T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİFT FAZLI AKIŞ JETLEMESİ İLE TEMİZLEME İŞLEMİNDE MEKANİK ETKİNİN DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

FURKAN BAYAV

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. ÖZDEN AĞRA

İSTANBUL, 2017

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİFT FAZLI AKIŞ JETLEMESİ İLE TEMİZLEME İŞLEMİNDE MEKANİK ETKİNİN DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Furkan BAYAV tarafından hazırlanan tez çalışması 01.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Özden AĞRA

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Özden AĞRA

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ş.Özgür ATAYILMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA

Trakya Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamda beni yönlendiren, eleştirileri ve tavsiyeleri ile tezimi tamamlamamı sağlamasının yanı sıra kendisiyle çalışma fırsatını bana sunan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Özden AĞRA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması ARÇELİK A.Ş. Ar-Ge Mekanik Teknolojiler Yöneticiliği Akışkanlar Dinamiği ve Temizleme Teknolojileri Ailesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Konu ile ilgili olarak Sayın Dr. Emre OĞUZ'a, Sayın Dr. Levent AKDAĞ'a, Sayın Metin GÜL'e, Sayın Dr. Önder BALİOĞLU'na ve Sayın Zehra ÜLGER'e teşekkürü borç bilirim.

Desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen, her türlü imkânı sunan, bilgi ve becerileriyle her zaman yol gösteren, geç tanıdığım ama iyi ki tanıdığım değerli abim Sayın Dr. Yusuf KOÇ'a saygı, minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin önemli bir parçasını oluşturan, yaptığım çalışmaları deney düzeneği haline getirmemde yardımcı olan Sayın Mehmet KAYA, Sayın Murat ELGÜN ve Sayın Özcan HATİPOĞLU'na ve Temizleme Teknolojileri Ailesi'nin diğer değerli çalışanlarına, prototip üretim konusundaki yardımlarından dolayı ARÇELİK Garage ekibine teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemi sağlayan ve beni her zaman maddi manevi destekleyen sevgili aileme sonsuz teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca moral kaynağım olan ve beni sürekli destekleyen, hayata daha kararlı devam etmemi sağlayan, tüm zorlukları benimle paylaşan, bugüne kadar tanıdığım en özel insana, Sayın Nisa TURANLI'ya sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmam boyunca hem fikir danıştığım hem de yardımlarını aldığım değerli abim Sayın Fatih KASAP ve değerli arkadaşlarım Mert PATKAVAK, Yasin Koray HACISALİHOĞLU, Mert GÜNEY, Mehmet İNAN, Uğur SARITAŞ, Mutlu İPEK, Büşra KARAMAN, Nilüfer ÇAKMAKÇI, Sevilay Burcu ŞAHİN, Duygu ÖZÇELİK'e minnettarım.

Çocukluktan beri süren arkadaşlığın mimarları Hilmi DALAN, Ensar İMAL, Mustafa SEVİ ve Enes KILIÇ'a saygı ve sevgilerimi iletiyorum.

Haziran, 2017

Furkan BAYAV

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ iv

İÇİNDEKİLER v

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xiii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 2

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 3

2.1 Genel Literatür Araştırması 3
2.1.1 Temizleme İşlemi 3
2.1.1.1 Kirlerin Nesneler Üzerinde Tutunma Mekanizmaları 5
2.1.1.2 Yıkama İşleminde Rol Oynayan Parametrelerin Tanımlanması 7
2.1.1.3 Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılma Süreci 9
2.1.2 Yıkayıcılar 14
2.1.2.1 Yıkayıcının Ana Bölümleri 17
2.1.2.2 Yıkayıcının Çalışma Prensibi 18

2.1.3 Su Jetinin Oluşumu ve Yapısı 20
2.1.3.1 Su Jetinin Oluşumu 20
2.1.3.2 Su Jetinin Yapısı 21
2.1.4 İki Fazlı Akış İle İlgili Tanımlamalar 22
2.1.4.1 İki Fazlı Akış Parametreleri 23
2.1.4.2 İki Fazlı Akış Karakteristikleri ve Akış Haritaları 24
2.2 Makale Araştırması 27
2.3 Patent Araştırması 65

BÖLÜM 3

TEORİK ÇALIŞMALAR 68

3.1 Doğrusal Momentum İlkesi 68

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR 72

4.1 Deney Düzeneğinin Tanıtılması 73
4.2 Deney Düzeneğinin Oluşturulması 75
4.2.1 Evyenin Tasarımı ve Üretimi 75
4.2.2 Deney Düzeneğinin İskelet Sisteminin Tasarımı 76
4.2.3 Pompa ve Kompresörün Yerleştirileceği Bölmenin Tasarımı 76
4.2.4 Su Deposunun Tasarımı 77
4.2.5 Akış Hattının Tasarımı 78
4.2.6 Nozulların Tasarımı 79
4.2.7 Etki Yüzeyinin Tasarımı 80
4.2.8 Pompanın Seçimi 81
4.2.9 Kompresörün Seçimi 82
4.2.10 Kuvvet Sensörünün Seçimi 83
4.2.11 Mikroişlemcinin Programlanması 84
4.2.12 Kir Çıkarma Deneyleri 87
4.3 Ölçüm Belirsizliği Analizi, Ölçüm Yeterliliği Analizi ve Deney Tasarımının Yapılması 89
4.3.1 Ölçüm Belirsizliği ve Ölçüm Yeterliliği Analizi 89
4.3.2 Deney Tasarımının Yapılması 95

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 98

5.1 Sonuçlar 98
5.1.1 Kir Çıkarma Deneyleri 98
5.1.2 Kuvvet Ölçüm Deneyleri 106
5.2 Öneriler 117

KAYNAKLAR 118

ÖZGEÇMİŞ 122

SİMGE LİSTESİ

a	İvme
A_c	Kesit alanı
F	Kuvvet
L	Uzunluk
m	Kütle
$\dot{m}$	Kütlesel debi
R	Direnç
S	Kayma hızı
T	Sıcaklık
$v_ç$	Çıkış hızı
v_g	Giriş hızı
v_{ort}	Ortalama hız
V	Gerilim
V_{cc}	Besleme gerilimi
V	Hacim
$\dot{V}$	Hacimsel debi
W	İş
X	Kuruluk oranı
α	Hacimsel fraksiyon
β	Kinematik boşluk oranı
ρ	Yoğunluk
θ	Temas açısı
γ_{SB}	Yüzey ile çözelti arasındaki ara yüzey gerilimi
γ_{SO}	Yüzey ile sıvı kir arasındaki ara yüzey gerilimi
γ_{OB}	Sıvı kir ile çözelti arasındaki ara yüzey gerilimi

KISALTMA LİSTESİ

AB	Hava-çözelti ara yüzeyi
FSR	Force Sensing Resistor
NÇÇ	Nozul çıkış çapı
PA	Partikül-hava ara yüzeyi
PIV	Particle Image Velocity
PMMA	Polymethyl-Methacrylate
SA	Yüzey-hava ara yüzeyi
YÖK	Yıkama öncesi kirlilik
YSK	Yıkama sonrası kirlilik

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Kir çıkarma performansını etkileyen faktörler 4
Şekil 2. 2 Kirin yüzeyde elektro statik çekim ile tutunması 5
Şekil 2. 3 Kir ile yüzeyin birbirine geçmesi 5
Şekil 2. 4 Adhezyon ve kohezyon çekim kuvvetleri 6
Şekil 2. 5 Kimyasal malzeme dönüşümünde yüzeydeki kirin gösterilişi 6
Şekil 2. 6 Yıkama işleminde yer alan faktörler 7
Şekil 2. 7 Yüzey aktif madde moleküllerinin yüzeyden kiri temizlemesi 8
Şekil 2. 8 Kir uzaklaştırma mekanizmaları 9
Şekil 2. 9 Formlarına göre kirlerin çıkarılma mekanizmalarının gruplandırılması 10
Şekil 2. 10 Sıvı kir ve yüzey arasındaki temas açısı gösterimi 12
Şekil 2. 11 θ>90° durumunda kirin yüzeyden tamamen uzaklaştırılması 13
Şekil 2. 12 θ<90° durumunda kirin yüzeyden koparılarak kısmen uzaklaştırılması 14
Şekil 2. 13 Josephine G. Cochrane ve patentini almış olduğu bulaşık makinesi 14
Şekil 2. 14 Yıkayıcı 16
Şekil 2. 15 Yıkayıcının ana ve alt bölümleri 17
Şekil 2. 16 Yıkayıcıya ait yıkama grubu 18
Şekil 2. 17 Yıkayıcının çalışmasını tarifleyen hidrolik şema 20
Şekil 2. 18 Dar kesitten çıkan su jetinin kesitindeki dinamik basınç gradyeni 21
Şekil 2. 19 Su jetinin yapısı 22
Şekil 2. 20 Boru içerisindeki akışkanların görünümü 23
Şekil 2. 21 Yatay borularda iki fazlı akış tipleri 25
Şekil 2. 22 Baker iki fazlı yatay akış haritası 26
Şekil 2. 23 Sabit 0.13 m/s sıvı hızında fazklı gaz hızlarındaki akış tipleri 28
Şekil 2. 24 (a) Sınır akış çizgileri ve akış karakteristiği, (b) Ani daralma olan mini kanaldaki basınç profili 30
Şekil 2. 25 Daralan kesitte çözüm ağı ve alanı 30
Şekil 2. 26 Ani daralan kesitte akan tek fazlı sıvının (su) farklı debilerdeki basınç profilleri 31
Şekil 2. 27 Ani daralan kesitte akan tek fazlı gazın (hava) farklı debilerdeki basınç profilleri 31
Şekil 2. 28 (a) Hız vektörleri, (b) Hız profilleri 32
Şekil 2. 29 Tek fazlı su akışı için daralma katsayısının değişimi 33
Şekil 2. 30 Tek fazlı hava akışı için daralma katsayısının değişimi 33
Şekil 2. 31 Ani daralan kesitte akan iki fazlı kışın farklı debilerdeki basınç profilleri 33
Şekil 2. 32 (a) Hız vektörleri, (b) Hız profilleri (m_L =2.319 g/s ve m_G =0.0203 g/s) 34

Şekil 2. 33 Ani daralan kesitte akan iki fazlı akış için elde edilen korelasyon eğrisi..... 35
Şekil 2. 34 Tahmini ve ölçülen basınç düşümleri 35
Şekil 2. 35 Katı bir yüzeye çarpan viskoelastik sıvının sıvı jeti hızıyla aldığı şekillerin yüksek hızlı kamera görüntüleri..... 37
Şekil 2. 36 Jet deney düzeneği 38
Şekil 2. 37 Su jeti deney düzeneği..... 39
Şekil 2. 38 Kuvvetin z mesafesi ile değişim grafiği 40
Şekil 2. 39 Kuvvetin açı bağımlılık grafiği 40
Şekil 2. 40 Çekirdek boyutu-mesafe grafiği 41
Şekil 2. 41 JL-1.0-L nozulu ile farklı uzaklıklarda oluşan çekirdek yapıları 42
Şekil 2. 42 Su jeti deney düzeneği..... 43
Şekil 2. 43 Yansıtma açısının Weber sayısı ile değişimi (d=4 mm ve θ=167°)..... 43
Şekil 2. 44 Deney düzeniğinin şematik gösterimi 44
Şekil 2. 45 Temizleme işleminde kullanılan yüksek hızlı su jeti 44
Şekil 2. 46 (a) Dairesel nozul çıkış kesiti, (b) Yonca nozul çıkış kesiti..... 44
Şekil 2. 47 Modelin ayarlanması 46
Şekil 2. 48 Yüksek hızlı su jetinin davranışı 47
Şekil 2. 49 Yüksek hızlı su jetinin yüzeyde oluşturduğu basıncın zamanla değişimi..... 48
Şekil 2. 50 Azami basıncın su jetinin etki yüzeyine çarpma hızına göre değişimi..... 48
Şekil 2. 51 Durma basıncının su jetinin etki yüzeyine çarpma hızına göre değişimi..... 48
Şekil 2. 52 Basınç ölçüm noktalarının etki yüzeyi üzerindeki konumları 49
Şekil 2. 53 Ölçüm noktalarındaki basınçların zamana bağlı değişimi..... 49
Şekil 2. 54 Yüksek hızlı su jetinin yüzeye çaptığı andan itibaren farklı zamanlardaki basınç dağılımı ve yayılma karakteristiği 50
Şekil 2. 55 Maksimum basınçların radyal yönde değişimi 50
Şekil 2. 56 Karışım yapan nozul tipleri 52
Şekil 2. 57 Dışarıda karışan çift akışlı nozul..... 53
Şekil 2. 58 (a) Basit çift akışlı nozul tasarımı, (b) Sarmal uçlu çift akışlı nozul tasarımı . 54
Şekil 2. 59 Sprey karakteristikleri: (a) boş koni, (b) çizgisel, (c) dairesel 55
Şekil 2. 60 Deneylerde kullanılan atomizör 56
Şekil 2. 61 Yüksek hızlı kamera ölçümleri için kullanılan deney düzeneği..... 56
Şekil 2. 62 Damlacık çapı ve hızının ölçülmesi için kullanılan deney düzeneği..... 58
Şekil 2. 63 (a) Önden görünüş, (b) yandan görünüş 59
Şekil 2. 64 $x = 150d_0$'da damlacık sayısı ve damlacık çaplarının dağılım grafiği 59
Şekil 2. 65 $x = 150d_0$ damlacık sayısı ve damlacık hızlarının dağılım grafiği 60
Şekil 2. 66 Deney düzeneği 61
Şekil 2. 67 (a) Sıvı jetinin ortada olduğu yerleşim, (b) gaz jetinin ortada bulunduğu yerleşim..... 61
Şekil 2. 68 (a) 90° açı için farklı gaz/sıvı oranları için sprey yapısı, (b) 120° açı için farklı gaz/sıvı oranları için sprey yapısı 62
Şekil 2. 69 90° açı için farklı gaz/sıvı oranları için sprey yapısı..... 63
Şekil 2. 70 Spreyin kopma uzunluğunun önden görünümü..... 63
Şekil 2. 71 Farklı gaz debileri için kopma uzunlukları (a) 60°, (b) 90° ve (c) 120° 64
Şekil 2. 72 Toshiba firmasının patent başvurusundaki sistem..... 65
Şekil 2. 73 HT Research firmasının patent başvurusundaki sistem 66
Şekil 2. 74 HT Choi Yongjin ve diğerlerinin patent başvurusundaki sistem..... 66

Şekil 2. 75 Mitchell Alan Joseph ve Gnadinger Errin Whitney'in patent başvurusundaki sistem 67
Şekil 2. 76 Yamaguchi Teknoloji Enstitüsü'nün patent başvurusundaki sistem 67
Şekil 3. 1 (a) Düz bir yüzeye çarpan jet, (b) Açılı bir yüzeye çarpan jet 71
Şekil 3. 2 Düz bir yüzeye çarpan su-katı partikül jeti 71
Şekil 4. 1 Deney düzeneği 74
Şekil 4. 2 Evye tasarımı 75
Şekil 4. 3 Deney düzeneği iskelet sistemi 76
Şekil 4. 4 Pompa ve kompresörün yerleştirileceği bölme 77
Şekil 4. 5 Su deposunun tasarımı 78
Şekil 4. 6 Akış hattının tasarımı 78
Şekil 4. 7 Nozul tasarımı 79
Şekil 4. 8 Etki yüzeyinin tasarımı 80
Şekil 4. 9 Etki yüzeyinin arka duvara montajı 80
Şekil 4. 10 Pompa karakteristik eğrisi 81
Şekil 4. 11 Deney düzeneğinde kullanılan pompa 81
Şekil 4. 12 Kompresör karakteristik eğrisi 82
Şekil 4. 13 Deney düzeneğinde kullanılan kompresör 82
Şekil 4. 14 Kuvvete duyarlı sensör [60] 83
Şekil 4. 15 Kuvvet sensörü elektronik şema 86
Şekil 4. 16 Arduino devre şeması 87
Şekil 4. 17 Makro veri toplama programı arayüzü 87
Şekil 4. 18 Plaka tarama süreci 88
Şekil 4. 19 Görüntü işleme prosesi 88
Şekil 4. 20 Kir çıkarma deneyleri için ölçüm belirsizliği analizi 90
Şekil 4. 21 Kir çıkarma deneyleri için ölçüm yeterliliği analizi 91
Şekil 4. 22 Kuvvet ölçüm deneyleri için ölçüm belirsizliği analizi 91
Şekil 4. 23 Kuvvet ölçüm deneyleri için ölçüm yeterliliği analizi 92
Şekil 4. 24 Kir çıkarma için ölçüm belirsizliği, tekrarlanabilirlik, yeniden üretilebilirlik, operatör analiz grafikleri 93
Şekil 4. 25 Kuvvet ölçümü için ölçüm belirsizliği, tekrarlanabilirlik, yeniden üretilebilirlik, operatör analiz grafikleri 93
Şekil 4. 26 Tam faktöriyel deney tasarımı çıktısı 96
Şekil 5. 1 Kir çıkarma deneyinde jetin etki yüzeyine çarpması 98
Şekil 5. 2 Kir çıkarma sonuçlarına etki eden parametrelerin istatistiksel analizi 101
Şekil 5. 3 Kir çıkarma performansının olasılık grafiği 102
Şekil 5. 4 Kir çıkarma performansı üzerindeki parametrelerin ana etki grafiği 102
Şekil 5. 5 Parametrelerin etkileşim grafiği 104
Şekil 5. 6 Çoklu değişken grafiği 104
Şekil 5. 7 Kir çıkarma üzerinde etkili olan parametrelerin yüzdesel etki grafiği 105
Şekil 5. 8 Kuvvet ölçüm deneyinde jetin etki yüzeyine çarpması 106
Şekil 5. 9 Jet kuvvetine etki eden parametrelerin istatistiksel analizi 109
Şekil 5. 10 Kuvvet ölçümünün olasılık dağılımı 110
Şekil 5. 11 Jet kuvveti üzerindeki etkili parametrelerin ana etki grafiği 110
Şekil 5. 12 Parametrelerin etkileşim grafiği 112
Şekil 5. 13 Çoklu değişken grafiği 112
Şekil 5. 14 Jet kuvveti üzerinde etkili olan parametrelerin yüzdesel etki grafiği 113

Şekil 5. 15 Jet kuvvetlerinin su debisi ile değişimi 114
Şekil 5. 16 Jet kuvvetlerinin akışkan tipi ile değişimi 114
Şekil 5. 17 Jet kuvvetlerinin nozul çıkış çapı ile değişimi 115
Şekil 5. 18 Jet kuvvetlerinin açı ile değişimi 115
Şekil 5. 19 Kuvvet-temizleme performansı dağılım grafiği 116

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Yuvarlanma mekanizmasına bağlı yüzey gerilim değerleri değişimi 13
Çizelge 2. 2 Bulaşık makinesi enerji tüketimi sınıfları 16
Çizelge 2. 3 Bulaşık makinesi yıkama etkinliği sınıfları 16
Çizelge 2. 4 Deneysel çalışmalarda kullanılan nozullar 39
Çizelge 2. 5 Sonlu elemanlar modeli ve tanımlamalar 46
Çizelge 2. 6 Deney tasarımı 62
Çizelge 4. 1 Arduino UNO'ya ait teknik veriler 84
Çizelge 4. 2 Deney parametreleri ve seviyeleri 95
Çizelge 4. 3 Deney tasarımı 96
Çizelge 5. 1 Kir çıkarma deney sonuçları 99
Çizelge 5. 2 Kuvvet ölçümü deney sonuçları 107

ÖZET

ÇİFT FAZLI AKIŞ JETLEMESİ İLE TEMİZLEME İŞLEMİNDE MEKANİK ETKİNİN DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Furkan BAYAV

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özden AĞRA

Temizleme işlemi, su ve deterjan kullanılarak yüzeydeki istenmeyen kalıntıların, kirlerin uzaklaştırılması işlemidir. Sinner Çemberi'ne göre bütün yıkama proseslerine etki eden dört ana parametre vardır. Bu parametreler; kimyasal etki, termal etkisi, zaman etkisi ve mekanik etki olarak sıralanabilir. Yapılan tez çalışması kapsamında kir çıkarma performansına etki eden parametrelerden biri olan mekanik etki ile ilgili detaylı literatür taraması yapılıp, mekanik etki deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

Tez çalışması kapsamında kurulan iki fazlı jet düzeneğinde nozuldan çıkan yüksek hızlı su ve iki fazlı jetin etki yüzeyinde oluşturduğu kuvvet ve kir çıkarma performansı su debisi, nozul çıkış çapı, akışkan tipi ve açı parametrelerine bağlı olarak incelenmiştir. Mekanik etki su debisi, akışkan tipi, nozul çıkış çapı ve açının bir fonksiyonudur.

Maksimum kir çıkarma miktarı su debisinin 4 L/d, akışkan tipinin su-hava (su-0.25 m^3/h hava) nozul çıkış çapının 4 mm ve jet ile etki yüzeyi arasındaki açı 90° olduğunda %59.68 olarak ölçülmüştür.

Minimum kir çıkarma miktarı su debisinin 3 L/d, akışkan tipinin sadece su, nozul çıkış çapının 5 mm ve jet ile etki yüzeyi arasındaki açı 45° olduğunda %6.77 olarak ölçülmüştür.

Aynı deney şartlarında, su debisi arttığında etki yüzeyinden çıkarılan kir miktarı artmaktadır. Nozul çıkış çapı artmasıyla jetin hızı azalacağı için etki yüzeyine daha az

momentum transferi olacaktır. Bunun sonucunda kuvvet azalacağı için yüzeyden daha az miktarda kir uzaklaştırılmaktadır. Benzer şekilde aynı deney şartlarında, sisteme eklenen ikinci faz etki yüzeyinden çıkarılan kir miktarı artmaktadır. Jet ile etki yüzeyi arasındaki açı arttığında yüzeyden uzaklaştırılan kir miktarı artmaktadır.

Parametrelerin kir çıkarma üzerindeki etkilerinin yüzdesel dağılımı akışkan tipinin, su debisinin, nozul çıkış çapının ve etki yüzeyi ile jet arasındaki açının kir çıkarma performansı üzerindeki tekil etkileri sırasıyla %76.8, %10.5, %1.4, %1.2 olarak hesaplanmıştır.

Maksimum jet kuvveti su debisinin 4 L/d, akışkan tipinin su-hava (su-0.25 m^3/h hava) nozul çıkış çapının 4 mm ve jet ile etki yüzeyi arasındaki açı 90° olduğunda 0.99 N olarak ölçülmüştür.

Minimum kir çıkarma miktarı su debisinin 3 L/d, akışkan tipinin sadece su, nozul çıkış çapının 5 mm ve jet ile etki yüzeyi arasındaki açı 45° olduğunda 0.13 N olarak ölçülmüştür.

Aynı deney şartlarında, su debisi arttığında etki yüzeyinde oluşan kuvvet artmaktadır. Nozul çıkış çapı artmasıyla jetin hızı azalacağı için etki yüzeyine daha az momentum transferi olacaktır. Benzer şekilde aynı deney şartlarında, sisteme eklenen ikinci faz jet kuvvetini artmaktadır. Jet ile etki yüzeyi arasındaki açı arttığında etki yüzeyindeki jet kuvveti artmaktadır.

Parametrelerin jet kuvveti üzerindeki etkilerinin yüzdesel dağılımı akışkan tipinin, su debisinin, nozul çıkış çapının ve etki yüzeyi ile jet arasındaki açının kir çıkarma performansı üzerindeki tekil etkileri sırasıyla %40.5, %21.3, %18.7, %12.2 olarak hesaplanmıştır. Momentumun korunumu prensibine göre kuvvet teorik olarak hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlar, teorik sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Etki yüzeyinde oluşan kuvvet ile kir çıkarma performansı arasında bir korelasyon elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kir çıkarma, iki fazlı akış, su-katı partikül, su-hava, jet kuvveti, mekanik etki, nozul, görüntü işleme

ABSTRACT

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF MECHANICAL EFFECT IN CLEANING PROCESS BY JET OF TWO-PHASE FLOW

Furkan BAYAV

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Özden AĞRA

Cleaning is the process of removing stain, soil and other residuals from the surface using water and detergent. There are four main parameters which influence all washing process according to Sinner Circle. These parameters are chemical effect, thermal effect, time effect and mechanical effect. In this thesis study, a detailed literature research related mechanical effect that is one of the parameters affecting the soil removal or cleaning performance was made. Also either soil removal performance and two phase jet force were investigated experimentally and theoratically. Force on the impact surface and soil removal performance of high speed water and two-phase jet which exits from the nozzle was investigated depending on water flow rate, nozzle exit diameter and fluid type (water, water-air and water solid particle) and angle between jet and impact surface on the two phase jet experiment setup. Mechanical effect is a function of water flow rate, nozzle exit diameter ,fluid type and angle.

