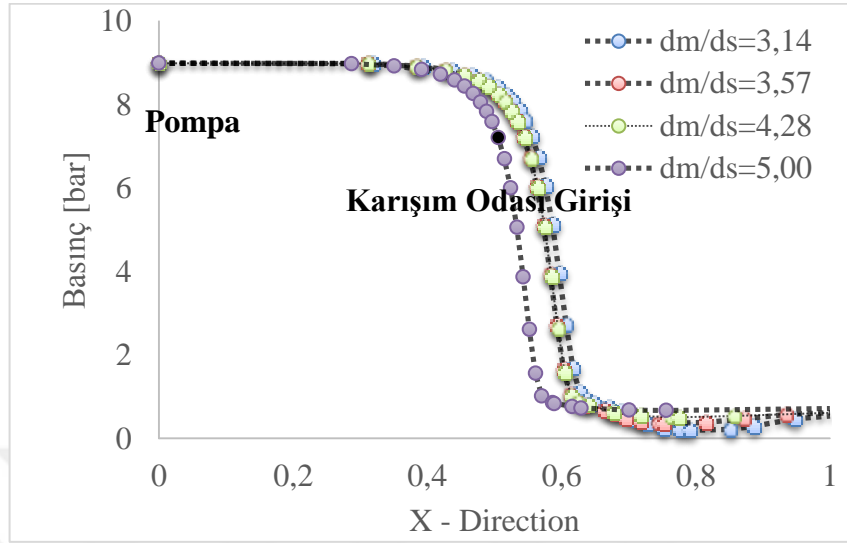


Şekil 3.12: Karışım Odası Çapının (dm/ds) Değişiminin Ejektör Emme Kapasitesine ve Verimine Etkisinin Sayısal İncelenmesi

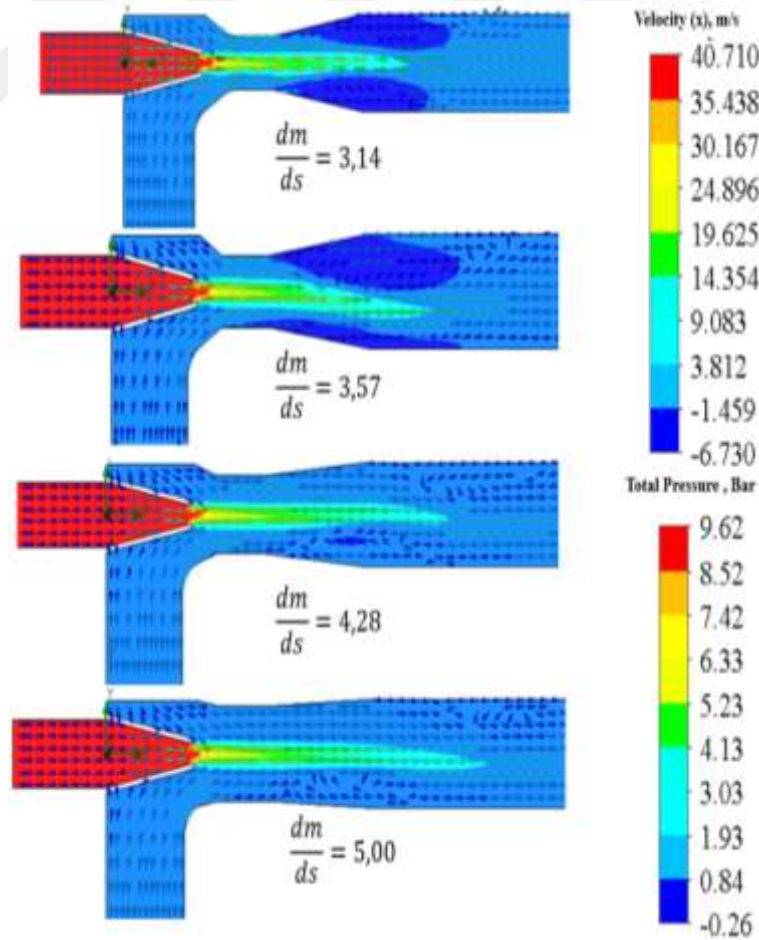
Bununla birlikte yapılan boyutsuz analizde farklı dm/ds oranlarında ejektörün yatay eksenini boyunca gerçekleşen statik basınç değişimi Şekil 3.13'te verilmiştir. Başlangıçta 9 bar değerinden başlayan pompa basıncı, ejektör nozul çıkışında ani düşme göstermekte olup, bu değer yaklaşık 9 bar'dan 1 bar mertebelerine kadar düşmekte olup, bu ani statik basınç düşüşü ejektörün emme bölgesinde vakum etkisi oluşturmaktadır. Oluşan vakum etkisi ile ejektörün emme tarafında bulunan rezervuar veya havuzdan ejektörün akışkanı tahliye etmesine sebep olmaktadır.

Farklı dm/ds oranlarında ejektör simetri ekseninde meydana gelen toplam basınç konturları ve mutlak hız vektörlerinin değişimi Şekil 3.14'te verilmiştir. Statik basınç konturları ve mutlak hız vektörlerinin değişimleri incelendiğinde dm/ds oranı arttıkça

ejektör simetri düzleminde akış ayrılmaları ve toplam basınç kayıplarının azalmasından dolayı, dm/ds oranı arttıkça ejektör verim ve emme kapasitesi de arttığı verilen üç boyutlu grafiklerden de doğrulanmaktadır.



Şekil 3.13: Ejektör X-Ekseni Boyunca Statik Basınç Değişimi



Şekil 3.14: Ejektör Simetri Düzleminde Toplam Basınç Konturları ve Mutlak Hız Vektörleri

3.8 Su Jeti Ejektörü Emme Çapının (de), Difüzör Çıkış Çapı (dd) ve Difüzör Uzunluğunun (Ld) Su Jeti Emme Kapasitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Bu çalışmada emiş çapının 'de', difüzör uzunluğunun 'Ld' ve difüzör çıkış çapının 'dd' tasarım parametrelerinin, ejektör emiş kapasitesi ve verimine etkisi deney tasarımı yöntemi ile araştırılmıştır.

Tasarım konfigürasyonları, aşağıda tanımlanan üç boyutsuz parametre 'de/ds, 'dd/ds' ve 'Ld/dm' değerleri için Çizelge 3.3 'te verilmiştir.

Ejektör emiş çapı 'de', nozul çapına 'ds' göre boyutsuz hale getirilmiş ve çalışmada 'de/ds' olarak tanımlanmıştır. Difüzör uzunluğu 'Ld', karıştırma odası çapına 'dm' göre boyutsuz hale getirilmiş ve çalışmada 'Ld/dm' olarak tanımlanmıştır. Difüzör çıkış çapı 'dd', nozul çapına 'ds' göre boyutsuz hale getirilmiş ve çalışmada (dd/ds) olarak tanımlanmıştır.

Farklı de/ds, dd/ds ve Ld/dm boyutsuz oranlarının ejektör emiş kapasitesi ve verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Geometrik boyutsuz tasarım parametreleri de/ds, dd/ds ve Lm/dm için, optimum çözümü bulabilmek için yazılım tarafından Çizelge 3.3'te gösterildiği gibi 15 farklı tasarım konfigürasyonu oluşturulmuştur. Oluşturulan tasarım konfigürasyonlarına göre, yazılımın parametrik olarak yaptığı HAD hesaplamaları sonucunda elde edilen ejektör emme kapasitesi ve verim değerleri de Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3'te ejektör emme kapasitesi ve verim değerleri, HAD analizi sonucunda elde edilen en büyük değer '100' kabul edilerek, diğer sonuçlar buna göre orantılı yapılmıştır.

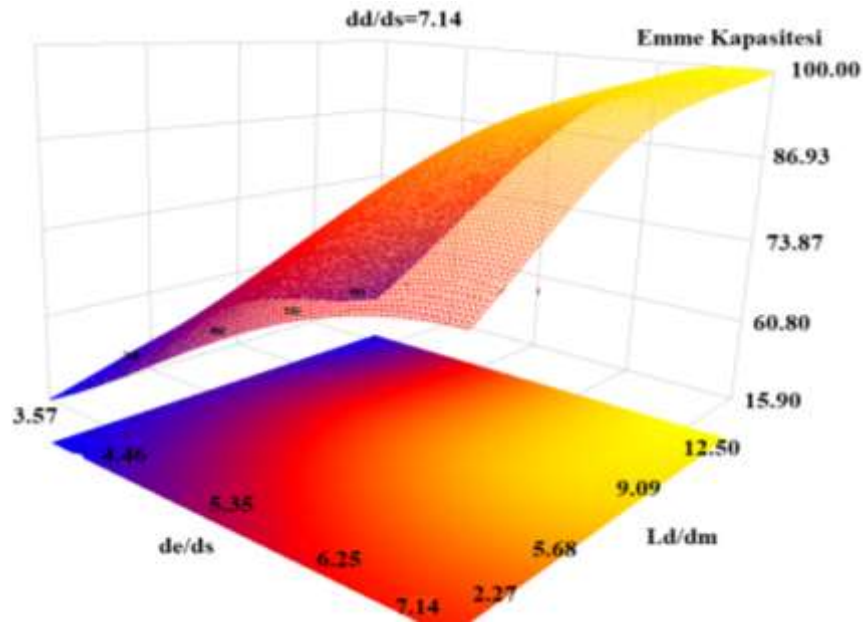
3.8.1 'de/ds', 'dd/ds' ve 'Ld/dm' parametrelerinin ejektör emme kapasitesine etkilerinin incelenmesi

On altı farklı 'de/ds' parametrik konfigürasyonlarından deney tasarımı yöntemi ile elde edilen sonuçlar analiz edildiği zaman, farklı 'dd/ds' oranlarında, 'de/ds' ve 'Ld/dm' konfigürasyonlarının ejektör emme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Çizelge 3.2 incelendiğinde, optimum ejektör emme kapasitesi 'de/ds' 6.63 değerinde ulaştığı görülmektedir. Optimum ejektör verimi ise 'de/ds' 6.88 değerinde ulaştığı görülmüştür.

$dd/ds = 7.14$ değerinde oranlarında 'de/ds' ve 'Ld/dm' geometrik konfigürasyonlarına bağlı olarak elde, deney tasarımı yönteminden elde edilen üç boyutlu ejektör emme kapasitesinin değişimi Şekil 3.15'de görülmektedir. Burada optimum $de/ds=7.14$, $Ld/dm = 15.90$ olduğu görülmektedir.

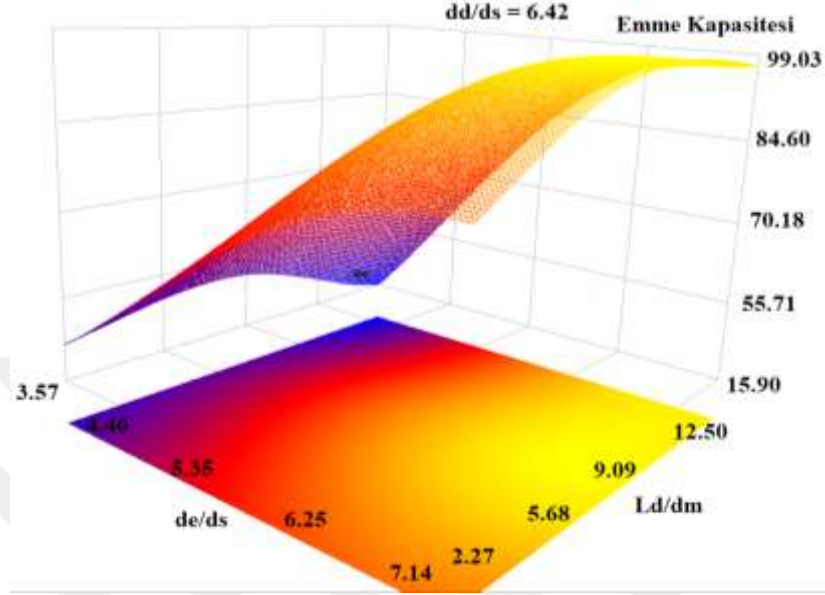
Çizelge 3.3: 'de/ds', 'dd/ds' ve Lm/dm Oranları İçin Tasarım Girdileri ve Sonuçlar

Tasarım Konfigürasyonları	de/ds	dd/ds	Ld/dm	Ejektör Emme Kapasitesi- %	Ejektör Verimi- %
Tasarım-1	5.35	6.42	5.71	24.83	78.24
Tasarım-2	5.61	7.14	6.93	87.38	57.99
Tasarım-3	5.10	5.71	3.87	89.79	87.11
Tasarım-4	3.82	6.93	6.32	75.84	49.22
Tasarım-5	4.59	5.81	8.16	58.90	54.45
Tasarım-6	4.84	7.04	2.65	62.17	35.42
Tasarım-7	6.12	6.22	1.42	67.37	61.69
Tasarım-8	4.33	6.32	2.04	81.00	50.77
Tasarım-9	3.57	6.12	5.10	60.40	52.37
Tasarım-10	6.88	6.02	4.48	50.66	100.00
Tasarım-11	5.86	6.63	10.00	94.20	79.59
Tasarım-12	4.08	6.53	9.38	93.52	50.45
Tasarım-13	7.14	6.73	7.55	55.25	82.71
Tasarım-14	6.63	6.83	3.26	100.00	33.30
Tasarm-15	6.37	5.91	8.77	89.37	87.94



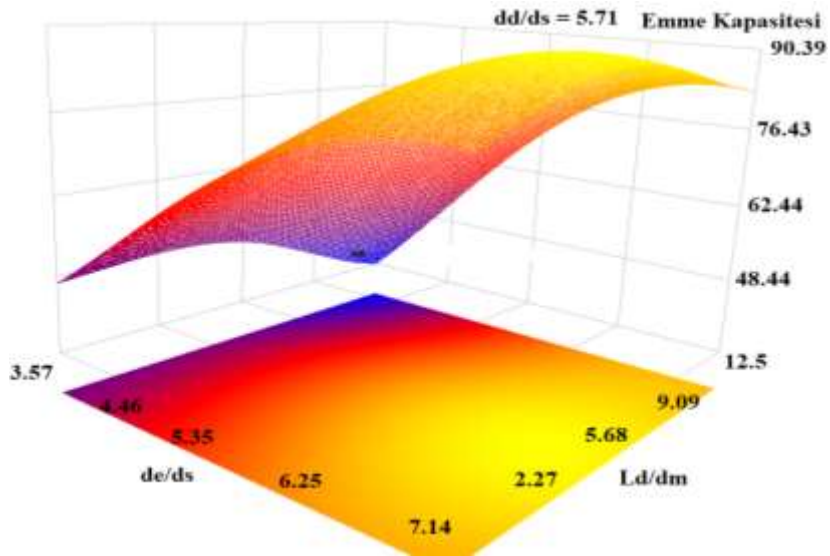
Şekil 3.15: $dd/ds=7.14$ Değerinde 'de/ds' ve 'Ld/dm' Değişimlerinin Ejektör Emme Kapasitesine Etkisinin 3-Boyutlu 'RSM' İle Gösterilmesi

' $dd/ds=6.42$ ' değerinde oranlarında ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' geometrik konfigürasyonlarına bağlı olarak elde, deney tasarımı yönteminden elde edilen üç boyutlu ejektör emme kapasitesinin değişimi Şekil 3.16'da görülmektedir. Burada optimum $de/ds=6.25-7.14$, $Ld/dm = 12.50-15.90$ olduğu görülmektedir.



Şekil 3.16: $dd/ds=6.42$ Değerinde ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' Değişimlerinin Ejektör Emme Kapasitesine Etkisinin 3-Boyutlu 'RSM' İle Gösterilmesi

' $dd/ds = 5.71$ ' değerinde oranlarında ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' geometrik konfigürasyonlarına bağlı olarak elde, deney tasarımı yönteminden elde edilen üç boyutlu ejektör emme kapasitesinin değişimi Şekil 3.17'de görülmektedir. Burada optimum $de/ds=6.25-7.14$, $Ld/dm = 12.50-15.90$ olduğu görülmektedir.



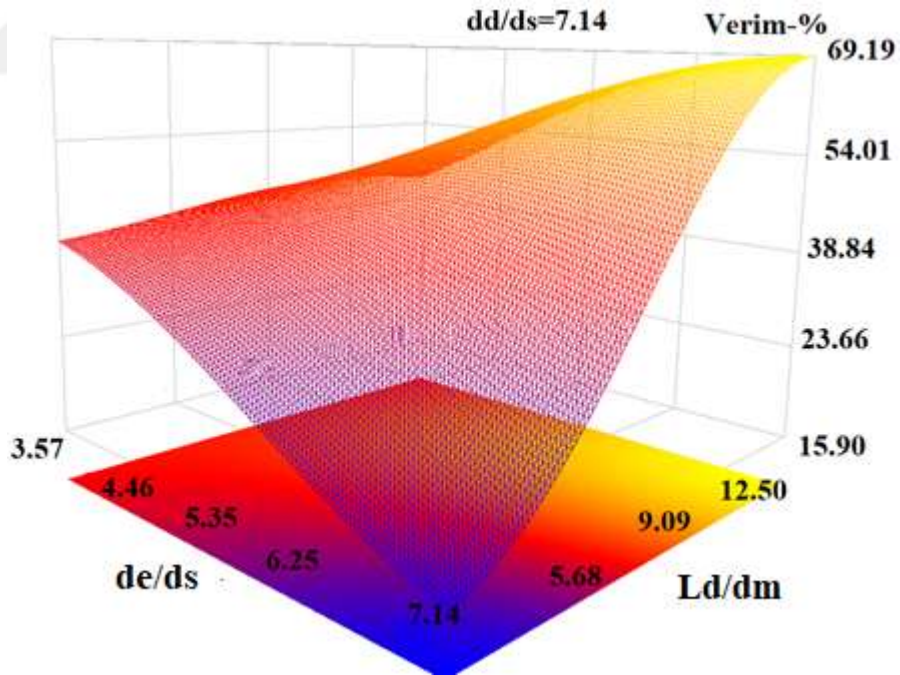
Şekil 3.17: ' $dd/ds=5.71$ ' Değerinde ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' Değişimlerinin Ejektör Emme Kapasitesine Etkisinin 3-Boyutlu 'RSM' İle Gösterilmesi

Ejektör emme kapasitesini üç boyutlu olarak farklı dd/ds oranlarında veren yukarıdaki grafiklerde, ' dd/ds ' oranı küçüldükçe ejektör emme kapasitesinin düştüğü görülmektedir.

3.8.2 ' de/ds ', ' dd/ds ' ve ' Ld/dm ' parametrelerinin ejektör verimi üzerine olan etkilerinin incelenmesi

On altı farklı ' de/ds ' parametrik konfigürasyonlarından deney tasarımı yöntemi ile elde edilen sonuçlar analiz edildiği zaman, farklı ' dd/ds ' oranlarında, ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' konfigürasyonlarının ejektör verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Çizelge 3.2 incelendiğinde, optimum ejektör verimi ' de/ds ' 6.88 değerinde ulaştığı görülmektedir. Optimum ejektör verimi ise ' Ld/dm ' 4.48 değerinde ulaştığı görülmüştür.

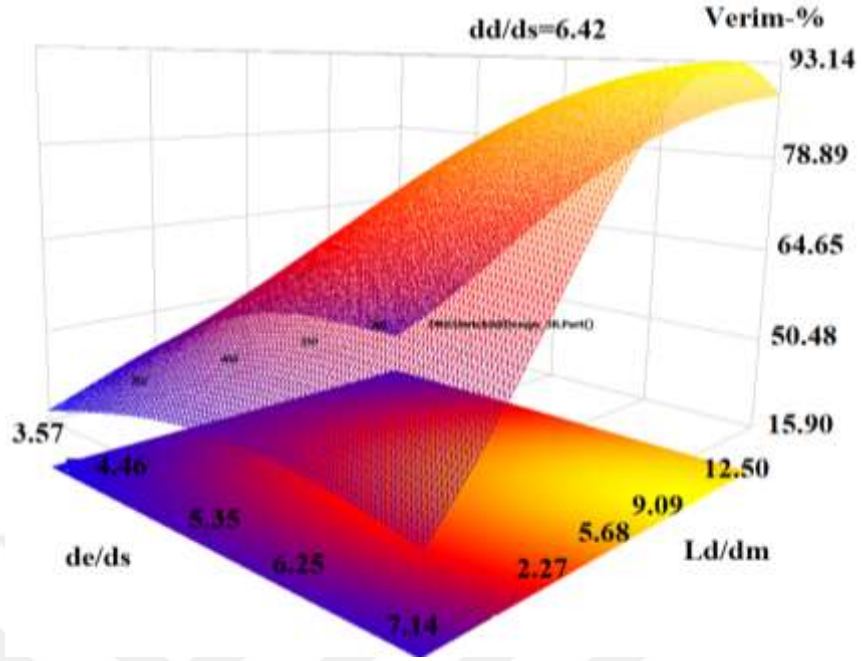
$dd/ds = 7.14$ değerinde oranlarında ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' geometrik konfigürasyonlarına bağlı olarak elde, deney tasarımı yönteminden elde edilen üç boyutlu ejektör veriminin değişimi Şekil 3.18'de görülmektedir. Burada optimum $de/ds=7.14$, $Ld/dm = 15.90$ olduğu görülmektedir.



Şekil 3.18: $dd/ds=7.14$ Değerinde ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' Değişimlerinin Ejektör Verimine Etkisinin 3-Boyutlu 'RSM' İle Gösterilmesi

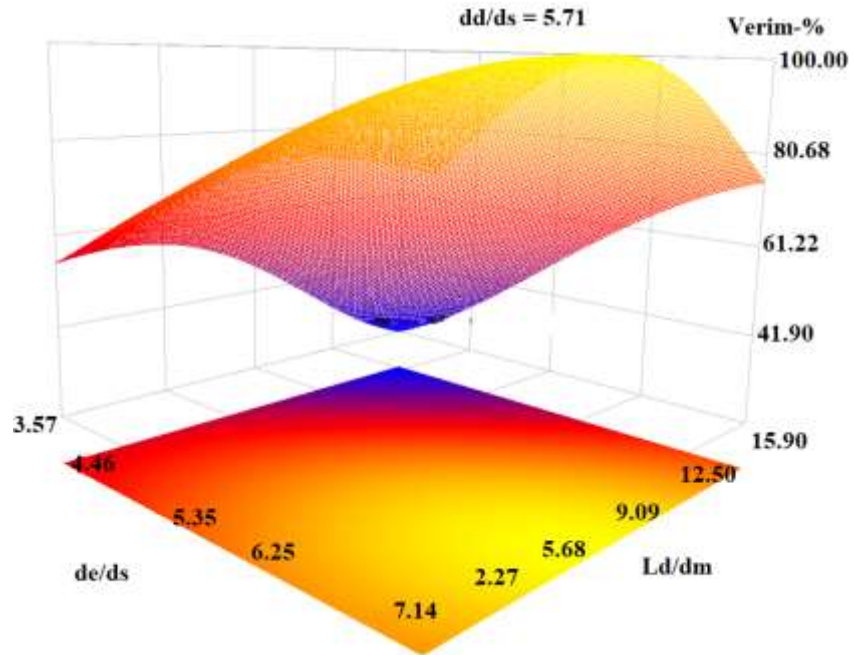
$dd/ds = 6.42$ değerinde ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' geometrik konfigürasyonlarına bağlı olarak, deney tasarımı yönteminden elde edilen üç boyutlu ejektör veriminin değişimi Şekil 3.19'da görülmektedir. Burada optimum $de/ds=6.25-7.14$, $Ld/dm =$

12.5-15.90 olduğu görülmektedir.