Maximum soil removal efficiency was measured as 58.68% when water flow rate was 4 L/min, fluid type was water and air (water and 0.25 m^3/h air) , nozzle exit diameter was 4 mm and angle between jet and impact surface was 90°.

Minimum soil removal efficiency was measured as 6.77% when water flow rate was 3 L/min, fluid type was only water, nozzle exit diameter was 5 mm and angle between jet and impact surface was 45°.

In the same experimental conditions, when water flow rate increases, soil removal performance increases. When the nozzle exit diameter increases the jet velocity decreases and there will be less momentum transfer to the surface. As a results of this

situation, soil removal performance reduces. Similarly, in the same experimental conditions, the amount of the soil removed from the impact surface increase with second phase which added to the system. When the angle between jet and impact surface increases, soil removal performance increases under the same expeirmental conditions. Distributions of the single effect of paratemeters on soil removal performance are calculated as 76.8%, 10.5%, 1.4%, 1,2% respectively fluid type, water flow rate, nozzle exit diameter and angle between jet and impact surface.

Maximum jet force was measured as 0.99 N when water flow rate was 4 L/min, fluid type was water and air (water and 0.25 m^3/h air) , nozzle exit diameter was 4 mm and angle between jet and impact surface was 90°.

Minimum jet force was measured as 0.13 N when water flow rate was 3 L/min, fluid type was only water, nozzle exit diameter was 5 mm and angle between jet and impact surface was 45°.

In the same experimental conditions, when water flow rate increases, jet force increases. When the nozzle exit diameter increases the jet velocity decreases and there will be less momentum transfer to the surface. As a results of this situation, jet force reduces. Similarly, in the same experimental conditions, the jet force increases with second phase which added to the system. When the angle between jet and impact surface increases, jet force increases under the same expeirmental conditions. Distributions of the single effect of paratemeters on jet force are calculated as 40.5%, 21.3%, 18.7%, 12.2% respectively fluid type, water flow rate, nozzle exit diameter and angle between jet and impact surface.

Force was calculated theoratically according to principle of conservation of momentum. And experimental results comparet with theoratically results. A correlation was obtained between force on the impact surface and soil removal efficiency.

Keywords: Stain removal process, two-phase flow, water-solid particle, water-air, jet force, mechanical effect, nozzle, image processing

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde doğal kaynakların giderek azalması ve teknolojinin her geçen gün gelişmesiyle birlikte endüstriyel uygulamalar ve akademik araştırmaların çoğunda olduğu gibi yıkama sistemleri üzerinde yapılan araştırma geliştirme çalışmaları da enerjinin verimli kullanımına ve yıkayıcının performansının arttırılması üzerine odaklanılmıştır. Enerji ve su tüketimini azaltarak veya mevcut durumu tüketim değerlerini koruyarak yıkama etkinliğini arttırmaya yönelik yapılan bu çalışmaların bir çıktısı olarak, yıkama ve kurutma performansı ile enerji tüketiminin standart bir yöntem ile değerlendirilmesi ihtiyacı gündeme gelmiştir. Yıkama işlemi, kullanım sonunda kirlenen tabak, çatal-bıçak, bardak ve benzeri komponentlerin üzerinde kalan kirlerin uzaklaştırılması için sıcaklığın, mekanik etkinin ve kimyasal katkılı yıkama çözeltisini bir zaman dilimi içerisinde bir arada kullanımını esas almaktadır. Sinner Çemberi'ne göre, bütün temizleme işlemlerinde kir çıkarma performansını etkileyen dört ana faktör bulunmaktadır. Bunlar; kimyasal etki, sıcaklık etkisi, mekanik etki ve zaman etkisidir. Kimyasal etki, sulu çözeltinin içerisinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar ile, sıcaklık etkisi sulu yıkama çözeltisinin sıcaklığı ile, mekanik etki jetin yüzeye çarptığında yüzeye aktardığı lineer momentum ile ilişkilidir. Zaman etkisi bu üç parametre üzerinde tüm proses boyunca etkilidir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin motivasyonu; Sinner Çemberi'ne yıkama prosesine etki eden temel parametrelerden biri olan mekanik etkinin, iki fazlı akışkan tipi su-hava ve su-katı partikül kullanılarak deneysel ve teorik olarak incelenmesidir. Tez çalışması kapsamında kurulan deney düzeneğinde, daralan bir kesitten çıkan su-hava ve başka bir koşul olarak su-katı partikül iki fazlı akışkanın etki yüzeyine çarptığında etki yüzeyinde oluşan iki fazlı akışkan jet kuvveti ve kir çıkarma performansı, farklı seviyelere sahip su debisi, nozul çıkış çapına, etki yüzeyi ile jet arasındaki açı ve akışkan tipine bağlı olarak incelenmiştir. İki fazlı akışkan olarak su-hava ve su-katı partikül akışkan çiftleri test edilmiştir. Aynı debide, açı ve nozul çıkış kesit alanı sabit tutularak sonuçlar sadece su kullanıldığı durum ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar teorik hesaplamalar ile karşılaştırılmıştır. Çıktı olarak iki fazlı jet kuvveti ve kir uzaklaştırma performansı incelenmiş olup bu iki çıktı arasında bir korelasyon elde edilmeye çalışılmıştır.

1.3 Hipotez

İki fazlı jet deney düzeneğinde, dar bir kesitten çıkan iki fazlı akışkanın etki yüzeyi üzerinde oluşturacağı iki fazlı jet kuvvetinin; su debisi, nozul çıkış çapı, jet ile etki yüzeyi arasındaki açı ve akışkan tipine bağlı olarak değişimi ve kir çıkarma performansı üzerindeki etkisi incelenerek, yıkama prosesi üzerinde mekanik etkiden kaynaklanan etkiler için temel bir modelleme yapılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan literatür araştırması çerçevesinde aşağıda belirtilen başlıklar incelenmiştir.

- Genel literatür araştırması
  - Temizleme işlemi
  - Yıkayıcılar
  - Su jetinin oluşumu ve yapısı
  - İki fazlı akış ile ilgili tanımlamalar
- Makale araştırması
- Patent araştırması

Çalışma konularının başlıklarını inceleyecek olursak genel olarak kir çıkarma işlemi, kir çıkarma işlemine rol alan parametreler ve önceden çalışılmış benzer çalışmalar ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir.

2.1 Genel Literatür Araştırması

2.1.1 Temizleme İşlemi

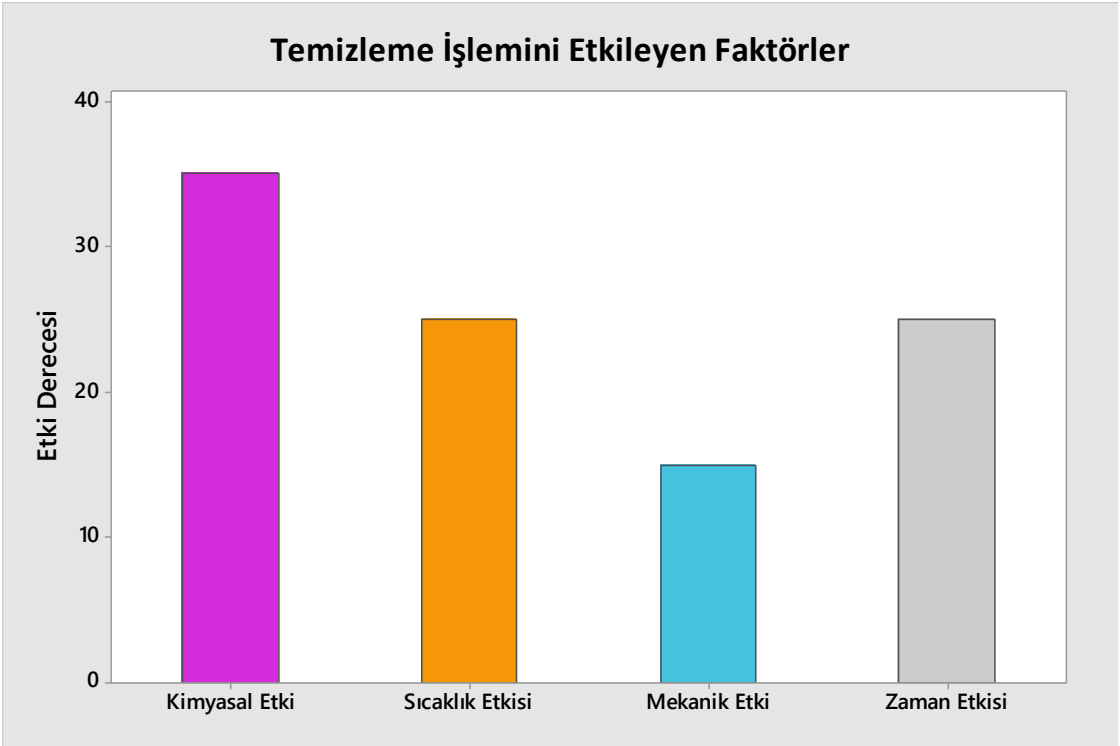
Bulaşık yıkama; tabak, bardak, kâse ve çatal-kasık-bıçak gibi mutfak araçları üzerindeki yemek kalıntılarının ve kirlerin tamamen uzaklaştırılması amacıyla bu araç gereçlerin elde ya da makinada yıkanarak temizlenmesi olarak tanımlanabilir [1].

Yıkamanın temel prensibi; sıcaklık ile beraber mekanik bir etki ile deterjanlı suyun kirli komponentler üzerine yayılmasını, bu şekilde kirlerin yüzeyden uzaklaştırılmasını ve sonrasında görece temizlenen yüklerin üzerindeki deterjan kalıntıları ve kaldıysa küçük kalıntılar durulama adımında arındırılmaktadır. Yıkama sonunda kirli su sistemden uzaklaştırılmakta ve komponentlerin kurutulması ile yıkama işlemi tamamlanmış olmaktadır.

Temizleme işleminde kirlerin uzaklaştırılmasını etkileyen dört ana faktör bulunmaktadır. Bu faktörler; mekanik etki, kimyasal etki, sıcaklık etkisi ve zaman etkisidir.

Chalmer Üniversitesi'nde 2010 yılında Tsouknidas ve Zhang tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, kir çıkarma performansına etki eden temel parametrelerin yanı sıra pervane hızı ve su basıncının yıkama üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kimyasal etki, yıkanacak komponent üzerindeki kir ile yıkama sıvısı arasındaki reaksiyonu, sıcaklık etkisi, yıkama çözeltisinin kir çıkarma işlemindeki performansını etkilemektedir. Zaman etkisi ise kir üzerine uygulanacak olan bütün proseslerin etki süresiyle ilgilidir [2].

Mekanik etki ise kimyasal etki, sıcaklık ve zaman faktörleri ile iç içedir. Mekanik etkinin alt detaylarında ise akışkan jetinin momentumu, akışkan jetinin yüzeye geliş açısı ve sıvı partikülün şekli bulunmaktadır [3].



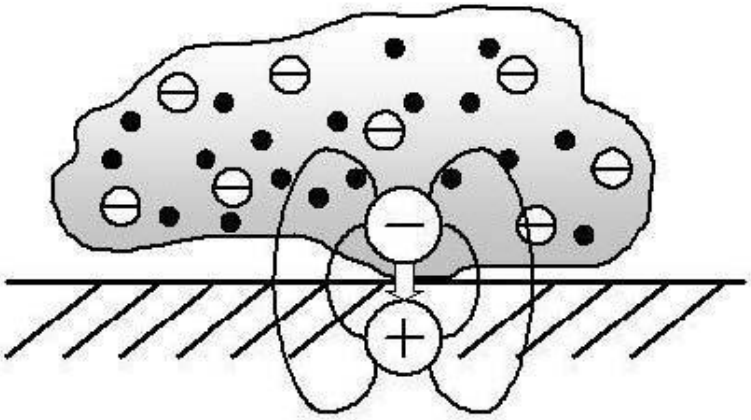
Şekil 2. 1 Kir çıkarma performansını etkileyen faktörler

2.1.1.1 Kirlerin Nesneler Üzerinde Tutunma Mekanizmaları

Kir, nesneler üzerinde üç farklı şekilde tutunabilmektedir.

- Elektrostatik Çekim

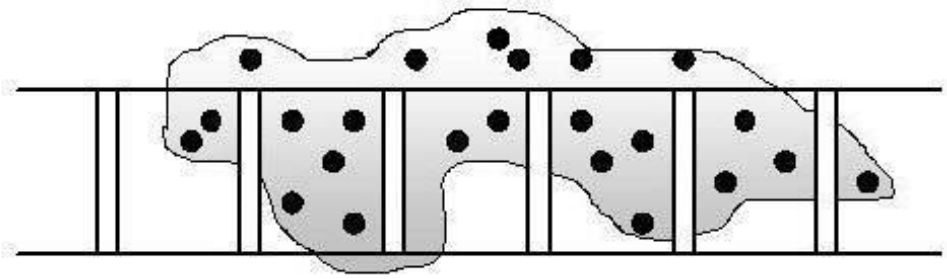
Bir nesne ile kirin yüklerinin birbirinden farklı olduğu durumda yükler birbirini çekmektedir. Böylece kir yüzeye tutunabilmektedir.



Şekil 2. 2 Kirin yüzeyde elektro statik çekim ile tutunması [4]

- Birbiri İçerisine Geçme

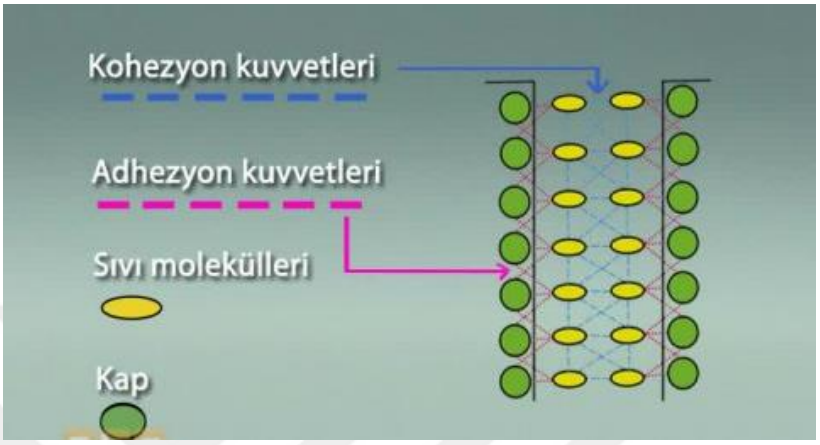
Kir, yüzeyin pürüzlü olmasından dolayı nominal pürüzlülük yüksekliğinin altında kalan kısımları doldurur. Başka bir deyişle pürüzlü yüzeyin pürüzlülük karakteristiğine uyum sağlar. Böylelikle kir bir yüzeye takılır ve kir ile pürüzlü yüzey birbirlerine geçer.



Şekil 2. 3 Kir ile yüzeyin birbirine geçmesi [4]

Farklı iki madde arasında bulunan ve bu maddelerin birbirine yapışmasını sağlayan çekim kuvvetine adhezyon (yapışma) çekim kuvveti denir. Aynı özelliklere sahip moleküllerin çekim kuvvetine ise kohezyon denir. Kohezyon çekim kuvveti, moleküllerin daha düzenli olmasından dolayı sıvı ve katı maddelerde görülür. Gazlarda ise moleküller arası boşluk

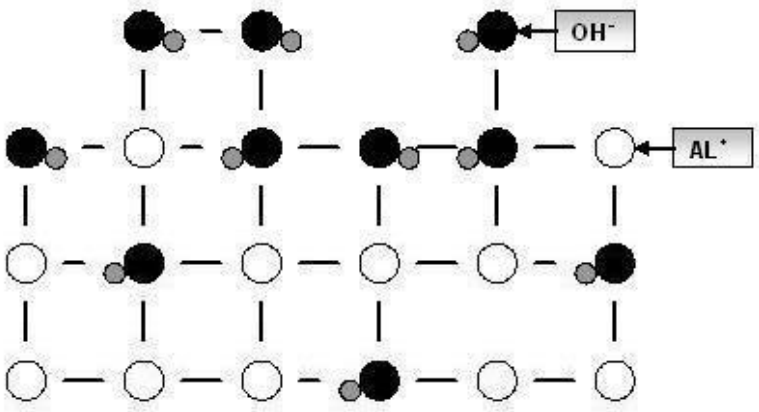
fazla olduğundan ihmal edilebilecek kadar azdır. Çekim kuvveti bu maddelerin moleküllerindeki pozitif ve negatif yükler arasında oluşur. Bağların ömrü nanosaniye mertebelerindedir ancak birbirine yakın moleküller arasında devamlı yeni bağlar kurulur ve bu durumun sonucu olarak bileşik bir arada tutulur. Bu kavram sonucunda sıvılardaki yüzey gerilimi adı verilen kavram meydana gelir [5].



Şekil 2. 4 Adhezyon ve kohezyon çekim kuvvetleri [6]

- Kimyasal Malzeme Dönüşümü

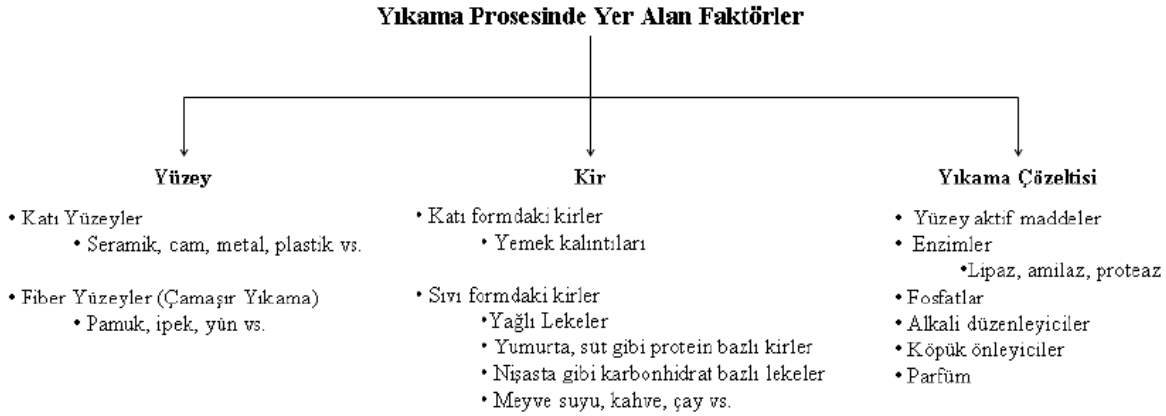
Malzeme dönüşümü sonucunda yüzey hem kimyasal hem de fiziksel olarak değişir. Buna bağlı olarak da yüzey kirli görünür.



Şekil 2. 5 Kimyasal malzeme dönüşümünde yüzeydeki kirin gösterilişi [4]

2.1.1.2 Yıkama İşleminde Rol Oynayan Parametrelerin Tanımlanması

Yıkama işlemi; sıcaklık, mekanik etki ve kimyasal etkinin birlikte kullanılarak yüzeydeki kirin uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Yıkama işleminin bütün adımlarında etkili olan faktörler *yüzey*, yüzeydeki *kir* ve *yıkama çözeltisi* olarak tanımlanmaktadır. Bu faktörler Şekil 2.6'da özetlenmektedir.



Şekil 2. 6 Yıkama işleminde yer alan faktörler [7]

- *Yüzey*, yıkama işlemlerinin bütün evrelerinde, kirin uzaklaştırılacağı ve mekanik etkinin uygulanacağı yer olarak tanımlanmaktadır. Yüzeyin poroz (gözenekli) yapısı, yüzey alanı ve yüzeydeki kir miktarı yıkamaya etki eden önemli yüzey özelliklerinin başlıcalarıdır. Temizleme işleminde yüzeyler, katı ve fiber yüzeyler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Katı yüzeylere örnek olarak seramik, cam, metal, plastik vs. gibi malzemeler gösterilebilir ve kir çıkarma işleminde kullanılmaktadır. Fiber yüzeylere ise; pamuk, ipek gibi malzemeler örnek gösterilebilir ve çamaşır yıkama işleminde kullanılan yüzeylerdir [7].

- *Kir***,** temizleme işleminde yüzeyden uzaklaştırılacak katı veya sıvı formdaki, yüzeyde istenmeyen maddeler olarak tanımlanmaktadır. Yemek artıkları, yağ bazlı lekeler, süt ve yumurta gibi protein bazlı kirler, nişasta gibi karbonhidrat bazlı lekeler, meyve suyu, çay, kahve vb. gibi şeker içeren lekeler günlük yaşamda hayatta karşımıza çıkan kir türleridir [7].

- *Yıkama çözeltisi* ise; temizleme işlemlerinde kirin yüzeyden kimyasal etki kullanılarak uzaklaştırılması amacıyla kullanılan asidik ve bazik kimyasallardan oluşan diğer bir

önemli faktördür. Yıkayıcılarda kimyasal etki için kullanılan deterjanlar temel olarak yüzey aktif maddeler, enzimler, köpük önleyiciler, alkali maddeler, sertlik düzenleyiciler ve koku vericiler gibi çok sayıda farklı bileşenleri içerisinde barındırmaktadır.

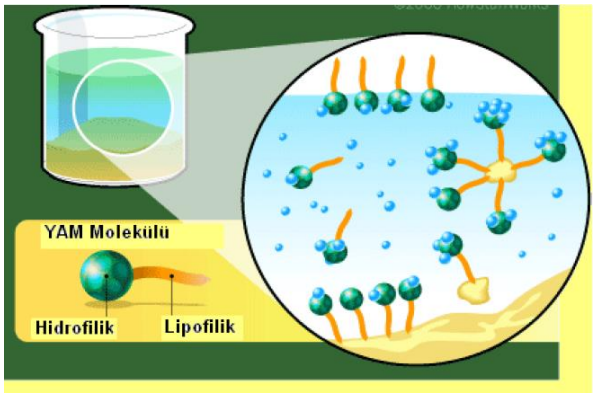
Sıvıların yüzey gerilimini düşürerek yüzeylere kolay yayılmasını (ıslatma özelliği) sağlarlar. Saf ve ıslatma maddesi içeren (yüzey aktif madde) su damlalarının bir parafin yüzeyindeki durumları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Yüzey aktif maddeler (sürfaktanlar), aynı şekilde yüzey gerilimini azaltarak, yıkama işleminin temizleme görevini yerine getirirler. Temizleme aşağıdaki işlemleri içermektedir.

1. Yüzey aktif madde çözeltisi yıkanacak maddenin yüzeyini ve kirleri ıslatır,

2. Yüzey aktif madde moleküllerinin hidrofobik grubu kire yönelerek onu sarar ve kirleri yüzeyden uzaklaştırarak suyun içine taşır,

3. Yüzey aktif madde molekülü, temizlenmiş yüzeyde ve kir parçacıkları çevresinde tutunmuş bir tabaka şeklinde suda süspansiyon halinde tutularak kirin yüzeye yapışmasını engeller [8].



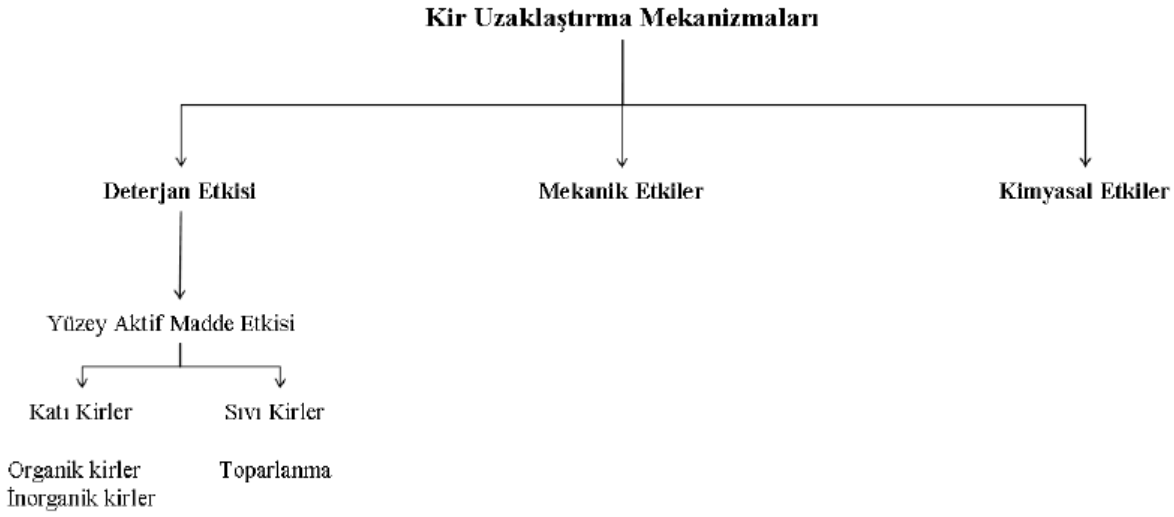
Şekil 2. 7 Yüzey aktif madde moleküllerinin yüzeyden kiri temizlemesi [8]

Enzimler, karbonhidrat, yağ ve protein gibi temel organik bileşenlerle etkileşimde bulunmaktadır. Diğer bileşenler ise; bu mekanizmaya yardım eden, yıkama performansını arttıran yardımcı maddelerdir [7].

Şekil 2.6'da gösterilen, yıkama prosesinde yer alan faktörler incelendiğinde; bu faktörlerin çok çeşitli olmasından dolayı yıkamayı karmaşık hale getirdiği ve yıkama

işleminin standart olarak tanımlanamamasına neden olmaktadır. Yıkamanın karmaşık yapısı nedeniyle kirin yüzeyden uzaklaştırılmasında etkili olan mekanizmalar için de bir standarttan bahsetmek mümkün değildir.

Katı yüzeyler üzerinde etkili olan kir uzaklaştırma parametreleri Şekil 2.8'de görüldüğü gibi üç temel etkiye dayanmaktadır. Katı bir yüzeydeki kirlerin uzaklaştırılmasında etkili olan mekanizmalar temel olarak; mekanik etkiler, deterjan etkisi ve kimyasal etkiler olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Mekanik etkiler; yardımcı bir madde ile yüzeye sürtünme ya da yüzeyden sıyırarak uzaklaştırma işlemi olarak tanımlanabilir. Çözücü bir madde yardımı ile kirin yüzey ile arasındaki bağların koparılması kimyasal etki ile açıklanırken; bunlardan farklı olarak deterjan etkisi de yüzey aktif madde (*surfactant*) vasıtası ile kirin yüzeyden uzaklaştırılması sağlanmaktadır [9].



Şekil 2. 8 Kir uzaklaştırma mekanizmaları [7]

2.1.1.3 Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılma Süreci

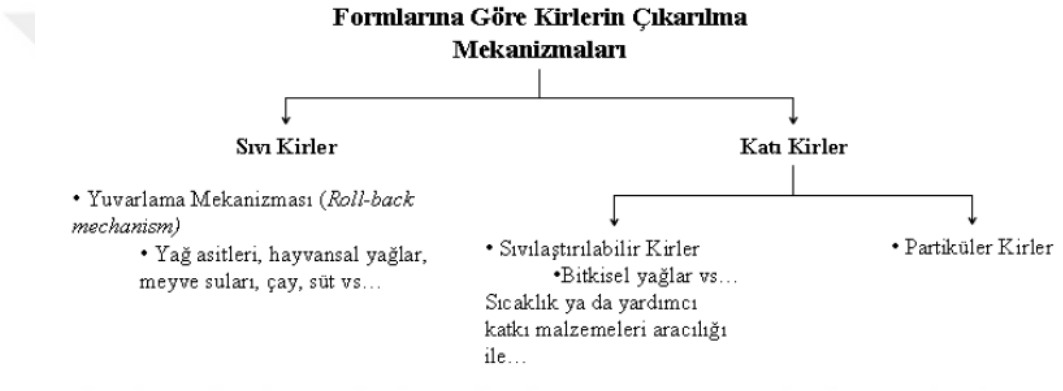
Yıkama işleminde yer alan faktör ve mekanizmaların çok fazla olmasından dolayı yıkama prosesinin bütün hatlarıyla modellenmesi zordur. Temel olarak kir çıkarma mekanizmasını iki ana başlık altında incelenebilir.

- Kirlerin yüzeyden uzaklaştırılması
- Uzaklaştırılan kirlerin süspansiyonda tutulması

Kir taneciklerinin yüzeye konumlanmasında farklı yüzeysel etkileşimler yer almakta ve buna etkileşimlere bağlı olarak kirlerin yüzeyden uzaklaştırılmasında da farklı mekanizmalar baskın gelmektedir.

Van der Waals gibi zayıf fiziksel kuvvetlerin etkisi ile ya da elektrostatik çekim kuvveti ile yüzeye yapışan kir partiküllerinin yüzeyden sökülmesinde; yüzey aktif maddelerin kir üzerine nüfus etmesi, yüzey ile kir arasındaki yüzey gerilimini ve elektriksel çekim kuvvetini düşürmesi önemli bir etkendir. [7].

Kir türlerinin fiziksel özelliklerine bağlı olarak, yüzey aktif maddeler ile yüzeyden uzaklaştırılma mekanizmaları Şekil 2.9'deki gibi gruplandırılmaktadır.



Şekil 2. 9 Formlarına göre kirlerin çıkarılma mekanizmalarının gruplandırılması [7]

- Katı Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılması

Katı kirler, çıkarılma mekanizmalarına göre sıvılaştırılabilir kirler ve partiküler kirler olarak kendi içinde ikiye ayrılmaktadır.

Gres ve vaks gibi organik yapıdaki sıvılaştırılabilir kirlerin yüzeyden uzaklaştırılması iki aşamada gerçekleşmektedir. İlk olarak, yüzey aktif maddenin kire nüfus edebilmesi için sıcaklık gibi bir dış etki ile kirin fiziksel özellikleri katıdan sıvıya dönüştürülmektedir. Sıvı formdaki kir, daha sonra sıvı kirlerin uzaklaştırılmasında rol oynayan yuvarlanma mekanizması yardımıyla yüzeyden uzaklaştırılmaktadır [7].

Partiküler formdaki kirlerin yüzeyden çıkarılmasında ise ilk olarak yüzey-kir ikilisinin yıkama çözeltisi ile nemlendirilerek yumuşaması sağlanmaktadır. Su akışkanlık etkisi ile katı parçacıklar ile yüzey arasında sıvı filmi oluşturmaya başlar. Bunun neticesinde partiküler kirin yüzeye yapışması azalmaktadır. Bu prosesin alt kırınımında su ile katı

partikülün aynu elektriksel yük ile yüklenmesi bulunmaktadır. Böylece yüzey ve partikül aynı elektrik yükü ile yüklenmekte ve bunun sonucu olarak birbirlerini itmektedir. Buna bağlı olarak da yüzey ile partiküler kir arasındaki çekim kuvveti yerini itme kuvvetine bırakmaktadır [7].

Yıkama çözeltisi genellikle kir partiküllerinde ve temizlenen yüzeyde yayılma eğilimindedir. Çözelti için "yayılım katsayıları" (*spreading coefficient*) sırasıyla Eşitlik 2.1 ve Eşitlik 2.2 ile ifade edilmektedir [7].

$$S_{B/P} = \gamma_{PA} - (\gamma_{PB} + \gamma_{AB}) \tag{2.1}$$

$$S_{B/S} = \gamma_{SA} - (\gamma_{SB} + \gamma_{AB}) \tag{2.2}$$

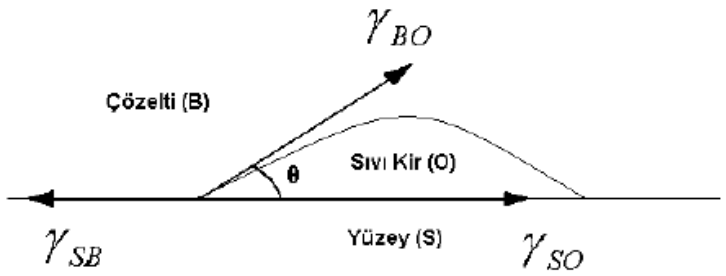
Yukarıdaki eşitliklerde *PA* partikül ile hava, *SA* yüzey ile hava, *AB* hava ile çözelti ara yüzeylerini belirtmektedir. Yayılım katsayısının pozitif bir değer alması durumunda, suyun yüzeye yayılımı kendiliğinden gerçekleşmekte, yayılım katsayısının negatif olması durumunda ise yüzeyi tam olarak ıslatmak için mekanik etki gerekmektedir. Çözeltide bulunan yüzey aktif maddenin çözelti ile hava ara yüzeyine, partiküler kire ya da temizlenen yüzeye adsorbsiyonu; γ_{AB} , γ_{PB} veya γ_{SB} ara yüzey gerilim değerlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durumda çözeltinin, kir ve / veya temizlenen yüzeyi ıslatma eğilimi artmaktadır. Kir ve yüzeyin genellikle hidrofobik yapıda olmaları nedeniyle γ_{PA} ve γ_{SA} değerleri düşüktür. Bu nedenle kir ve temizlenen yüzeyin yıkama çözeltisi ile ıslatılabilmesi için mekanik etki gerekli olmaktadır. Böylece, yıkama çözeltisindeki yüzey-aktif madde ve inorganik iyonlar kir partikülü ve yüzey ara yüzeylerinde adsorblanmakta ve kirin uzaklaştırılması için gerekli iş azalmaktadır. Partikülün katı yüzeye yapışmasını önlemek için birim yüzey alanı başına gerekli olan iş Eşitlik 2.3'te verilmektedir [7].

$$W_a = S_{SB} + S_{PB} - S_{SP} \tag{2.3}$$

Mekanik etki olmaksızın partiküler kirlerin yüzeyden uzaklaştırılmasında ise; yıkama çözeltisinde bulunan anyonların kir ile yüzey arasına adsorblanmakta ve elektriksel çift tabakanın elektriksel olarak negatif yüklenmesi ve aynı yüklere sahip kir ile yüzeyin birbirlerini itmesi etkili olmaktadır. Yıkama çözeltisindeki yüzey aktif maddenin anyonik olması durumunda bu etki artmakta, dolayısıyla mekanik etki ihtiyacı azalmaktadır [7].

- Sıvı Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılması

Sıvı kirlerin sulu ortamda uzaklaştırılmasında etkili olan mekanizma "yuvarlanma" (*roll-back* ya da *roll-up*) olarak ifade edilmektedir. Bu mekanizmada; kir ile yüzey arasındaki temas açısı yüzey aktif maddenin adsorbsiyonu ile arttırılmakta, böylece kirin yüzeyden uzaklaşması sağlanmaktadır. Sıvı kir ve yüzey arasındaki temas açısı gösterimi Şekil 2.10'daki gibidir [7].



Şekil 2. 10 Sıvı kir ve yüzey arasındaki temas açısı gösterimi [7]

Temas açısı; yüzey, kir ve çözeltinin birbiri arasındaki ara yüzey gerilimleri ile bağlantılı olarak Eşitlik 2.4'te verilen Young eşitliği ile ifade edilmektedir.

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{SB} - \gamma_{SO}}{\gamma_{OB}} \tag{2.4}$$

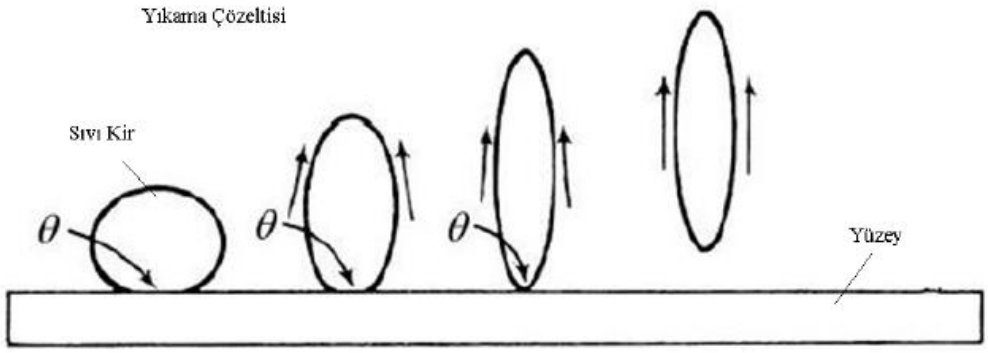
Young eşitliğinde θ, temas açısını, γ_{SB} , yüzey ile çözelti arasındaki ara yüzey gerilimini, γ_{SO} , yüzey ile sıvı kir arasındaki ara yüzey gerilimini, γ_{OB} ise sıvı kir ile çözelti arasındaki ara yüzey gerilimini ifade etmektedir.

Sıvı kirlerin katı yüzeyden uzaklaştırılmasında etkili olan yuvarlanma mekanizmasında yüzey aktif madde adsorbsiyonu ile, çeşitli ara yüzeylerdeki ara yüzey gerilim değerlerinin değişimi Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2. 1 Yuvarlanma mekanizmasına bağlı yüzey gerilim değerleri değişimi [10]

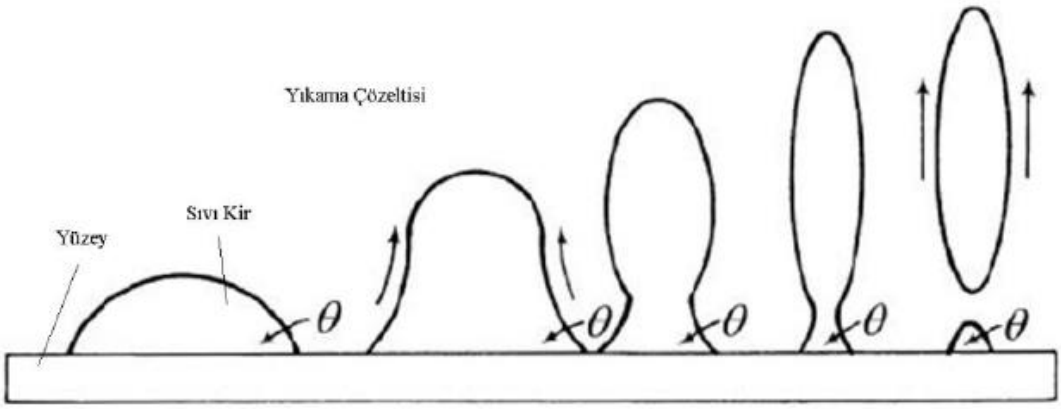
Zaman	θ	cos (θ)	γ_{ij}
t = 0	0 < θ < 90°	1 > cos (θ) >0	$\gamma_{SB} > \gamma_{SO}$, $\gamma_{SB} - \gamma_{SO} < \gamma_{OB}$
$t = t_1$	θ = 90°	Cos (θ) = 0	$\gamma_{SB} = \gamma_{SO}$, $\gamma_{OB} \neq 0$
$t = t_2$	90° < θ < 180°	0 > cos (θ) > -1	$\gamma_{SB} < \gamma_{SO}$, $\lvert\gamma_{SB} - \gamma_{SO}\rvert < \gamma_{OB}$

Sıvı kirlerin yüzey-aktif madde ile uzaklaştırılmasında; yüzey-aktif maddenin yüzey-kir arasındaki temas açısını arttırmadaki başarısı etkili olmaktadır. Temas açısının 90°'den büyük olması durumunda hidrolik hareket ile sıvı kirin yüzeyden uzaklaştırılması Şekil 2.11'de gösterildiği gibi gerçekleşmektedir.



Şekil 2. 11 θ>90° durumunda kirin yüzeyden tamamen uzaklaştırılması [7]

Temas açısının 90°'nin altında olduğu durumda ise, sıvı kirler damlalar halinde bölünmekte ve yüzey-aktif madde adsorbsiyonunun temas açısı üzerinde belirgin bir etkisi olmamaktadır. Ancak, kir ve çözelti arasındaki ara yüzey gerilimi düşmekte ve kir damlasının bir kısmı yıkama çözeltisine geçmektedir. Kir yüzeyden kısmen uzaklaştırılırken bir kısmının yüzeye yapışık kaldığı bu durum Şekil 2.12'de gösterilmektedir.

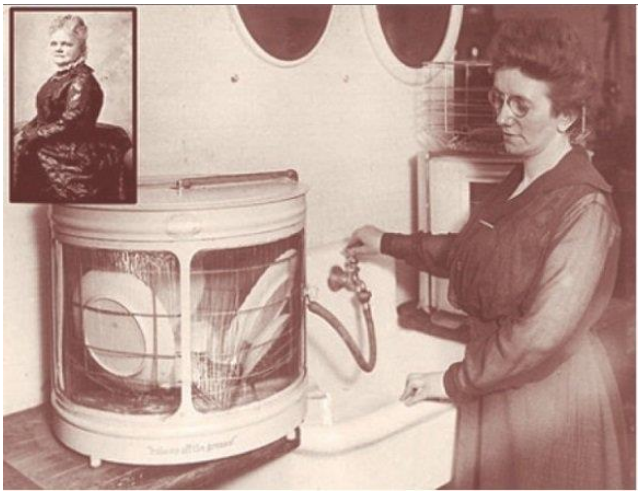


Şekil 2. 12 θ<90° durumunda kirin yüzeyden koparılarak kısmen uzaklaştırılması [7]

Yüzey ile sıvı kir arasındaki temas açısının 180° olduğu özel durumlarda ise kir, sulu ortam etkisi ile yüzeyden kendiliğinden uzaklaşmaktadır [7].

2.1.2 Yıkayıcılar

Tabak, bardak vb. araç-gereçlerin yıkanması amacı ile kullanılan bulaşık makinesi konsepti ilk defa 1850'li yılların başında Amerika'da Joel Houhtan'a ait bir patentte ortaya konulmuştur. İlk mekanik bulaşık makinesinin sistemini anlatan bu patentte el vasıtası ile çevrilen ve bu sırada bulaşıkların üzerine su püskürten mekanik bir bulaşık yıkama makinesi tariflenmektedir. 1850 yılında alınan patentten sonra ilk kullanışlı patent 1885 yılında Josephine G. Cochrane tarafından alındı. Josephine G. Cochrane'e ait bulaşık makinesinin çalışma prensibi temel olarak suyun bulaşıklar üzerine püskürtülmesine dayanmaktadır [11].



Şekil 2. 13 Josephine G. Cochrane ve patentini almış olduğu bulaşık makinesi [12]

Sürekli su püskürtme sistemine sahip bulaşık makinası modelleri ise ilk olarak 1924'te William Howard Livens'ın geliştirdiği evsel kullanıma uygun bulaşık makinası ile piyasaya çıkmaya başladı. 1920'li yılların ardından bulaşıkların yerleştirilmesi için sepet, su püskürtme için pervane, yıkamaya yardımcı olarak deterjan koyma, yıkama sonunda kurutma fonksiyonu gibi özelliklerin de eklenmesi ile 1970'li yılların sonunda günümüzdeki bulaşık makinası sistemi geliştirilmiştir [13].

Tüketiciye konfor sağlamak amacıyla geliştirilen bulaşık makinaları, son yıllarda küresel ısınma ve enerji kaynaklarının kısıtlı hale gelmesi ile tüketici konforunu iyileştirirken bunun yanında çevreye olumsuz etkilerinin azaltılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bütün elektrikli ev aletleri gibi bulaşık makinası da üretim aşamasında, kullanımında ve kullanım ömrünün tamamlanması aşamasında çevreye etki etmektedir. Yapılan çalışmalar, beyaz eşyaların çevreye olan etkisinin enerji ve su tüketimi nedeniyle kullanım sırasında en yüksek seviyeye ulaştığını belirtmektedir. Bu nedenle beyaz eşya sektörüne yönelik çalışmaların büyük bir kısmı düşük enerji ve su tüketimi ile yüksek performanslı yıkama ve kurutma yapabilen bulaşık makineleri üretmeye odaklanmıştır. Bunun bir getirisi olarak; yıkama ve kurutma performansı ile enerji tüketiminin standart bir yöntem ile değerlendirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen EN 50242 "Evsel Kullanım için Elektrikli Bulaşık Makinaları – Performans Ölçüm Metotları" (*Electric Dishwashers For Household Use - Test Methods For Measuring The Performance*) standardı bütün beyaz eşya üretici firmaları tarafından kullanılmaktadır [14].

Bulaşık makinelerinde enerji ve yıkama performansı sınıfının tespiti için bu standart ile yapılan testlerde enerji tüketimi ve yıkama performansına göre sırasıyla Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'teki gibi sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 2. 2 Bulaşık makinesi enerji tüketimi sınıfları [1]

Enerji Tüketimi Sınıfları	Enerji Verimlilik Endeksi (%)
A	E < 64
B	64 ≤ E < 76
C	76 ≤ E < 88
D	88 ≤ E < 100
E	100 ≤ E < 112
F	112 ≤ E < 124
G	124 ≤ E

Çizelge 2. 3 Bulaşık makinesi yıkama etkinliği sınıfları [1]

Yıkama Performansı Sınıfları	Yıkama Endeksi (%)
A	P > 1.12
B	1.12 ≥ P > 1.00
C	1.00 ≥ P > 0.88
D	0.88 ≥ P > 0.76
E	0.76 ≥ P > 0.64
F	0.64 ≥ P > 0.52
G	0.52 ≥ P

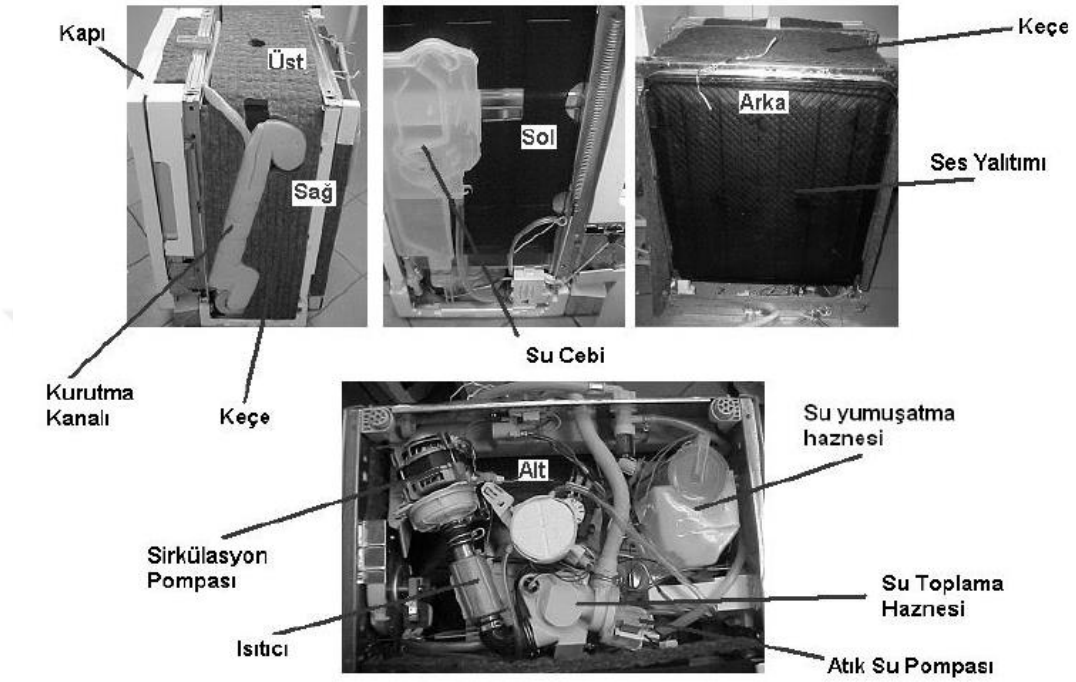
Mutfak araç gereçlerini otomatik olarak yıkama işlemini günümüzde yıkayıcılar yapmaktadır. Yıkayıcılarda en az üç temizleme adımı vardır. Sıcak su ve deterjan etkisinin birlikte kullanıldığı ana yıkama adımı, ana yıkama adımından sonra yüklerin üzerindeki deterjan kalıntılarını uzaklaştırmak için soğuk veya sıcak suyun kullanıldığı durulama adımı ve en son adım olarak da kurutma adımı ile yıkama çevrimi tamamlanmaktadır. Yıkayıcılar temel olarak yıkama grubu, ön panel, kapı ve kazan grubu ve alt sistem komponentlerinden oluşmaktadır. En temel alt sistem komponentleri; ısıtıcı, pompa ve vanalardır.



Şekil 2. 14 Yıkayıcı [15]

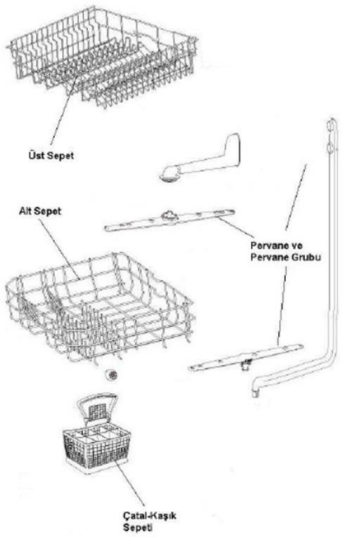
2.1.2.1 Yıkayıcının Ana Bölümleri

Yıkayıcılar temel olarak; ön panel, yıkama grubu, kapı ve kazan grubu olmak üzere toplam dört ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler ve aksamları Şekil 2.15'te gösterilmektedir.