Şekil 3.19: $dd/ds=6.42$ Değerinde ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' Değişimlerinin Ejektör Verimine Etkisinin 3-Boyutlu 'RSM' İle Gösterilmesi

$dd/ds = 6.42$ değerinde ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' geometrik konfigürasyonlarına bağlı olarak, deney tasarımı yönteminden elde edilen üç boyutlu ejektör veriminin değişimi Şekil 3.20'de görülmektedir. Burada optimum $de/ds=6.25-7.14$, $Ld/dm = 9.09-12.5$ olduğu görülmektedir



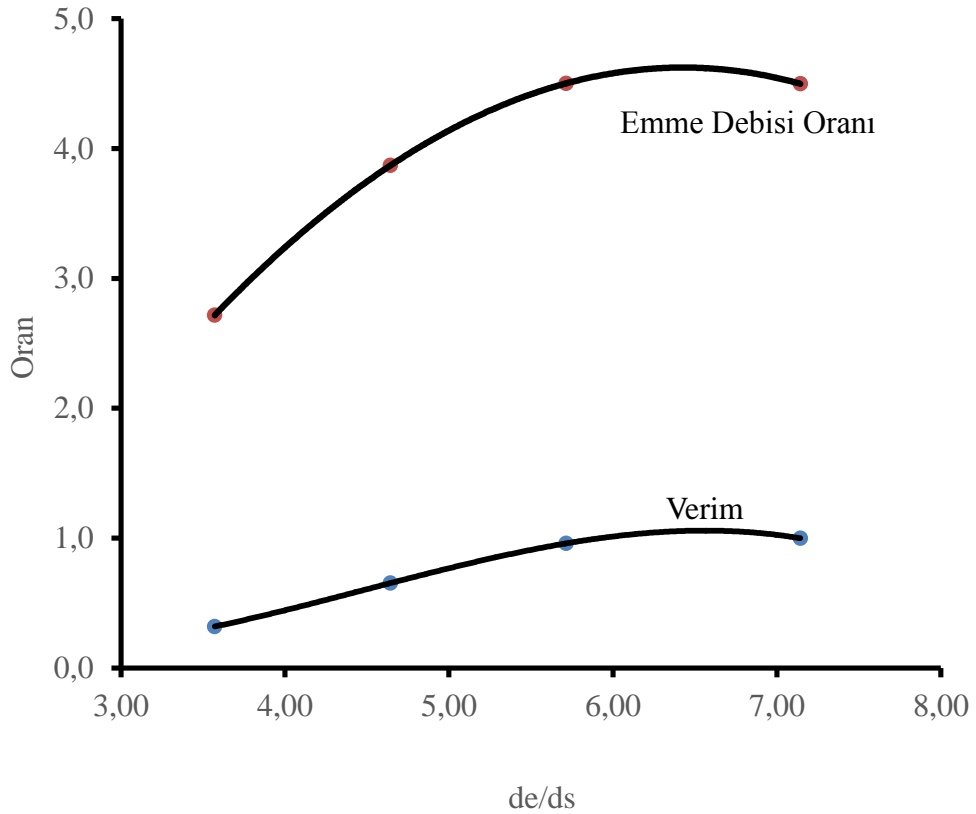
Şekil 3.20: $dd/ds=5.71$ Değerinde ' de/ds ' ve ' Ld/dm ' Değişimlerinin Ejektör Verimine Etkisinin 3-Boyutlu 'RSM' İle Gösterilmesi

Ejektör veriminin, üç boyutlu olarak, farklı 'dd/ds' oranlarında yukarıdaki grafiklerde, 'dd/ds' oranı küçüldükçe ejektör veriminin arttığı görülmektedir.

Tasarım problemlerinde su jeti ejektörlerinde, ejektörün çalışma durumuna ve sistemine bağlı olarak ejektör emme kapasitesi veya verim çıktılarının önceliği dikkate alınarak tasarım oranları belirlenebilir.

3.8.3 Emme çapının (de/ds) değişiminin ejektör emme kapasitesine etkisinin sayısal olarak incelenmesi

'de/ds' oranının farklı değerleri için, deney tasarımı yöntemi kapsamında gerçekleştirilen sayısal analiz sonuçları incelendiğinde, de/ds oranı arttıkça, ejektör emme kapasitesinin ve veriminin arttığı, Şekil 3.21'de verilen grafikte görülmektedir. Buradan ejektör emme çapının boyutsal olarak büyütülmesinin, ejektör emme kapasitesine ve ejektör verimine pozitif bir etki yaptığı da görülmektedir.



Şekil 3.21: Emme Çapının (de/dm) Değişiminin Ejektör Emme Kapasitesine ve Verimine Etkisinin Sayısal İncelenmesi

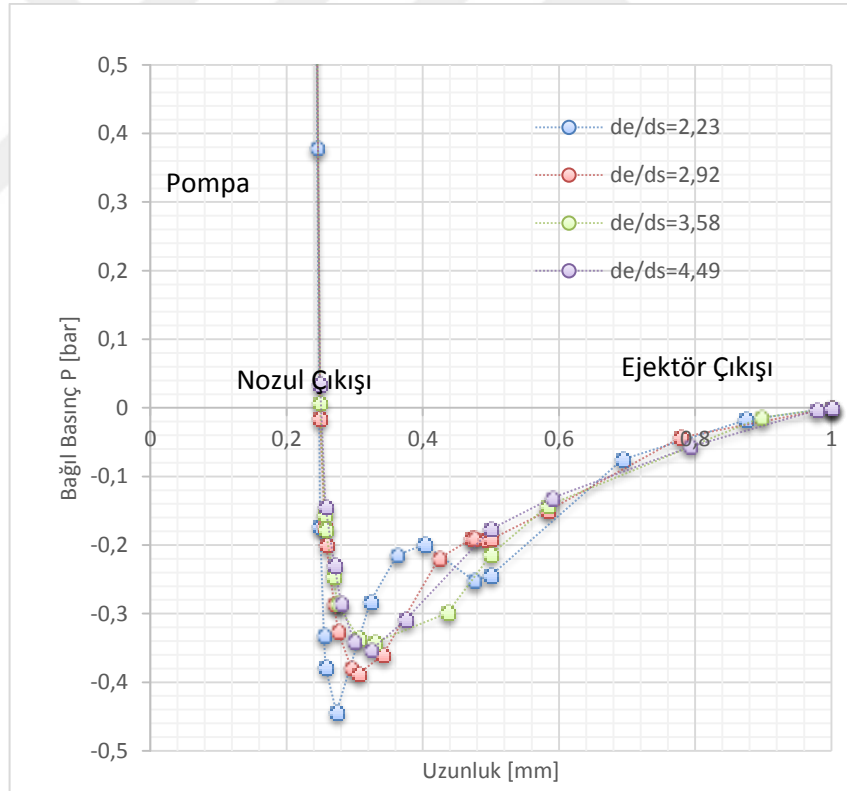
Bununla birlikte yapılan boyutsuz analizde farklı 'de/ds' oranlarında ejektörün yatay

ekseni boyunca gerçekleşen bağıl basınç değişimi Şekil 3.22’de verilmiştir. Nozul çıkışında basınç, 9 bar değerinden 0,2 bar mertebelerine düşmekte, nozul’dan karışım odasına doğru bağıl basınç negatif olmasından dolayı ejektörün emme bölgesinde oluşan vakum etkisi Şekil 3.22 ‘de görülmektedir.

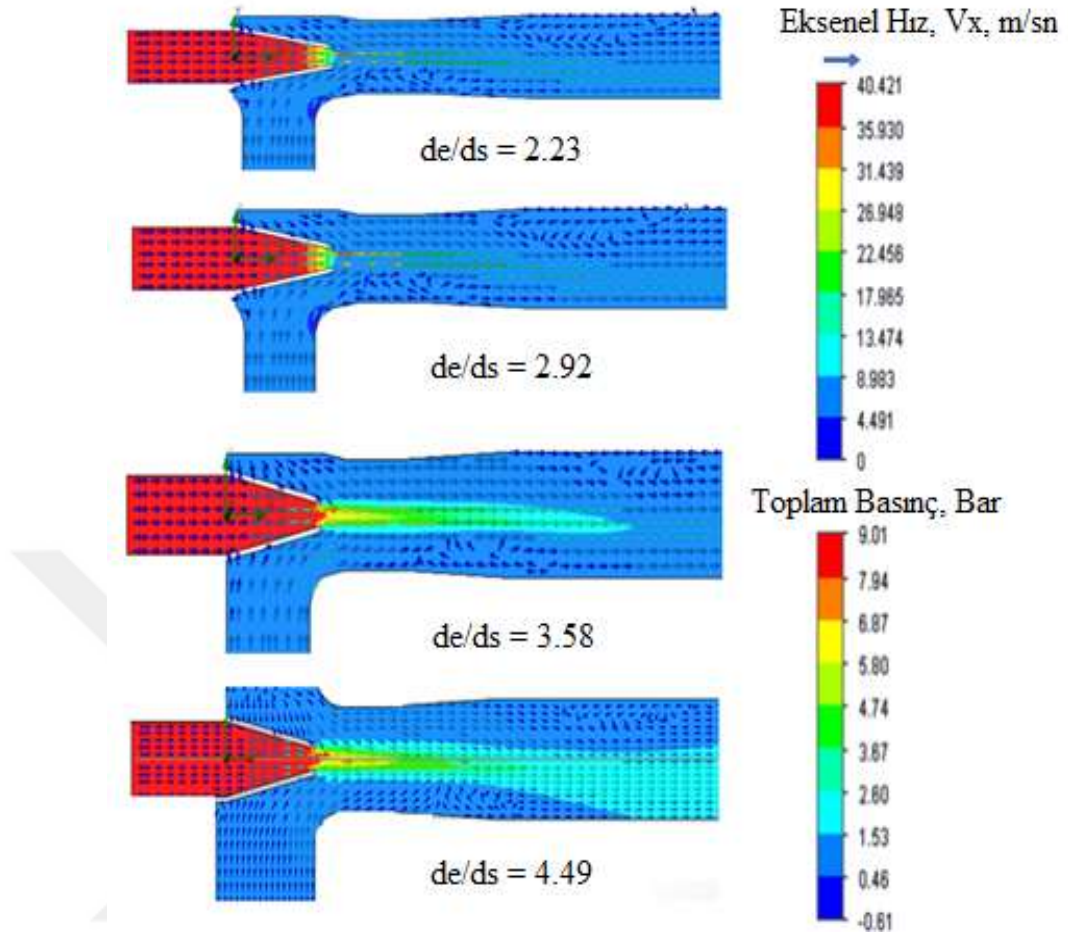
Nozul çıkışından sonra ejektör emme tarafından ve pompa tarafından gelen akışlar, karışım odasında birleşerek ejektör difüzörünü takip edip ejektörden tahliye edilmektedir.

Farklı d_e/d_s oranlarında ejektör simetri düzleminde gerçekleşen toplam basınç konturları ve hız vektörleri Şekil 3.23’te verilmektedir.

Şekil 3.23’te ‘ d_e/d_s ’ oranı arttıkça ejektör simetri düzlemi boyunca ejektörün karışım odası ve difüzör bölgelerinde toplam basınç kayıpları ve akış ayrılmaları azalmasından dolayı Şekil 3.21’de verilen sonuçlar sayısal olarak Şekil 3.23’te verilen sayısal sonuçlarla doğrulanmaktadır.



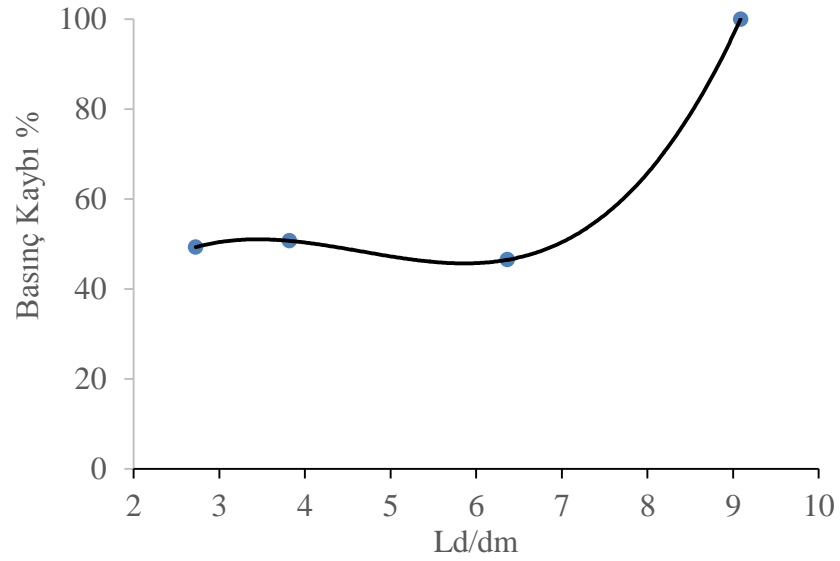
Şekil 3.22: Emiş Çapı (d_e/d_s) Farklı Oranlarında Ejektör Simetri Ekseninde Oluşan Bağıl Basınç Değişimi Grafiği



Şekil 3.23: ‘ d_e/d_m ’ Oranlarında Ejektör Simetri Ekseni Boyunca Toplam Basınç Konturları ve Mutlak Hız Vektörleri

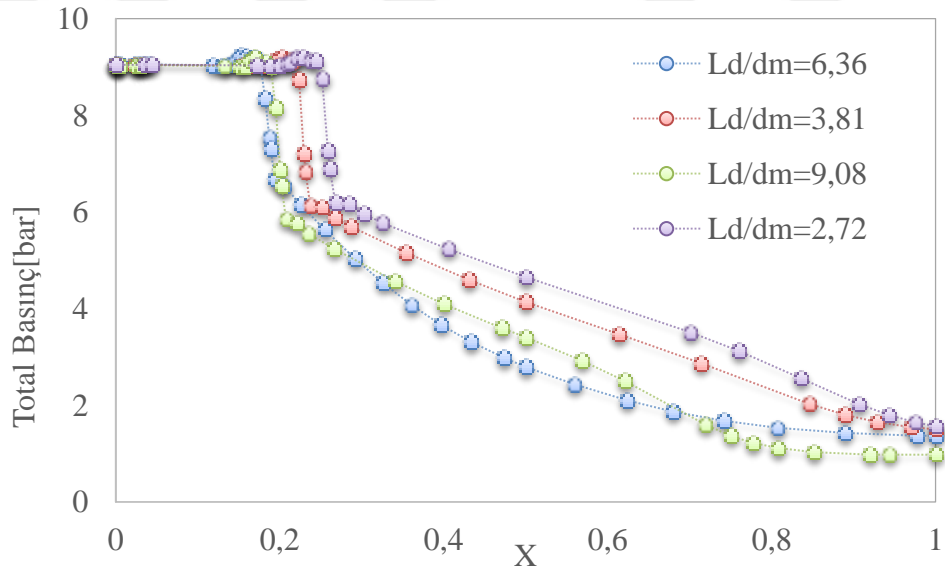
3.8.4 Difüzör geometrik boyutlarının ejektör verimine etkisinin sayısal incelenmesi

Farklı difüzör uzunluklarının ejektördeki toplam basınç kaybı üzerine etkisi incelendiğinde, ejektör difüzör uzunluk oranı $L_d/d_m > 6$ olduğunda kayıplar ani artmaya başladığı Şekil 3.24’te verilen grafikte görülmektedir.



Şekil 3.24: (L_d/d_m) Değişiminin Ejektör Emme Kapasitesine ve Verimine Etkisinin Sayısal İncelenmesi

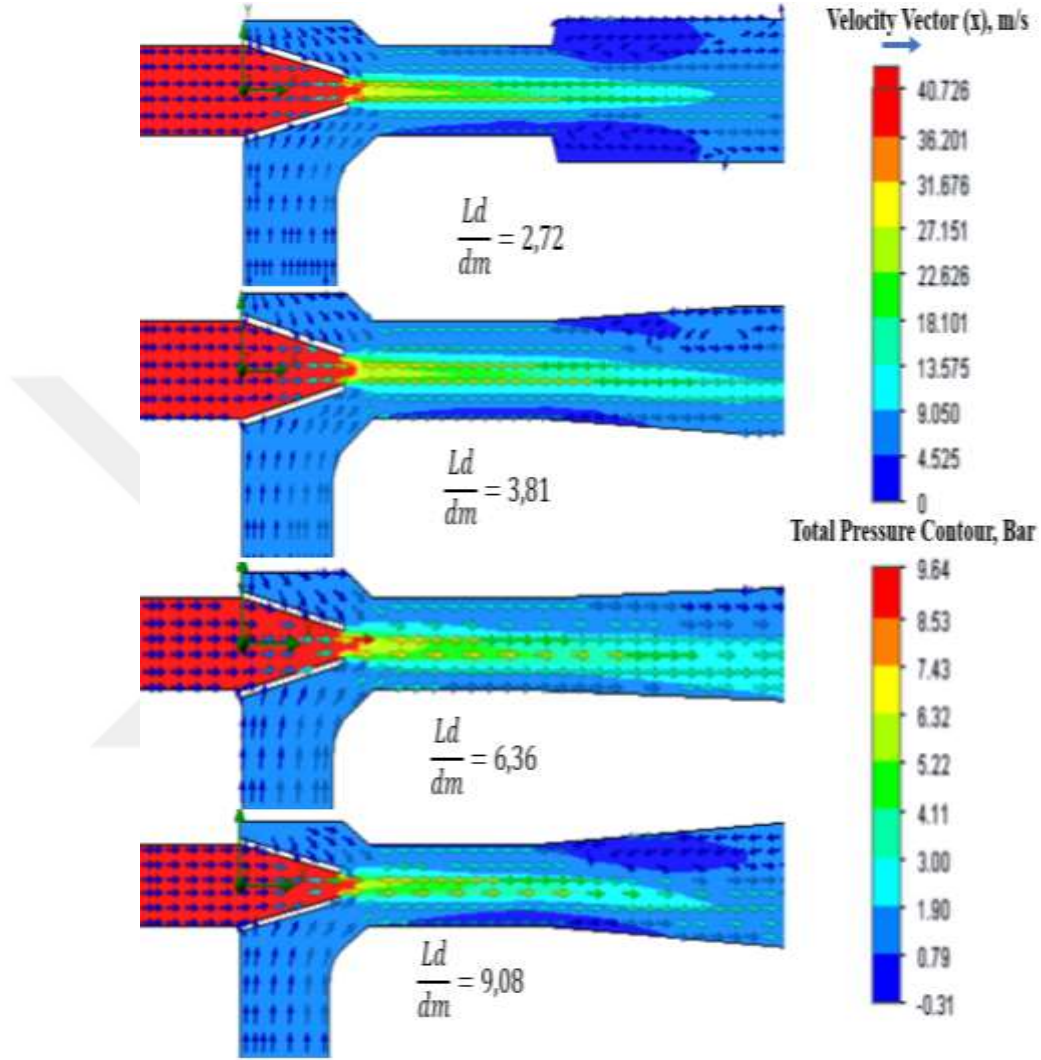
Bununla birlikte yapılan boyutsuz analizde farklı L_d/d_m oranlarında ejektörün yatay eksenini boyunca gerçekleşen toplam basınç değişimi incelendiğinde L_d/d_m oranı arttığında ejektörün difüzör bölgesinde oluşan basınç kaybının daha yüksek olduğu Şekil 3.25’de verilen grafikte görülmektedir.



Şekil 3.25: Emiş Çapı (d_e/d_m) Farklı Oranlarında Ejektör Simetri Ekseninde Oluşan Bağıl Basınç Değişimi Grafiği

Farklı L_d/d_m oranları için sayısal analiz sonuçları ejektörün simetri ekseninde toplam basınç konturları ve mutlak hız vektörleri cinsinden Şekil 3.26’da verilmektedir. L_d/d_m oranı 3,81 ile 6,36 değerleri arasında toplam basınç kayıpları ve akış ayrılmaları minimum olurken, $L_d/d_m > 6$ değerlerinde ejektör simetri düzlemi

boyunca ejektörün karışım odası ve difüzör bölgelerinde toplam basınç kayıpları ve akış ayrılmaları artmasından dolayı, difüzör uzunluğunun seçiminde difüzör koniklik açısının ejektör toplam basınç kayıplarına direkt olarak etki yaptığı sayısal olarak da doğrulanmıştır.



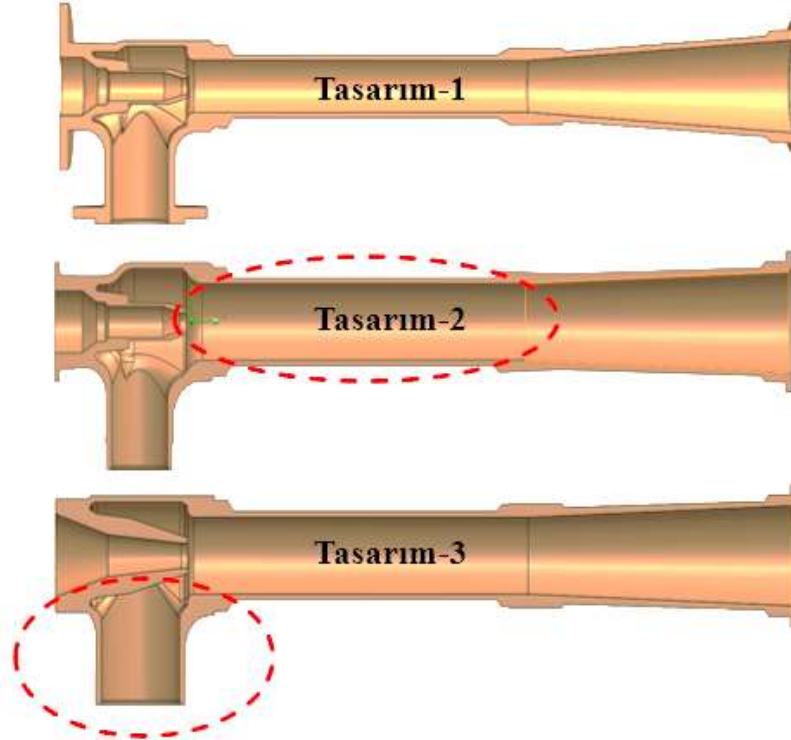
Şekil 3.26: ‘Ld/dm’ Oranlarında Ejektör Simetri Ekseni Boyunca Toplam Basınç Konturları ve Mutlak Hız Vektörleri

4. NÜMERİK ÇALIŞMA VE OPTİMİZASYON

Çalışmanın bu bölümünde, deney tasarımı yönteminde elde edilen tasarım ve optimizasyon veri tabanı sayesinde, askeri gemilerde kullanılan ve emiş kapasitesi 53 m³/h olan, bronz su jeti ejektörünün emme kapasitesini artırmak için farklı geometrik konfigürasyonlara sahip su jeti ejektörleri tasarlanmıştır. Bu kapsamda boyutları 80x80x100 olarak adlandırılan ejektör pompasının emme ve pompa anma çapları 80mm, basma çapı ise 100 mm olup, mevcut ejektör pompasından toplam uzunluk değişmeden iki farklı kombinasyonda tasarımlar yapılarak, ejektör konfigürasyonlarının emme kapasiteleri sayısal olarak hesaplanmıştır.