Şekil 2. 15 Yıkayıcının ana ve alt bölümleri [1]

Yıkayıcının temel bölümlerinden biri olan yıkama grubu; kazanın iç kısmında bulunur ve yıkanacak kirli mutfak gereçlerinin yerleştirildiği alt ve üst sepet, çatal-kaşık sepeti, alt ve üst pervane varsa tepe pervanesini ve kirleri tutan filtreleri içeren yıkamanın gerçekleştiği bölümdür. Yıkama grubunda yer alan alt ve üst sepetler, çatal-kaşık sepeti ile pervaneler genelde plastik esaslı malzemeler olup, filtre grubunda metalik malzemeler kullanılmaktadır. Pervane, sepetler ve filtreleri içeren yıkama grubunun şematik gösterimi Şekil 2.16'daki gibidir [1].



Şekil 2. 16 Yıkayıcıya ait yıkama grubu [1]

Üst sepete bağlı olan üst pervane ve kazanın alt bölgesinde bağlı olan alt pervane, pompanın bastığı suyu üzerinde bulunan delikler aracılığı ile makina içerisine iletimini sağlamaktadır. Pervane üstündeki delikler ve yerleşimleri, yıkama performansının arttırılmasına yönelik olarak tasarlanmaktadır. Genellikle günümüz yıkayıcılarında bu pervaneler suyun açısal momentumu ile dönmekte olup, enerji tasarrufu ve maliyet açısından pervaneyi döndürmek için üretici firmalar harici bir motor kullanılması pek tercih edilmemektedir.

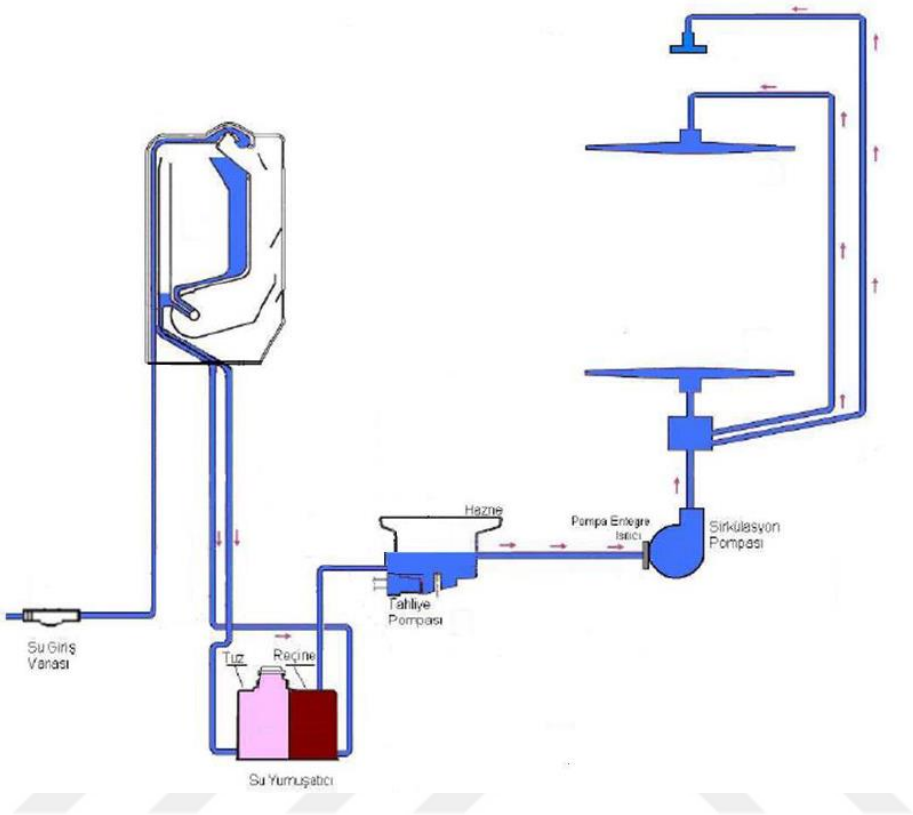
2.1.2.2 Yıkayıcının Çalışma Prensibi

Yıkayıcının çalışma prensibi incelendiğinde yıkama adımları ve yıkama programları üretici firmalara göre farklılık gösterebilir, hemen hemen her yıkayıcı soğuk yıkama (ön yıkama), sıcak yıkama (ana yıkama) adımı, durulama adımı ve kurutma adımından oluşmaktadır. Kapalı bir sistem içindeki sepetlere yerleştirilen tabak, bardak ve çatal-kaşık-bıçak gibi mutfak araçlarının önce soğuk ardından sıcak yıkama adımlarında yüksek sıcaklıkta, mekanik etki ve deterjan ile birlikte bol su kullanılarak yıkanmaktadır. Soğuk ve sıcak yıkamanın ardından deterjanın uzaklaştırılması için durulama adımı ve son olarak da bulaşıkların kurutulması için kurutma adımı ile yıkama çevrimi tamamlanmaktadır. Her yıkama adımının başında şebekeden gelen soğuk su makinaya alınmakta ve yıkama adımına bağlı olarak belli bir sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Adım

boyunca kullanılan su, makinadan uzaklaştırılırken sıcaklığı bir miktar düşmekte ve mutfak gereçleri üzerindeki kiri taşımaktadır [16].

Yıkama işlemine daha detaylı bakıldığında bütün bulaşık makinaları yıkamaya başlamadan önce bir önceki yıkama işleminden kalan suyu tahliye etmek için güvenlik amaçlı tahliye pompasını çalıştırmaktadır. Tahliye işleminden sonra tahliye pompası durmakta ve su giriş vanası açık konuma gelerek şebekeden makinenin haznesine gerekli miktarda su alınmaktadır. Makinenin haznesine su dolmadan önce su cebinden ardından reçineden geçirilerek sertliğe neden olan Ca ve Mg iyonları Na iyonları ile yer değiştirmekte böylece suyun makinenin paslanmaz çelikten üretilen kazanına ve tabak vb. üzerinde renk değişimleri oluşması engellenmiş olmaktadır. Soğuk yıkama adımında ön yıkama gözündeki deterjan makine içine alınmaktadır. Sıcak yıkama adımında ise ısıtıcı çalışmakta ve algoritmaya göre su belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Bu yıkama adımında deterjanlı su ile yıkama yapılmaktadır. Su algoritmanın izin verdiği zaman aralığında sirkülasyon yaptırılır. Ardından su tahliye edilmektedir. Bazı yıkayıcılarda durulama sıcak ve soğuk olarak yapılmaktadır. Sıcak yıkama işleminin ardından su cebi ve reçineden geçirilerek makine içerisine tekrar su alınmaktadır. Bu şekilde alınan soğuk su ile birinci durulama işlemi gerçekleştirilmekte, durulama suyunun tahliyesinden sonra ikinci durulama (sıcak durulama) için makine içerisine tekrar su alınmaktadır. Kurutma performansını arttırmak için alınan su, ısıtıcı vasıtası ile algoritmanın izin verdiği sıcaklık değerine kadar ısıtılmaktadır. Parlatıcı makine içerisine bu adımda alınmaktadır. Parlatıcı kullanımı ile suyun bulaşık yüzeylerine tutunması zorlaşmakta bunun sonucu olarak da bulaşıklar daha parlak görünmektedir. Sıcak durulama adımından sonra su tahliye edilmekte ve sonrasında kurutma işlemi başlamaktadır. Sıcak durulama adımında suyun ısıtılması, ana yıkamada yıkama suyunun ısıtılmasına benzemektedir. Su belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta sonrasında ısıtıcı devreden çıkmaktadır.

Yıkayıcının çalışmasını gösteren hidrolik şema Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 17 Yıkayıcının çalışmasını tarifleyen hidrolik şema [17]

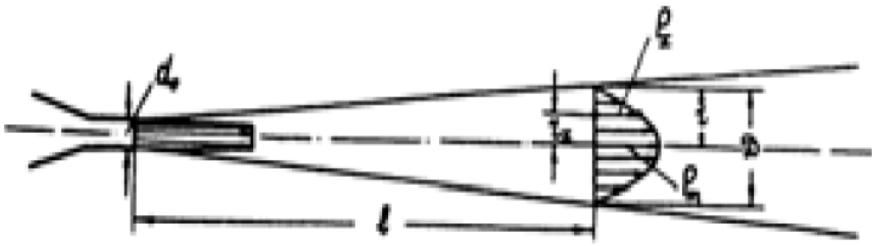
2.1.3 Su Jetinin Oluşumu ve Yapısı

2.1.3.1 Su Jetinin Oluşumu

Suyun dar bir kesitten geçirilmesi sonucunda, çıkış kesitinin azalmasıyla birlikte suyun çıkış hızı artmaktadır. Çıkış hızı artan suya su jeti denilmektedir. Su jeti temel olarak kesme ve temizleme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Temizleme işleminde kullanılan su jeti ele alındığında, su jetinin uyguladığı mekanik etki sonucunda kirin üzerine çarparak ve kirin altına girerek kirin yüzeyden koparılmasını sağlamaktadır. Genelde su jeti temizleme işleminde yanında deterjan vb. kimyasal maddelerle birlikte kullanılmaktadır. Deterjanın yapısındaki surfaktan malzeme, çözelti ile ara yüzey arasındaki gerilmeyi düşürmektedir. Böylece kir yüzeyden daha kolay uzaklaştırılmaktadır.

Su çok dar bir kesitten geçirilerek su jetinin çok yüksek hızlara çıkması sağlanabilmektedir. Sabit çaplı bir boru içerisinde akış hızı saniyede birkaç metre olan su, dar kesite ulaştığında yüksek bir ivme ile dışarıya çıkmaya zorlanmaktadır. Sonuçta nozul çapına bağlı olarak sıvı jetinin hızı değişecektir. Basınçlı su nozul çıkış kesitine ulaştığında sıvı basıncı atmosferik basınca kadar düşecektir. Sistemin enerjisi sabit olduğundan dolayı hidrostatik basınç enerjisi, kinetik enerjiye dönüşecektir. Kinetik enerjinin artmasıyla birlikte su jetinin hızı da artacaktır. Jetin dar kesitten geçmesiyle su jetinin basınç profilinde değişme meydana gelir. Jetin dış kısmını oluşturan katman hava sürtünmesinden dolayı yavaşlar. Bu katmanın yavaşlaması diğer katmanlarında yavaşlamasına neden olur. Şekil 2.18'deki gibi bir basınç profili oluşmaktadır.



Şekil 2. 18 Dar kesitten çıkan su jetinin kesitindeki dinamik basınç gradyeni [18]

2.1.3.2 Su Jetinin Yapısı

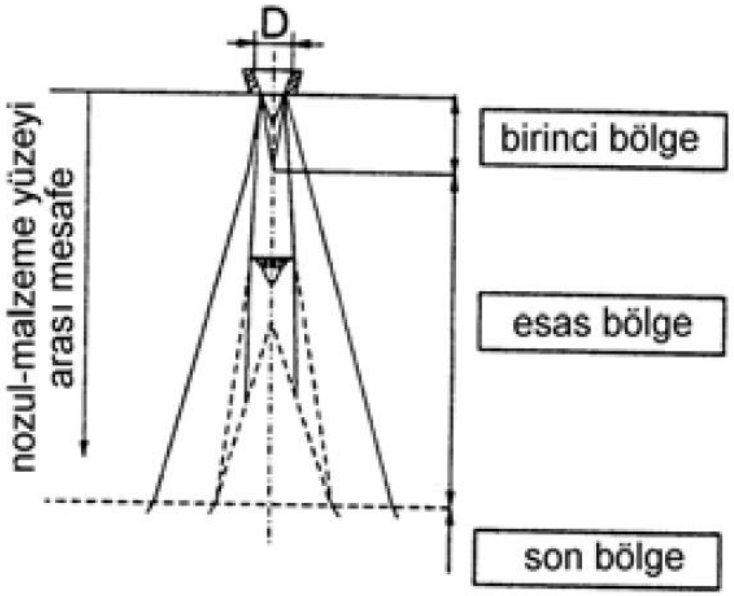
Su jeti üç temel yapıdan oluşmaktadır. Bunlar, birinci bölge, esas bölge ve son bölgedir. Şekil 2.19'da su jetinin yapısı görülmektedir.

- Birinci bölge, nozul çıkışından hemen sonra gelen birinci bölgede su jeti daimi akış özelliğinden dolayı eksenel dinamik basınca sahiptir. Bu bölgenin hızı, jetin nozuldan çıkış hızına eşit kabul edilmektedir. Birinci bölgede sudan havaya olan kütle ve momentum transferi düzensizdir.
- Esas bölge, su jetinin mekanik etkisinin en yüksek olduğu bölge burasıdır. Esas bölgede su jeti yavaştan parçalanmaya başlamaktadır ve bu bölgedeki damlacıkların yüzeye çarpmasıyla oluşan yükleri birinci bölgede oluşan yüklerden çok daha yüksektir. Esas bölgede sudan havaya aktarılan kütle ve momentum birinci bölgeye göre daha fazladır. Bu yüzden damlacık çapı küçülür ve jetin hızında bir azalma meydana gelir.

Esas bölgenin dış kısmı, suyun momentumunun büyük kısmı havaya aktarıldığı kısımdır. Damlacık boyutları çok küçüktür ve damlacık hızları ihmal edilmektedir.

Esas bölgenin iç kısmı, su jetinin karakteristiğinin korunduğu bölge burasıdır. Suyun momentumu bu bölgede çok yüksektir.

- Son bölge, esas bölgeden hemen sonra yayılmanın başladığı son bölge yer alır. Bu bölgede su jetinin ana karakteristiğinin tamamının bozulduğu bölgedir. Suyun momentumunun tamamının havaya aktarıldığı bölge olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2. 19 Su jetinin yapısı [18]

2.1.4 İki Fazlı Akış İle İlgili Tanımlamalar

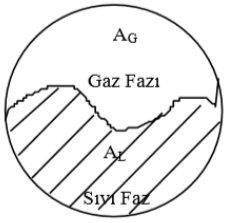
Sanayide çeşitli uygulamalarda kullanılan birçok iki fazlı akış sistemleri vardır. İki fazlı çalışlar belirli şartlarda farklı hareket tipleri gösterebilmektedir, bu gibi durumlarda sistemin uygun şartlar altında değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. İki fazlı akışların modellenmesinde iki yaklaşım ele alınmaktadır. Bunlar homojen ve homojen olmayan (heterojen) akış modelleridir. Homojen akış modelinde akışkan fazlarının tek bir akışkan gibi davrandığı değerlendirilerek aynı fiziksel özelliklere sahip olduğu kabul edilmektedir. Uygulama kolaylığından ötürü endüstride yaygın bir kullanım sahasına sahiptir ve problemlerin ele alınışında fikir vermesi ve mertebe belirtmesi esasından tercih edilmektedir. Ayrılmış akış modelinde ise; fazlar ayrı ayrı ele alınmakta ve her bir faz için detaylı değerlendirmeler ile sonuçlar elde edilmektedir.

2.1.4.1 İki Fazlı Akış Parametreleri

İki fazlı akışların modellenmesinde aşağıdaki parametreler belirleyici rol oynamaktadır.

- Yerel Boşluk Oranı

Gaz fazı hacminin iki fazlı akış sisteminin toplam hacmine oranı yani hem sıvı hem de gaz hacminin toplamı ile hesaplanmaktadır.



Şekil 2. 20 Boru içerisindeki akışkanların görünümü

$$a = \frac{V_{gaz}}{V_{toplam}} = \frac{A_{gaz} \times L}{(A_{sıvı} + A_{gaz}) \times L} = \frac{A_{gaz}}{A_{toplam}} \tag{2.5}$$

İki fazlı akışlarda yerel boşluk oranını hesaplamak oldukça zordur. Yerel boşluk oranı sabit bir hacimde elde edilmesinin zorluğundan dolayı yerel boşluk oranı zamana bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu söylem sonucunda gaz fazı zamanının toplam zaman aralığına oranlanması ile elde edilmektedir.

$$a(x,t) = \frac{T_{gaz}(x,t)}{T} \tag{2.6}$$

- Kinematik Boşluk Oranı

Gaz fazının volumetrik (hacimsel) debisi ile iki fazlı akış sisteminin toplam volumetrik (hacimsel) debisine oranı olarak ifade edilmektedir.

$$\beta = \frac{\dot{V}_{gaz}}{\dot{V}} = \frac{u_{gaz} \times A_{gaz}}{u_{gaz} \times A_{gaz} + u_{sıvı} \times A_{sıvı}} \tag{2.7}$$

Eşitlik (2.5) ve Eşitlik (2.7) kullanılarak yerel boşluk oranı ve kinematik boşluk oranı arasında bir bağıntı kurulabilir.

$$a = \frac{1}{1 + \frac{1-\beta^{(u_{gaz})}}{\beta^{(u_{sıvı})}}} \tag{2.8}$$

- Kuruluk Oranı

Gaz fazı kütlesinin veya debisinin karışımın toplam kütle veya debisine oranı olarak ifade edilmektedir.

$$x = \frac{m_{gaz}}{m_{toplam}} = \frac{\dot{m}_{gaz}}{\dot{m}_{toplam}} \tag{2.9}$$

- Kayma Hızı

Kayma hızı, gaz fazının hızının sıvı fazın hızına oranı olarak ifade edilmektedir. Fazlan biri diğerine göre hareket halinde ise yani bağıl hız farkı varsa kayma meydana gelmektedir. Kaymanın olmadığı zaman S=1 olur ve akış homojen akış olarak kabul edilir.

$$S = \frac{u_{gaz}}{u_{sıvı}} \tag{2.10}$$

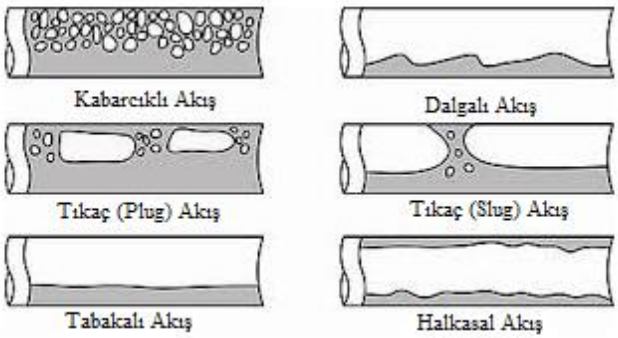
2.1.4.2 İki Fazlı Akış Karakteristikleri ve Akış Haritaları

İki fazlı akışlarda akış karakteristiğini belirlemede akış haritalarından faydalanılmaktadır. Akış haritaları deneysel çalışmalardan elde edilmişlerdir. Akış rejimleri, saydam (şeffaf) kanallar kullanılarak çeşitli görüntüleme teknikleriyle veya teorik yaklaşımlar yardımıyla belirlenmektedir. Deneysel yapılan yaklaşım ve çözümlemelerdeki elde edilen korelasyonlar sadece ilgili deney için geçerli olup, başka deney şartlarında kullanılamamaktadır.

- İki Fazlı Akış Tipleri

Yatay borularda gerçekleşen akışlarda, farklı akış tiplerinin çıkmasının temel nedeni yer çekimi etkisidir. Yatay borularda iki fazlı akışlarda aşağıdaki akış rejimleri oluşmaktadır;

  - Kabarcıklı akış
  - Dalgalı akış
  - Tıkaç akış
  - Tabakalı akış
  - Halkasal akış



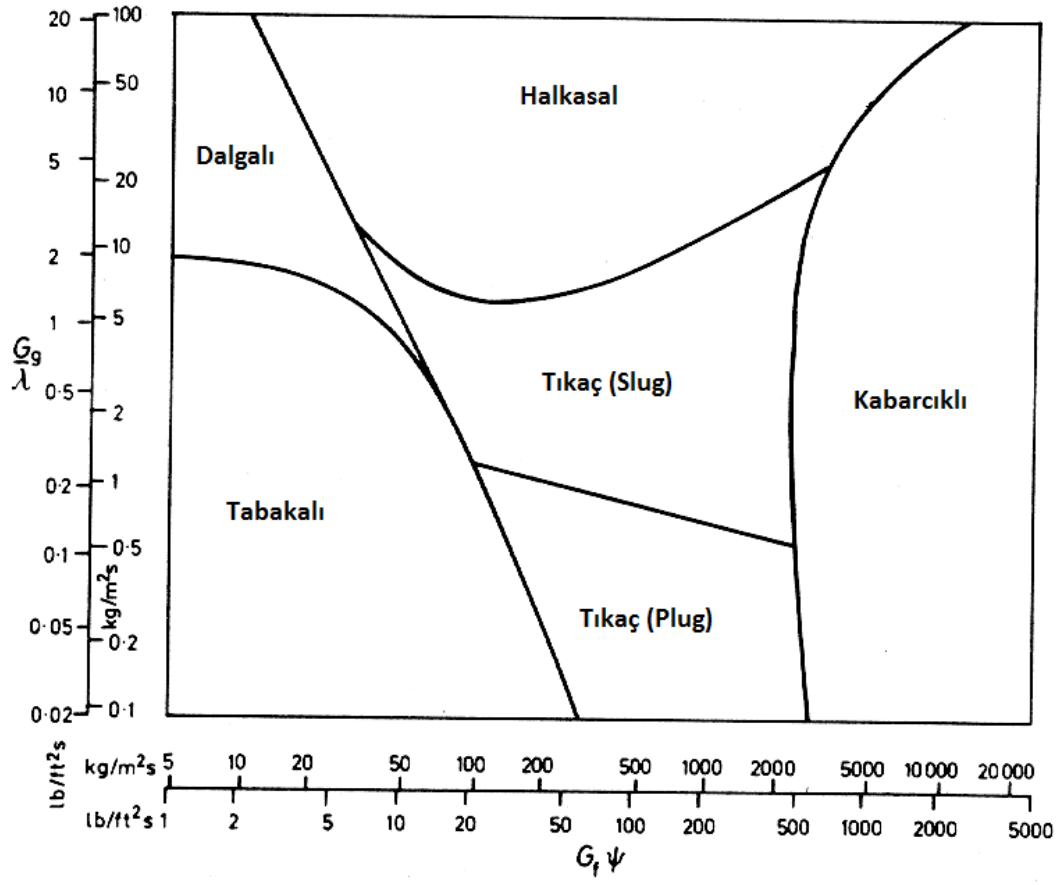
Şekil 2. 21 Yatay borularda iki fazlı akış tipleri [19]

- Kabarcıklı Akış: Gaz fazının sisteme girmesinden dolayı sıvı faz içerisinde gaz kabarcıkları oluşmaktadır. Gaz kabarcıklarının yoğunlukları sıvı fazın yoğunluğundan daha düşük olduğu için kabarcıklar borunun üst kısmına doğru hareket etmektedir. Sıvı fazın hızı gaz fazına göre oldukça yüksek olduğu zaman türbülans yoğunluğundan dolayı gaz kabarcık dağılımı boru kesit alanı boyunca gerçekleşmektedir.
- Dalgalı Akış: Gaz fazının hızının artmasıyla birlikte boru kesitindeki iki fazlı akışta dalgalı tip akış görülmektedir.
- Tıkaç Akış: İki fazlı akışlarda tıkaç akış rejimi kendi içerisinde plug ve slug tıkaç akış olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Slug tıkaç akışta dalgalı akışın gaz fazı debisinin artmasıyla birlikte oluşan akış tipidir. Dalgalar borunun üst kısmına doğru hareket ederek slug tıkaç akışa dönüşmektedir. Slug tıkaç akış tipinde gaz kabarcıklarının boyutu daha büyük ve kabarcık sayısı daha fazladır. Gaz fazının hızı, sıvı fazın hızından daha yüksek mertebededir. Bu akışta yer yer plug tıkaç akış tipide gözlemlenmektedir.

Plug tıkaç akış tipinde ise gaz fazı hızının artasıyla birlikte kabarcıklar bir araya gelerek mermi şeklini almakta ve borunun üst kısmına doğru hareket etmektedir.

- Tabakalı Akış: Sıvı debisinin düşük olduğu akışlarda, sıvı fazının gaz fazı ile birlikte hareket etmesi sırasında tabakalı (katmanlı) akış gözlemlenmektedir. Boru boyunca gaz fazı, sıvı fazının üzerinde ayrı bir tabakaymış gibi hareket etmektedir.
- Halkasal Akış: Halkasal akış, gaz fazı hızının sıvı fazına göre çok yüksek olduğu akışlarda gözlemlenmektedir. Sıvı faz borunun çeperinde ince bir film tabakası olarak hareket ederken, gaz fazı borunun merkezinde yoğun bir şekilde hareket etmektedir. Sıvı filminin yüzeyi dalgalı bir yapıya sahiptir.

- İki Fazlı Akış Haritaları



Şekil 2. 22 Baker iki fazlı yatay akış haritası [20]

2.2 Makale Araştırması

Makale araştırmasının bu kısmında yatay boruda iki fazlı akış, debi ölçümü, basınç düşümü, akış haritalarının deneysel olarak elde edilmesi ile ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Fossa M. ve diğerleri (1998) ani genişleyen yatay boruda boşluk oranı dağılımlarını deneysel olarak incelemiştir. Yapılan testlerde, boşluk oranı ve faz dağılım profili irdelenmiştir. Hava-su karışımının değişim bölgesindeki ortalama boşluk oranı elektriksel empedans yöntemiyle ölçülmeye çalışılmıştır. 1.17 ve 1.94 oran ile daralan kesite sahip borularda tıkaç akış tipindeki akış rejimi ile ortalama boşluk oranı farklı noktalarda elde edilmiştir [21].