4.1 Üç Boyutlu Tasarım Konfigürasyonlarının Oluşturulması

Tasarım konfigürasyonları Solidworks üç boyutlu tasarım programıyla tasarlanmıştır. Bu kapsamda oluşturulan tasarım konfigürasyonlarının üç boyutlu görüntüleri Şekil 4.1' de verilmiştir.

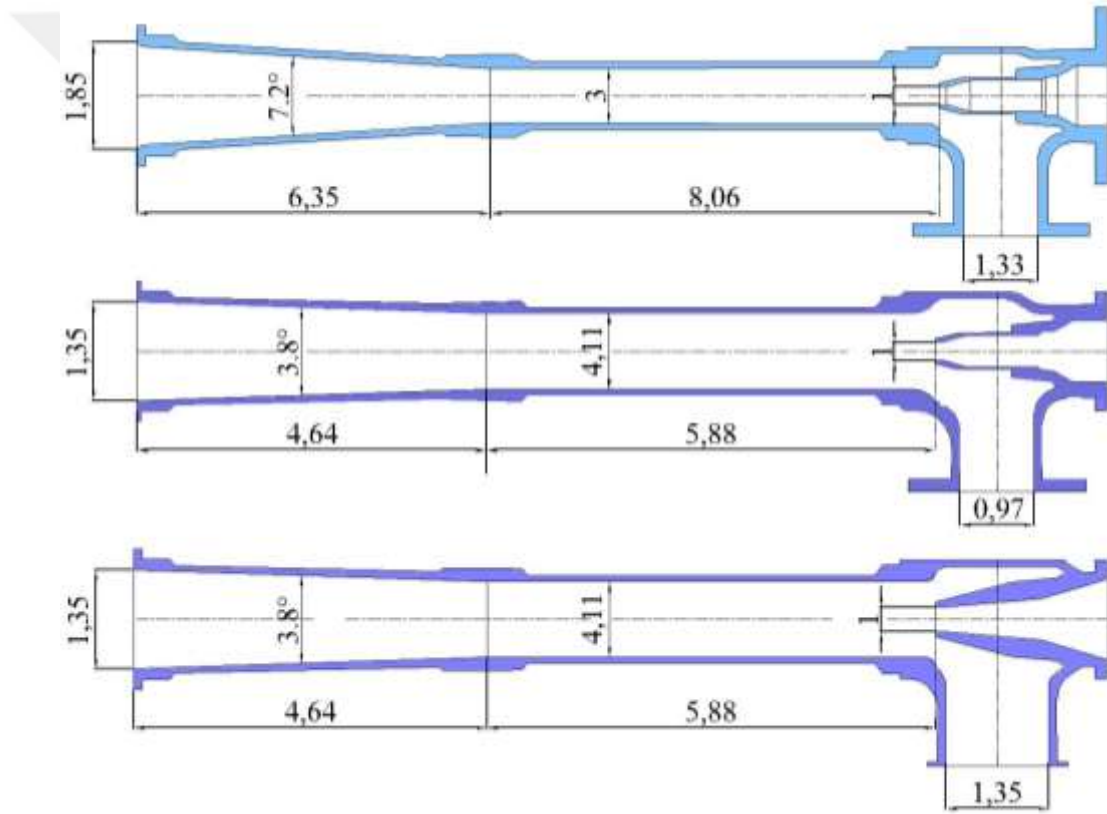


Şekil 4.1: Su Jeti Ejektörü Tasarım Konfigürasyonları

Deney tasarımı yönteminde ejektör emme kapasitesine doğrudan etki yapan iki geometrik değişkenin karışım odası çapı ve ejektör emme çapları olduğu yapılan optimizasyon ve sayısal çalışmalarla Bölüm-3'te bulunmuştu. Bu çalışmaya istinaden, Tasarım-1'in karışım odası çapı artırılarak Tasarım-2 elde edilmiş olup, ejektörün toplam uzunluğu değiştirilmemiştir. Tasarım-2'in emme çapı büyütülerek Tasarım-3 elde edilmiştir.

4.2 Tasarım Konfigürasyonlarının Boyutlandırılması

Önceki bölümde tanımlanmış olan boyutsuz sayılara göre oluşturulmuş tasarım konfigürasyonları Şekil 4.2'de verilmiştir.

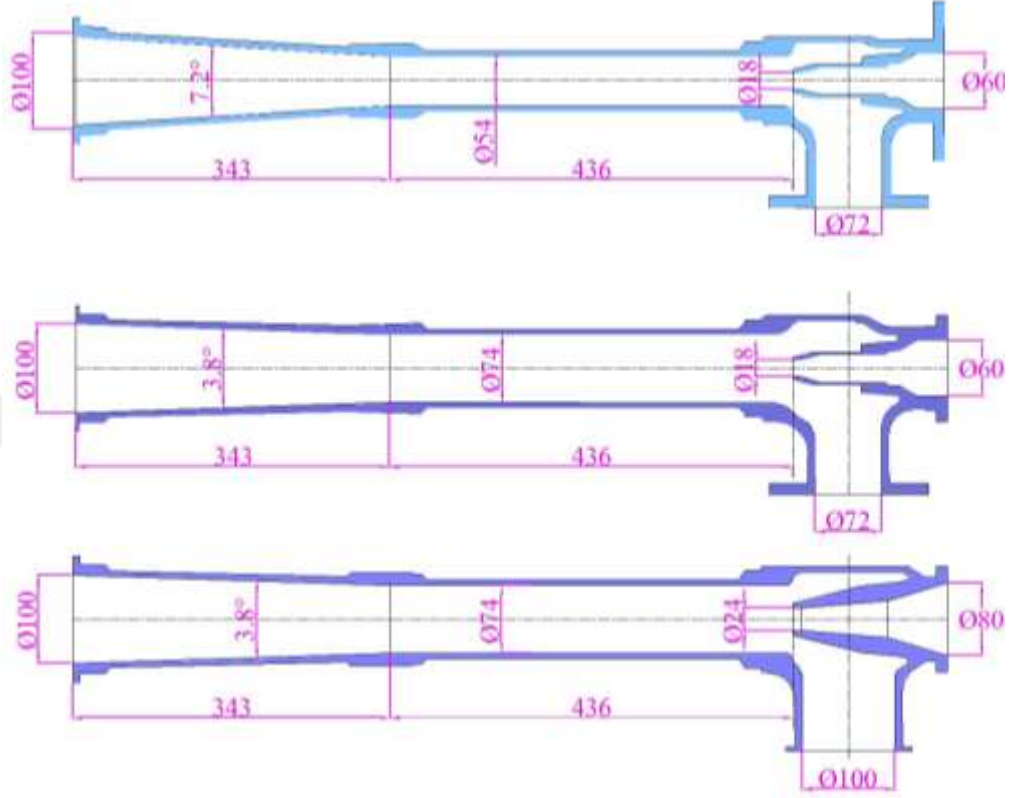


Şekil 4.2: Su Jeti Ejektörü Tasarım Konfigürasyonları

Şekil 4.2' de verilen su jeti ejektör konfigürasyonlarının ölçekli resimleri Şekil 4.2'de verilmiştir.

Tasarım konfigürasyonları oluşturulurken, uluslararası standartların tanımladığı flanş normları kullanılmıştır. Çoğunlukla askeri gemilerde kullanılan ejektörlerin flanş bağlantıları VG 85011-3 standardına göre kullanılmakta olup, bu kapsamda ejektörün emme, pompa tarafı ve basma taraflarının iç çapları kullanılan oranlara

bağlı olarak standardın belirlediği ana ölçüler kullanılmıştır. Bundan dolayı standardın tanımladığı anma çapları 70, 80 ve 100 olmasından dolayı, ejektörlerin iç çapları bu mertebelerde seçilmiştir. Ejektör tasarım konfigürasyonlarının boyutsal karşılaştırması Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3: Su Jeti Ejektörü Boyutsal Konfigürasyonları

Tasarım konfigürasyonlarına ait boyutsuz oranlar Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Tasarım Konfigürasyonları Boyutsuz Oranları

Tasarım	1	2	3
de/ds			
Ld/dm			
dd/ds			
dm/ds			
Lm/dm			

4.3 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizleri

Oluşturulan tasarım konfigürasyonları hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi kullanılarak, ejektörlerin performansları sayısal olarak hesaplanmıştır. Analiz ayarları Çizelge 4.2’ de verilmektedir.

Çizelge 4.2: HAD Analizi Ayarları

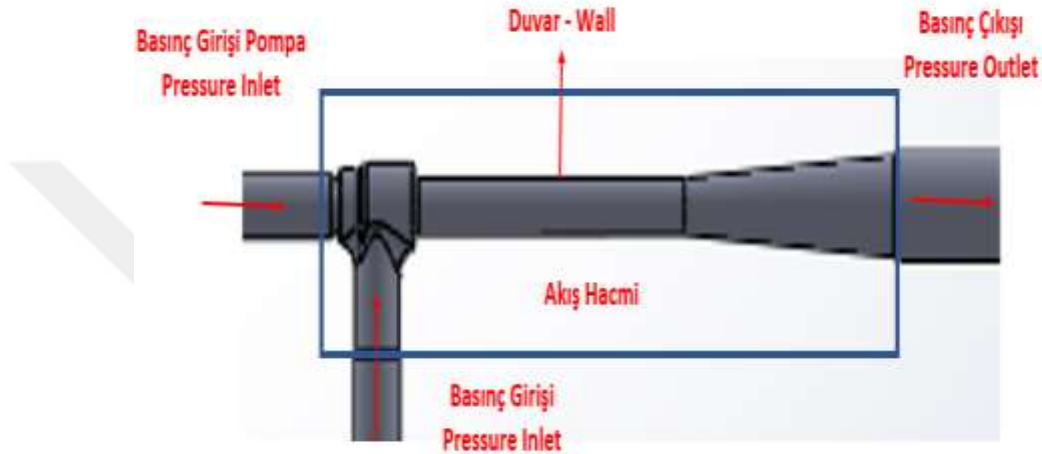
Analiz Boyutu	3-d
Akış Tipi	Daimi Akış
Türbülans Modeli	k-Epsilon
Duvar Fonksiyonu	Standard Duvar
Duvar Hareketi	Sabit Duvar
Çözüm Ağı	Hexa Elemanlar
Çözüm Ağı Sayısı	2.052.313

Ejektör analizine başlamadan önce, doğru sonuçların elde edilebilmesi için doğru sınır koşullarının verilmesi önemli rol oynamaktadır. Bu kapsamda bir ejektörün fiziksel olarak bir sistemde nasıl çalıştığı analiz edilerek sınır koşulları belirlenmiştir. Ejektör sistemleri önceki bölümlerde de belirtildiği gibi üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlardan ikisi giriş, diğeri ise çıkış sınırı olarak belirlenmiştir. Ejektör girişleri, pompa tarafı ve emme tarafı olup, çıkış tarafı ise ejektör çıkışından oluşmaktadır. Pompa tarafında sistemde kullanılan santrifüj pompa çıkışındaki statik basınç değeri kullanılmıştır. Ejektör emme tarafı, atmosfere açık bir havuzdan akışkanı vakumla çekmesinden dolayı statik basınç sınır şartı tanımlanmıştır. Ejektör çıkışına sınır şartı olarak, akışkan atmosfer ortamına transfer edilmesinden dolayı statik basınç sınır şartı verilmiştir. Tanımlanan sınır şartlarına göre ejektörün emme kısmından vakumlanan kütle ve hacimsel debi miktarları hesaplanmıştır. HAD esnasında kullanılan sınır koşulları Çizelge 4.3’de verilmiştir. Hesaplama esnasında yer çekim ivmesi hesaba katılmış olup bütün analizlerde $9,81 \text{ m/s}^2$ değeri girilmiştir. Duvarlarda viskoz gerilmelerin doğru hesaplanabilmesi için yüzey pürüzlülük değeri uygulamada ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerine göre ortalama 300 mikron olarak alınmıştır.

Çizelge 4.3: Sınır Koşulları

Pompa Tarafı	Statik Basınç	9 Bar
Emme Tarafı	Statik Basınç	0
Basma Tarafı	Statik Basınç	2 Bar

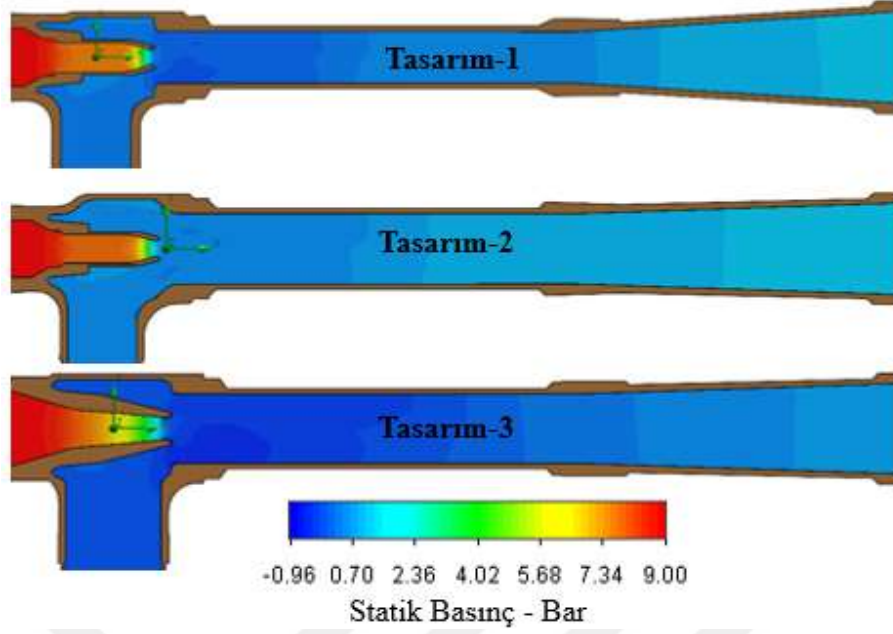
HAD yöntemi için kullanılan akış hacmi ve sınır koşulları Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4: Su Jeti Ejektörü Boyutsal Konfigurasyonu

4.4 HAD Sonuçları

Tasarım-1 üzerinde yapılan tasarım konfigürasyonları ile oluşturulmuş tasarımlara ait analiz sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir. Tasarım konfigürasyonlarında ejektör simetri yüzeyinde oluşan statik basınç değişimine ait eş basınç çizgileri Şekil 4.5'te verilmiştir. Tasarımlar üzerindeki eş basınç eğrileri karşılaştırıldığında Tasarım-2 ve Tasarım-3'te nozul çıkışından sonra oluşan düşük basınç bölgesi alanı Tasarım-1'e göre daha yüksek olmasından dolayı, her iki tasarımda daha fazla bir vakum etkisi oluşmasından dolayı, meydana gelen debi artışının bu nedenle olduğu öngörülmektedir. Tasarım-2 ve Tasarım-3 karşılaştırıldığında ise Tasarım-3'te emme çapı büyütülmesinden dolayı emme flanşından karışım odasına doğru düşük basınç bölgesi genişlemekte, jet akışı ile de Tasarım-3'te en yüksek emme kapasitesi olan 103,40 m³/h değerine ulaşılmıştır.



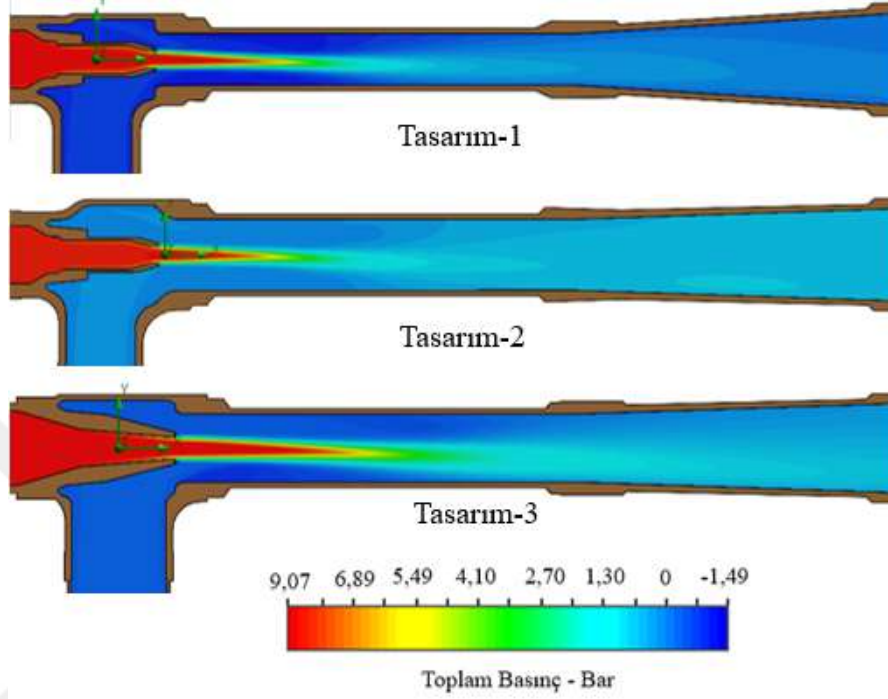
Şekil 4.5: Su Jeti Ejektörü Simetri Yüzeyi Statik Basınç Konturları

Tasarım konfigürasyonlarında ejektör simetri yüzeyinde oluşan toplam basınç değişimine ait eş basınç çizgileri Şekil 4.6'da verilmiştir. Tasarımlar üzerindeki toplam basınç konturları karşılaştırıldığında, nozul çıkışında oluşan jet akışının etkisi, Tasarım-3'de diğer tasarımlara göre daha büyük alanı etkilemekte, bir önceki statik basınç dağılımında da belirtildiği gibi düşük basınç bölgesinde oluşan vakum etkisiyle de Tasarım-2 ve Tasarım-3'de Tasarım-1'e göre ejektörün emme debisi artmıştır. Bununla birlikte ejektör karışım odası ve difüzördeki toplam basınç kayıpları incelendiğinde ise Tasarım-2 ve Tasarım-3 de, nozul çıkışından ejektör çıkışına kadar olan bölgede toplam basınç değerinin çok fazla değişmediği görülmektedir. Bu durum ise ejektörün karışım odası ve difüzör bölgelerinde toplam basınç kayıplarının en aza inmesini sağlamakta bu durumda hem ejektörün emme debisine olumlu katkı sağlamakta, hem de ejektör deki toplam basınç kaynaklı hidrolik kayıpları en aza indirmektedir.

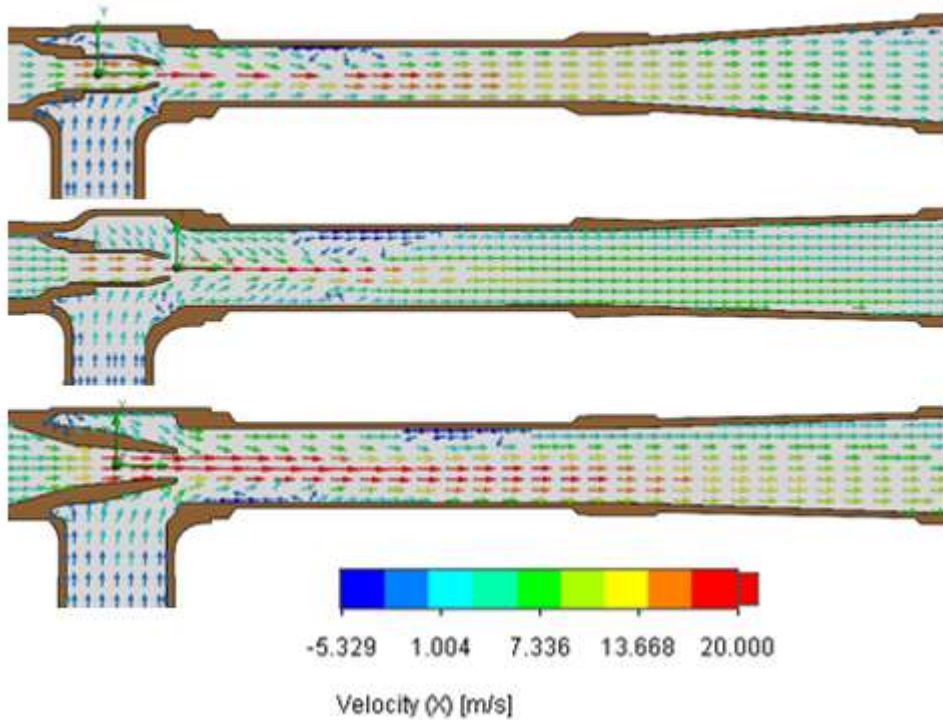
Tasarım konfigürasyonlarında ejektör simetri yüzeyinde oluşan aksel hızın değişimine ait hız vektörleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Tasarımlar üzerindeki hız vektörleri karşılaştırıldığında, nozul çıkışında oluşan jet akışının etkisi, Tasarım-3'te diğer tasarımlara göre daha büyük alanı etkilemekte, olduğu Şekil 4.7'de verilen hız vektörlerinden de görülmektedir. Bununla birlikte Tasarım-3'te diğer tasarımlarla kıyaslandığında ejektör simetri yüzeyinde oluşan vorteks bölgesinin diğerlerine göre daha az olduğu görülmekte olup, bu durum ejektör emme kapasitesine ve emme

debisine olumlu etki yaptığı öngörülmektedir.

Tasarım konfigürasyonlarında yapılan analiz sonuçlarında, ejektör nozulundan sonra gerçekleşen jet etkisi toplam basınç konturlarıyla ejektör bölgelerinden geçirilen yüzeylere aktarılan toplam basınç konturlarıyla Şekil 4.8’de verilmektedir.