Ottens M. ve diğerleri (2001) yatay boruda sürekli akış kabulüyle sıvı-gaz akışında her iki faz için genel momentum denklemini kullanarak kayma gerilmesi ve sıvı gaz arasındaki yüzey sürtünme katsayısını elde etmiştir [22].

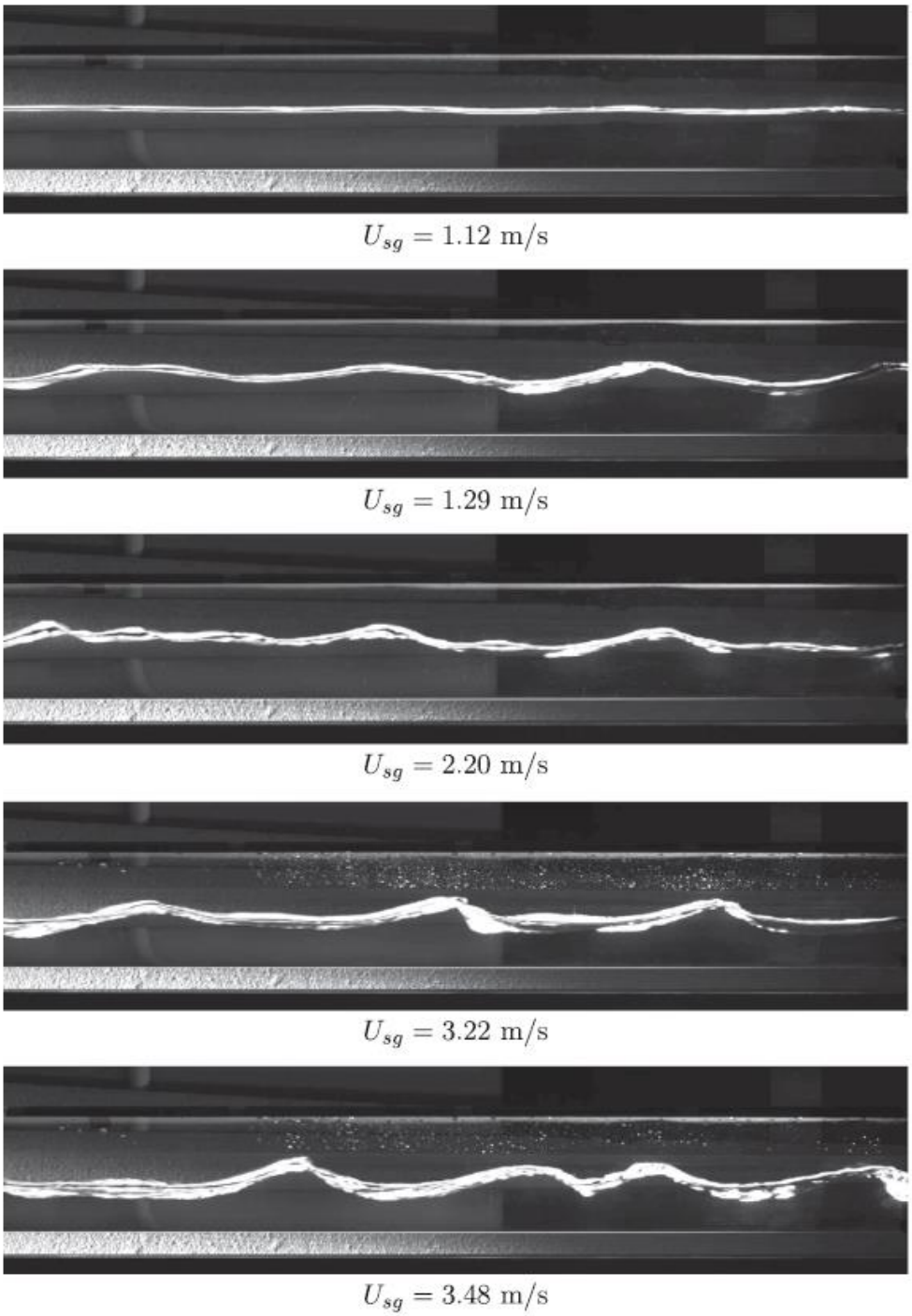
Huang Z. ve diğerleri (2005) sıvı ve gaz fazları içeren iki fazlı akış için farklı bir yöntem ile debi ölçmeye çalışmıştır. Çalışmalarda hız ölçümü için elektriksel kapasiteli tomografi ve ventürimetre kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar neticesinde kullanılan iki cihazın da kullanılabilirliğinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır [23].

Spedding P. L. ve diğerleri (2006) basınç düşümü için elde edilen ampirik ifadelerin tekrarlanabilirliğini deneysel olarak incelemiştir. Ampirik ifadeler halkasal ve tabakalı akışlar için test edilmiştir. Elde edilen ampirik ifadeler üç fazlı akışlarda geçerli sonuçlar vermemiştir [24].

Reis E. D. ve diğerleri (2008) sıvı-gaz iki fazlı akışını kütlesel debisini ölçmek için ventürimetre ve kapasitif sensörden faydalanmıştır. Yatay boru içerisindeki iki fazlı akış su ve hava akışkanlarından oluşmaktadır. 13 metre uzunluğunda ve 34 mm iç çapa sahip şeffaf pleksiglas malzemeden üretilmiş yatay boruda yapılan deneysel çalışmalarda hava-su akış haritaları çıkarılmıştır. Deneyler dalgalı ve tıkaç akış tipleri için yapılmıştır [25].

Sanchis A. ve diğerleri (2011) düşük hızlarda gaz ve sıvı içeren iki fazlı akışta hidrodinamik olarak genişleme gösteren kabarcıklar üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Deneyler 31 m uzunluğunda ve 10 cm çapında yatay boruda yapılmış ve kabarcığın davranışı

yüksek çözünürlüklü görüntüleme cihazlarıyla izlenmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde kabarcıkların harmonik karakteristiği ve kabarcığın yapısı hakkında genel bilgilerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmaların çıktısı olarak kabarcık oluşumunun zamana bağlı rezonans eğrileri elde edilmiştir [26].



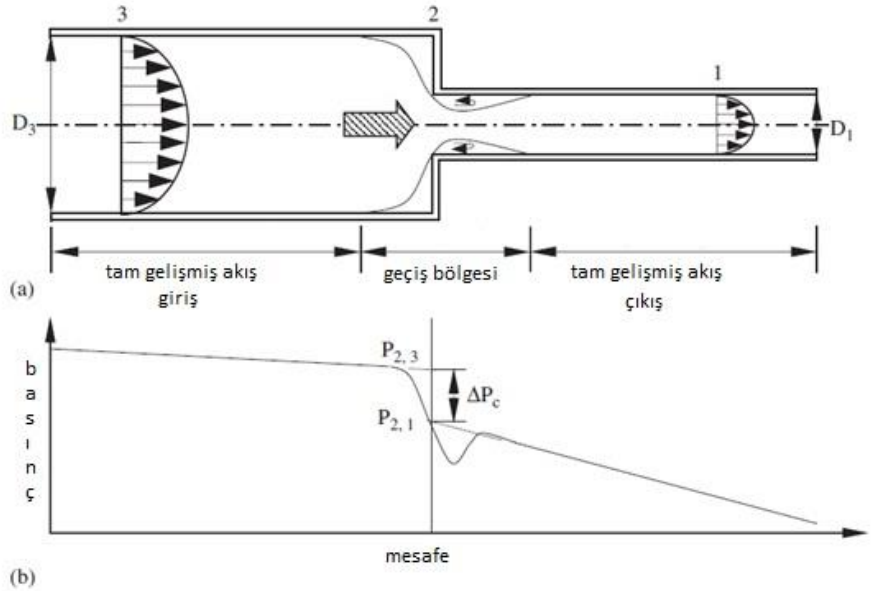
Şekil 2. 23 Sabit 0.13 m/s sıvı hızında fazklı gaz hızlarındaki akış tipleri [26]

Pecucar C. B. ve diğerleri (2011) deneysel olarak büyük bir kabarcığın düzgün bir şekilde ve aniden daralan dikdörtgensel ve dairesel kesitli kanallarda akışına yönelik çeşitli çalışmalar yapmıştır. Kanal içerisindeki akıştaki kabarcığın kesit değişimi öncesi ve sonrasındaki değişimleri analiz edilmiştir. Kabarcığın iki boyutlu hız dağılımları çıkarılmıştır. Kabarcığın daralmanın başladığı bölgede koparak ayrılması ve koptuktan sonraki davranışı incelenilmesi hedeflenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda kabarcıkta kopma gerçekleşmemiştir [27].

Manmatha K.R ve diğerleri (2012) ani daralan mini kanallarda tek fazlı su, iki fazlı su-hava karışımının akışını ve daralmanın olduğu bölgedeki basınç düşümünü deneysel ve teorik olarak incelemiştir [28]. Elde edilen sonuçlar referans bir çalışma ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan mini kanalın daralmadan önceki çapı 1.6 mm ve daralmadan sonraki çapı 0.84 mm'dir. Mini kanal içi akışta Reynolds sayısı 1000-12000 aralığında değişmektedir. Ani daralan kesitteki akışı matematiksel olarak ifade edebilmek için Eulerian–Eulerian karışım modelinden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

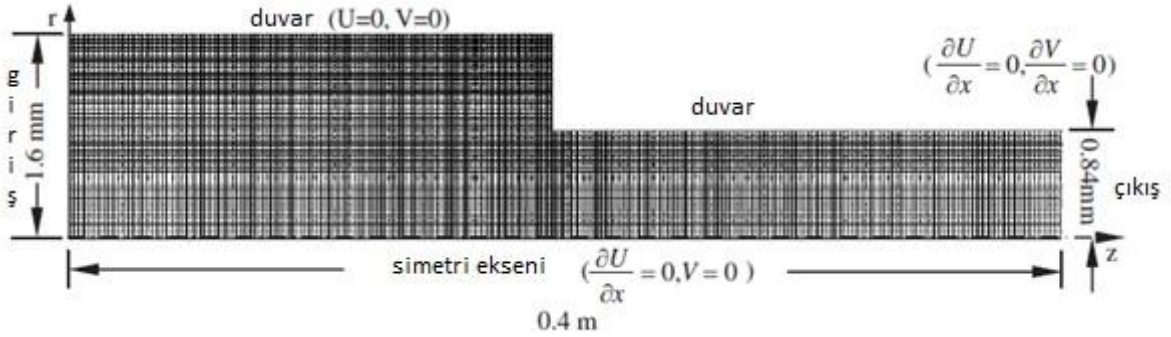
Şekil 2.24 (a)'da sınır akış çizgilerinin ideal durumda nasıl davranacakları gösterilmiş ve akış karakteristiği belirtilmiştir.

Şekil 2.24 (b)'de ani daralma olan mini kanalda meydana gelen basınç profili gösterilmiştir. 3 ve 2 noktalarındaki basınç çok küçük miktarda lineer olarak azalmıştır. 2 ve 1 arasında kesit alanı azaldığından akışkan hızı artmış ve akışkan basıncı azalmıştır. Daralmanın olduğu 2 noktasında ΔP_c kadar basınç düşümü olmuştur.



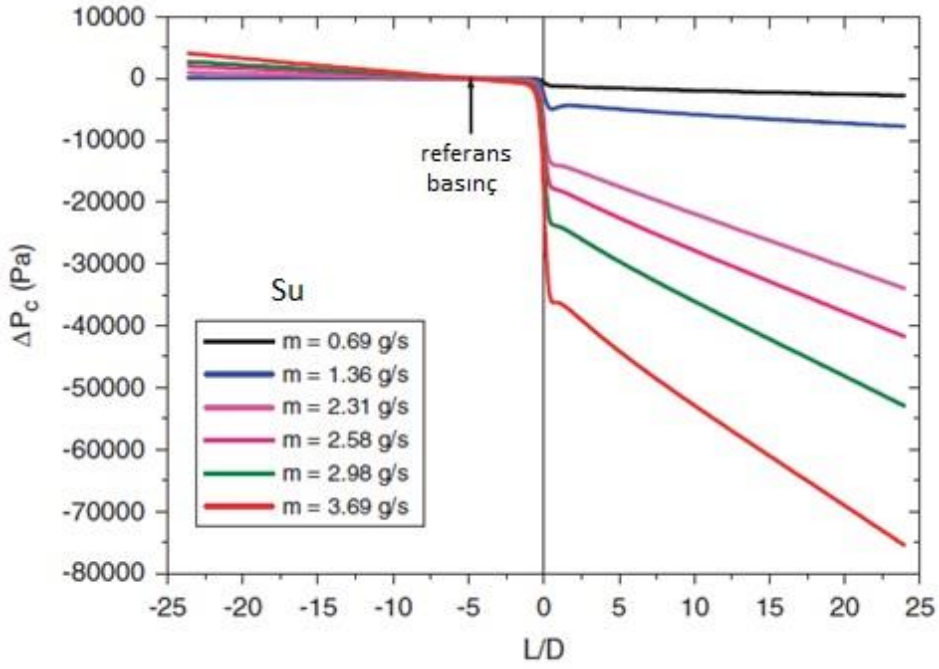
Şekil 2. 24 (a) Sınır akış çizgileri ve akış karakteristiği, (b) Ani daralma olan mini kanaldaki basınç profili [28]

Şekil 2.25'te ani daralan mini kanalın yarı simetrik olarak çözüm ağı ve alanı gösterilmiştir. Çeperlerde ve simetri ekseninde hız sıfırdır yani kayma gerilmesi yoktur.

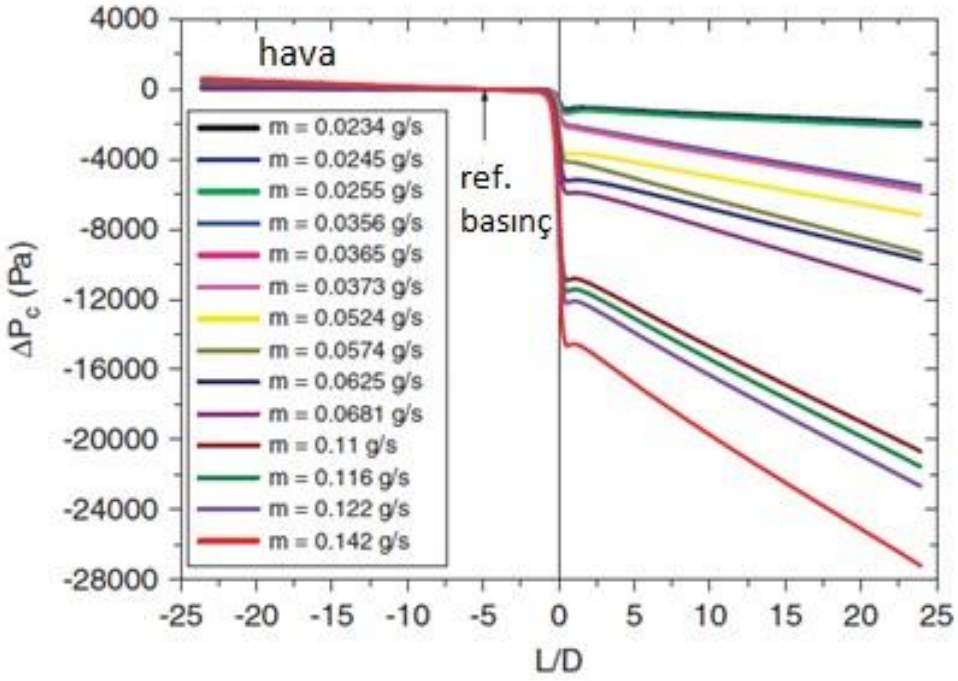


Şekil 2. 25 Daralan kesitte çözüm ağı ve alanı [28]

Şekil 2.26 ve Şekil 2.27'de ani daralan mini kanalda akan farklı debilerdeki tek fazlı sıvı (su) ve gazın (hava) basınç profilleri gösterilmiştir. Kesitin daralmaya başladığı anda akışın hızında aniden artış meydana gelmekte ve basınç aniden düşmektedir.

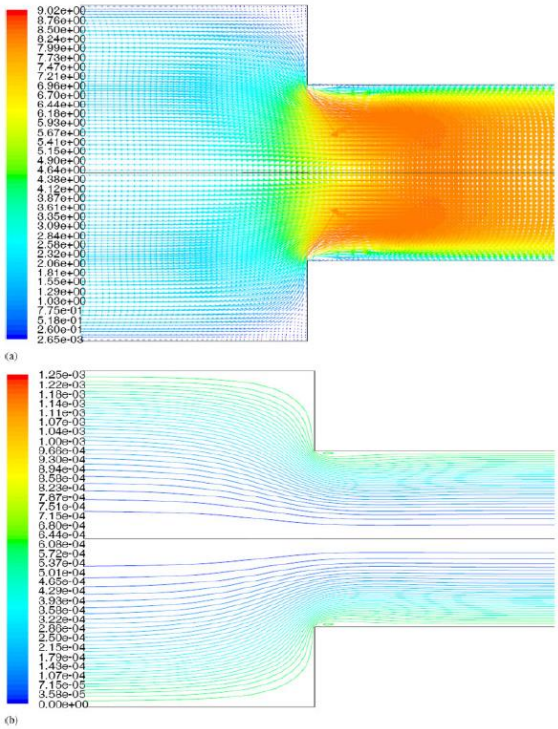


Şekil 2. 26 Ani daralan kesitte akan tek fazlı sıvının (su) farklı debilerdeki basınç profilleri [28]



Şekil 2. 27 Ani daralan kesitte akan tek fazlı gazın (hava) farklı debilerdeki basınç profilleri [28]

Şekil 2.28'de 3.69 g/s debisindeki tek fazlı sıvı akışı için hız vektörleri ve hız profilleri elde edilmiştir. Ani daralmanın başladığı kısımlarda akışta ayrılmalar meydana gelmiştir. Ayrılan akış bölgelerindeki Eddy bölgeleri net bir şekilde görülmektedir.



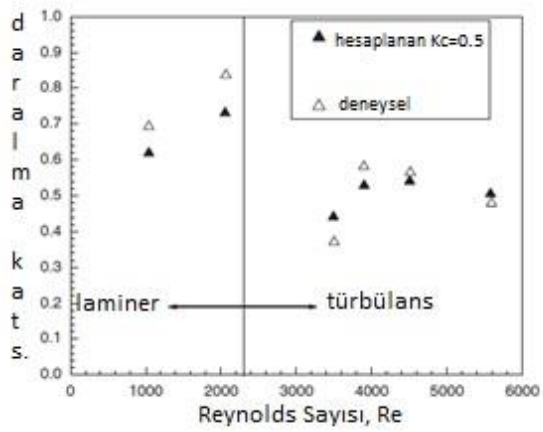
Şekil 2. 28 (a) Hız vektörleri, (b) Hız profilleri [28]

Şekil 2.29 ve Şekil 2.30'da ani daralan mini kanalda tek fazlı su ve hava akışları için daralma katsayısı K_c'nin Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Daralma katsayısı K_c=0.5 olarak Eşitlik (2.11)'den hesaplanmıştır. Hesaplanan daralma katsayısı referans çalışmadaki katsayı ile birbirine yakın çıkmıştır.

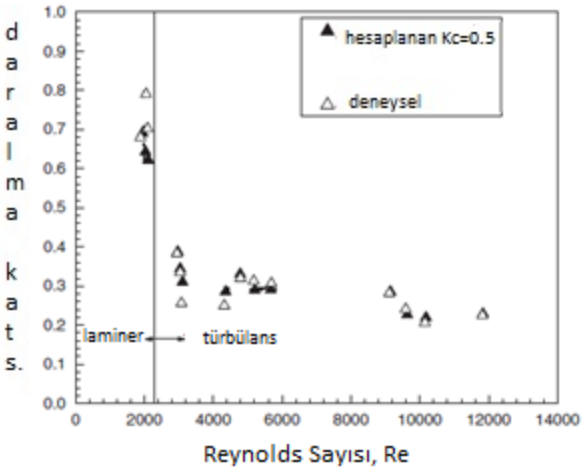
$$\sigma = \frac{A_2}{A_1} \tag{2.11}$$

$$K_c = \frac{1}{2}\left[1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]^2 \tag{2.12}$$

$$K_c\left(\frac{1}{2}\rho u_1^2\right) = P_{2,3} - P_{2,1} - \frac{1}{2}\rho u_1^2(1-\sigma^2) \tag{2.13}$$

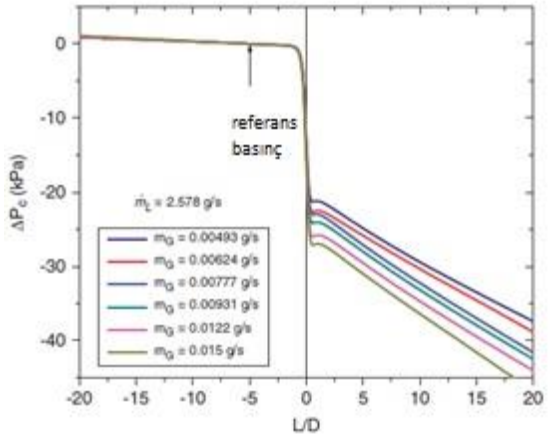


Şekil 2. 29 Tek fazlı su akışı için daralma katsayısının değişimi [28]



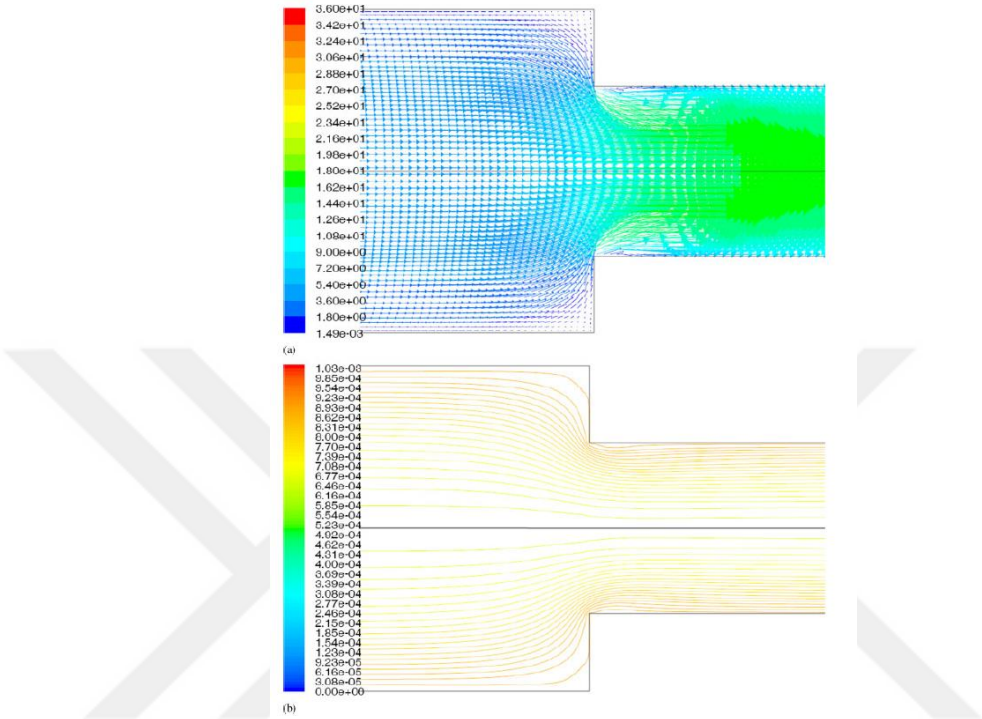
Şekil 2. 30 Tek fazlı hava akışı için daralma katsayısının değişimi [28]

Şekil 2.31'de ani daralan mini kanalda akan iki fazlı su-hava karışımı için basınç düşümleri gösterilmiştir. Basınç düşümleri elde edilirken suyun debisi sabit tutulup havanın debisi kademeli olarak değiştirilmiştir.



Şekil 2. 31 Ani daralan kesitte akan iki fazlı kışın farklı debilerdeki basınç profilleri [28]

Şekil 2.32'de m_L =2.319 g/s ve m_G =0.0203 g/s debisindeki iki fazlı akış için hız vektörleri ve hız profilleri elde edilmiştir. Ani daralmanın başladığı kısımlarda akışta ayrılmalar meydana gelmiştir. Ayrılan akış bölgelerindeki Eddy bölgeleri net bir şekilde görülmektedir.

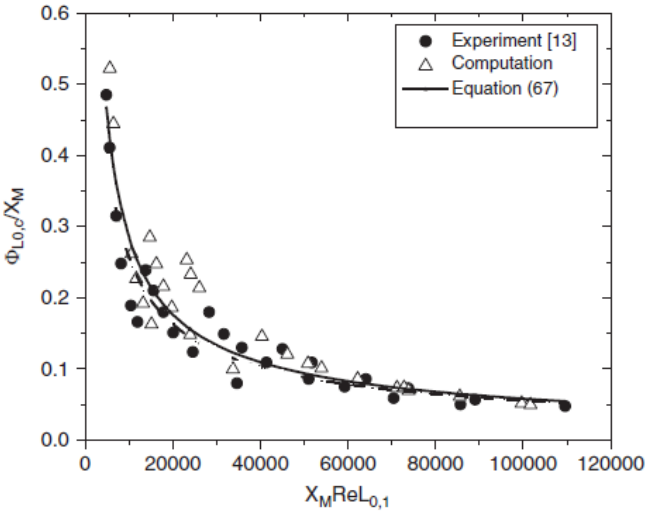


Şekil 2. 32 (a) Hız vektörleri, (b) Hız profilleri (m_L =2.319 g/s ve m_G =0.0203 g/s) [28]

Şekil 2.33'te ani daralan kesitteki iki fazlı akış için bir katsayı korelasyonu elde edilmiştir. Korelasyon Eşitlik (2.14) ve Eşitlik (2.15)'ten hesaplanmıştır.

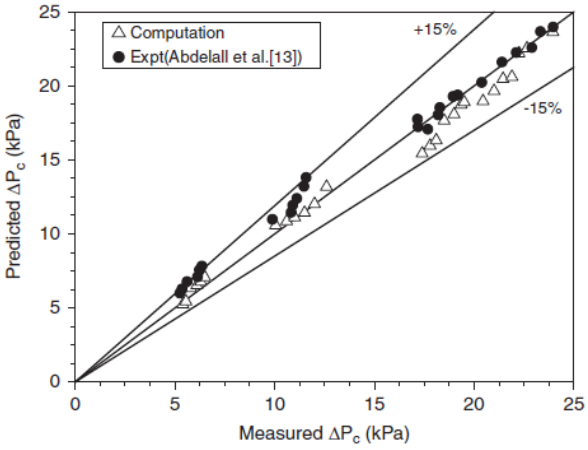
$$X_M = \left(\frac{\mu_L}{\mu_G}\right)^{0.1} \left(\frac{1-x}{x}\right)^{0.9} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5} \quad (2.14)$$

$$\left(\frac{\phi_{L0,c}}{X_M}\right) = 160(X_M \, \mathrm{Re}_{L0.1})^{-0.6877} \quad (2.15)$$



Şekil 2. 33 Ani daralan kesitte akan iki fazlı akış için elde edilen korelasyon eğrisi [28]

Ani daralan mini kanalda akan iki fazlı akış için tahmin edilen basınç düşümü (Eşitlik 2.15'ten hesaplanan) ile referans çalışmadaki sonuçlar +-%15 sapma ile uyumluluk göstermektedir. Elde edilen korelasyon 1000< $\mathrm{Re}_{L0.1}$ <12000 değer aralığında geçerli kabul edilmiştir.



Şekil 2. 34 Tahmini ve ölçülen basınç düşümleri [28]

Magalhaes ve diğerleri (2013) yatay bir boru içerisindeki iki fazlı tıkaç akış tipinde akışkan dinamiği etkilerini araştırmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda sıvı fazın yayılımı, uzun geometrili kabarcıkların sıvı filminin hızıyla reaksiyonu ve basınç düşümleri incelenmiştir. Deneysel sonuçları görsellemek için parçacık hızı görüntüleme (PIV) ve gölge görüntüleme (shadow graph) tekniklerinden yararlanılmıştır [29].

Xing L. ve diğerleri (2014) dairesel bir boru içerisinde akmakta olan iki fazlı akış (sıvı-gaz) için debi ölçümünde Coriolis ve ultrasonik debimetreler kullanmıştır. Gaz fazının hacimsel debilerini ölçmek için ultrasonik debimetre, kütlesel debisini ölçmek için de Coriolis debimetresi kullanılmıştır. Elde edilen debi değerlerindeki hata oranı, karekök ortalama hatası ile %3.09 ve %12.78 olarak ölçülmüştür [30].

Swanand M. B. ve diğerlerinin (2014) yaptıkları deneysel çalışmalarda 0.5 mm ve 305 mm arasındaki hidrolik çap değerleri için dairesel ve dikdörtgensel kesitli kanallardaki sıvı-gaz akışları için bir korelasyon elde edilmiştir. Giriş şartları bilinen akışın çıktıları bu korelasyon üzerinden hesaplanmıştır [31].

Zhai L. S. ve diğerleri (2014) yatay boruda akan yağ-su iki fazlı akışını araştırmıştır. Akışın hız ölçümü paralel tel kapasitif prop (parallel wire capacitive prob – PWCP) ile yapılmıştır. Alt akım bölgesi (su) ve üst akım bölgesi (yağ) için proba gelen sinyaller sayesinde hız ölçümleri elde edilmiştir. Kinematik dalga profili kullanılarak yağ-su iki fazlı akışı için ortalama hızlar elde edilmiştir [32].

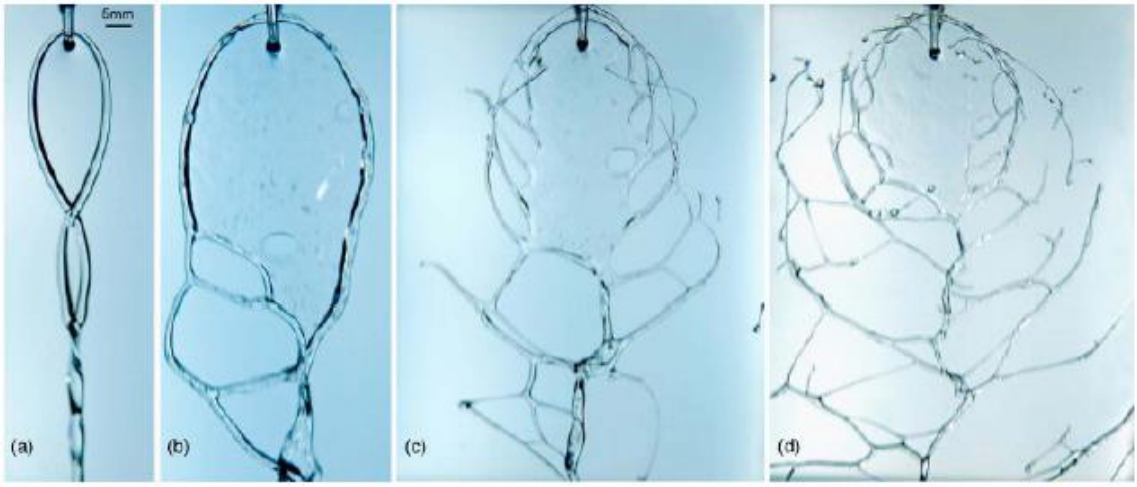
Deniz E. ve Eskin N. (2015) tarafından yapılan deneysel çalışmada, tedrici genişlemeye sahip yatay kanaldan geçen, ısı transferinin olmadığı iki fazlı akışın karakteristikleri nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir. Hacimsel boşluk oranı ve boru iç çapının iki fazlı akış karakteristiğine etkisi, enjekte edilen kabarcıkların ortalama çapı değiştirilerek detaylı olarak irdelenmiştir. Akışkan olarak hava ve su seçilmiştir. Hacimsel debi değerleri, su için 3 L/s; hava için 50 ve 61 L/d olacak şekilde seçilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde iki fazlı akıştaki hacimsel boşluk oranı değerleri sırasıyla % 21.74 ve % 25.31 olarak elde edilmiştir. İki fazlı akışın ve türbülansın modellenmesinde Euler-Euler Modeli ve Reynolds Gerilim Modeli kullanılmıştır. Sayısal sonuçlar, iki fazlı akışın yerel parametrelerini ölçen ikili optik prop kullanarak, daha önceden aynı kişilerin yaptığı deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. İki çalışmada da elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, sayısal modellemede kullanılan ortalama kabarcık çapı yaklaşımının gelişmiş ve katmanlaşmış akış için kabul edilebilir sonuçlar verdiği bulunmuştur [33].

Makale araştırmasının bu kısmında ise su jetinin bir yüzeye çarptırılması ve nozul parametreleri ile ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Taylor S. ve diğerleri (1966), katı yüzeye eğimli olarak çarpan su jetinin yüzeye çarpmasıyla yüzeyde oluşturduğu basınç kuvvetini iki boyutlu düzlemde analitik olarak incelemiştir [34].

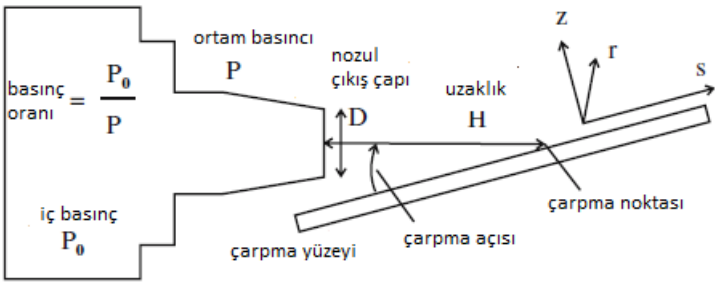
Mi J. ve diğerleri (2000) dokuz farklı çıkış kesitine sahip nozuldan çıkan jetlerin, merkezlerindeki karışma profillerini deneysel olarak incelemiştir. Deneyler sonucunda elde edilen karışım profilleri referans bir dairesel çıkış kesitine sahip nozuldan çıkan su jeti ile karşılaştırılmıştır. Merkezi simetrideki akış çalkantılarının jet ortalama hızını azalttığını ve çalkantı etkin değerinde artışa neden olduğunu belirtmişledir. İkizkenar üçgen şeklinde çıkış kesitine sahip olan jetin yüksek karışma hızına sahip olduğu sonucunu elde etmişlerdir [35].

Miller E. ve diğerleri (2005), viskoelastik sıvı ile eğimli olarak pürüzsüz yüzeye sıvı jeti göndermişler sıvının hızıyla yüzeyde aldığı sekil arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Düşük jet hızlarında sıvı zinciri oluşturan sıvıda hızın artmasıyla parçalanmalar olduğunu tespit etmiştir [36].



Şekil 2. 35 Katı bir yüzeye çarpan viskoelastik sıvının sıvı jeti hızıyla aldığı şekillerin yüksek hızlı kamera görüntüleri

Crafton J. ve diğerleri (2006), Teamah ve diğerlerinin (2012) yaptığı çalışmaya benzer bir çalışma ile jet akışının yüzeye farklı açılar ile çarpması sonucu oluşan akış profillerini PIV ile görselleme yöntemini kullanarak deneysel olarak incelemiştir. Jetin çarpma açısını etkileyen parametreleri çarpma yüzeyi ile nozul çıkışı arasındaki mesafe ve sıvı jeti basıncının dış ortam basıncına olan oranı olarak tanımlamışlardır. Sıvı jetinin geliş açısının, su jeti yüzeye çarptığında oluşan yayılma profili için en kritik parametre olduğunu deneysel olarak elde edilmiştir [37].



Şekil 2. 36 Jet deney düzeneği [37]

Sertore ve diğerleri (2006) tarafından yapılan deneysel çalışmada su jetinin etki yüzeyine çarptığında su jetinin etki yüzeyinde oluşan çekirdek yapısının uzaklık ile değişimini incelenmiştir. Nozuldan çıkan su jetinin hava direncinden dolayı hızında azalmalar görülmektedir. Bu çalışmanın ana amacı basit bir deney düzeneği ile su jetinin etki yüzeyine çarptığında, su jeti ile etki yüzeyi arasındaki momentum transferinden dolayı oluşturduğu kuvveti ve çekirdek yapısının uzaklığa bağlı olarak değişimini göstermektir [38].

Deneysel çalışmalar sırasında farklı çıkış çaplarına sahip altı adet nozul kullanılmıştır. Deney düzeneği pompa, filtre, nozul ve etki yüzeyinden oluşmaktadır.

Su 100 bar basıncında ve 10 L/d debisinde nozuldan geçirilmiştir. Dar kesitten geçen su jeti yüksek hızda şeffaf etki yüzeyine çarptırılmıştır. Nozul ile etki yüzeyi arasındaki mesafe 10-100 mm arasında kademeli olarak değiştirilmiştir.

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho}} \tag{2.16}$$

$$F = \rho \cdot Q \cdot u \tag{2.17}$$

Su 5.14 L/d debisinde 1 mm çapında olan nozuldan geçirilmiştir. Nozuldan çıkan su jeti şeffaf etki yüzeyine gönderilmiştir. Bu işlem nozul ile şeffaf etki yüzeyi arasındaki uzaklık 10-100 mm mesafesinde değiştirilerek tekrarlanmıştır.



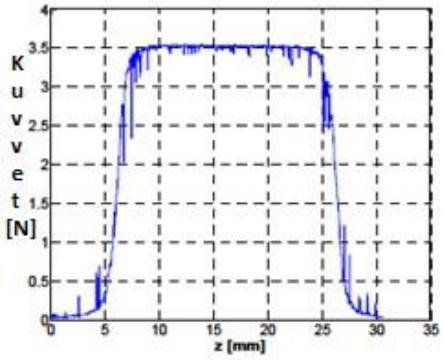
Şekil 2. 37 Su jeti deney düzeneği [38]

Deneysel çalışmalarda altı adet nozul kullanılmıştır. Farklı uzaklık ve debilerde ölçülen kuvvet ve çekirdek büyüklükleri Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2. 4 Deneysel çalışmalarda kullanılan nozullar

Nozul Tipi	**Kuvvet [kg]**	σ_{17} **[mm]**	σ_{52} **[mm]**	σ_{86} **[mm]**	**Debi [L/d]**
JL-0.3-L	0.09	0.30	0.57	0.87	0.43
JL-0.6-L	0.38	0.74	1.32	2.08	1.62
JL-1.0-L	1.35	0.82	1.43	2.16	5.14
JL-Fan-L	0.98	1.17	-	-	4.82
JL-0.4D-L	0.17	0.25	0.39	0.46	0.74
L-0.55-L	0.35	0.35	0.6	0.75	1.41

0.55 mm çıkış çapına sahip nozuldan çıkan su jetinin etki yüzeyinde oluşturduğu kuvvetin z yönündeki mesafeye göre değişim grafiği Şekil 2.36'da görüldüğü gibi ölçülmüştür.



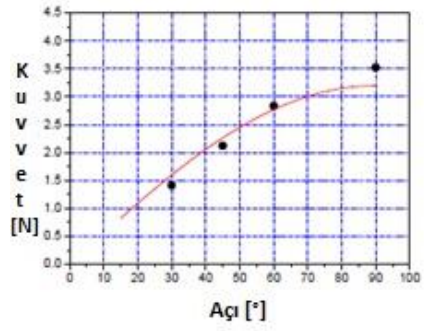
Şekil 2. 38 Kuvvetin z mesafesi ile değişim grafiği [38]

Aynı zamanda kuvvetin mesafeye göre değişimi Gaussian profili ile yaklaşım yapılarak hesaplanmıştır.

$$F(z) = \frac{F_0}{2} \cdot \left[1 + erf\left(\frac{z - z_0}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right) \right] \tag{2.18}$$

F_0 toplam kuvvet, σ çekirdek boyutu ve $F(z)$ kuvvetin uzaklığa göre değişim fonksiyonudur.

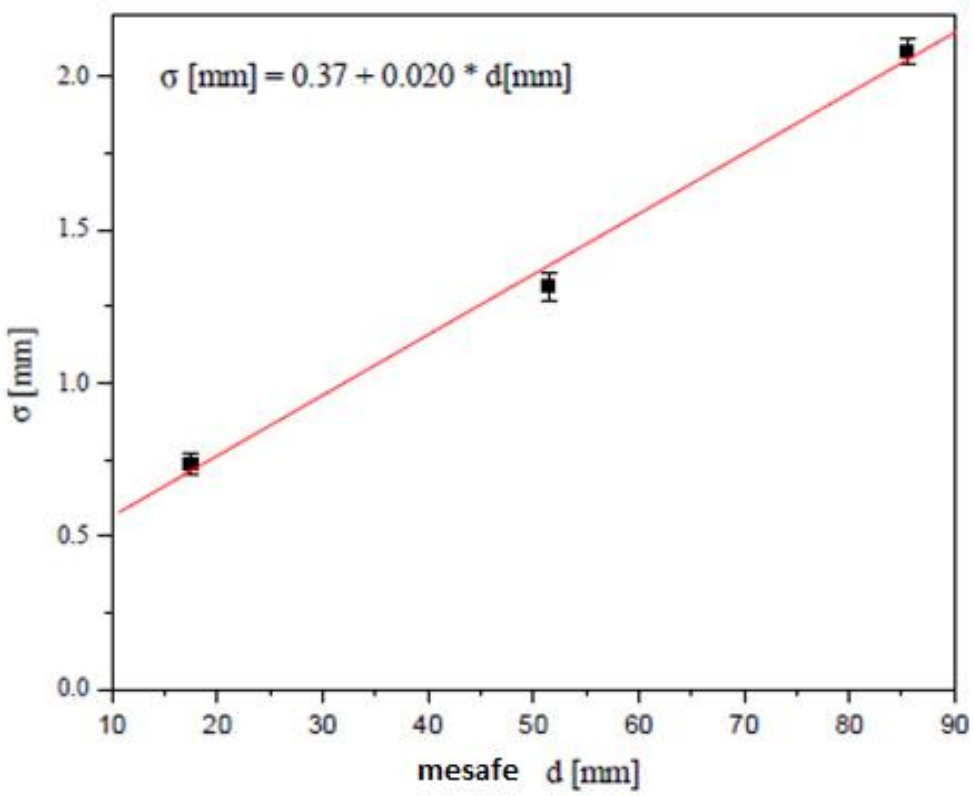
Ayrıca yapılan deneysel çalışmalar kapsamında su jetinin etki yüzeyine açılı bir şekilde çarpası durumu da incelenmiştir. Etki yüzeyinin açılı olması durumunda kuvvet bileşenlerine ayrılmaktadır, yani kuvvetin dikey bileşeni etki yüzeyini etkilemektedir. Şekil 2.37'de kuvvetin sinüs fonksiyonunda değişimi görülmektedir. Etki yüzeyi ile su jeti arasındaki açı 90° olduğunda etki yüzeyi üzerinde oluşan kuvvet maksimumdur.



Şekil 2. 39 Kuvvetin açı bağımlılık grafiği [38]

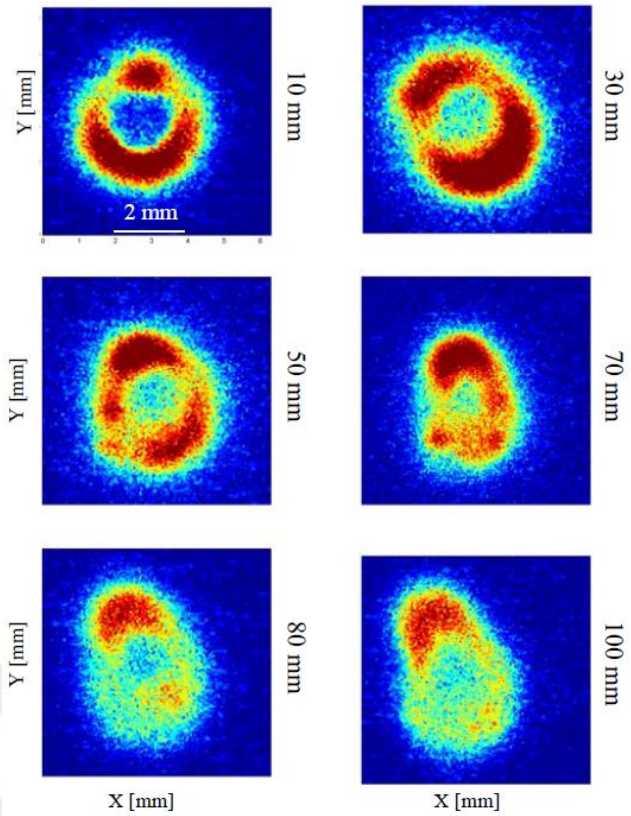
Su jetinin etki yüzeyine çarpması sonucunda etki yüzeyinde oluşan çekirdek boyutunun mesafeye göre değişimi lineer olarak elde edilmiştir. Nozul ile etki yüzeyi arasındaki mesafe 17.5 mm, 52 mm ve 86 mm olacak şekilde üç deney yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda çekirdek boyutunun uzaklığa göre değişim fonksiyonu elde edilmiştir.

$$\sigma = 0,37 + 0,02 \times d \tag{2.19}$$



Şekil 2. 40 Çekirdek boyutu-mesafe grafiği [38]

Su jetinin etki yüzeyine çarpması sonucu etki yüzeyi üzerinde oluşan çekirdek yapısının görüntüsü 40 µm çözünürlüğünde kamera ile gözlemlenmiştir. Şekil 2.39'da 10 mm uzaklığındaki su jetinin çekirdek bölgesi net bir şekilde görülmektedir. Merkezden çekirdeğin dışarısına doğru türbülanslar oluşmaktadır. Nozul ile etki yüzeyi arasındaki mesafe arttıkça çekirdek yapısının netliği bozulmakta ve çekirdek yapıda çekirdeğin duş kısmındaki türbülansa katılmaktadır. Ayrıca mesafe nozul ile etki yüzeyi arasındaki mesafe arttıkça su jetinin tarama alanı artmaktadır.



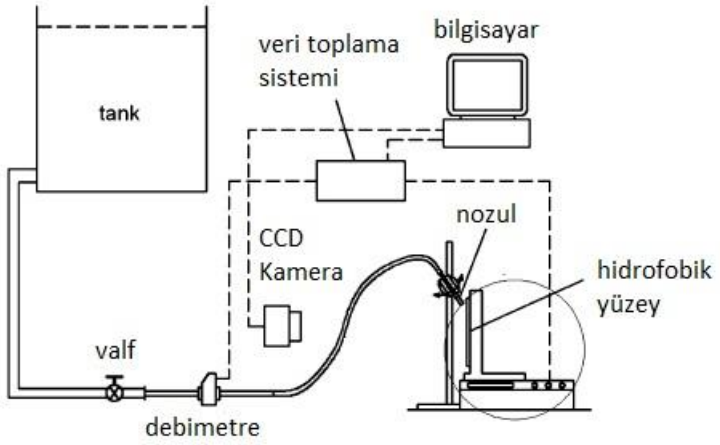
Şekil 2. 41 JL-1.0-L nozulu ile farklı uzaklıklarda oluşan çekirdek yapıları [38]

Makalede su jetinin farklı uzaklıklarda etki yüzeyine çarptırılmasıyla etki yüzeyinde oluşan yayılma karakteristiği incelenmiştir. Bunun sonucunda nozul ile etki yüzeyi arasındaki uzaklığın artmasıyla birlikte su jetinin çekirdek bölgesinin şeklini koruyamadığı ve yüzeyde daha az etki kuvveti oluşturduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda kirli yüzeye gönderilen bu jetin yıkama performansının, uzaklık ile ilişkili olduğu belirtilmiştir.

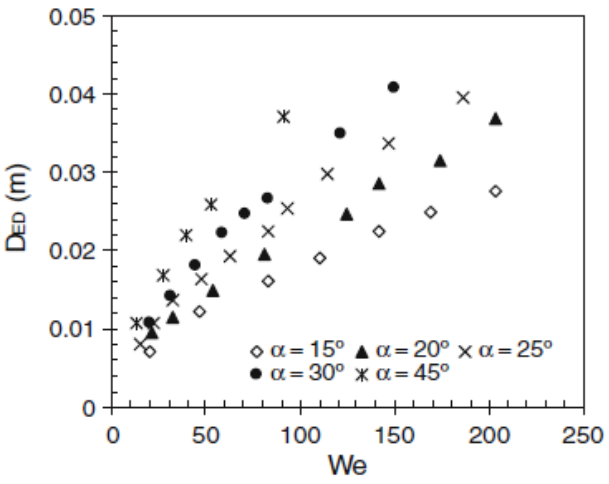
Çelik N. (2006) bir etki yüzeyine çarpan jetlerde optimum nozul geometrisini tayin etmek amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada nozul şekli olarak farklı çaplarda düz dairesel tip nozullar ve eş eksenli nozullar kullanılmıştır. Düz dairesel nozullar iç çapları d=7.9, 10.8, 13.8 ve 23.1 mm olan düz dikişsiz alüminyum borulardan imal edilmiştir. Eş eksenli nozul tipinde; dışta 13.8 mm iç çapındaki düz dairesel boru mevcuttur, içte ise dış çapı 9.8, 8 ve 6.2 mm olan dairesel borular ana borunun merkeziyle çakışacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu yedi farklı lülenin her biri, ısıtılmış düz bir plakaya çarptırıldığında oluşan ısı transferi, boyutsuz Nusselt sayısı cinsinden elde edilmiştir.