Şekil 4.6: Su Jeti Ejektörü Simetri Yüzeyi Toplam Basınç Konturları



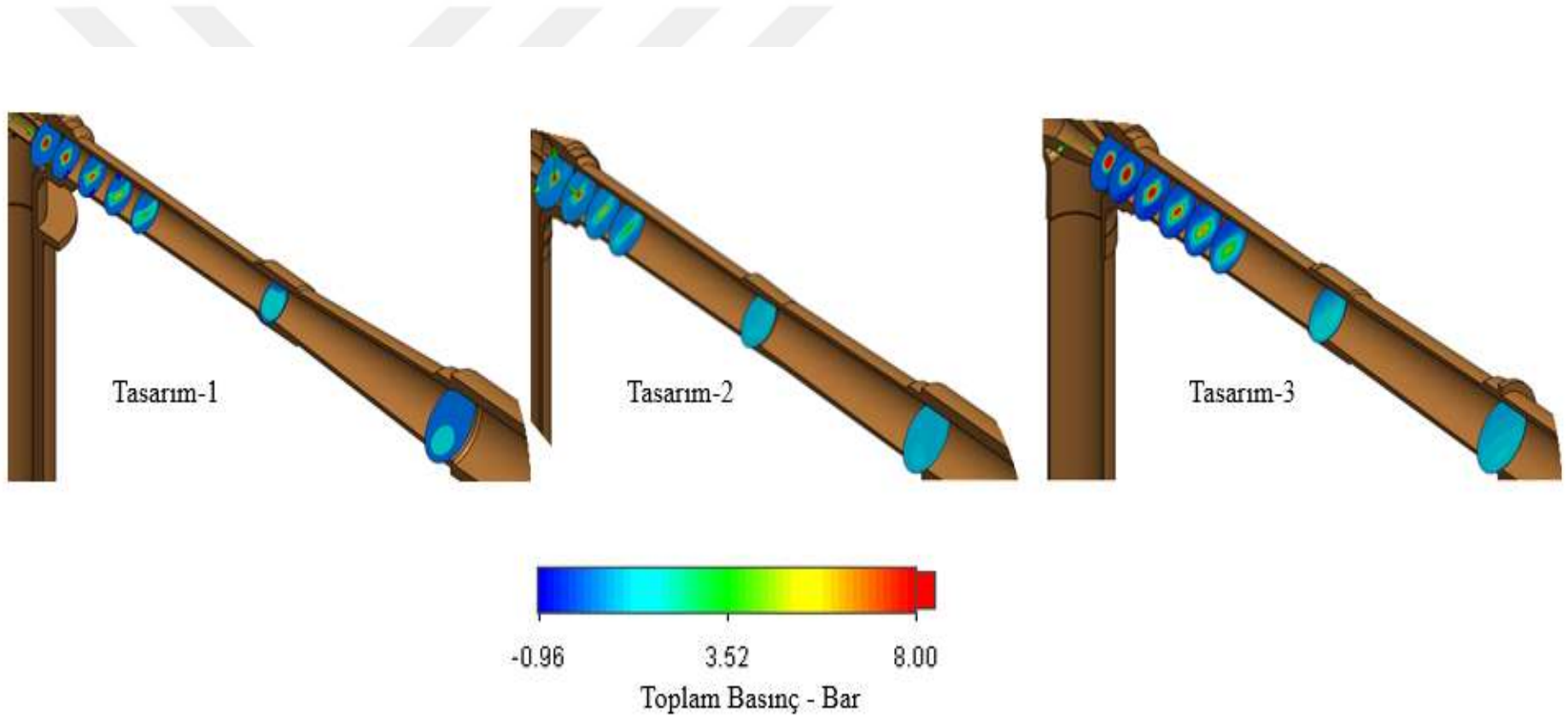
Şekil 4.7: Su Jeti Ejektörü Simetri Yüzeyi Eksenel Hız Vektörleri

Şekil 4.8’de ejektör nozul çıkışındaki jet etkisi, Tasarım-3’te diğer tasarımlar kıyaslandığında, daha fazla bir bölgeyi kapsadığı ve jet etkisinin en fazla olduğu görülmektedir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri farklı tasarım konfigürasyonlarında farklı çözüm ağı kalitelerinde yapılmış olup elde edilen HAD sonuçları Çizelge 4.4’te verilmiştir. HAD sonuçlar ile yapılan doğrulama testlerinde ortaya çıkan sonuçlar deney bölümünde karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.4: HAD Sonuçları

Tasarım-1			
Çözüm Ağı Sayısı	595890	995990	2028498
Emme Kapasitesi m ³ /h	56,37	54,57	52,05
Tasarım-2			
Çözüm Ağı Sayısı	583876	1106984	2052313
Emme Kapasitesi m ³ /h	67,50	75,67	74,70
Tasarım-3			
Çözüm Ağı Sayısı	605019	1059520	2015000
Emme Kapasitesi m ³ /h	108,10	96,40	104,40



Şekil 4.8: Su Jeti Ejektörü Toplam Basınç Konturları Değişimi

4.5 FEM Analizi ve Cidar Et Kalınlığı Optimizasyonu

Su jeti ejektörlerinin model imalatı öncesi parçaların optimum et kalınlıklarını belirlemek için, Solidworks analiz programı kullanılmıştır. Solidworks cidar et kalınlığı analizlerinde, program sonlu elemanlar yöntemini kullanmakta olup, yöntemin uygulanması ile ilgili genel detaylar aşağıda verilmiştir (Murillo ve diğerleri, 2022).

4.5.1 Sonlu elemanlar yöntemi

Çözüm ağı olarak bilinen ayrıklaştırma sürecinde, geometri nispeten sonlu miktarda küçük basit görüntülü parçalara bölünmesinden dolayı sonlu elemanlar yöntemi olarak bilinmektedir. Çözüm ağındaki elementlerin sonlu olarak vurgulanması, gerçek modele göre karşılaştırıldığında, sonsuz küçüklükte olmamasına rağmen, sonlu olarak mantıklı olacak şekilde küçüktür. Sonlu elemanlar yöntemi çözücüsü, tek tek elemanlar için basit çözümlerin montajı ile tüm model için istenen çözümü tahmin eder. Sonlu elemanlar yöntemi üç adımdan oluşur.

Ön hazırlık, bu aşamada model, analiz tipi, malzeme, yüklemeler ve kısıtlamalar tanımlanmakta olup model sonlu parçalara bölünerek çözüm ağı oluşturulmaktadır.

Çözüm: Belirtilen malzeme, sınır şartları ve çözüm ağına göre talep edilen çözüm gerçekleşir.

Sonuçların Analiz edilmesi: Oluşturulan çözüm ağı ve sınır şartlarına göre, talep edilen sonuçların analiz edilmesidir.

Sonlu elemanlar yönteminde bulunan ana adımlar aşağıda verilmiştir.

1. Matematiksel modelin kurulması
2. Çözüm ağının oluşturulması: Çözüm ağı 1. Derece ve 2. Dereceden elemanlar ile oluşturulabilir. Malzeme mekaniğinde deplasmanın 1. Türevi şekil değiştirir. 1. Derece elementlerde gerilme ve şekil değiştirme, elementin bağlantı noktalarının serbestlik derecelerinden dolayı sabittir. Bundan dolayı 1. Derece elementler başlangıç analizlerinde eğilimleri görmek için kullanılmakta olup kompleks geometriler için doğru sonuçlar vermez. İkinci derece (yüksek kalite) üçgenel kabuk elementler ikinci dereceden deplasman alanı ve birinci dereceden gerilme alanını modeller. Her bir ikinci derece kabuk elemanı 6 bağlantı noktası, 3 köşe noktası ve 3

adet orta bağlantı noktasından oluşur. Kenarlar ve yüzeyler eğrilikli yüzeyler olarak varsayılarak çözüm ağı oluşturulur. Bu kapsamda kompleks ve karmaşık geometrilerin analizlerinde ikinci derece elementler tercih edilmektedir.

3. Çözüm ağının hesaplanması

4. Sonuçların analiz edilmesi

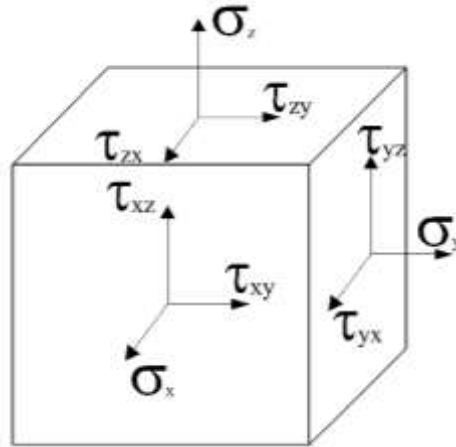
4.5.1.1 Von Mises Gerilmesi

Huber gerilmesi olarak da bilinen Von Mises gerilmesi, genel bir üç boyutlu gerilme durumunun altı gerilme bileşeninin tümünü açıklayan bir gerilme ölçümüdür.

Temel bir küpün her iki tarafında kayma geriliminin iki bileşeni ve normal gerilimin bir bileşeni etki eder. Denge gereksinimleri nedeniyle, genel 3B gerilme durumu, eşitlikler nedeniyle yalnızca altı gerilme bileşeni ile denklem 4.1’de verildiği gibi karakterize edilir. Solidworks Cosmosworks (2006)’da gerilmeler, Denklem 4.1, 4.2 ve 4.3’de verilmiştir.

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}, \tau_{xz} = \tau_{zx} \quad (4.1)$$

Von Mises gerilme denklemi, global koordinat sisteminde tanımlanan gerilme bileşenleri ile Şekil 4.9’da gösterildiği gibi ifade edilebilir.



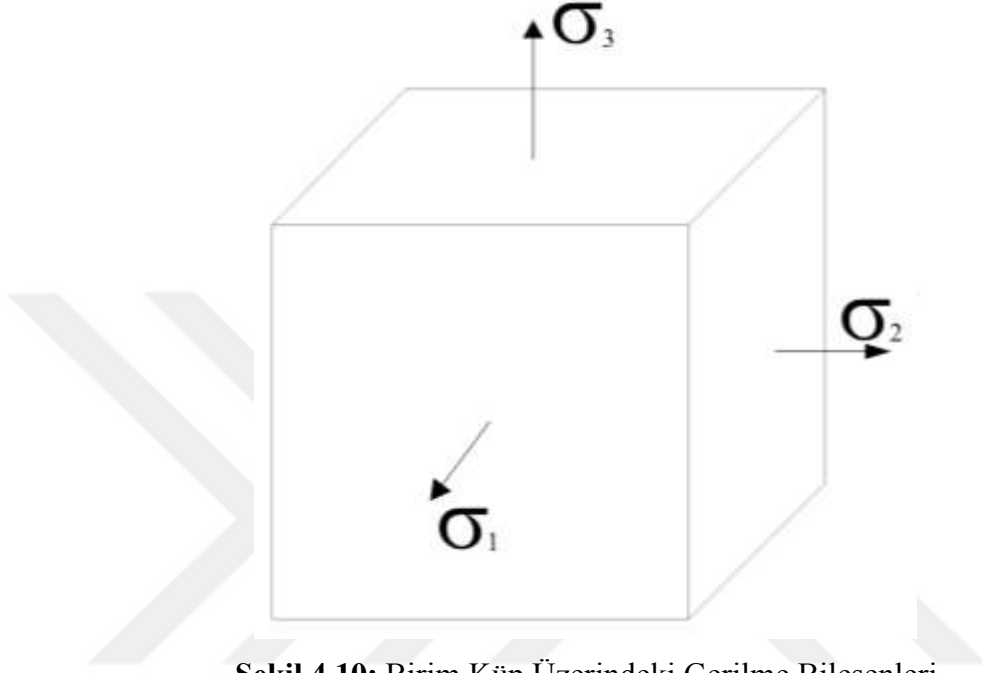
Şekil 4.9: Birim Küp Üzerindeki Gerilme Bileşenleri

X Yüzeyinde oluşan kayma gerilmesi denklem 4.2’de verilmiştir.

$$\tau_{xy} = \sqrt{0.5[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + [3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]} \quad (4.2)$$

4.5.1.2 Temel gerilmeler, σ_1 , σ_2 , σ_3

Gerilme, üç temel gerilmenin bileşenleriyle, σ_1 , σ_2 , σ_3 tanımlanabilir. Şekil 4.10'da gösterildiği gibi gerilme bileşenlerinin yönleri, birim kübün yüzeylerine diktir.



Şekil 4.10: Birim Küp Üzerindeki Gerilme Bileşenleri

Von Mises gerilmesi denklem 4.3'de verilmiştir.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{0.5[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (4.3)$$

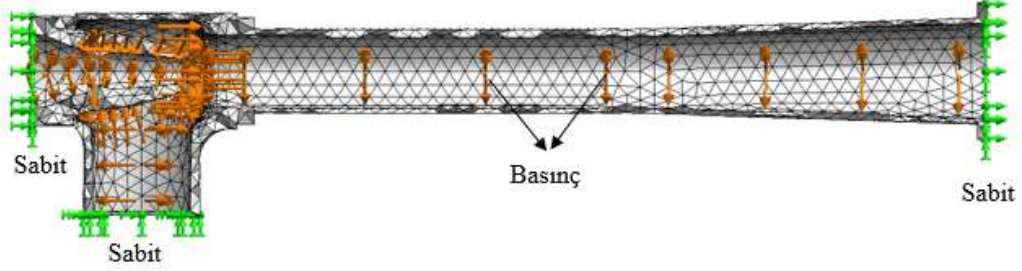
Von Mises gerilmesi skaler bir değer olup genellikle çelik gibi elastoplastic özellikteki mühendislik malzemelerinin yapısal emniyeti Von Mises gerilme değeriyle iyi tanımlanmaktadır. Mühendislik malzemeleri için 'emniyetli akma değeri veya emniyetli kopma değeri' emniyet faktörü akma gerilmesi veya kopma gerilmesinin Von Mises gerilmesine bölünmesiyle bulunabilir.

Sonlu elemanlar yönteminde program, malzemenin lineer, deformasyonların küçük ve yükler statik kabul edilir.

4.5.2 Sınır koşulları

Bir su jeti ejektörü önceki bölümlerde de belirtildiği gibi üç adet bağlantı flanşından oluşmakta olup sisteme bu flanşlardan sabitlendiği için, analizde model flanş

yüzeylerini den sabitlenmiştir. Ejektörlerin kabul ve tip testlerindr Türk Loydu askeri gemi kuralları ve EN12266-1/2 standardına göre anma basıncının1.5 katı basınç ejektör iç yüzeyi boyunca uygulanmıştır. Bu kapsamda tasarımları yapılan ejektörlerin anma basıncı 16 bar olmasından dolayı ejektör iç yüzeylerine 24 Bar basınç sınır şartı verilmiştir. Sınır şartları ve çözüm ağı Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11: FEM Analizi Sınır Koşulları

Ejektörler bronz malzemeden üretileceğinden dolayı, solidwork malzeme kütüphanesinden GCuSn10 bronz malzeme seçilmiştir. Piyasada kalay bronzu olarak da bilinen malzeme %12 Sn, %82 Cu içermektedir. İçinde bulunan kalay alaşımının dayanımını artırmasından, Cu ise de yüksek aşınma direncine sahip olmasından dolayı malzeme sert ve yüksek süneklığe sahiptir. Bu özelliğiyle deniz suyu uygulamalarında kullanılan ejektör, vana, pompa ve ağır yükler altında çalışan yataklarda tercih edilmektedirler. GCuSn10 malzeme özellikleri Çizelge 4.5’te verilmiştir.

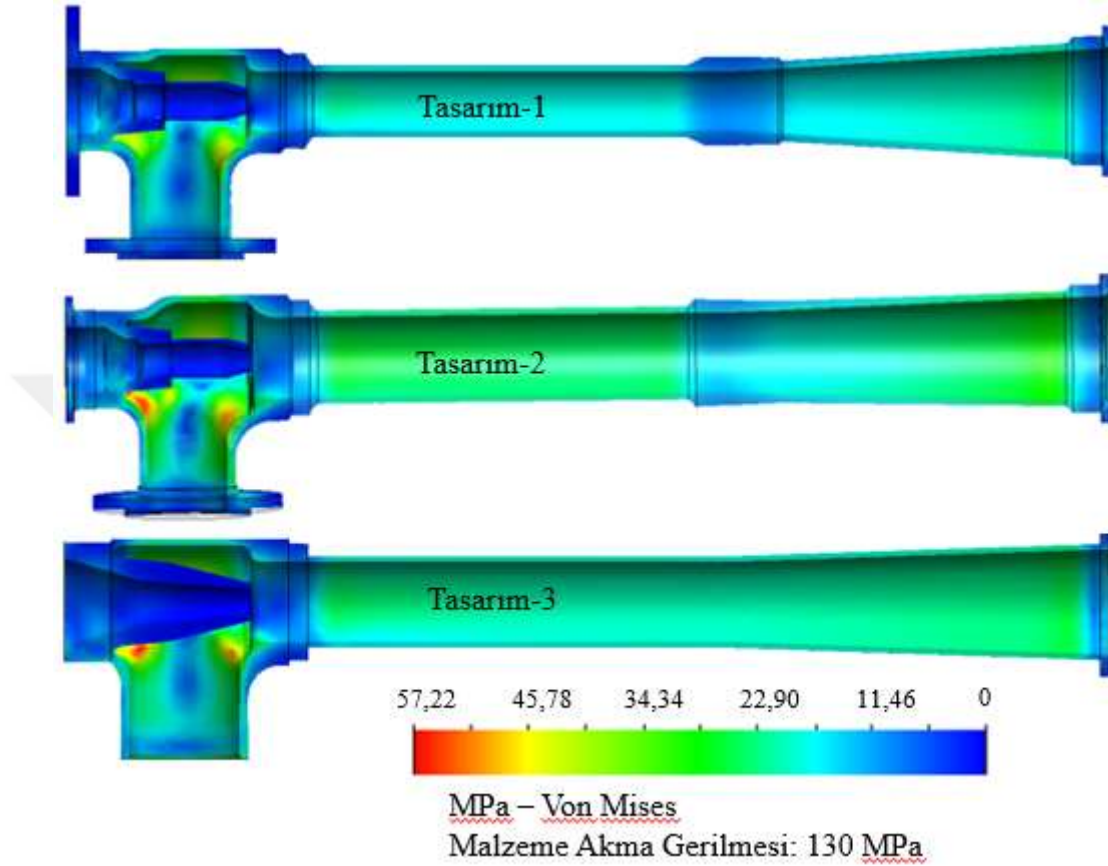
Çizelge 4.5: GCuSn10 Mekanik Özellikler

Akma Dayanımı	MPa	130
Çekme Dayanımı	MPa	270
Sertlik	HB	70
Uzama	%	5-8
Yoğunluk	g/cm ³	8,6

4.5.3 Analiz sonuçları

Çalışma kapsamında üretimleri gerçekleşecek olan üç ejektörün cidar et kalınlığı analizleri yukarıda belirtilen yaklaşımlar göz önüne alınarak yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan cidar et kalınlığı optimizasyonunda, modellerde oluşan

Von-Mises gerilmelerinin malzeme akma gerilmesi ile kıyaslanması ile birlikte, modellerde meydana gelen birim deformasyon değerleri incelenmiştir. Şekil 4.11’de uygulanan sınır şartlarında, ejektör iç yüzeylerine üniform olarak uygulanan 24 Bar basınç altında meydana gelen Von-Mises gerilmeleri Şekil 4.12’de verilmektedir.



Şekil 4.12: Ejektörlerde Oluşan Von Mises Gerilmeleri

Üç farklı tasarımda, maksimum gerilme ejektör emme dirseğinin çok küçük bir bölgesinde meydana geldiği görülmekte olup, bu gerilmenin, yüksek eğrilikli yüzeyde çözüm ağı kaynaklı olduğu öngörülmektedir. Çoğunluklu yüzeylerdeki gerilme değerinin ortalama 34.34 MPa olduğu Şekil 4.12’de görülmektedir. Ortalama gerilme değerine göre malzemenin mukavemet emniyet katsayısı;

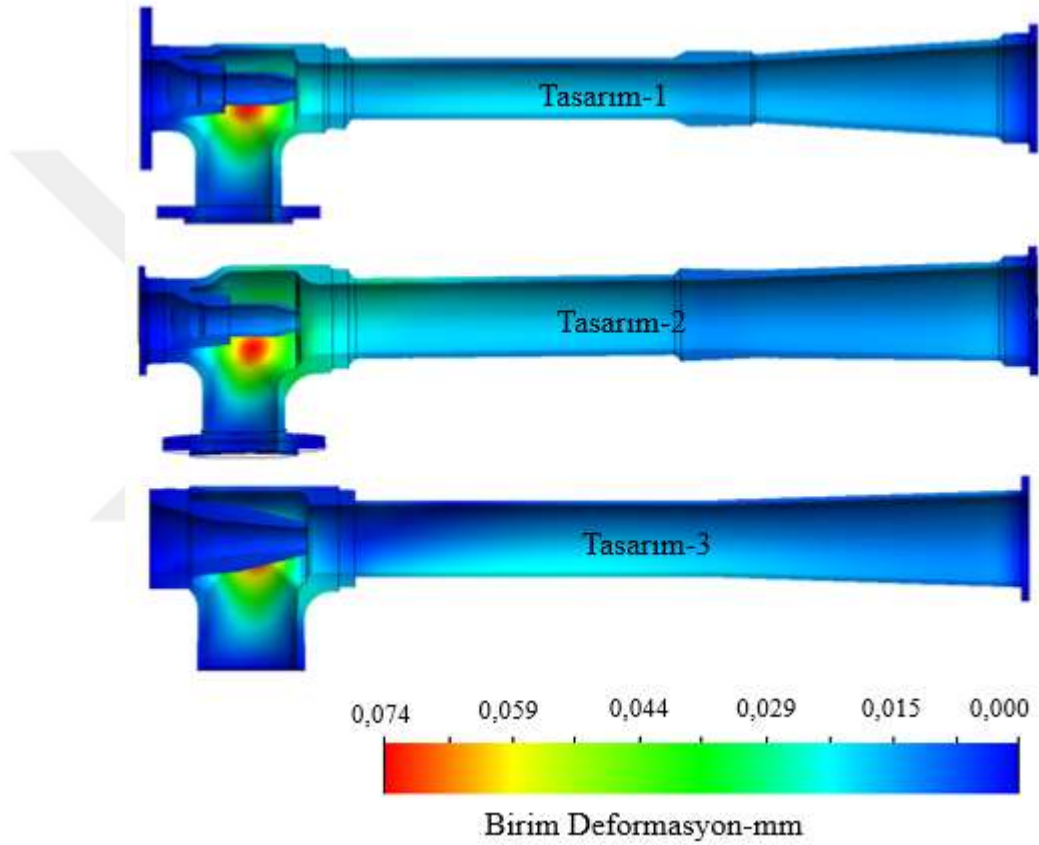
$$s = \frac{\sigma_{AK}}{\sigma_{eq}} = \frac{130}{34.34} = 3.78 \quad (4.3)$$

Ejektör parçalarında tercih edilen minimum et kalınlığı, üretim yöntemi ve basınç sınır şartı göz önüne alınarak tasarım aşamasında 10 mm alınmıştır. Üç farklı tasarımda ejektörlerde meydana gelen gerilmeler incelendiğinde maksimum gerilme değeri 57,22 MPa olarak alınabilir. Malzeme akma gerilmesi Çizelge 4.5’de

belirtilen malzeme akma gerilmesini 130 MPa olmasından dolayı, ejektörlerin malzeme akma gerilmesi değerlerine göre 2.27 kat emniyetli olduğu hesaplanmıştır.

$$s = \frac{\sigma_{AK}}{\sigma_{eq}} = \frac{130}{57.22} = 2.27 \quad (4.4)$$

Üç farklı tasarımın basınç altında meydana gelen birim şekil değiştirmeleri Şekil 4.13'te verilmiştir. Tasarımlarda meydana gelen maksimum deformasyon değeri 0,059 mm ile 0,074 mm arasında değişmektedir.



Şekil 4.13: Ejektörlerde Oluşan Birim Deformasyon Değerleri

Maksimum deformasyon miktarında maksimum gerilme değerinin gerçekleştiği bölgelerde meydana geldiği Şekil 4.13'te görülmekte olup. Lokal ve yüksek eğriliğe sahip bir bölge olmasından dolayı çözüm ağı geçişlerinden kaynaklandığı öngörülmektedir.

5. ÜRETİM VE DENEYSEL DOĞRULAMA

Tasarım ve kullanılan optimizasyon yöntemleriyle en yüksek emme kapasitesine sahip olan ejektörlerin, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan cidar et kalınlığı optimizasyonları ile elde edilen optimum boyutlara sahip üç boyutlu geometriler, ejektörlerin üretilmesi için hazırlanmıştır. Ejektörlere ait tasarım, üretim ve doğrulama algoritması Şekil 5.1' de verilmiştir.

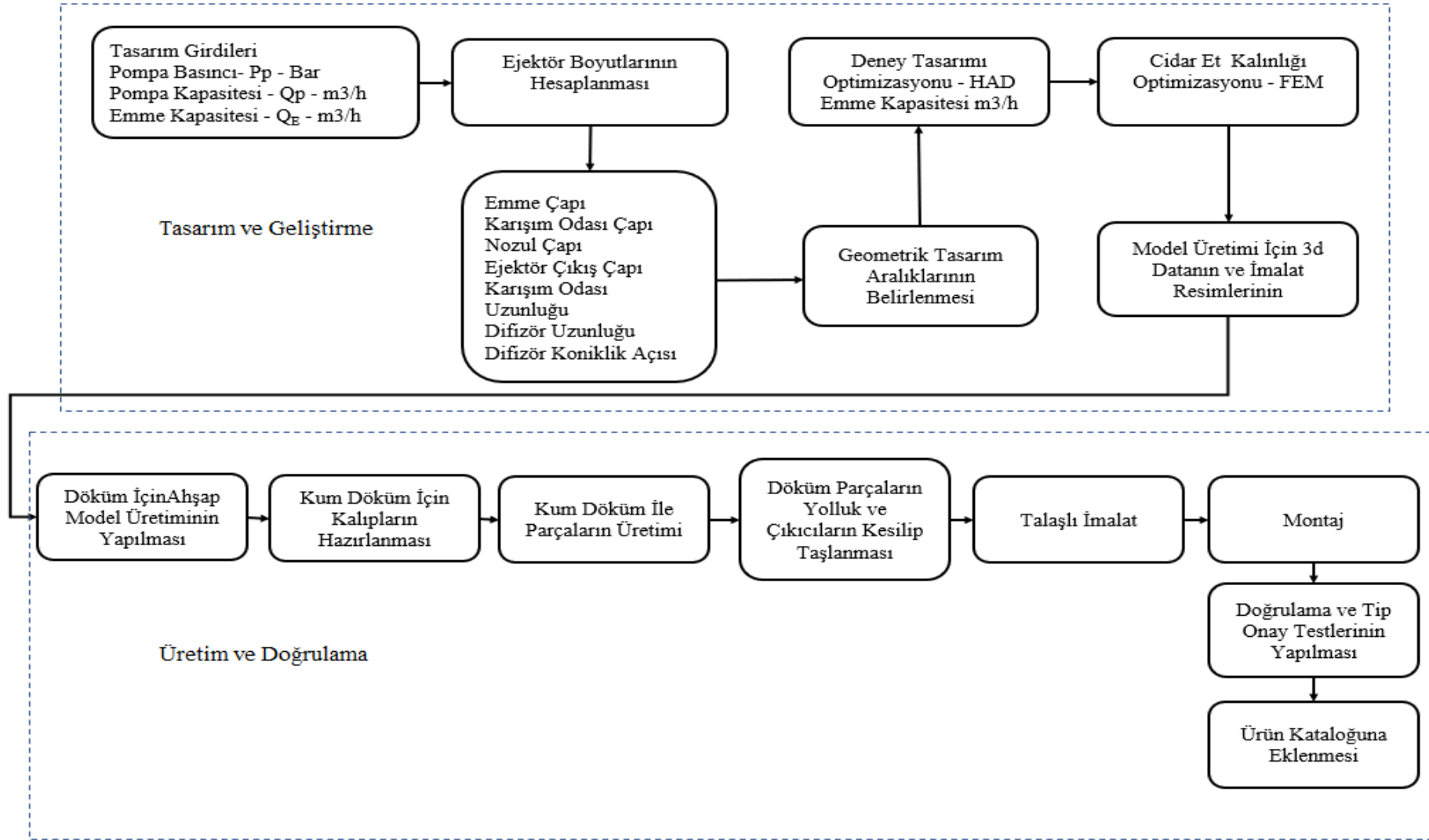
5.1 Kalıp Üretimi

Ejektörler kum döküm yöntemiyle dökümlerinin yapılmasından dolayı, tasarım ve geliştirme sürecinde elde edilen optimum geometrinin kum döküm yöntemi ile üretilebilmesi için ahşap modellerinin yapılması gerekmektedir. Model üretimi için optimizasyon çalışmalarından elde edilen üç boyutlu geometriye, işleme, çekme payları ve dökümden kalıp kolay çıkması için gerekli koniklikler verilerek, geometri kalıp üretimine hazır hale getirilir. Bu çalışmalar esnasında üç boyutlu geometriler için çekme payı %2 mertebesinde verilmiştir. Ejektörlerin flanş yüzeyleri, geçme bağlantıları, delikler ve kanallara standartların belirlediği boyutlara göre işleme payları verilmiştir.

Döküm sonrası olası çıkabilecek döküm hatalarının önüne geçebilmek için, kalıp üretimine hazır hale getirilen geometrinin, besleyici çıkıcı v.b. kum döküm sürecinde gerekli parçalar üç boyutlu geometriye eklenerek, geometrinin bilgisayar ortamında döküm simülasyonu yapılmıştır.

Doğru parçanın tek seferde elde edilebilmesi için, döküm analizinde dökümü yapılacak kalıpta, yolluk ve çıkıcıların yerlerinin ve sayılarının, doğru olarak belirlenmesi döküm sürecindeki fire oranını azaltarak ve üretim sürecini kısaltmaktadır. Döküm analizinde doğru sonuçlar elde edebilmek için analiz programı, malzeme ve döküm şartlarına göre kalibre edilerek analiz çalışmalarına başlanmıştır.

Proje kapsamında üretimleri gerçekleştirilen iki adet yeni ejektöre ait, emme dirseği, karışım odası ve difüzör parçalarının ahşap modelleri yukarıda belirtilen çalışmalar yapılarak tamamlanmıştır. Çalışma kapsamında Tasarım-2'ye ait emme dirseği, difüzör ve karışım odasına ait model figürleri Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1: Ejektör Tasarım, Üretim ve Doğrulama Algoritması



Şekil 5.2: Ejektör Tasarım-2 Ahşap Model

Ejektör parçalarının dökümü için kalıplanmış derece Şekil 5.3'te verilmektedir.



Şekil 5.3: Döküme Hazır Derece

5.2 Döküm Süreci

Talep edilen malzeme isteklerinde döküm parçalarının elde edilebilmesi için, döküm esnasında kullanılacak olan alaşım, alyaj, kum vb. malzemelerin uygunluğu giriş kalite tarafından kontrol edilerek uygun olanlar döküm sürecine verilir.

Öncelikle dökümü gerçekleştirecek kalıp için kalıp kumu hazırlanarak, parçanın döküm sonrasında delik olarak çıkması gereken bölgelerin maçaları hazırlanarak modelin kalıplaması gerçekleşir. Kalıplama öncesinde dökümü yapılacak malzemenin izlenebilirliğini sağlayabilmek için, döküm numarası olarak belirtilen kod modelin üzerine yazılarak kalıplama tamamlanır.

Bu esnada dökümü gerçekleştirecek malzeme ergitme ocağında hazırlanarak ergitme işlemi gerçekleştirilir. Ergitilmiş sıvı metalden numune alınarak spektrometre analizi yapılarak, ergimiş metalin uluslararası standartlardaki malzemenin kimyasal bileşimi kontrolü yapılarak, uygunluk durumuna, ergitme çağına bulunan ergimiş metal ile göre malzemenin dökümü gerçekleştirilir. Analiz değerlerinin tutmaması durumunda ise, değerler sağlanana kadar gerekli çalışmalar yapılmaktadır. Kalıplanan her model ve maça derece olarak adlandırılmakta olup, döküm sonrasında dereceler bozularak temizlenerek döküm parça ortaya çıkmaktadır.

Döküm derecesinden çıkan parça öncelikle gözle kontrol yapılarak, varsa uygunsuzluklar giderilerek, yolluk ayırma taşlama işlemine tabi tutulmaktadır. Taşlama sonucunda ürün gözle kontrol yapılarak, dökümün son kontrol kısmında, işleme ölçülerinin uygunluğunu belirlemek için döküm ham ölçü kontrolü yapılır. Döküm sonrasında döküm ile üretilen çekme çubukları ile döküm malzemenin kimyasal, çekme ve çentik testleri tamamlanarak malzeme uygunluğu kontrol edilerek, parça talaşlı imalat sürecine verilir. Malzeme özelliklerine göre malzeme mikro yapısını kontrol etmek için UT, PT gibi testlerde yapılarak, malzeme içyapısında ve yüzeylerde gözle görünemeyen mikro çatlakların belirlenmesi sağlanır. Ejektör figürlerinin dökümü Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4: Döküm Süreci.

Dökümü tamamlanan ejektör parçalarından dirsek ve karışım odası Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.5: Döküm Ham Parçalar

5.3 Parça İmalatı ve Montaj

Dökümü tamamlanan ejektör parçaları, döküm sonrası yolluklarının kesilmesi amacıyla taşlandıktan sonra talaşlı imalat sürecinde işlenmiştir. İşlenecek döküm parçalar emme dirseği, karışım odası, difüzör ve nozul ve ejektör bağlantı flanşlarıdır. Askeri gemilerde kullanılan su jeti ejektörlerinin üretilebilmesi için dökümhanenin Türk Loydu sertifikasına sahip olmasının yanı sıra talaşlı imalat esnasında kullanılacak imalat resimlerinin de plan onay veya ürün tip onay kapsamında Türk Loydu bağımsız kuruluşu tarafından onaylandıktan sonra talaşlı imalat üretim sürecine başlanmaktadır.

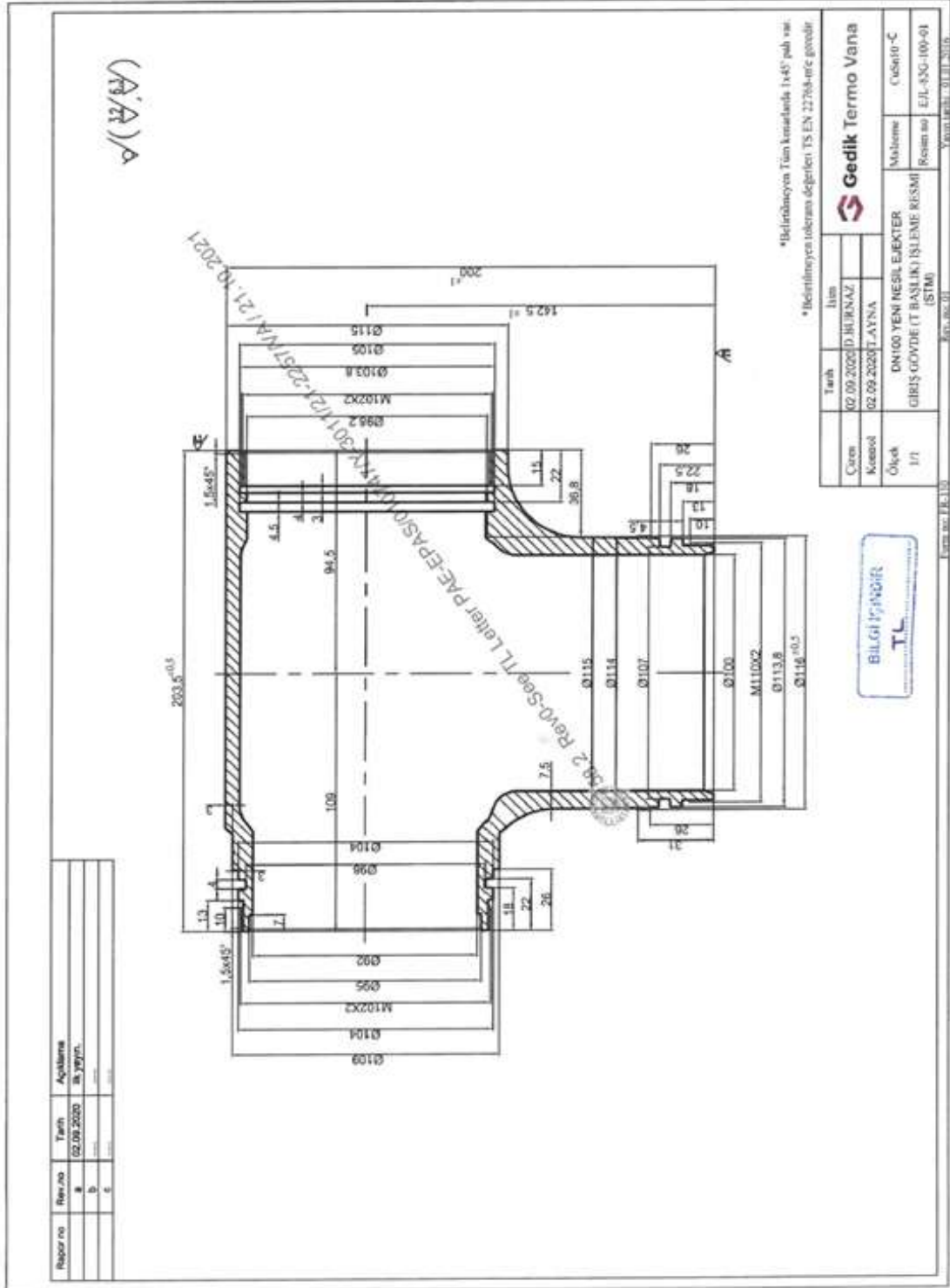
Ham döküm parçaların talaşlı imalat operasyonları incelendiği zaman, üç tezgahta talaşlı imalat operasyonları tamamlanmaktadır. Torna tezgahında, dairesel flanşların dış çapları ve iç çapları ile o-ring yuvaları açılmaktadır. Matkap veya işleme merkezinde bağlantı flanşlarının delikleri açılmaktadır. Borwerk tezgahında ise flanş yüzey temizleme operasyonları yapılmaktadır. Bu kapsamda emme dirseğinin Borwerk tezgahında bağlantı flanşı yüzey temizleme işlemleri Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6: Emme Dirseği Talaşlı İmalatı

Talaşlı imalatı tamamlanan ejektörler, Türk Loydu tarafından onaylanmış projeye ait

teknik resim ölçüleri esas alınarak bütün parçalar kontrol edilmiş olup, ejektörlerin montajına geçilmiştir. Tasarım-3 ejektöre ait onaylı teknik resim örneği Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7: Emme Dirseği Talaşlı İmalat Teknik Resmi

5.4 Parça İmalatı ve Montaj

Talaşlı imalatı ve montajları tamamlanan ejektörler, bağımsız denetim ve test kuruluşu Türk Loydu eşliğinde testleri yapılarak, tasarım doğrulama süreci tamamlanmıştır. Ejektörlerin tasarım doğrulama iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi sızdırmazlık testi, diğeri ise kapasite ölçüm testleri olup, iki aşamada aşağıda tanımlanan alt bölümlerde detaylı olarak verilmiştir.

5.4.1 Ejektör sızdırmazlık testleri

Askeri gemilerde kullanılan su jeti ejektörleri, Türk Loydu askeri gemi kuralları ve EN 12266-1/2 standardının tanımladığı şekilde sızdırmazlık testleri Gedik Termo Vana Test biriminde yapılmıştır.



Şekil 5.8: Ejektör Sızdırmazlık Testi

EN 12266-1/2 standardında su jeti ejektörlerinin sızdırmazlık testi anma basıncının 1,5 katı değerindeki basıncın, beş dakika süreyle ejektör içine daimi basınç verilerek yapılır. Test öncesi ejektör bağlantı flanşları kapatılarak, tek taraftan akışkan su jeti ejektörünün içine doldurularak 24 Bar basınç altında sızdırmazlık testleri yapılmıştır.

Test esnasında ejektör döküm parçalarında, bağlantı noktalarında kaçak ve terleme olmadığı gözlemlenerek test sonuçlanmıştır. Ejektör sızdırmazlık testi Şekil 5.8’de verilmiştir.

5.4.2 Ejektör deney düzeneğinin kurulması ve kapasite testleri

Su jeti ejektörlerinin, emiş kapasitelerinin ölçülebilmesi için firma bünyesinde test ünitesi tasarlanarak üretilmiştir. Deney düzeneği kurulması için iş akış diyagramı Şekil 5.9’da verilen sistematik iş akış planı kullanılmıştır.

5.4.2.1 Deney düzeneğinin kurulması

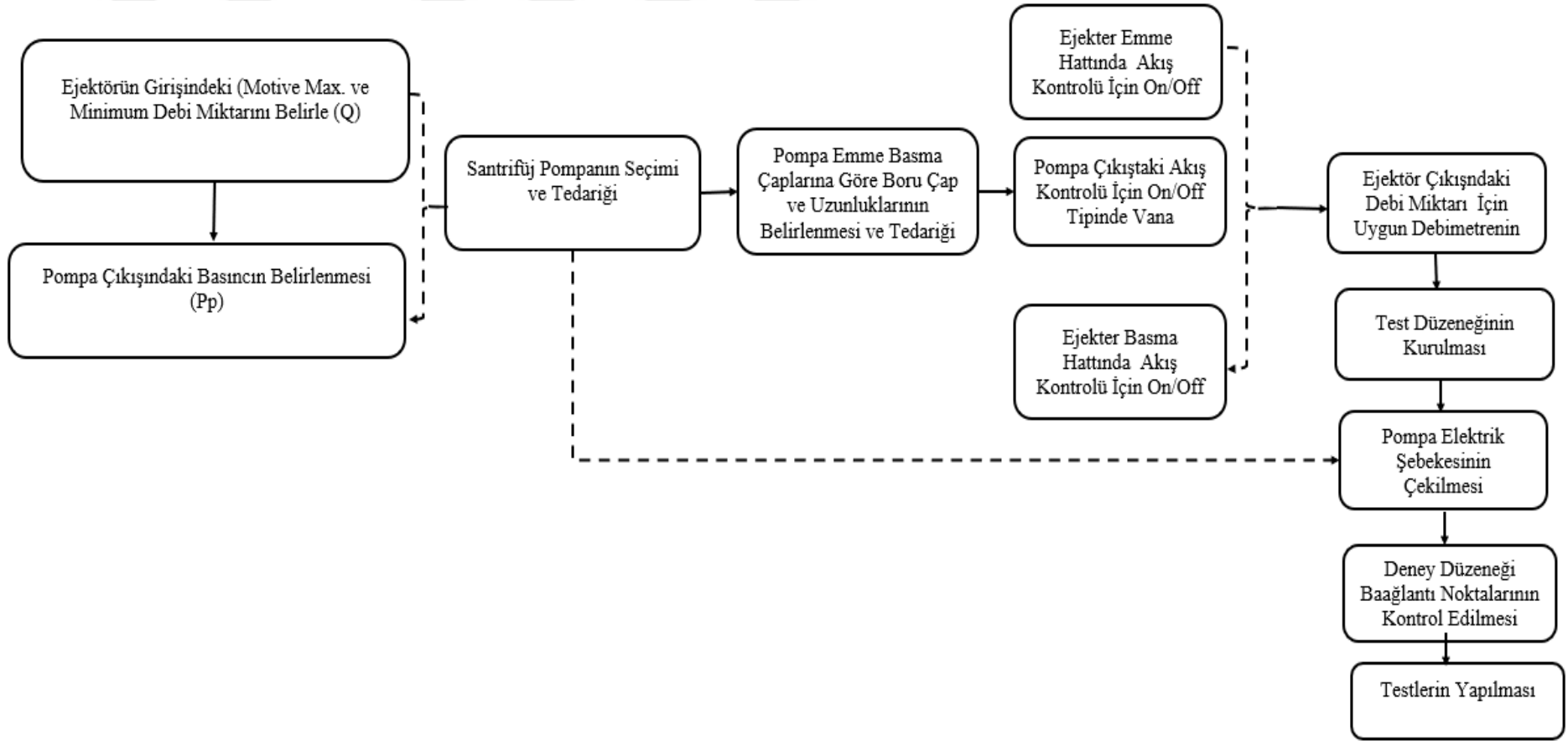
Test düzeneği oluşturulurken, düzenekte ölçülebilecek maksimum ve minimum debi miktarları belirlenmiştir. Belirlenen debi değerleri, proje kapsamında elde edilen bilgiyle geliştirilecek olan yeni tip ejektörlerin kapasiteleri 500 – 750 m³/h olmasından dolayı maksimum debi miktarı 750 m³/h olarak belirlenmiştir. Minimum debi miktarı ise ejektör sistemini aktifleştiren nozul çıkışındaki jet debisi (20), 3,5 m³/h olmasından dolayı 3,5 m³/h seçilmiştir. Ejektör sistemlerinde kullanılan pompaların basınçları uygulamalarda 8-10 Bar arasında olup, 3000 devir /dakika dönme sayısına sahip pompalar kullanılmasından dolayı, 50 m³/h debi, 9 Bar basın ve 3000 devir/dakika dönme sayısı değerinde, montaj kolaylığı bakımından emme ve basma eksenleri aynı olan, 80x250 boyutunda pompa seçilerek test düzeneğinde kullanılmıştır.

Yukarıda belirtilen maksimum debi değerine göre 150 mm iç çapında manyetik debi metre seçilerek test düzeneğinde kullanılmıştır.