Bu nozulların çarpma olmadan, yani serbest jet ortamındaki akış karakteristiği (ortalama hız ve türbülans şiddeti) hassas ölçümlü bir sıcak tel anemometre ile tespit edilmiştir. Ayrıca düz dairesel nozulların levhaya çarpma olması durumunda, çarpma levhasına yakın alanda hız ve türbülans şiddeti değerleri tespit edilerek çarpma bölgesi akımı incelenmiştir [39].

Kibar A. ve diğerleri (2010) hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeylere eğimli çarpan su jeti ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Jetin yansıtma açısının bağlı olduğu paremetreleri araştırmıştır. Bağımlı parametreler; jetin geliş açısı, akışın Weber sayısı ve temas açısı olarak belirtilmiştir [40].

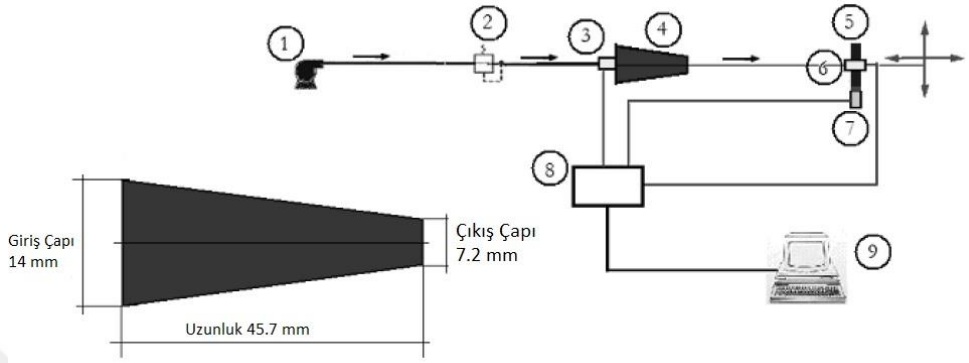


Şekil 2. 42 Su jeti deney düzeneği [40]

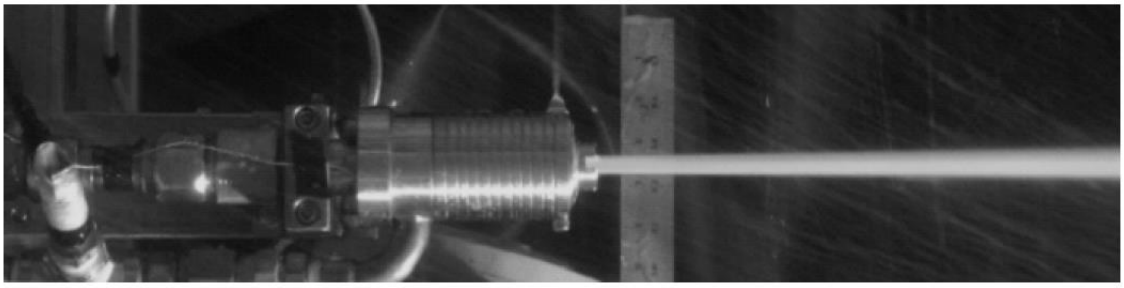


Şekil 2. 43 Yansıtma açısının Weber sayısı ile değişimi (d=4 mm ve θ=167°) [40]

Guha A. ve diğerleri (2010) yüksek hızlı su jetinin temizleme işlemi üzerindeki etkisini nümerik ve deneysel olarak çalışmıştır. 100*D* boyunca jet hızının jet çıkış hızına eşit kaldığı belirlenmiştir. Etkili bir temizleme için optimum mesafenin olduğundan bahsetmiştir [41].

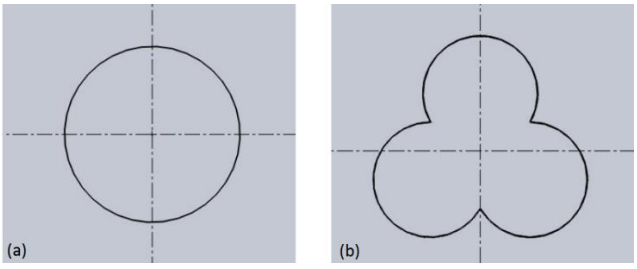


Şekil 2. 44 Deney düzeneğinin şematik gösterimi (1. Pompa, 2. Basınç düşürme valfi, 3. Basınç transdüseri, 4. Nozul, 5. Etki yüzeyi, 6. Yüzey basınç transdüseri, 7. Yer değiştirme transdüseri, 8. Dönüştürücü, 9. Bilgisayar) [41]



Şekil 2. 45 Temizleme işleminde kullanılan yüksek hızlı su jeti [41]

Yükselentürk Y. (2011), yüksek lisans tezi kapsamında dairesel ve yonca kesitli nozullardan çıkan su jeti akışını deneysel ve sayısal olarak çalışmıştır. Dairesel kesitli nozuldan çıkan jetin çekirdek yapısı daha uzun süre korunmaktadır [42].



Şekil 2. 46 (a) Dairesel nozul çıkış kesiti, (b) Yonca nozul çıkış kesiti [42]

Teamah M. A. ve diğerleri (2012) düz bir etki yüzeyine çarpan su jetinin etki yüzeyine çarpma açısına göre suyun yayılım profilini deneysel olarak araştırmıştır. Radyal yönde yayılan film kalınlığının hidrolik sıçrama noktasına kadar azaldığını bu noktadan sonra film kalınlığının tekrar arttığını belirtmiştir. Film kalınlığı yatay yönde homojen olmayan bir dağılım göstermektedir. Film tabakasının genişliği, jetin geliş açısı yükseldikçe artmaktadır. Film kalınlığı maksimum değerine su jeti yüzeye dik açıyla çarptığı zaman ulaşmakta ve debi arttıkça film kalınlığı azalmaktadır [43].

Ching-Yu Hsu ve diğerleri (2013) yüksek hızlı su jetinin polimer bir tabakaya çarpmasını deneysel ve teorik olarak çalışmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında su jetinin yüzeye çarpma hızı, yüzeyde meydana gelen deformasyonlar ve su jetinin yüzeyde oluşturduğu hidrodinamik basınç incelenmiştir. Su jetinin yüzeyde oluşturduğu basınç su jetinin hızına, su jetinin yüzeye çarpma hızına, sıvının yoğunluğuna ve sonik hıza bağlı olduğu iddia edilmiştir [44].

Matematiksel ifade olarak aşağıdaki eşitliklerden faydalanılmıştır.

$$P_i = \rho v c \tag{2.20}$$

P_i başlangıç anındaki yüksek basıncı ifade etmektedir.

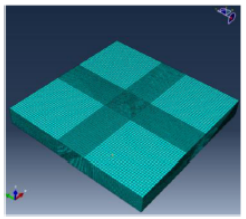
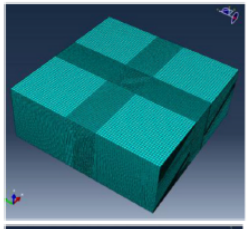
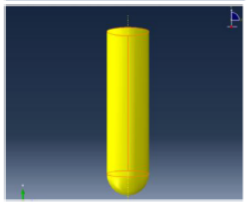
Yüksek hızlı su jeti katı bir yüzeye çaptığında, başlangıç basıncı su çekici basıncı ile karşılaştırılmalıdır.

Eğer su jetinin yüzeye çarpması, kararlı hale gelene kadar devam ederse basınç hidrodinamik olarak hesaplanmaktadır.

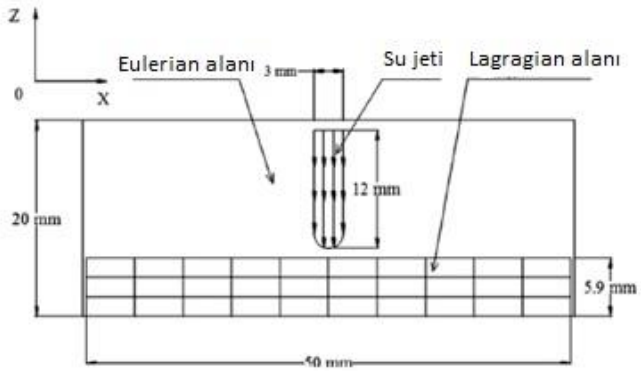
$$P_h = \frac{1}{2}\rho v^2 \tag{2.21}$$

Nümerik çalışmalar ABAQUS paket programında yapılmıştır. Sonlu elemanlar modeli ile ilgili tanımlamalar ve sınır şartları Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 2. 5 Sonlu elemanlar modeli ve tanımlamalar

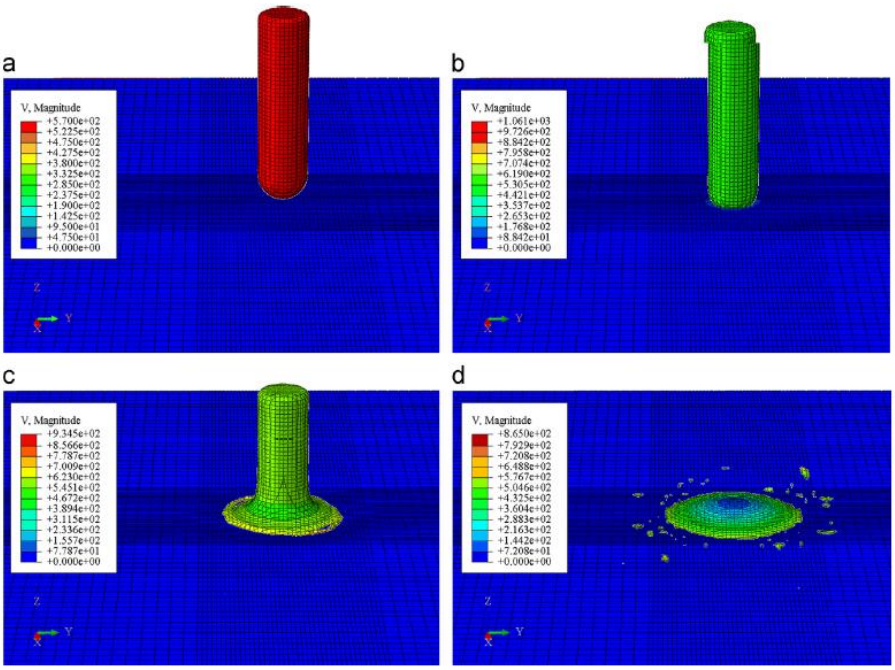
Model	Description	Material property
	*Target:* – Size: 50 × 50 × 5.9 mm^3 – Element type: linear hexahedral elements of type C3D8R – Total number of nodes: 225625 – Total number of elements: 212064	*PMMA:* – Density: 1170 kg/m^3 – Young modulus: 3.3 GPa – Poisson's ratio: 0.36 – Yield stress: 220 MPa – Speed of sound: 2700 m/s
	*Eulerian domain:* – Size: 50 × 50 × 20 mm^3 – Element type: linear hexahedral elements of type EC3D8R – Total number of nodes: 694925 – Total number of elements: 671536	*Water:* – Density: 1000 kg/m^3 – EOS type: Us-Up – Speed of sound: 1500 m/s – Shear modulus: 3.1 μm/s
	*Water jet:* – Diameter: 3.0 mm of diameter – Length: 12 mm – Total number of elements: 5908	*Water:* – Density: 1000 kg/m^3 – EOS type: Us-Up. – Speed of sound: 1500 m/s – Shear modulus: 3.1 μm/s

Şekil 2.47'de modelin ayarlanması ile ilgili çözüm alanları ve boyutlandırmalar gösterilmiştir. Yüksek hızlı su jeti 50x50 mm polimer plakaya –z yönünde çarpmakta ve xy düzleminde yayılma eğilimi göstermektedir.



Şekil 2. 47 Modelin ayarlanması [44]

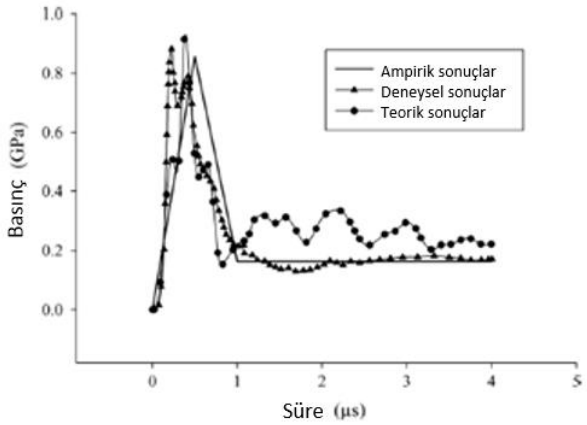
Şekil 2.48'de yüksek hızlı su jetinin yüzeye çarpana kadar geçen sürede nasıl bir karakteristik gösterdiği analiz edilmiştir. (a)'da yüksek hızlı suyun nozuldan çıkmadan hemen önceki davranışı, (b)'de su jetinin nozuldan çıktığı andan yüzeye çarpana kadar olan davranışı, (c)'de yüzeye çarptığı andaki davranışı ve (d)'de yüzeye çarptıktan sonraki yayılma davranışı simule edilmiştir.



Şekil 2. 48 Yüksek hızlı su jetinin davranışı [44]

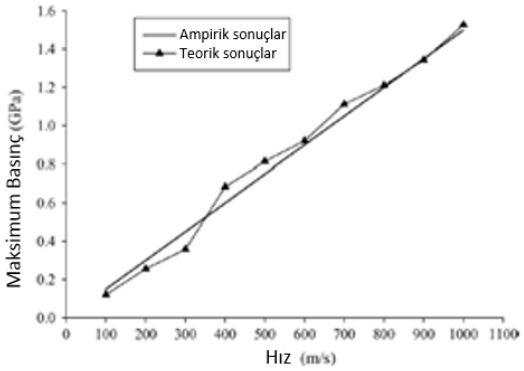
Modelin tanımlanması şu şekilde yapılmıştır.

Çalışmada yüksek hızlı su jeti, tekil çarpma jet nozulu (SIJA) ile elde edilmiştir. Yüksek hızlı su jeti bir tür polimerden (PMMA) imal edilmiş yüzeye çarpmaktadır. Tekil çarpma jet nozulu, 5.5 mm giriş çapına ve 1.6 mm çıkış çapına sahiptir ve nozul malzemesi olarak paslanmaz çelik seçilmiştir. Yüksek hızlı su jetinin nozuldan çıkış hızı 90 m/s ile 1000 m/s arasında kontrollü olarak değiştirilebilmektedir. Yüksek hızlı su jetinin yüzeye çarpma hızı yaklaşık olarak 570 m/s'dir. Etki yüzeyi 50x50x5.9 mm boyutlarındadır. Yüksek hızlı su jetinin etki yüzeyinde oluşturduğu basınç 0.25 μm kalınlığında piezo-elektrik bir komponent ile takip edilmiştir.

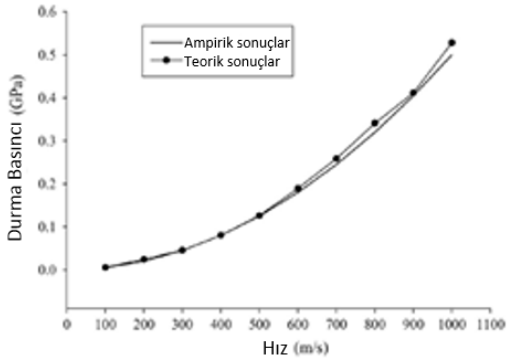


Şekil 2. 49 Yüksek hızlı su jetinin yüzeyde oluşturduğu basıncın zamanla değişimi [44]

Şekil 2.50 ve Şekil 2.51'de azami basınç ve durma basıncının su jetinin etki yüzeyine çarpma hızına bağlı olarak değişimi gösterilmiştir.

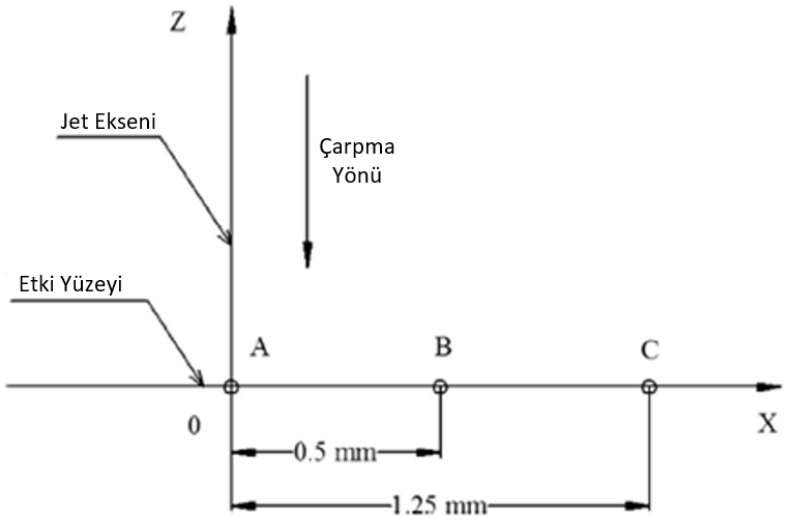


Şekil 2. 50 Azami basıncın su jetinin etki yüzeyine çarpma hızına göre değişimi [44]



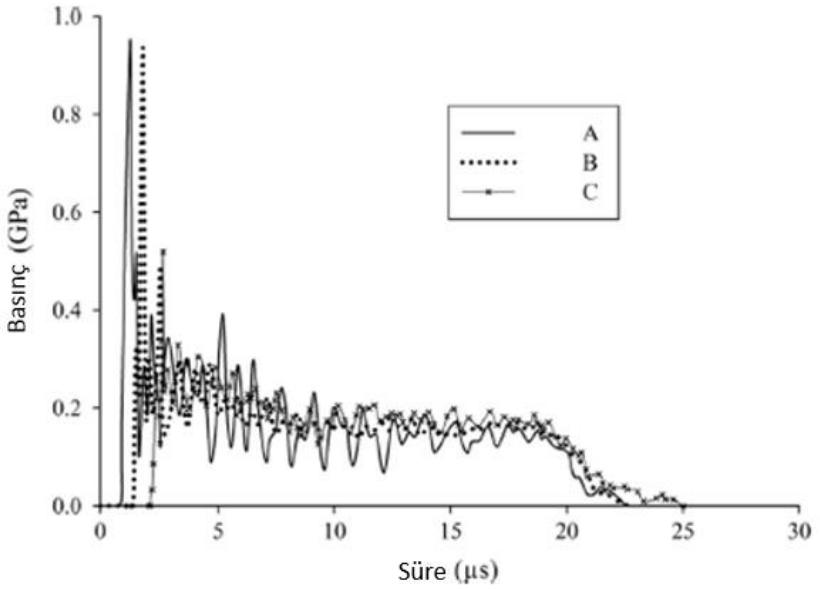
Şekil 2. 51 Durma basıncının su jetinin etki yüzeyine çarpma hızına göre değişimi [44]

Yüksek hızlı su jeti polimer plakanın tam merkezine çarpmaktadır. Bu noktadan farklı olarak merkeze farklı uzaklıklardaki noktalarda oluşan basınç değerleri de ölçülmüştür. Ölçüm noktalarının konumları Şekil 2.52'de gösterilmiştir.



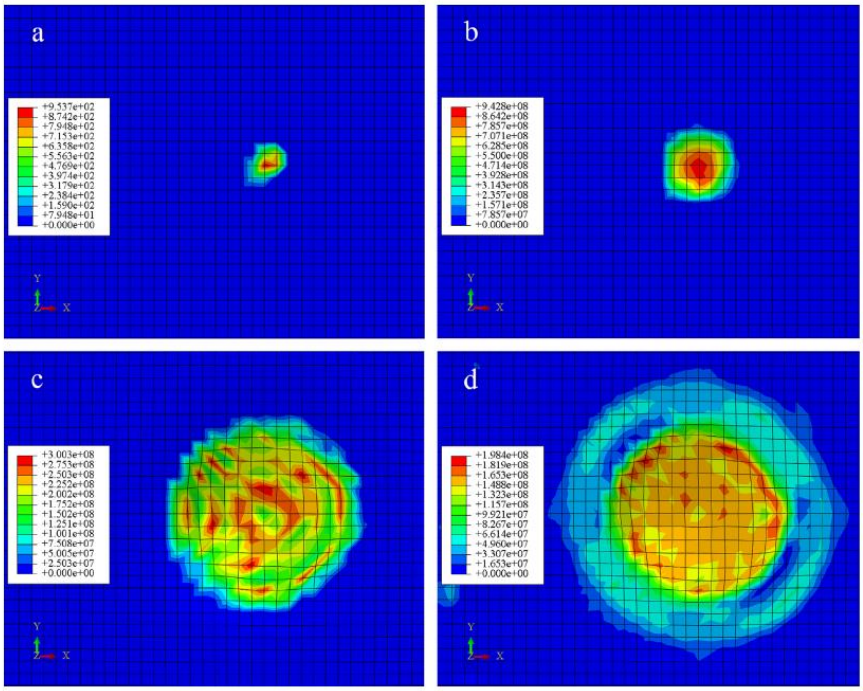
Şekil 2. 52 Basınç ölçüm noktalarının etki yüzeyi üzerindeki konumları [44]

Basınç ölçüm noktalarındaki basınçların zamana bağlı değişimi Şekil 2.53'te gösterilmiştir.



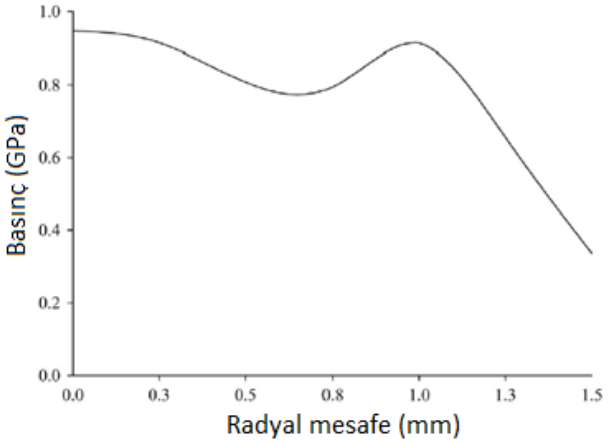
Şekil 2. 53 Ölçüm noktalarındaki basınçların zamana bağlı değişimi [44]

Şekil 2.54'te yüksek hızlı su jetinin yüzeye çaptığı andan itibaren farklı zamanlardaki basınç dağılımı ve yayılma karakteristiği gösterilmektedir.



Şekil 2. 54 Yüksek hızlı su jetinin yüzeye çaptığı andan itibaren farklı zamanlardaki basınç dağılımı ve yayılma karakteristiği [44]

Şekil 2.55'te radyal yönde farklı noktalardaki en yüksek basınç değerlerinin dağılımı gösterilmektedir. En yüksek basınç değeri etki yüzeyinin merkezinde meydana gelmiştir.



Şekil 2. 55 Maksimum basınçların radyal yönde değişimi [44]

Patkavak M. ve diğerleri (2015) deneysel çalışmaları yürütmek için kurulan su jeti deney düzeneğinde, nozul sisteminden çıkacak suyun etki yüzeyinde oluşturacağı su jeti kuvvetinin; debi, etki yüzeyi ile nozul arasındaki mesafe, etki yüzeyi açısı ve nozul çıkış kesit alanına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Deneylerde ölçülen kuvvetler 0.09 ve 0.49 N aralığında değişmektedir. Etki yüzeyinin açısı arttıkça, yüzeye etkiyen su jeti kuvveti artmaktadır ve 90°'de maksimum değerine ulaşmaktadır. Kuvvet üzerindeki baskın değişkenler incelendiğinde debi, nozul çıkış kesit alanı ve etki yüzeyi açısının yüzeye uygulanan su jeti kuvvetine etkileri sırasıyla %59, %21ve %15 olduğu belirlenmiştir. Etki yüzeyi ile nozul arasındaki mesafenin kuvvet üzerindeki etkisi ise sınırlıdır [45].

Makale araştırmasının bu kısmında çarpışan sıvı ve gaz jetleri, sprey yapısı, faz dağılımı ve damlacık boyutları ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

Mehegan P. F. ve diğerleri (1970) farklı fazlarda çarpışan jetler hakkında parametrik çalışmalar yaparak sprey yapısını ve karakteristiğini etkileyen faktörleri incelemiştir. Damlacık boyutlarının dağılımında rol oynayan parametreleri jetlerin momentum oranı, gaz jetinin dinamik basınç düşümünü ve orifis çaplarının oranını belirlemiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, sabit orifis çapları için dinamik basıncın artması durumunda daha küçük çapta sprey elde edilmiştir [46].