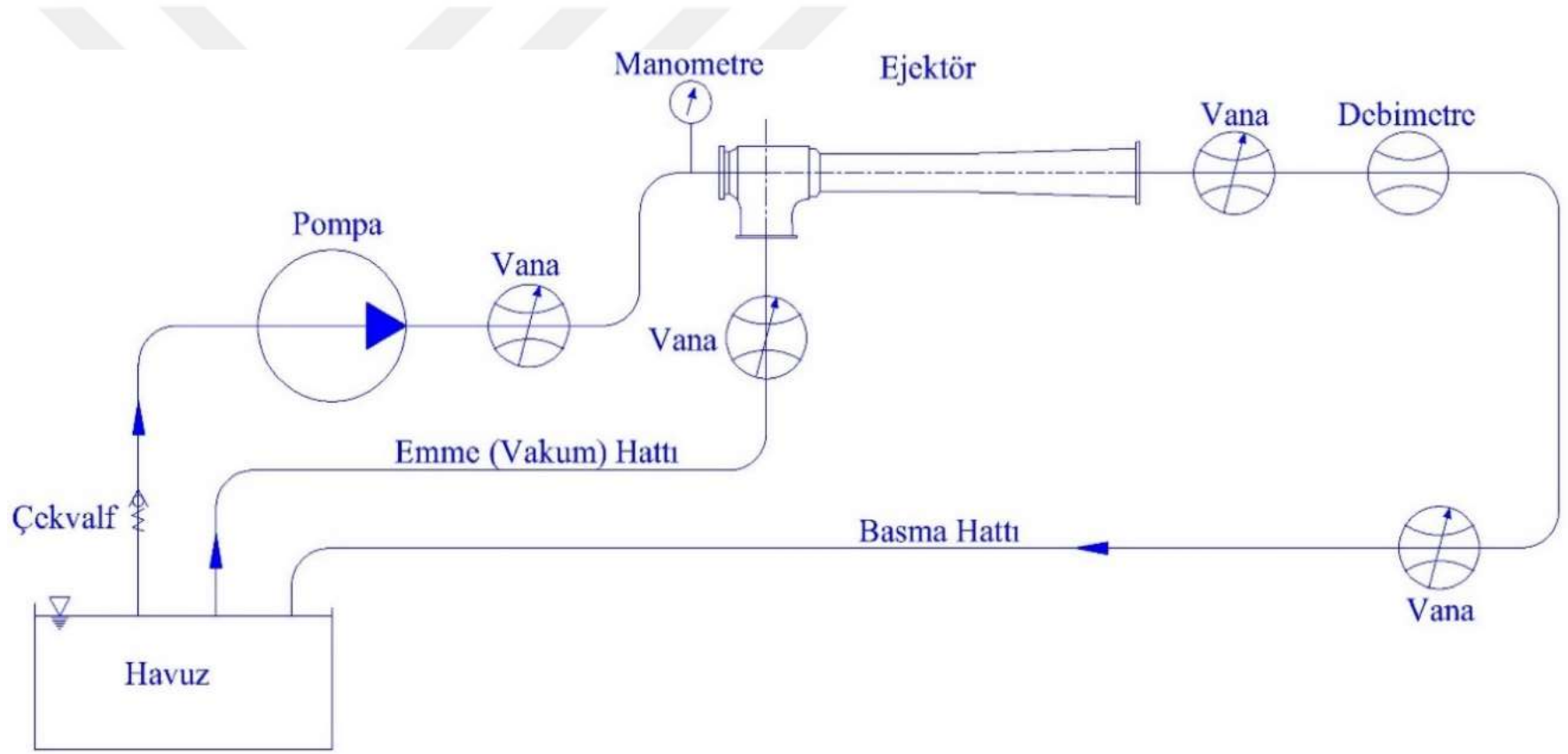
Sistemde pompa ve debimetre haricinde akış kontrol etmek ve durdurmak için, kayıp katsayıları düşük olan kelebek ve küresel vanalar kullanılmıştır. Ejektör emme dirseğinde akışı kontrol etmek için DN100 mm çapında küresel vana, deney basma hattında sistemi doldurmak için ise DN150 mm çapında kelebek vana kullanılmıştır.

Ejektörler çalıştığı sistemlerde ejektör akış ekseninden 3-3,5 m negatif kotta emiş yapmalarından dolayı, pompalar ilk çalıştırılmasında sistemdeki havayı boşaltarak su doldurmak için özel vakum sistemi kullanılmış olup, ejektör emmesinde ise filtre ve çek valf kullanılmıştır. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 5.10’da verilmiştir.

Bitmiş deney düzeneği Şekil 5.11’de verilmiştir. Test havuzu 5x5x5 m boyutuna olup kapasitesi 125 m³ olup, kapalı döngü olarak kapasite testleri yapılmaktadır.



Şekil 5.9: Deney Düzeneği İş Akış Programı



Şekil 5.10: Deney Düzeneği Şematik Planı



Şekil 5.11: Ejektör Kapasite Ölçümü Deney Düzenegi

5.4.2.2 Deney düzeneginde kullanılan ölçüm cihazları

Ejektör kapasite ölçümü deney düzeneginde, hacimsel debi ve basınç ölçümleri yapabilmek için çeşitli ölçme cihazlar kullanılmıştır. Deneylerde, pompa çıkışındaki basınç manometre ile, ejektör debi kapasitesi ise manyetik debimetre ekranı üzerinden okunmuştur

5.4.2.2.1 Basınç ölçümü

Bir ejektörün pompa çıkışındaki basınç ile ejektörün havuz ile arasındaki yükseklik farkı ejektör emme kapasitesi ve toplam kapasitesini etkilemektedir. Pompa çıkışındaki sabit statik basınç ve sabit emme yüksekliğinde ejektör kapasitesi ölçüleceği için, pompa çıkışına, ejektör girişinden önce manometre yerleştirilmiştir. Deneylerde Pakkens marka gliserinli manometre kullanılmıştır. Manometrelerin ölçüm hassasiyeti KL-2,5 olup ölçüm belirsizliği kalibrasyon sertifikasında 0,139 Bar olarak belirtilmiştir

5.4.2.2.2 Debi ölçümü

Deney düzeneginde ENELSAN marka DN 150 mm boyutunda, maksimum 760 m³/h kapasitesindeki manyetik debimetre kullanılmıştır. Üzerindeki ML 210 model sinyal konvertörü ise dijital ekrandan debinin okunmasını sağlamıştır. Manyetik debimetrenin belirsizliği kalibrasyon raporunda %3 olarak verilmiştir. Şekil 5.12’de ise debimetrenin tesisata bağlı resmi görülmektedir.



Şekil 5.12: DN150 mm Manyetik Debimetre

5.4.2.3 Kapasite testlerinin yapılması

Üç farklı tasarıma sahip ejektörün kapasite testleri yeni kurulan ejektör test düzeneğinde yapılmıştır. Ejektör, test düzeneğine pompa, emme ve ejektörün basma taraflarında bulunan flanşlardan deney düzeneğine monte edilmesiyle başlamaktadır. Emme dirseğine küresel vana ile emme borusu bağlanarak test havuzuna bırakılmıştır. Sistemde 45 kW 380V elektrik motorlu santrifüj pompanın elektrik bağlantısı yıldız üçgen elektrik panosuna bağlanarak yapılmıştır.

Deney düzeneğinde pompanın çalıştırılabilmesi için pompanın su ile doldurulması gerektiği için, pompa çalıştırılmadan önce vakum sistemiyle deney düzeneği içinde bulunan hava tahliye edilerek, deney düzeneği su ile doldurularak elektrik panosundan pompaya yol verilmiştir. Pompaya yol verildiğinde deney düzeneğinde debimetreden önce takılan DN150 mm çapında sürgülü vana pompa motorunu aşırı akım yükselmesinden korumak için kapalı konumda tutulmuştur. Elektrik motoru yıldızdan üçgene geçtikten sonra sürgülü vana tam açık pozisyona alınmıştır.

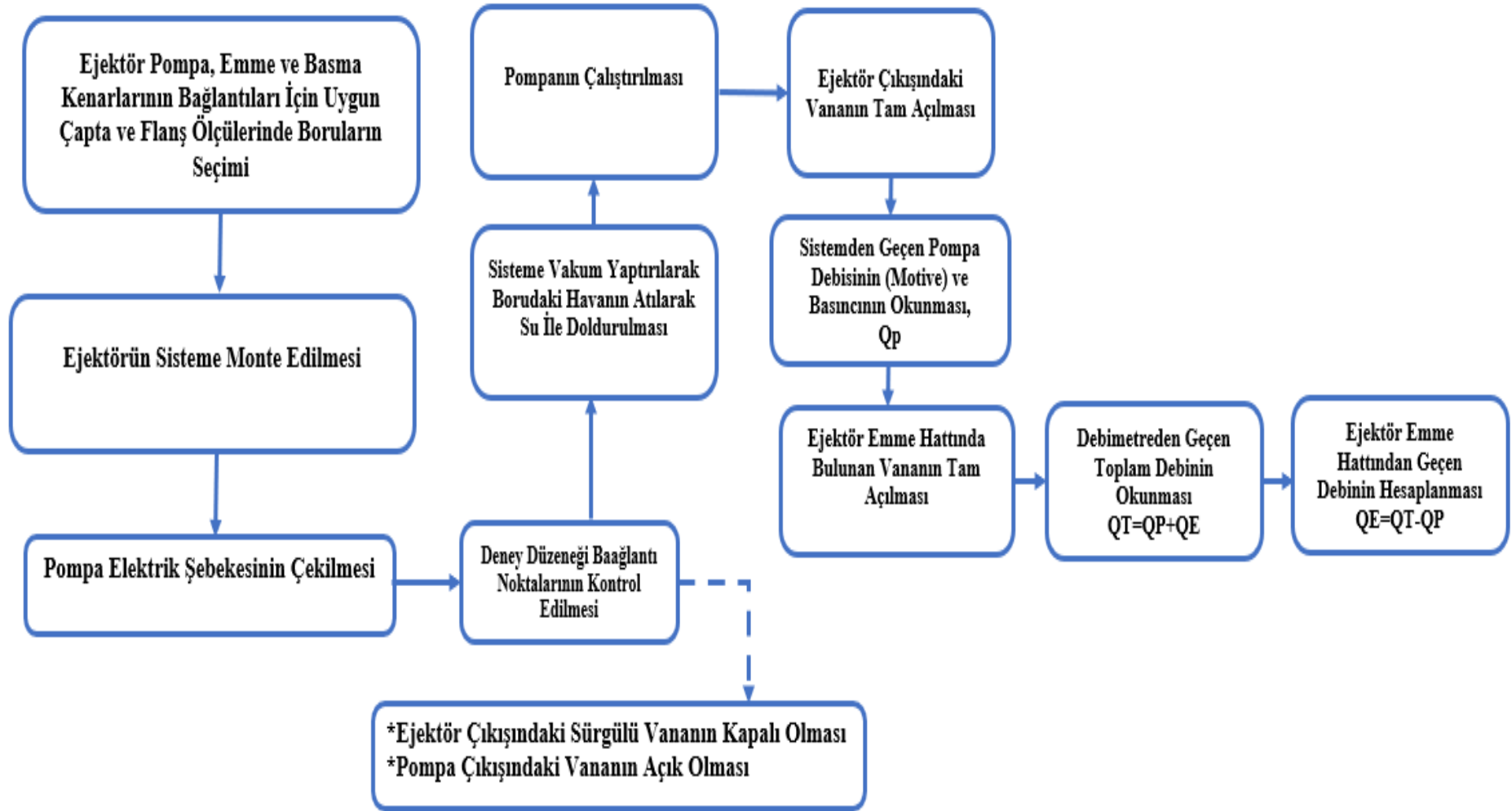
Başlangıçta ejektör emme dirseğinde bulunan küresel vana kapalı olup, deney düzeneğinde bulunan pompadan çıkan debinin (Q_p) basıncı ve debisi deney düzeneğinde bulunan manometre ve debimetrelerden okunmuştur. Ejektör pompa çıkışındaki kapasite miktarı değeri debimetrede sabitlendikten sonra, ejektör emme dirseğine monte edilen küresel vana açık konuma getirilerek, ejektörün vakum yapması sağlanır. Bu durumda deney düzeneğindeki manyetik debimetre ekranından

okunan kapasite değeri ' Q_P+Q_E ' pompa kapasitesi ile emme kapasitesinin toplamından oluşmakta olup sistemin toplam debisini vermektedir. Toplam kapasite değerinden deney başlangıcında okunan pompa kapasitesi çıkartıldığında ejektörün emme kapasitesi m^3/h olarak hesaplanmaktadır.

Deney düzeneğinde okunan debi değerleri pompa çıkışındaki sabit basınç değerinde ve sabit pompa dönme hızında ölçülen değerlerdir.

Ejektör deney düzeneğindeki kapasite testinin akış diyagramı Şekil 5.12'de verilmiştir. Deneyleri yapılan ejektörlerin fotoğrafları Şekil 5.13'te verilmiştir.

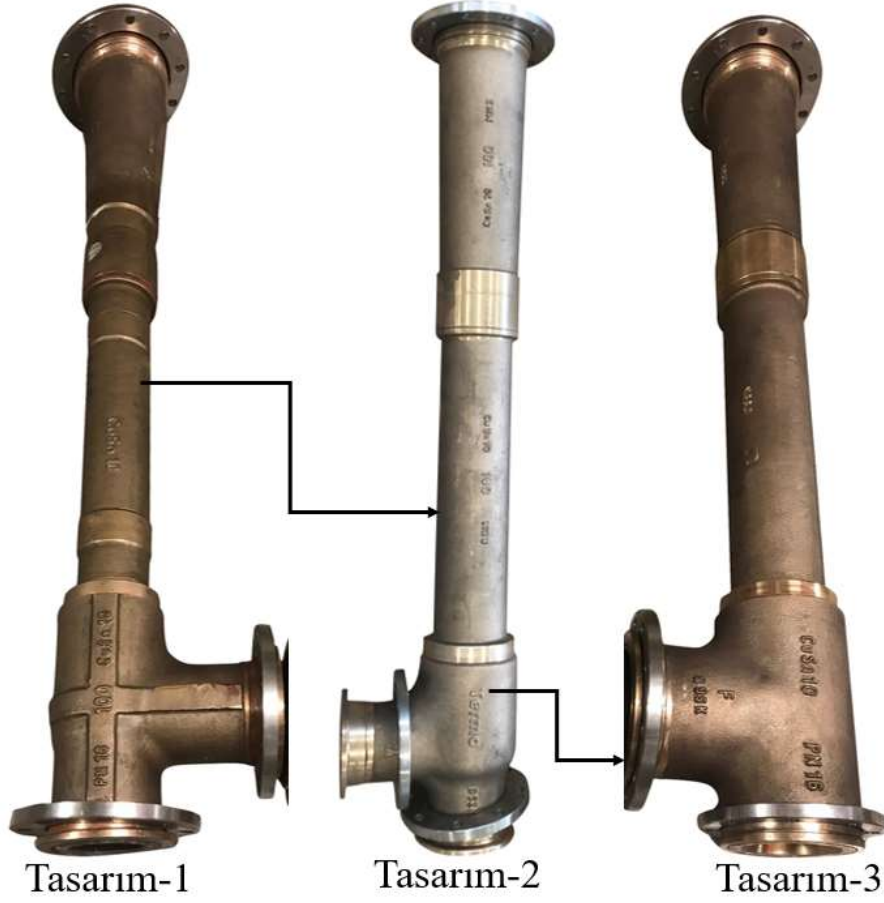




Şekil 5.13: Ejektör Kapasite Ölçümü Deney Düzeneği

5.4.2.4 Test edilen su jeti ejektörleri

Su jeti ejektörleri kapasite ölçümleri üç farklı tasarım için yapılmıştır. Ejektörlerin tamamı Gedik Termo Vana A.Ş. fabrikasında askeri gemiler için özel tasarlanıp ve geliştirilerek, bağımsız denetim kuruluşu Türk Loydu eşliğinde doğrulama ve tip onay testleri yapılmıştır. Şekil 5.14’de deneyleri yapılan ejektörlerin resimleri bulunmaktadır.



Şekil 5.14: Deneyleri Tamamlanan Su Jeti Ejektörleri

5.4.2.5 Deneysel sonuçlar

2980 devir/dakika dönme sayısına sahip santrifüj pompa ile yapılan kapasite ölçüm deneylerinde öncelikle pompa debisi okunmuş olup ardında deney düzeneğinin emme hattındaki vana açılarak pompa ile birlikte emiş kısmından gelen toplam akış miktarı ölçülmüştür. Toplam akış miktarından pompa debisi m çıkartılarak ejektörlerin emme debisi hesaplanmıştır. Çizelge 5.1’de üç farklı ejektör tasarımı için deneysel sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 5.1: Test Edilen Ejektörlerin Deneysel Sonuçları

Tasarım	Devir Sayısı (d/d)	Pompa Basıncı (Bar)	Pompa Debisi (m ³ /h)	Toplam Debi (m ³ /h)	Emme Debisi (m ³ /h)
Tasarım-1	2980	9	64,30	116,95	52,95
Tasarım-2	2980	9	65,26	138,38	73,15
Tasarım-3	2980	9	65,10	168,50	103,40

5.4.2.6 Deneysel sonuçların sayısal sonuçlarla karşılaştırılması

Sayısal analiz çalışması kapsamında yapılan çözüm ağı kalitesine göre elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.4.2.6.1 Tasarım-0 Deneysel sonuçların sayısal sonuçlarla karşılaştırılması

Tasarım-1 ejektörüne ait emme kapasitesi sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2: Tasarım-1 Deneysel Sonuçları

Çözüm Ağı Kalitesi	Kaba Kalite	Orta Kalite	İyi Kalite
Çözüm Ağı Sayısı	595890	995990	2028498
Sayısal Sonuçlar m ³ /h	52,056	54,57	56,37
Deneysel Sonuçlar m ³ /h	52,95	52,95	52,95
Sapma-%	%2	%3	%3

5.4.2.6.2 Tasarım-1 Deneysel sonuçların sayısal sonuçlarla karşılaştırılması

Tasarım-2 ejektörüne ait emme kapasitesi sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3: Tasarım-2 Deneysel Sonuçları

Çözüm Ağı Kalitesi	Kaba Kalite	Orta Kalite	İyi Kalite
Çözüm Ağı Sayısı	583876	1106984	205231
Sayısal Sonuçlar m ³ /h	67,50	75,67	74,70
Deneysel Sonuçlar m ³ /h	73,15	73,15	73,15
Sapma-%	%8,4	%3	%2

5.4.2.6.2 Tasarım-2 Deneysel sonuçların sayısal sonuçlarla karşılaştırılması

Tasarım-3 ejektörüne ait emme kapasitesi sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4: Tasarım-3 Deneysel Sonuçları

Çözüm Ağı Kalitesi	Kaba Kalite	Orta Kalite	İyi Kalite
Çözüm Ağı Sayısı	605019	1059520	2015000
Sayısal Sonuçlar m ³ /h	108,10	96,40	104,40
Deneysel Sonuçlar m ³ /h	103,40	103,40	103,40
Sapma-%	%4,5	%7	%1

Üç ejektör tasarımı için sayısal ve deneysel sonuçlar incelendiği zaman, kaba çözüm ağı ile hasas çözüm ağı arasında maksimum %8 mertebesinde sapma olduğu yukarıda verilen karşılaştırma çizelgelerinde görülmektedir. Türk Loydu askeri gem kurallarına göre deneysel sonuçlarda emme kapasitesi %10 düşük olması kabul edilebilir olmasından dolayı elde edilen sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki sapmalarında bu değer içinde olduğu görülmektedir. Karşılaştırma tablolarında pompa ve toplam kapasite değerleri yarıda verilen çizelgelerdeki sapma değerlerine sahip olmalarından dolayı verilmemiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlar üç ejektör için de birbirine çok yakın elde sonuçlar elde edilmesinden dolayı, yeni tip ejektör tasarım ve geliştirme projelerinde oluşturulan sistematik sayısal analiz ve optimizasyon çalışması kullanılacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, askeri gemilerde kullanılan su jeti ejektörünün tasarım sürecine, sürecin zamanını kısaltmak amacıyla deney tasarımı yöntemi dahil edilmiştir. Deney tasarımı yöntemi sisteme entegre edilebilmesi için, öncelikle bir boyutlu tasarım ve optimizasyon çalışmasında yöntem kullanılarak, su jeti ejektörünün emme kapasitesi ile verimine etki eden geometrik boyutlar ve boyutsuz katsayılar elde edilmiştir. Bir boyutlu çalışmadan elde edilen optimizasyon ve geliştirme bilgisi, emme kapasitesi yeterli olmayan ve askeri gemide kullanılan bir su jeti ejektörünün emme kapasitesini geliştirmek için kullanılmış olup, bu kapsamda iki yeni ejektör tasarımı yapılarak sayısal analizleri yapılmıştır. İki yeni ejektör üretilerek kapasite testleri yapılmış olup, elde edilen sonuçlar deneysel ve sayısal olarak karşılaştırılmıştır.

6.1 Deney Tasarımı Yönteminde Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Su jeti ejektörü emme kapasitesini geliştirebilmek için, öncelikle deney tasarımı yöntemi ile su jeti ejektörünün geometrik parametrelerinin, ejektör emme kapasitesi ve verimine olan etkileri incelenmiş olup, bu kapsamda, ejektörün emme kapasitesini optimum yapan oranlar bulunmuştur. Deney tasarımı yönteminde elde edilen oranlar ile, yeni geliştirilen ejektörlerde kullanılan oranların karşılaştırılması Çizelge 6.1’de verilmiştir. Deney tasarımında elde edilen boyutsuz tasarım oranları Çizelge 6.1’de ‘DoE’ sütununda verilmiştir. Çizelgede Tasarım-0 mevcut tasarımı, Tasarım-1 ve Tasarım-2 ise yeni tasarlanan ejektörleri temsil etmektedir.

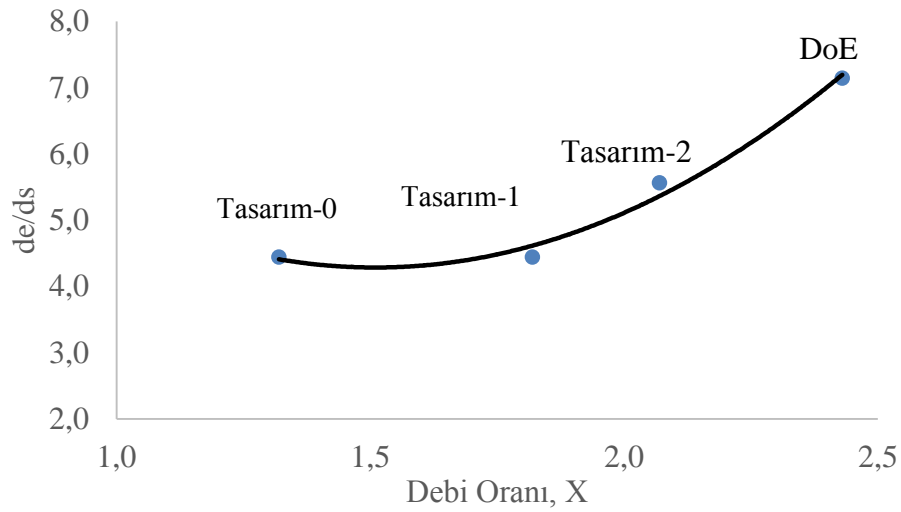
Debi oranına bağlı olarak, bir boyutlu tasarım oranlarıyla, üretimleri yapılan ejektörlerin tasarım oranları detaylı olarak incelenmiştir. Her bir boyutsuz tasarım parametresinin, su jeti ejektörü emme kapasitesine olan etkileri incelenerek sayısal ve deneysel sonuçlarla olan eğilimler ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çizelge 6.1: Tasarımlar ve Boyutsuz Sayılar

Tasarım Oranları	DoE	Tasarım-0	Tasarım-1	Tasarım-2
de/ds	7.14	4.44	4.44	5.56
dm/ds	5.00	3.00	4.11	4.11
dd/ds	6.73	5.56	5.56	5.56
Lm/dm	4.54	8.07	5.89	5.89
Ld/dm	7.55	6.35	4.64	4.64
Debi Oranı, X	2.43	1.32	1.82	2.07

6.1.1 'de/ds' oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisinin değerlendirilmesi

De/ds oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisi deneysel ve sayısal olarak incelendiği zaman, Şekil 6.1'de gösterilen grafikteki eğilimde de görüleceği üzere de/ds oranı arttıkça, ejektörün emme kapasitesinin arttığı sayısal ve deneysel olarak ortaya konulmuştur.



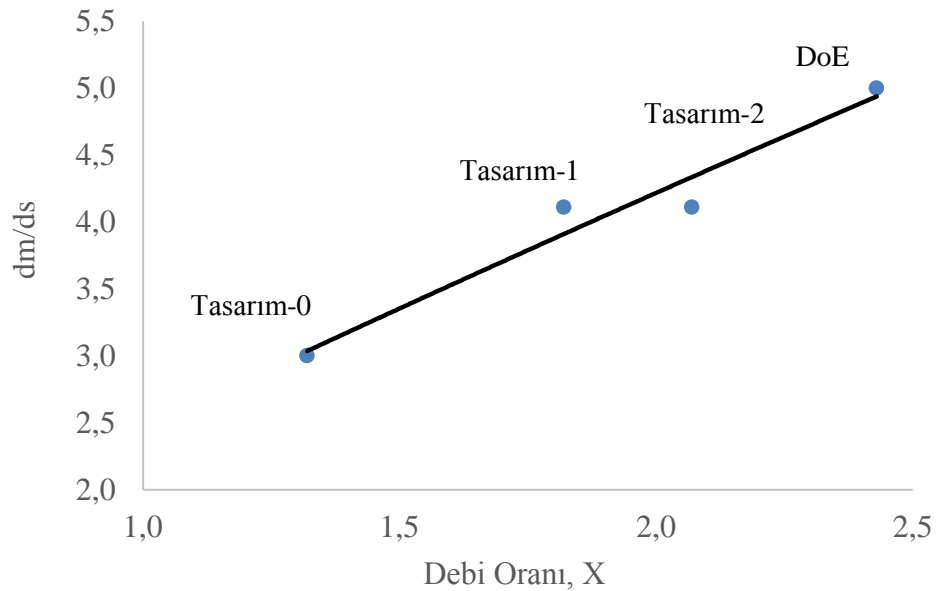
Şekil 6.1: 'de/ds' Debi Oranı (X) Grafiği

Yeni tasarım ve üretimleri yapılan ejektörler, gemide mevcut sistemde kullanılmasından dolayı, performans geliştirme çalışması kapsamında ejektörün toplam boyları değiştirilmemiştir. Ejektör bağlantı flanş çapları VG ve EN normlarında sabit olup, tasarım ve geliştirme sürecinde normlarda belirtilen anma boyutları tasarımın kısıtlarını oluşturmaktadır. Bu kapsamda normlara uygun olarak seçilebilecek maksimum 'emme çapı' kullanılacak sistemdeki boru çapları da dikkate alınarak seçildiğinden Tasarım-2'de deneysel olarak da de/ds= 5,56 değerinde maksimum emme debisi elde edilmiştir. Bir boyutlu çalışmada elde edilen de/ds =

7.14 debi oranı 2.07'den 2.43'e yükseldiğinden, sonraki yapılacak olası yeni tasarımlarda, bu oran değerlendirilecektir. Sayısal ve deneysel sonuçlardan da görüleceği üzere, ejektör emme çapının, ejektörün emme kapasitesine doğrudan etki yaptığı Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1'de görülmektedir.

6.1.2 'dm/ds' Oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisinin değerlendirilmesi

Karşım odası çapının nozul çapına bölünmesiyle elde edilen dm/ds oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisi deneysel ve sayısal olarak incelendiği zaman, Şekil 6.2'de gösterilen grafikteki eğilimde de görüleceği üzere dm/ds oranı arttıkça, ejektörün emme kapasitesinin arttığı sayısal ve deneysel olarak ortaya konulmuştur.

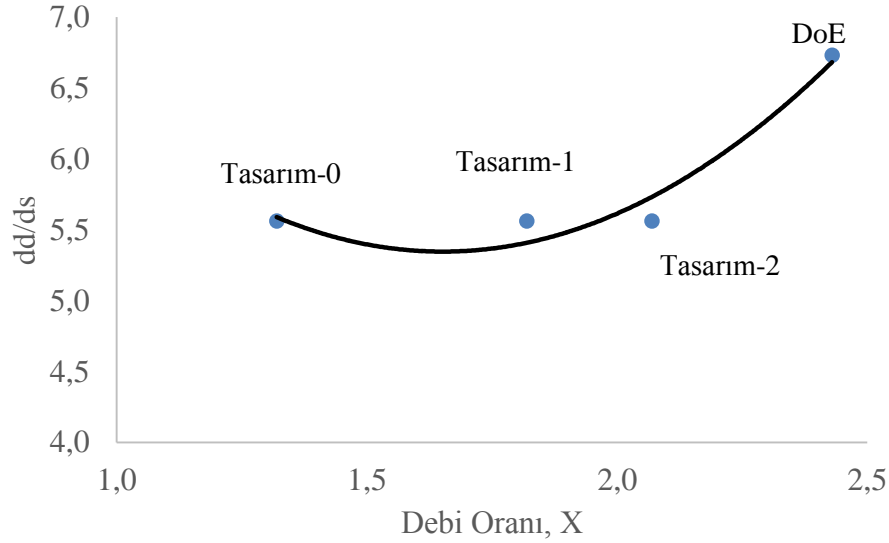


Şekil 6.2: 'dm/ds' Debi Oranı (X) Grafiği

Bir önceki karşılaştırmada belirtilen kullanım yeri ve bağlantı kısıtlarından dolayı, dm/ds en büyük 4.11 olarak seçilebilmiştir. Bir boyutlu çalışmada elde edilen dm/ds = 5 debi oranı 2.07'den 2.43'e yükseldiğinden, sonraki yapılacak olası yeni tasarımlar esnasında bu oranın kullanılması değerlendirilecektir. Sayısal ve deneysel sonuçlardan da görüleceği üzere, karşım odası çapının, ejektörün emme kapasitesine doğrudan etki yaptığı Çizelge 6.1 ve Şekil 6.2'de görülmektedir.

6.1.3 'dd/ds' Oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisinin değerlendirilmesi

Difüzör çıkış çapının nozul çapına bölünmesiyle elde edilen dd/ds oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisi deneysel ve sayısal olarak incelendiği zaman, Şekil 6.3'de gösterilen grafikteki eğilimde de görüleceği üzere dd/ds oranı arttıkça, ejektörün emme kapasitesinin arttığı sayısal ve deneysel olarak ortaya konulmuştur.

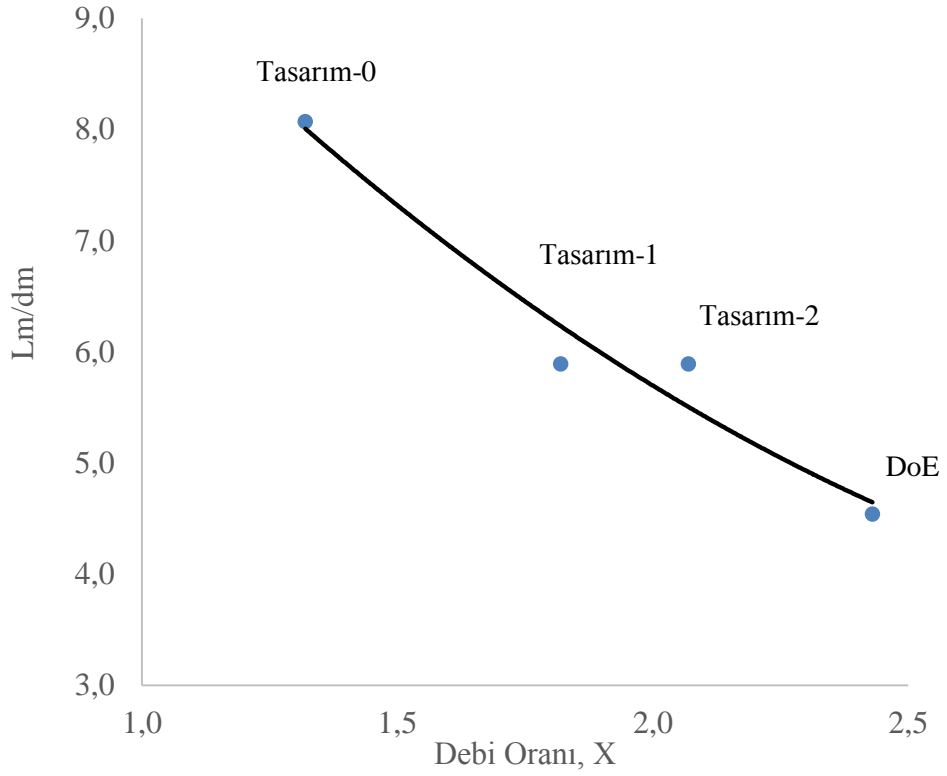


Şekil 6.3: 'dd/ds' Debi Oranı (X) Grafiği

Sayısal çalışmalarda yapılan incelemelerde 'dd/ds' oranının, ejektör emme kapasitesine olan etkisi Şekil 6.3'de de verilen grafikte görüleceği üzere, bir önceki oranlarda olduğu gibi direkt etkiye sahip olmamasına rağmen, özellikle ejektör difüzöründeki koniklik açısı kaynaklı difüzörde meydana gelebilecek akış ayrılmalı kaynaklı hidrolik kayıplara dolayısıyla difüzör çıkışındaki basınç ile direkt etkisi olduğu orata konulmuştur.

6.1.4 'Lm/dm' Oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisinin değerlendirilmesi

Karışım odası uzunluğunun karışım odası çapına bölünmesiyle elde edilen 'Lm/dm' oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisi deneysel ve sayısal olarak incelendiği zaman, Şekil 6.4'de gösterilen grafikteki eğilimde de görüleceği üzere 'Lm/dm' oranı düştüğünde, ejektörün emme kapasitesinin arttığı sayısal ve deneysel olarak ortaya konulmuştur

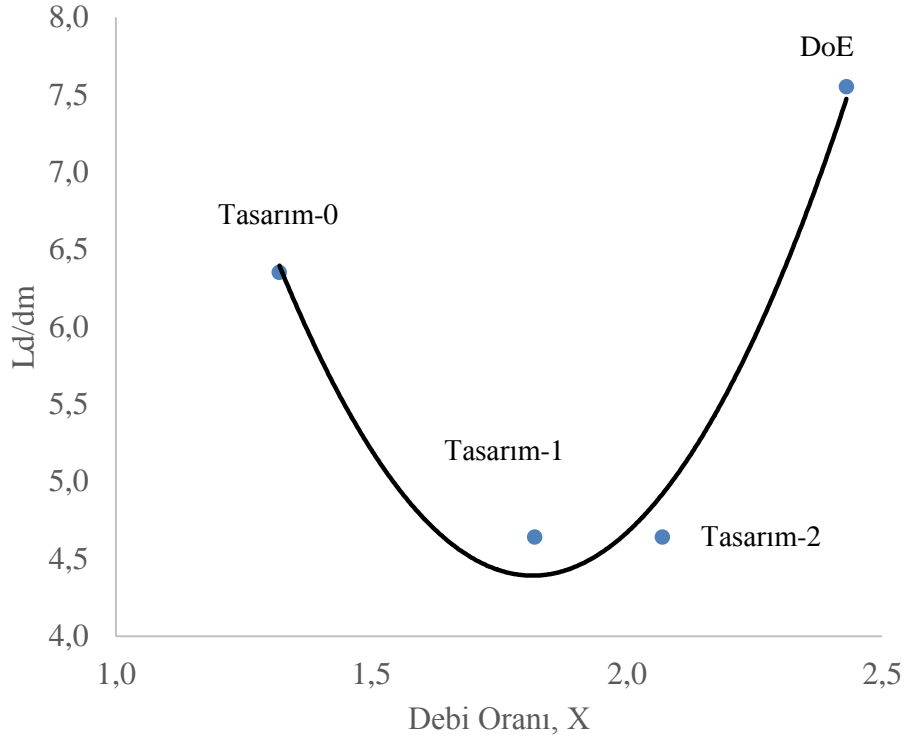


Şekil 6.4: 'Lm/dm' Debi Oranı (X) Grafiği

Karışım odası uzunluğu küçüldüğünde, hem karışım odasındaki sürtünme esaslı hidrolik kayıpları minimize etmekte, hem de karışım odasındaki jet akışı etkisinden dolayı ani basınç düşüşü bölgesinin ejektöre daha iyi bir vakum yapma imkanı sağlamasına olanak tanınmasından dolayı ejektör emme kapasitesinin değişimine doğrudan etkiye sahip olduğu sayısal ve deneysel olarak doğrulanmıştır.

6.1.5 'Ld/dm' Oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisinin değerlendirilmesi

Difüzör uzunluğunun karışım odası çapına bölünmesiyle elde edilen 'Ld/dm' oranının ejektör emme kapasitesine olan etkisi deneysel ve sayısal olarak incelendiği zaman, Şekil 6.5'de gösterilen grafikten görüleceği üzere ejektör difüzör uzunluğu ile ejektör emme kapasitesi arasında direkt bir korelasyon bulunamamasına rağmen, difüzör uzunluğu ile difüzör koniklik açısı arasında direkt bir korelasyon olmasından dolayı, difüzör bölgesinde gerçekleşecek akış ayrılma kaynaklı hidrolik kayıplara neden olduğu sayısal çalışmalardan elde edilmiştir.



Şekil 6.5: 'Ld/dm' Debi Oranı (X) Grafiği

6.2 Deneysel Sonuçlarla Sayısal Sonuçların Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında elde edilen HAD sonuçlarının, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda yapılan sayısal çalışmalarda çözüm ağı kalitesinin de sayısal ve deneysel sonuçlara olan etkisi incelenmiştir. Sayısal ve deneysel sonuçların, çözüm ağı kalitesi ile birlikte karşılaştırılması Çizelge 6.2'de verilmiştir. Yapılan sayısal çalışma sonuçlarının çözüm ağı kalitesine bağlı olarak %1 ile %8 mertebesinde deneysel sonuçlara yaklaştığı Çizelge 62'de görülmektedir. Türk Loydu askeri gemi kuralları ejektör kabul kriterlerine göre ejektör emme debisinde kabul edilen tolerans değeri ölçülen değer %10 u olarak belirtilmesinden dolayı, elde edilen sayısal sonuçların uygun ve tuatrlı olduğu ortaya konuşmuştur.

HAD analizlerinden önce tercih edilen analiz ayarlarının doğruluğu çalışma ile ortaya konulmuştur. Bununla birlikte çözüm ağı kalitesi bakımından değerlendirildiğinde başlangıç analizlerinde eğilimleri görmek ve hızlı sonuçlar elde edebilmek için düşük kalitede çözüm ağı kullanılabilceği, hassas çözümler

için ise orta ve yüksek kalitede çözüm ağlarının kullanılmasının önemi Çizelge 5.2’de ortaya konulmuştur.

Çizelge 6.2: Tasarımlar ve Boyutsuz Sayılar

Tasarım	Çözüm Ağı Kalitesi	Kaba	Orta	Yüksek
Tasarım-0	Çözüm Ağı Sayısı	595890	995990	2028498
	Sayısal Sonuçlar m ³ /h	56,37	54,57	52,056
	DeneySEL Sonuçlar m ³ /h	52,95	52,95	52,95
	Sapma-%	%2	%3	%3
Tasarım-1	Çözüm Ağı Sayısı	583876	1106984	205231
	Sayısal Sonuçlar m ³ /h	67,50	75,67	74,70
	DeneySEL Sonuçlar m ³ /h	73,15	73,15	73,15
	Sapma-%	%8,4	%3	%2
Tasarım-2	Çözüm Ağı Sayısı	605019	1059520	2015000
	Sayısal Sonuçlar m ³ /h	108,10	96,40	104,40
	DeneySEL Sonuçlar m ³ /h	103,40	103,40	103,40
	Sapma-%	%4,5	%7	%1

6.3 Genel Değerlendirme ve Sonuçlar

Bu çalışmada askeri gemide kullanılan su jeti ejektörü, deney tasarımı yöntemi ‘DoE’ kullanılarak elde edilen boyutsuz tasarım oranları kullanılarak, iki adet yeni su jeti ejektör tasarım ve optimizasyon çalışmaları tamamlanarak, sayısal sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda su jeti ejektörlerinde sayısal ve deneysel olarak elde edilen verilerin kendi içinde tutarlı olduğu görülmektedir.

Deney tasarımı yönteminin ‘DoE’ dahil edildiği tasarım sürecinde, optimum ejektör boyutlarını bulabilmek için minimum itersayonla optimum emme kapasitesini verecek ejektör geometrik boyutları daha hızlı elde edilebilmektedir. Önceden tasarım konfigürasyonlarının her biri baştan tasarlanarak her biri için HAD analizleri yapılarak sonuca gidilirken, deney tasarımı yönteminin dahil edildiği tasarım sürecinde belirlenen boyutsuz sayılarla tasarlanan yeni ejektörlerin, üç boyutlu Solidworks dizayn programına entegre halde bulunan tasarım optimizasyonu opsiyonunu kullanarak optimum çözümü elde edecek geometrik boyutlara tek tasarımla ulaşılması sağlanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir.

Gedik Thermo Vana firmasında kullanılan su jeti ejektörü tasarım ve optimizasyon yöntemine, deney tasarımı yöntemi dahil edilerek firmadaki vana tasarım sürecinin zamanı kısaltılmıştır. Askeri gemilerde kullanılan su jeti ejektörünün emme kapasitesi 52,05 m³/h'den 103,40 m³/h değerine çıkarılmıştır. Çalışma sayısal ve deneysel olarak doğrulanmıştır.

Deney tasarım methodu, ejektör tasarım algoritması içine entegre edilerek yeni bir tasarım süreci oluşturulmuş olup, yeni tasarım sürecindeki tasarım süresi %60, kalıp maliyetleri %30 mertebesinde azalmıştır.

Daha büyük kapasiteli ejektör tasarımı için Ar-Ge bilgi alt yapısı oluşturulmuştur.

Su jeti ejektörleri için modüler tasarım ve üretim yöntemi oluşturulmuştur.

Yapılan deneylerde aynı ejektör içinde farklı nozul çapları ile, ejektör emme ve toplam debisinde farklı çalışma noktaları elde edildiği görülmüştür.

Deney tasarımı yöntemi DoE firma içinde diğer proseslerde de kullanılmaya başlanmıştır.

6.4 Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar

Çalışma referans alınarak aşağıda belirtilen diğer çalışmalar gelecekte yapılabileceği düşünülmektedir.

Geliştirilen tasarım yöntemi, sıkıştırılamaz akışkanlar için geçerliliğinin sınanması üzerine çalışma yapılabilir.

Su jeti ejektörleri için kayıp korelasyonları tasarım sistemine entegre edilerek, genetik algoritma, yapay sinir ağları yöntemi ve bulanı mantık modelleri gibi algoritmalar tasarım süreci içine entegre edilebilir.

Geliştirilen yöntemin daha farklı ejektör çaplarında doğruluğunun sınanması çalışması devam edecektir.

Deney düzeneği, santrifüj pompayı değişken devirlerde çalıştıracak yol verici yatırımıyla, pompa devir sayısı değişikliklerinin ejektör performansına etkileri incelenebilir.

Nozul pozisyonunun ejektör performansına etkileri üzerine çalışma gerçekleştirilebilir.

Nozul geometrik yapısının, ejektör performansı üzerine etkileri üzerine çalışma yapılabilir.

Yakınsayan ve ıraksayan karışım odası geometrilerinin ejektör performansı üzerine etkileri üzerine çalışma yapılabilir.

Yakınsayan ve ıraksayan difüzör geometrilerinin ejektör performansı üzerine etkileri üzerine çalışma yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Aidoun, Z., Ameer, K., Falsafioon, M. ve Badache, M.** (2019). Current Advances in Ejector Modeling, Experimentation and Applications for Refrigeration and Heat Pumps. Part 1: Single-Phase Ejectors; CanmetENERGY Natural Resources Canada, 1615 Lionel Boulet Blvd., P.O. Box 4800, Varennes, QC J3X1S6.
- Akkuş, M. S. ve Karabudak, S.** (2020). Biyoproses Çalışmalarında Deneysel Tasarım Yönteminin Uygulanması; İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi, 1(2), 188-197.
- Aldaş, K. ve Yapıcı, R.** (2014). Investigation of Effects of Scale and Surface Roughness on Efficiency of Water Jet Pumps Using CFD; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Aksaray University, 68100 Aksaray, Turkey
- Aliemeke, G.N.B. ve Oladeinde, M.H.** (2020). Box-Behnken Design Optimization of Sand Casting Process Parameters; International Journal of Engineering and Technologies-IJET, Vol.6, No.2, 2020.
- Almutairia, S.K.** (2017). An Integrated Modeling Approach for Design and Optimization; the Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering and Graduate School at the University of Missouri-Columbia.
- Atmaca, M. ve Ezgi, C.** (2019). Three-dimensional CFD modeling of a steam ejector; Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, DOI:10.1080/15567036.2019.1649326.
- Baray, A. ve Sarı, T.** (2006). Kalite Geliştirmede Deney Tasarımı Yöntemi ve Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama, İ.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi Kasım 2006 C:35 Sayı:2, Sayfa 37-62.
- Basmacı, G., Kırbaş, İ., Ay, M. ve Peker, M.** (2018). Karma Taguchi ve yüzey yanıt yöntemi kullanılarak astm b574 (hastelloy c-22)'in tornalanması esnasındaki işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2), 761~771, 2018
- Benjamin, T.** (2001). The Eductor Pumps, World Pumps.
- Besagni, G., Mereu, R., Chiesa, P. ve Inzoli, F.** (2015). An Integrated Lumped Parameter-CFD approach for off-design ejector performance evaluation; Politecnico di Milano, Department of Energy, Via Lambruschini 4, 20156 Milan, Italy.
- Blatchley, C.G.** Controlling Ejector Performance; Schutte Koetering; Schutte & Koerting 2510 Metropolitan Drive, Trevoise, PA 19053 ,USA
- Bogi, B.** (2011). Efficient design-oriented numerical simulation of an ejector; Master Thesis, University of Florida.

- Colarossi, M.F.(2014).** Multidimensional Modeling of Condensing Two-Phase Ejector Flow; University of Massachusetts Amherst, Masters Theses 1911 - February 2014.
- Croquer, S., Poncet, S., Galanis, N. (2016).** Comparison of ejector predicted performance by thermodynamic and CFD models; international journal of refrigeration 68 (2016) 28–36.
- Değirmenciöglu, A.ve Yazgi, A. (2006).** Tepki Yüzeyleri Metodolijisi, Optimizasyon Esaslı Çalışmalara İlişkin Teorik Esaslar ve Tarımsal Mekanizasyon Uygulamaları; Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 2006-2, 111-115.
- Demir, Ö., ve Aksu, B. (2017).** İlaç Formülasyonu Geliştirilmesinde Deney Tasarımı (DoE) Seçimi ve Kullanımı; Marmara Pharmaceutical Journal 21/2: 216-227, 2017, DOI: 10.12991/marupj.277719
- Franciscus, L.C. (1970).** Analysis of Rocket-Powered Ejectors for Pumping Liquid Oxygen and Liquid Hydrogen; National Aeronautics and Space Administration, WASHINGTON, D. C. OCTOBER 1970.
- Frisco, D. (2022).** Mathematical Modelling of the Entrainment Ratio of High Performance Supersonic Industrial Ejectors; Processes 2022, 10, <https://doi.org/10.3390/pr10010088>.
- Friso, D. (2022).** Mathematical Modelling of the Entrainment Ratio of High
- Galanis, N., Sorin, M. (2016).** Ejector design and performance prediction; International Journal of Thermal Sciences 104 (2016) 315e329.
- Gebousky, O., Marik, K., Haidl, J., Zednikova, M. (2021).** On enhancement of gas entrainment rate in liquid-gas ejector pump; The Czech Academy of Sciences, Institute of Hydrodynamics, Chemical Engineering Journal.
- Genceli, O. F., 1995.** Ölçme Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Gorbylev, A.Y, A N Drozdov, A.N. (2022).** Calculation of the Pump-Ejecting Systems Characteristics for SWAG Injection Using Flue Gas; IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 988 (2022) 032086.
- Gullo, P., Hafner, A., Bansiak, K., Minetto, S., ve Kriezi, E. (2019).** Multi-Ejector Concept; A Comprehensive Review on its Latest Technological Developments, Department of Energy and Process Engineering, NTNU Norwegian University of Science and Technology.
- Hao1, X., Yan, J., , Gao, N., Volovyk, O., Zhou1, Y.,Chen, G.(2022).** Experimental Investigation of an Improved Ejector with Optimal Flow Profile; Institute of Refrigeration and Cryogenics, Zhejiang University, 310027, Hangzhou, China, Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, 315100, Ningbo, China Zhejiang Engineering Research Center for Intelligent Marine Ranch Equipment, 315100, Ningbo, China.
- Higgins, H.W. (1964).** Water jet air pump theory and performance; Dudley Knox Library, Naval Post Graduate School, 411 Dyer Road, 1 University Circle, Monterey, California USA 93943.

- Huang, B.J., Chang, J.M., Wang, C.P. ve Petrenko, V.A.** (1998); 1-D analysis of ejector performance, Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan
- Iran, E., ve Neto, L.** (2011). Maximum suction lift of water jet pumps; Journal of Mechanical Science and Technology 25 (2) (2011) 391~394, www.springerlink.com/content/1738-494x, DOI 10.1007/s12206-010-1221-7.
- Ismagilov, A.R., Spiridonov, E.K., Belkina, O.V.** (2017). Liquid Jet Ejector Efficiency Improvement; Elsevier, Science Direct, Procedia Engineering 206 (2017) 99–106.
- Jacyna, J., Kordalewska, M., Markuszewski, M.J.** (2019). Design of Experiments in metabolomics-related studies: An overview, Journal of pharmaceutical and biomedical analysis, 164, 598-606.
- Jia, D., Esmaily, M.**(2022). Characterization of the Ejector Pump Performance for the Assisted Bidirectional Glenn Procedure; MDPI, Fluids doi.org/10.3390/fluids7010031.
- Jiang, L. ve Wu, S.** (2012). Numerical Simulation of Muti-Jet Ejector; National Conference on Information Technology and Computer Science
- Karadaş, A.** (2010). Sanayide Deney Tasarımı Uygulaması; T.C. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Karshoğlu, Z.** (2013). Fire Analizinde Deney Tasarımı; T. C. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Üretim Bilim Dalı, Doktora Tezi.
- Knut Emil Ringstada, K.E., Allouchea, Y., Gullob, P., Ervikc, A., Banasiakc, K.** (2020). A detailed review on CO2 two-phase ejector flow modeling; Thermal Science and Engineering Progress 20 (2020) 100647.
- Koirala, R., Linh, O., Zhu, B., Inthavong, K., ve Abhijit, D.** (2021). A Review on Process and Practices in Operation and Design Modification of Ejectors; doi.org/10.3390/fluids6110409.
- Körting** (2020), Reference Data for Application of Jet Ejectors and Vacuum Processing; Körting Hannover A.G.
- Kracik, J. ve Dvorak, V.** (2016). Development of an Analytical Method for Predicting Flow in a Supersonic Air Ejector; EPJ Web of Conferences, 114, 02059, (2016), DOI: 10-1051.
- Kuzmenko, K., Yurchenko, N., Vynogradskyy, P., Paramonov, V.**(2016). Optimization of ejector design and operation; EPJ Web of Conferences, 114, 02063.
- Leiviskä, K.** (2013). Introduction to Experiment Design; University of Oulu Control Engineering Laboratory.
- Li, C., Zhang, J., He, Z. Ve Luo, P.** (1978). Gas-liquid hydrodynamics in a self-suction jet reactor with or without swirling addition; Chemical Engineering Science 247 (2022) 117059.

- Lines, J.R. ve Smith, R.T.** (1997). Ejector system troubleshooting; Hydrocarbon Engineering, Part 1. 69 - 78 , Part 2 March/April 1997 pp 35 – 40 Palladian Publications 1999.
- Marum, O.J.V, Reis. B.L, Maffei, S.F., Ranjbarzadeh, S., Korkischko, I., Gioria, S.F.** (2021). Performance analysis of a water ejector using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations and mathematical modeling; Elsevier, Energy 220 (2021) 119779.
- Mehta, S.P. ve Engg, B.** (1963); A Study of Water Jet Pumps, University of Baroda, India, 1963, Master Tez Raporu.
- Mohamed, S., Shatilla, Y., ve Zhang, T.J.**(2018). CFD-Based Design and Simulation of Hydrocarbon Ejector for Cooling; Department of Mechanical and Materials Engineering, Masdar Institute, Khalifa University of Science and Technology, P. O. Box 54224, Abu Dhabi, UAE.
- Mongomery, D. C.** (2001) “Design and Analysis of Experiments” 5th Ed. John Wiley & Sons, Inc., Arizona.
- Murillo, W.O., Arcila, P.D.I. ve Fernández, P.A.J.**(2022). Geometric Optimization of Jet Pump Used in Vacuum Distillation Applications under Different Operating Conditions using Genetic-algorithm Methods; J. Appl. Comput. Mech., 8(1) (2022) 340-358, DOI:10.22055/JACM.2021.38411.3228.
- Niranjan, K.**(1999). Hydrodynamic and mass transfer characteristics of ejector loop reactors; Chemical Engineering Science 55 (2000) 535}549.
- Özkurt, Ö.** (1999). Deney Tasarımı ve İstatistiksel Veri Analizi; İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Pathrose, Anil., Kotak, V., Sengupta, S. Ve Bhattacharya, S.** (2022). Three Dimensional CFD Analysis of a Flow Amplifier with multiple Jet Pumps; Proceedings of the 48th National Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power (FMFP) December 27-29, 2021, BITS Pilani, Pilani Campus, RJ, India, FMFP2021–10–243.
- Pathrose, Anil., Kotak, V., Sengupta, S. ve Khan, I.** (2021). Effect of spacing between the nozzle tip and inlet of the mixing chamber on performance of a miniature jet pump – an experimental study; CHEMCON-2021, 74th Annual Session of Indian Institute of Chemical Engineers, December 27-30, 2021, Bhubaneswar, Odisha, India
- Performance Supersonic Industrial Ejectors; Processes** 2022, 10, 88. <https://doi.org/10.3390/pr10010088>.
- Poeck, E.C.**(2006). A Performance Evaluation of Various Nozzle Designs for Waterjet Scaling in Underground Excavations; Colorado School of Mines in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (Mining and Earth Systems Engineering).
- Pounds, D.A., Dong, J.M., Cheng, P., ve Ma, H.B.** (2013). Experimental investigation and theoretical analysis of an ejector refrigeration system; International Journal of Thermal Sciences 67 (2013) 200e209.

- Raghupathy, R., Amirthagadeswaran, K.S.**(2014). Optimizaton of Casting Process Based on Box-Behnken Design and Response Surface Methodolgy; International Journal for Quality Research 8(4) 569–582, ISSN 1800-6450.
- S. R. Pandhare, S.R., ve Pitale, A.K.** (2017). Study the Performance of Water Jet Pump by Changing the Angle of Mixing Nozzle; IJSRST | Volume 3 | Issue 3 | Print ISSN: 2395-6011 | Online ISSN: 2395-602X.
- Saleh, B.** (2016). Performance analysis and working fluid selection for ejector refrigeration cycle; Mechanical Engineering Department, College of Engineering, Taif University, Taif, Saudi Arabia, Applied Thermal Engineering 107 (2016) 114–124.
- Sanger, L.N.** (1968). Noncavitating Performance of two Low Area Ratio Water Jet Pumps Having Throat Length of 7.25 Diameters; National Aeronautics and Space Administartion, Washington, D.C., NASA TN D-9445.
- Scott, D., Aidoun, Z. ve Ouzzane, M.** (2011). An experimental investigation of an ejector for validating numerical simulations; international journal of refrigeration, 34(2011)1717e1723.
- Sheha, A.A.A, Nasr, M., Hosien, M.A., ve Wahba, E.M.** (2018). Computational and Experimental Study on the Water-Jet Pump Performance, Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 11, No. 4, pp. 1013-1020, 2018. Available online at www.jafmonline.net, ISSN 1735-3572, EISSN 1735-3645.DOI: 10.29252/jafm.11.04.28407
- Shukursrraf, K.A.** (2019). Bir Sünger Prosesinin Deney Tasarımı Yöntemiyle Optimizasyonu; Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Solidworks** (2021). Optimizasyon Tasarım Etüdünün Özellikleri, Kullanma Kılavuzu.
- Solidworks Cosmos** (2006). Yapısal Analiz Kullanım Kılavuzu, PMT0085-ENG.
- Styra, A., Vekteris, V. ve Striska, V.** (2012). Investigation of The Solubility of Oxygen in Water-Jet Ejectors; Hungary Faculty of Technical Sciences, Novi Sad Faculty of Mechanical Engineering, Bratislava.
- Taşgetiren, S., Gökçe, B.** (2009). Kalite İçin Deney Tasarımı; Teknolojik Araştırmalar, e-ISSN:1304-4141, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 6, No: 1, 2009 (71-83).
- Taygankov, A.S.** (1978). Water Jet Pump Design; Department of The Naval Intelligence Support Center Translation Division, 4301 Suitland Road, Washington, D.C. 20390.
- Tekindal, M.A.** (2009). Yanıt Yüzeyi Metodu ve Bir Uygulama; Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi
- Toteff, J., Asuaje, M., Noguera, R.** (2022). New Design and Optimization of a Jet Pump to Boost Heavy Oil Production; <https://doi.org/10.3390/computation10010011>.
- Türk Loydu Makina Kuralları**, (2021). <http://www.turkloydu.org>.
- Tyco International Ltd**, (2005). Jet Pump Application Guide; Form No.

- Van Eeden, P. Ve Ercolani, D.** (2013). A Method for Prediction of Gas/Gas Ejector Performance; *Impiantistica Italiana*.
- Varga, S., Oliveira, C.A., Mab, X., Omer, S.A.,Zhang b, W. ve Rifat, S.B.** (2010). Experimental and numerical analysis of a variable area ratio steam ejector; *international journal of refrigeration* 34 1668e1675.
- Vekteris, V., Styra, A., Striska, V., and Moksini, V.** (2011). Investigation of the Efficiency of Water Jet Ejectors; 15th International Research/Expert Conference Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, TMT 2011, Prague, Czech Republic.
- White, F.M.,** (2004): *Akışkanlar Mekaniği, çev,Kadir Kırkköprü,Erkan Ayder, Literatür Yayınları, İstanbul.*
- Wilman, J. T.** (1966). Jet Pumps; European Atomic Energy Community – Euratom Reactor Centrum, Nederland, Contract No. 007-61-6 PNIN.
- Yıldız, A., Kurşun, B., Ökten, K.** (2021). Optimization of the tank position and aspect ratio by the Box-Behnken method for enhancement of thermal stratification in a hot water tank; *Journal of Engineering Research and Applied Science*, Volume 10 (2), December 2021, pp 1818-1827, ISSN 2147-3471.
- Zhou, Z., Bao, Y., Sun, P., ve Li, Y.** (2022). Cooling of rocket plume using aqueous jets during launching; *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 16:1, 20-35, DOI: 10.1080/19942060.2021.2004926.
- Zohbia, E.B, Bukharinb, N., Assoumc, H.H., Abed-Meraima, K., Sakouta, A., El Hassand, M.** (2022). Investigation of the effects of the jet nozzle geometry and location on the performance of supersonic fluid ejectors; *The 8th International Conference on Energy and Environment Research ICEER 2021.*

EKLER

EK A: Belirsizlik Analizi

Belirsizlik analizi, deneysel ölçümlerin hata analizi için yapılmıştır. Belirsizlik analizinde ölçülen büyüklük R, ve ölçülen büyüklüğe etki eden bağımsız değişkenler ise 'X₁, X₂, X₃,.....X_n'. Ölçülen büyüklük (A.1) eşitliği ile tanımlanabilir. Belirsizlik analizi temel denklemleri Genceli (1995) den alınmıştır.

$$R = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (\text{A.1})$$

Bağımsız değişkenlerin hata oranları 'W₁, W₂, W₃,..... W_n' ve büyüklüğünün hata oranı (A.2) eşitliği ile tanımlanabilir. (Genceli, 2005).

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right] \quad (\text{A.2})$$

Çizelge A.1: Ölçme Cihazlarındaki Belirsizlik

Ölçme Cihazı	Maksimum	Belirsizlik
Manometre	16 bar	0.139 bar
Manyetik Debimetre	760 m ³ /h	0.3 m ³ /h

Statik basınç ölçümü manometre ile yapılmıştır. H belirsizliğini hesaplamak için basınç, hız ve kot farkının belirsizlik değerlerini bulmak gereklidir. Basıncadaki belirsizlik (A.3) eşitliği ile tanımlanmaktadır.

$$\frac{\partial H}{\partial (P_b - P_e)} = \frac{1}{\rho g} \quad (\text{A.3})$$

Hızların belirsizliği (A.4) eşitliği ile tanımlanmaktadır.

$$\frac{\partial H}{\partial v_b} = \frac{v_b}{g}; \frac{\partial H}{\partial v_e} = \frac{v_e}{g} \quad (\text{A.4})$$

Basma yüksekliğindeki belirsizlik (A.5) eşitliği ile tanımlanmaktadır.

$$W_H = \left[(W_{P_b - P_e})^2 \left(\frac{1}{\rho g} \right)^2 + (W_{V_b})^2 \frac{V_b^2}{2g} + (W_{V_e})^2 \frac{V_e^2}{2g} + (W_{z_b - z_e})^2 \right]^{1/2} \quad (\text{A.5})$$

Boyutsuz debi (A.6) eşitliği ile tanımlanmaktadır.

$$q = \frac{Q}{Q_o}, \frac{\partial q}{Q} = \frac{1}{Q_o}, \frac{\partial p}{Q_o} = \frac{Q}{Q_o^2} \quad (\text{A.6})$$

Boyutsuz debideki belirsizlik (A.7) eşitliği ile tanımlanmaktadır.

$$w_q = \left[(w_Q)^2 \left(\frac{1}{Q_o} \right)^2 + (w_{Q_o})^2 \left(\frac{-Q}{Q_o^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{A.7})$$

Çizelge A.2: Ölçme Cihazlarındaki Belirsizlik

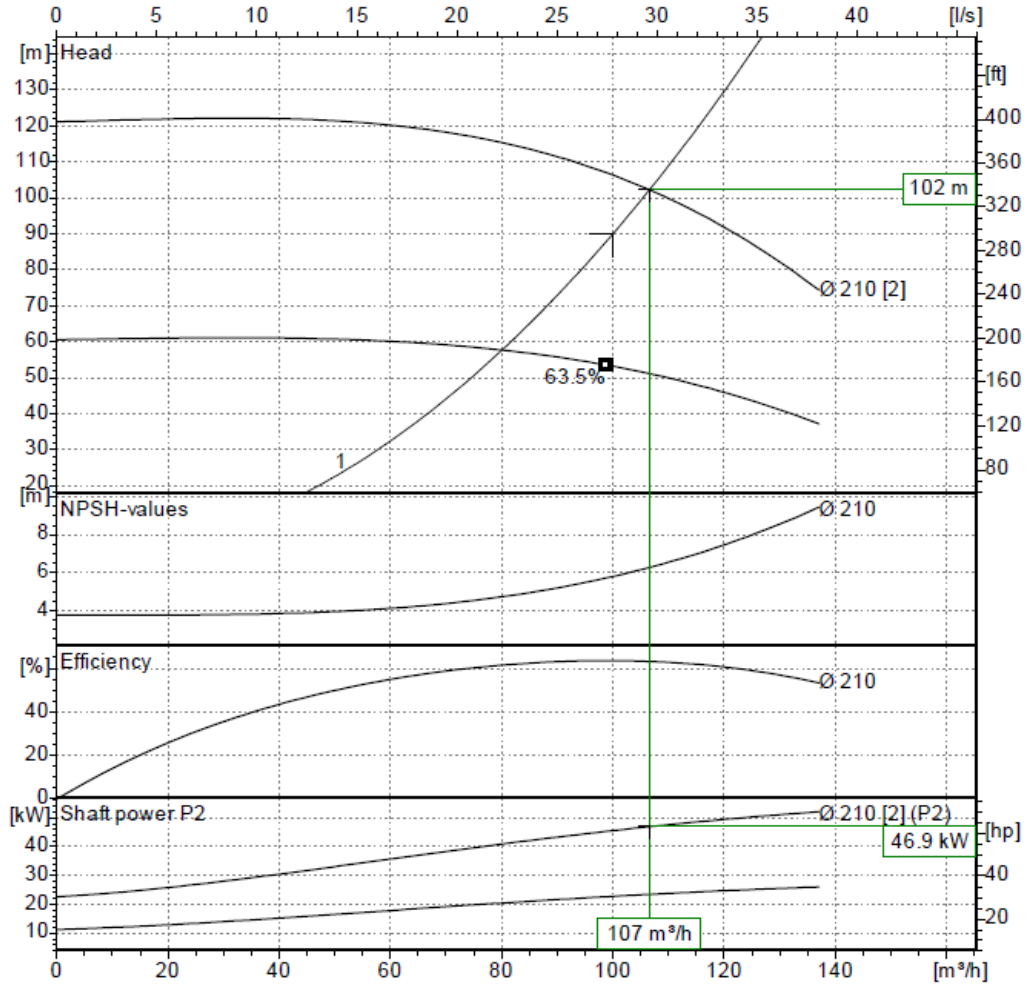
Ölçme Cihazı	Debi Metre Ölçülen	Debimetre Belirsizlik	Manometre Ölçülen	Manometre Belirsizlik
Tasarım-0	52.950	52.929	9.000 bar	8.921 bar
Tasarım-1	73.150	73.121	9.000 bar	8.921 bar
Tasarım-2	103.400	103.359	9.000 bar	8.921 bar

EK B: Deneý Düzeneginde Kullanılan Pompanın Performans Eğrisi

ECO SNL 80-250

Single stage, volute casing, close-coupled in-line type conforming to EU 547/2012

Capacity:	106.6 m ³ /h	NPSHr:	6.3 m
Head:	51.1 m	Motor Power:	30.00 kW
Efficiency (%):	63.2	Nominal Speed:	3000 rpm
Power at Duty Point:	23.5 kW	Frequency:	50 Hz
Viscosity:	1.005 mm ² /s	Density:	998.30 kg/m ³



Curves compatible with ISO 9906:2012 Gr 3B

NPSHa > NPSHr + 1m

Note : The motor power is not sufficient for dotted area.

EK C: Deney Tasarımı Optimizasyonu Sonuç Tablosu

DoE Sonuç Tablosu					
Deney No	de/ds	dd/ds	Ld/dm	Verim - %	Emme Kapasitesi-%
1	5,3571	6,4286	5,7143	78,28	87,38
2	5,6122	7,1429	6,9388	58,02	89,79
3	5,1020	5,7143	3,8776	87,15	75,84
4	3,8265	6,9388	6,3265	49,25	58,90
5	4,5918	5,8163	8,1633	54,48	62,17
6	4,8469	7,0408	2,6531	35,44	67,37
7	6,1224	6,2245	1,4286	61,72	81,00
8	4,3367	6,3265	2,0408	50,79	60,41
9	3,5714	6,1224	5,1020	52,40	50,67
10	6,8878	6,0204	4,4898	100,04	94,21
11	5,8673	6,6327	10,0000	79,63	93,53
12	4,0816	6,5306	9,3878	50,48	55,26
13	7,1429	6,7347	7,5510	82,75	100,00
14	6,6327	6,8367	3,2653	33,32	89,38
15	6,3776	5,9184	8,7755	87,98	89,20
Deney No	dm/ds	Lm/dm		Verim-%	Emme Kapasitesi - %
1	5,00	4,55		100,00	87,84
2	2,86	1,99		12,82	42,45
3	4,46	1,14		23,47	84,19
4	5,00	3,69		92,09	87,70
5	3,93	2,84		12,79	78,53
6	3,39	4,55		5,72	61,00
7	4,29	4,32		70,71	93,09
8	4,14	1,82		15,42	83,84
9	3,71	2,27		3,07	60,82
10	3,00	3,86		2,18	61,82
11	4,86	1,59		50,69	85,43
12	4,71	2,50		57,22	88,38
13	3,14	2,73		8,07	61,47
14	3,57	3,41		10,35	66,09
15	4,57	3,18		81,08	100,00
16	3,29	1,36		6,88	57,63

ÖZGEÇMİŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2001, Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Isı-Akışkan Programı

Yüksek Lisans : 2017, Sabancı Üniversitesi, Yönetim Bilimleri Fakültesi, Executive MBA Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

2017- Gedik Holding, Gedik Termo Vana A.Ş., Arge ve Kalite Müdürü

2011-2017 – Türbosan A.Ş. Ar-Ge ve Teknoloji Müdürü

2011-2017 – Türbosan A.Ş., Deney ve kalite Kontrol Müdürü

2011-2017 – Türbosan A.Ş., Yönetim Temsilcisi

2003-2011 – Türbosan A.Ş. Arge Mühendisi

2015 Yılında MIT, Boston/USA, Leadership ve Inovation Sertifikası Alındı

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Ayna T., Dilibal S., (2022). Experimental and Numerical Analysis for Improving the Suction Capacity of the Manufactured Water Jet Ejectors. Journal of Vibro Engineering, June, 2022

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Ayna T., Dilibal S., Koçak M., (2020). Akıllı Malzemelerin Endüstriyel Alanda Kullanılması. Pomsad Kongresi, Şubat 13-14, 2020, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara.
- Ayna T., (2010). Santrifüj Pompaların Genetik Algoritma Kullanılarak Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Isı Akışkan Yüksek Lisans Programı, Haziran 2010