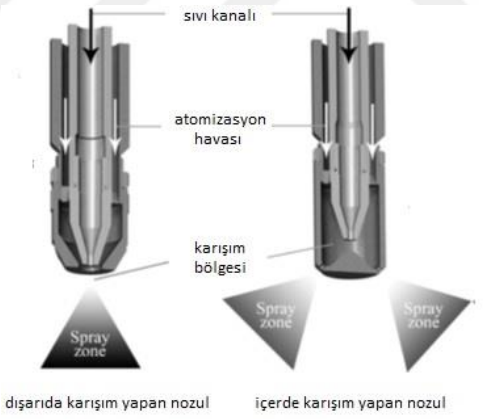
Hoehn F. W. ve diğerleri (1971) hava ve su jetlerinin çarpıştıklarında oluşturdukları akış karakteristiği ile ilgili deneysel çalışmalar yapmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda radyal yöndeki akış dağılımının çarpma açısı ile ilişkili olduğu sonucunu elde etmiştir. Çarpma açısının değeri büyüdükçe, normal yöndeki momentum bileşeninin artmaktadır. Normal yöndeki momentum artışı, atomizasyon kalitesini arttırmıştır [47].

Rajaratnam N. ve diğerleri (1998) yüksek hıza sahip su jetinin simetri eksenindeki faz dağılımı hakkında bilgi elde etmek için çalışmalar yapmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, sıvı fazın hacimsel fraksiyonunun akış hattı boyunca ani bir şekilde düştüğü gözlemlenmiştir. Çok küçük çaptaki (mikron mertebesi) su damlacıklarının hızlarının jet hızına eşit kabul edilebileceğini, fakat damlacıkların öz kütlesi su jetine göre daha küçük bir değere sahip olacaktır. ve su jeti arasında büyük bir öz kütle farkının olduğunu belirtilmiştir. Yoğunluk momentumun bir bileşeni olduğu için momentum transferinde

azalmalar olacaktır. Bu yüzden kesme veya aşındırma işlemlerinde yüzeyde oluşan jet kuvveti azalmaktadır [48].

Peter D. H. (2008) ve diğerleri temel nozul teorileriyle ile çift akışlı nozulun tasarım parametrelerini ve ortalama damlacık çapına ilişkin korelasyonları ortaya koymuşlardır. Dışarıda karışım yapan çift akışkanlı nozulun matematiksel modellemesi üzerine çalışmalar da yapmıştır [49].

Pnömatik nozullar yüksek hızlı gaz akışının parçalayıcı etkisi ile sprey üretirler. Çift akışkanlı nozullar da bu prensibe göre çalışmaktadır. Temel olarak sıvı çevresindeki hava arasında yüksek bağıl hız oluşturur. Genel olarak bağıl hızın artması ya da azalmasının sonucu olarak damlacık boyutunda değişmeler meydana gelebilir.(Lefebre 1989) Atomizasyon için optimum hava-su koşullarını elde etmek için çeşitli nozul tasarımları ve nozul boyutları mevcuttur. En çok kullanılan tasarım hava ve sıvının nozul çıkışında temas ettiği nozul tipidir. Bu nozul tipi dışarıda karışım yapan nozul tipi olarak da bilinmektedir. Bir başka çift akışkanlı nozul tipide sıvının yüksek hızlı hava akımına püskürtüldüğü içeride karışım yapan nozullardır.



Şekil 2. 56 Karışım yapan nozul tipleri

Aynı boyutta damlacık üretmek için içeride karışım yapan nozullar, dışarıda karışım yapan nozullara göre daha az havaya ihtiyaç duyarlar. Bu durum hava ve su arasında daha fazla enerji geçişi olmasından kaynaklanmaktadır.

Sıvı jetinin hızı gaz jetinin hızından daha düşük olduğu için genellikle düşük hızdaki su jeti için momentum ihmal edilebilir. $\dot{m}_{su} / \dot{m}_{hava} \ll 1$ ise su nozul çıkışındaki bir gaz jeti ile

ivmelendirilebilir. Eğer sıvının çevresindeki momentum geçişi ihmal edilirse karışım hız oranı v_{mr} şeklinde ifade edilebilir.

$$v_{hava} \cdot \dot{m}_{hava} = v_{mr} \cdot \dot{m}_{hava} + v_{mr} \cdot \dot{m}_{su} \Leftrightarrow v_{mr} = \frac{v_{hava}}{1+(\dot{m}_{su} / \dot{m}_{hava})} \tag{2.22}$$

Nozul çıkışından sonra hava ve suyun hızının eşit olduğu nokta L_{mix} olarak adlandırılmaktadır. Hava ve su hızının eşit olduğu en son noktada sprey jetinin kesit alanı A_{SS} dairesel gaz jetinin kesit alanı A_G 'den daha büyüktür.

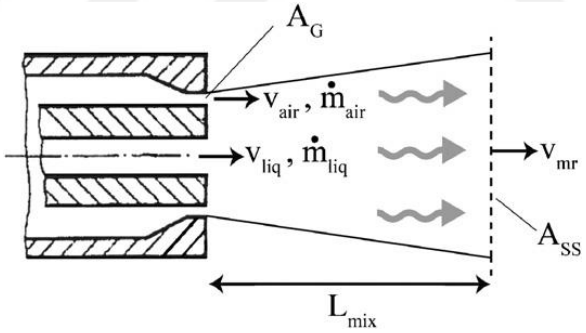
$$A_{SS} \cdot v_{mr} = A_G \cdot v_{hava} \Leftrightarrow A_{SS} = A_G \cdot \left[(\dot{m}_{su} / \dot{m}_{hava}) + 1\right] \tag{2.23}$$

Suyu v_{mr}'ye kadar ivmelendirmek için gaz tarafından sıvıya transfer edilen güç denklemi;

$$\psi_{hava/su} = \frac{v_{mr}^2}{2} \cdot \dot{m}_{su} \Rightarrow \psi_{hava/su} = \frac{v_{hava}^2 \cdot \dot{m}_{su}}{2(\dot{m}_{su} / \dot{m}_{hava} + 1)^2} \tag{2.24}$$

İvmelenmenin gaz tarafından gerçekleştirilebilmesi için birim su kütlesi için gerekli olan enerji denklemi;

$$W_{hava/su} = \frac{v_{hava}^2}{2(\dot{m}_{su} / \dot{m}_{hava} + 1)^2} \tag{2.25}$$



Şekil 2. 57 Dışarıda karışan çift akışlı nozul

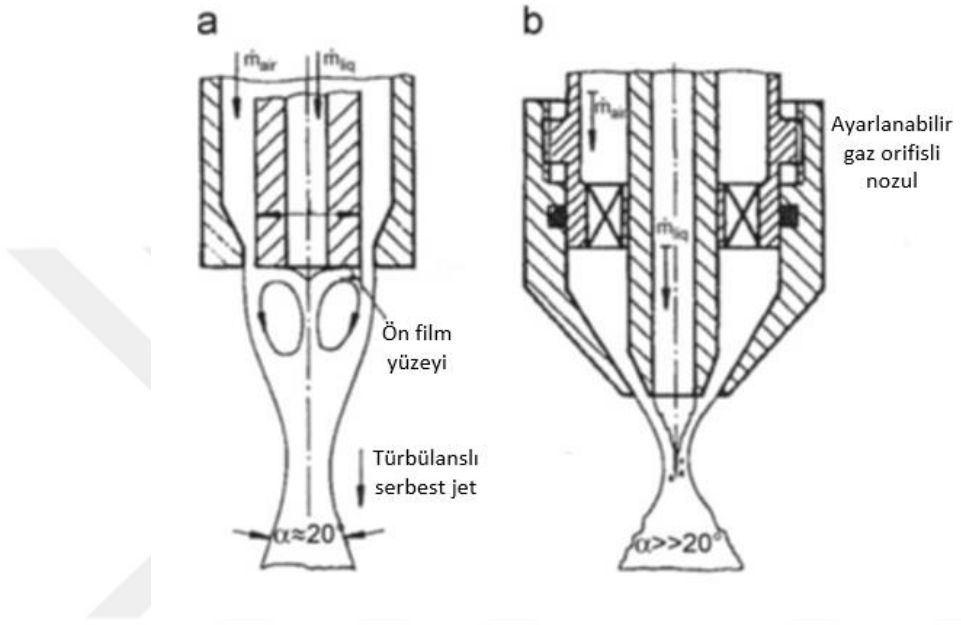
Havadan sıvıya transfer edilen güç oranı Eşitlik 2.24 hava için türetilir ise;

$$\psi_{hava} = \frac{v_{hava}^2}{2} \cdot \dot{m}_{hava} \tag{2.26}$$

$$\frac{\psi_{hava/su}}{\psi_{hava}} = \frac{\dot{m}_{su} / \dot{m}_{hava}}{(\dot{m}_{su} / \dot{m}_{hava} + 1)^2} \tag{2.27}$$

Eşitlik 2.27'deki $\dot{m}_{su} / \dot{m}_{hava} = 1$ olduğunda havadan sıvıya aktarılan güç oranının optimum değere sahip olduğu görülmektedir. Bu aynı noktadaki atomizasyon etkinliğinin maksimum değerde olduğu anlamına gelmektedir.

Öte yandan dışarıda karışım yapan nozullar için en küçük damlacık çapının $\dot{m}_{su} / \dot{m}_{hava} \to 0$ durumunda olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 2. 58 (a) Basit çift akışlı nozul tasarımı, (b) Sarmal uçlu çift akışlı nozul tasarımı

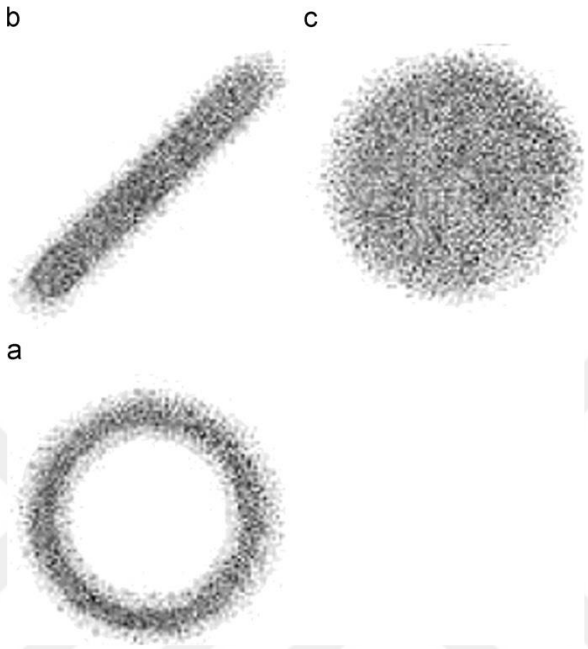
Çift akışlı basit nozul tasarımında akış incelendiğinde hava ve su nozuldan eksenel yönde çıkmaktadır. Basit nozul tasarımı için akış Şekil 2.58 (a)'da gösterilmiştir. Burada suyun çıktığı nozul ile havanın çıktığı nozulun eş merkezli olduğu görülmektedir. Sprey açısı yaklaşık olarak 20° civarındadır.

Çift akışlı sarmal nozul tasarımı için akış incelendiğinde nozulların birbirine yakın olmasından dolayı su ince bir film şeklinde nozuldan çıkar ve gerçek atomizasyon ayırma kenarında meydana gelir. Aslında sıvı jeti dairesel kesite sahip nozuldan dairesel formda çıkmaktadır. Bu dairesel forma sahip jetin kesit alanı Eşitlik 2.23 yardımıyla hesaplanabilmektedir. Sprey açısı 20°'nin çok üzerindedir.

Debinin optimize edilmesiyle Şekil 2.58 (a)'daki çift akışlı basit nozulu optimize etmek mümkündür. Bu şekilde nozul, çok amaçlı nozul olabilmektedir. Çift akışlı sarmal uçlu nozul için de hava çıkış deliğinin boyutlarını değiştirmek mümkündür. Ayrıca gaz

nozulunun içerisinde bulunan sarmal yapının tasarımı değiştirilerek sprey açışını arttırmak mümkündür.

Dışarıda karışım yapan çift akışlı nozullardan elde edilen jetlerin sprey karakteristikleri Şekil 2.59'da gösterilmiştir.

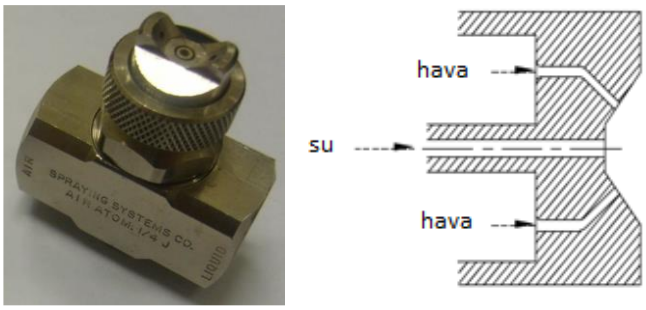


Şekil 2. 59 Sprey karakteristikleri: (a) boş koni, (b) çizgisel, (c) dairesel

Makalede ayrıca çift akışlı nozulardan çıkan sprey içindeki damlacıkların ortalama çapları, damlacık çapını etkileyen parametreler, içeride ve dışarıda karışım yapan çift akışlı nozullar için damlacık çapı için korelasyonlar, sprey içindeki damlacıkların dağılımı ve elde edilen sonuçlar daha önceki yıllarda yapılmış çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

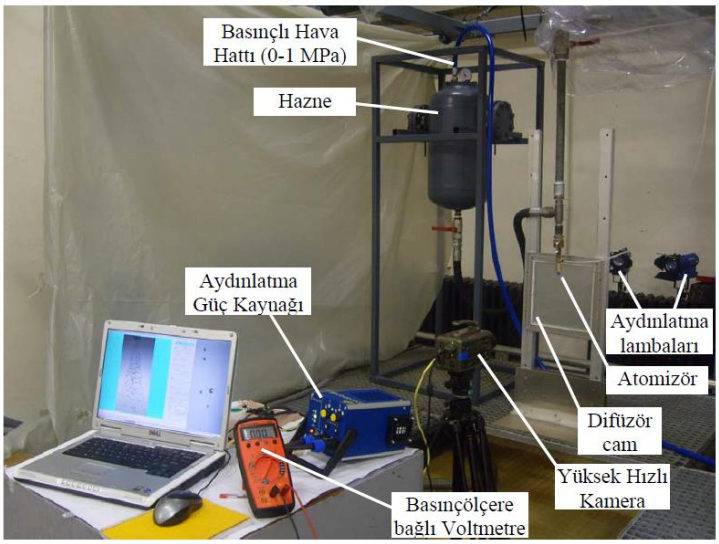
Balik G. (2010) doktora tezi kapsamında nozul içerisinde karışım odası olmayan su ve havanın dışarıda karıştığı çift akışlı nozul kullanarak nozuldan çıkan sprey akışını ve sprey içerisindeki damlacık boyutlarını ve damlacık sayısını incelemiştir [50].

Deneylerde kullanılan atomizör, suyun çıkacağı orifise 45 ° açı ile konumlandırılmış ve 1,35 mm çapına sahip iki adet hava orifisine ve atomizörün merkezine konumlandırılmış 1,50 mm çapına sahip bir adet su orifisine sahiptir. Bu atomizörden oluşturulan sprey açısı düz spreydir ve sprey açısı 60°'dir



Şekil 2. 60 Deneylerde kullanılan atomizör [50]

Deneylerde iki farklı deney düzeneği kullanılmıştır. Birinci deney düzeneğinde nozul çıkışındaki sprey karakteristiğini belirlemek için saniyede 160000 kare fotoğraf yakalayabilen hızlı çekim kamerasının olduğu düzenektir. İkinci deney düzeneği ise spreyin herhangi bir noktasındaki damlacığın hızının ve boyutunun belirlenmesi için ileri seviye optik ölçüm sistemidir.



Şekil 2. 61 Yüksek hızlı kamera ölçümleri için kullanılan deney düzeneği [50]

Atomizör çıkışından sonra spreyin yere dökülerek harcanmaması için bir toplama kabı kullanılmıştır. Basınçlı haznedeki akışkan tükendiğinde test durdurulmakta, toplama kabında biriken sıvı, sıradaki test için tekrar basınçlı hazneye doldurulmaktadır. Dolum öncesinde, basınçlı haznenin basınçlı hava hattının vanası kapatılmakta ve haznenin dolum kapağı hafif açılarak, içeride kalan basıncın boşalması beklenmektedir.

Haznenin basıncı atmosferik basınca kadar düştüğünde, dolum kapağı tam açılarak dolum yapılmaktadır. Su ile yapılan testlerde ise toplama kabı kullanılmamakta, suyun

havuz zeminine dökülmesine ve havuz giderinden atılmasına izin verilmektedir. Basınçlı haznenin yeniden dolumu taze musluk suyu ile yapılmaktadır.

Bu çalışmada kamera çekimleri için yüksek hızlı kamera kullanılmıştır. Bu kameranın çözünürlüğü, 64x64 ile 800x600 (piksel biriminde) arasında değiştirilebilmektedir. Bir saniyedeki görüntü sayısı, en yüksek çözünürlükte 1,000 pps/fps mertebesinde iken, en düşük çözünürlükte bu sayı 160,000 pps değerine kadar çıkabilmektedir. Çekimler sırasında, tüm diğer ışık kaynakları kapatılarak, yüksek güçte ve harici soğutmalı, özel aydınlatma kaynaklarından yararlanılmaktadır.

Kameranın ucunda belirli bir odak uzaklığına (1/50) sahip bir objektif bulunmaktadır. Bu objektifle birlikte, kameraya bağlı bilgisayar yazılımında yer alan diyafram açıklığı, netlik ayarı, etki süresi, net alan derinliği gibi parametreler yardımıyla, en uygun görüntü elde edilmeye çalışılmaktadır.

Bu şekilde sprey akışı oldukça yavaş ve net çekimlerle gözlemlenerek, damlacık oluşumuna kadar olan parçalanma mekanizmaları anlaşılmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmada niteliksel gözlem amacıyla yapılan bu çekimler, daha sonra niceliksel büyüklükleri elde etmek üzere kullanılabilecek çalışmalara dönüştürülebilecek şekilde, gerekli referans mesafe değerleri ve arka plan görüntüleri ile birlikte kaydedilmektedir. Bu referans mesafe değerleri görüntülerin ölçeğinin tespit edilmesini sağlamaktadır. Arka plan görüntüleri ise, görüntü işleme yöntemleriyle, ana görüntüden çıkarılarak daha net sonuçlar elde edilebilmektedir. Sprey oluşumunun incelendiği atomizör, kamera ile ışık kaynağının ortasında yer almakta olup, ışık kaynağının homojen bir aydınlatma yapabilmesi için, birden fazla ışık kaynağı ve bir difüzör cam kullanılmaktadır. Tek aydınlatma kaynağı kullanıldığında, çekimlerin ışık kaynağının merkezine karşılık gelen kısımlarında aşırı ışık miktarı nedeniyle görüntü üzerinde aşırı doymuş bölgeler oluşmaktadır. Bu bölgelerdeki ışık miktarını azaltmak için, aydınlatma kaynağının gücünü azaltmak, objektifin diyafram açıklığını kısmak ya da etki süresini düşürmek mümkündür.

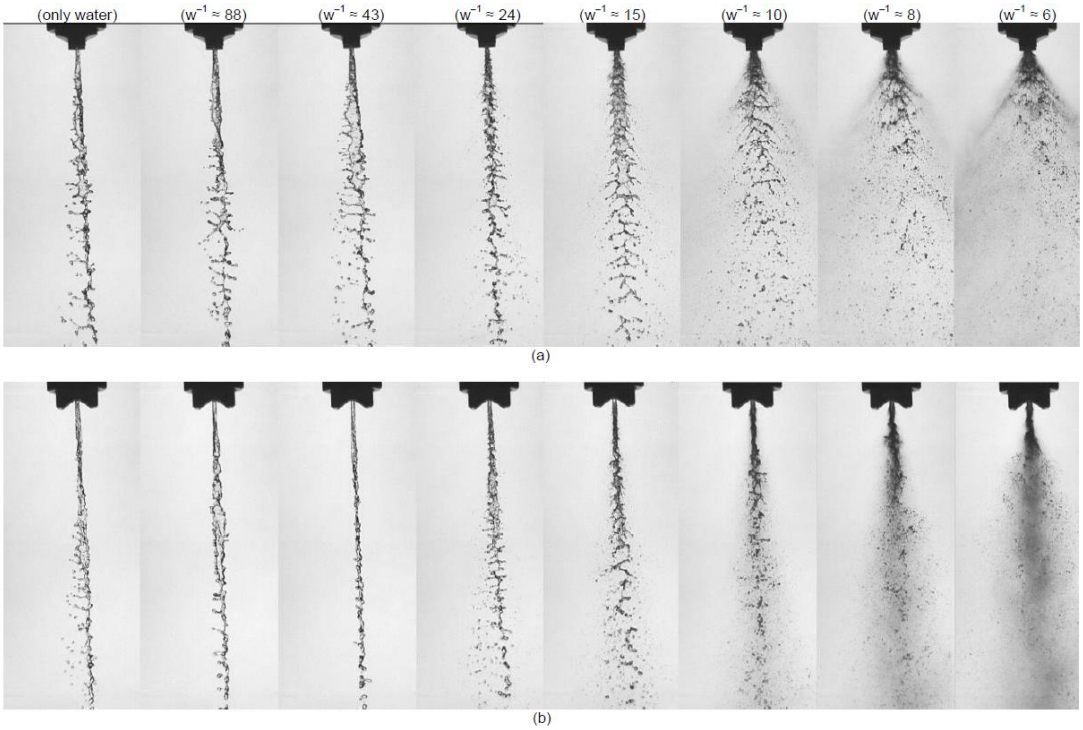
Ancak bu tür çözümler, görüntünün diğer bölgelerindeki ışık miktarını daha da azalttığı için, karanlık bölgeler oluşmasına sebep olmaktadır. Özellikle görüntünün niceliksel olarak değerlendirilmesi açısından önemli olan homojen ışık miktarının sağlanması için, tüm parametreler ve ışık kaynaklarının konumları titizlikle ayarlanmaktadır.



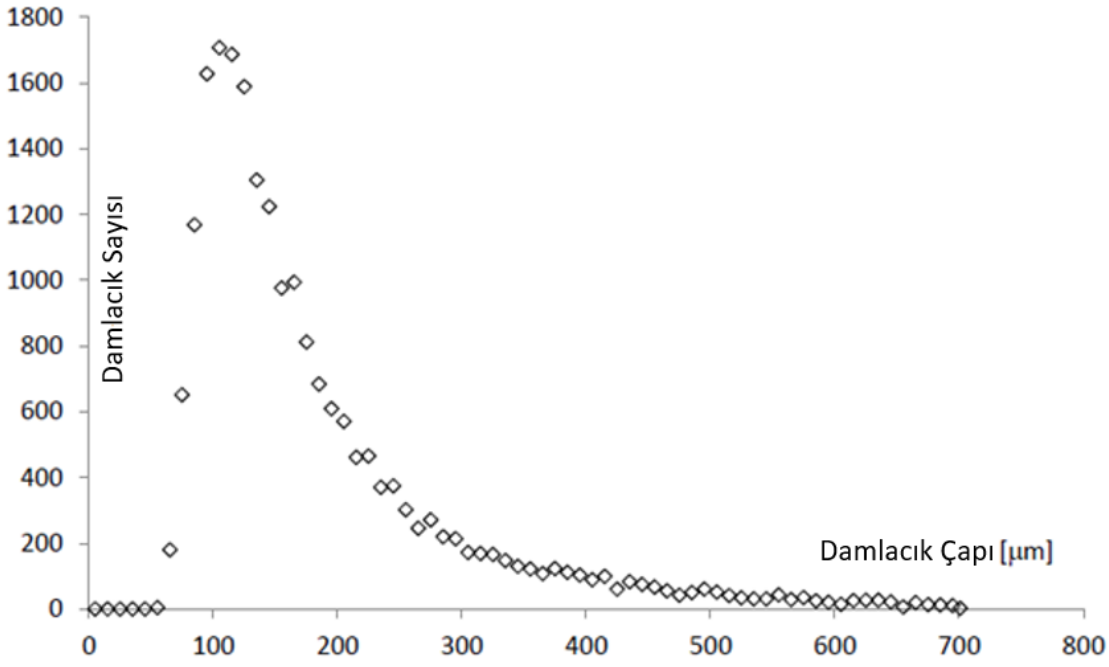
Şekil 2. 62 Damlacık çapı ve hızının ölçülmesi için kullanılan deney düzeneği [50]

Atomizörün bağlandığı hareket ettirebilen bilgisayar kontrollü bir travers mekanizması bulunmaktadır. Bu mekanizma, boruyu ve buna bağlı olarak atomizörü, kartezyen koordinatlardaki her üç eksende, belirli sınırlar içerisinde istenilen mesafeye kaydırabilmektedir.

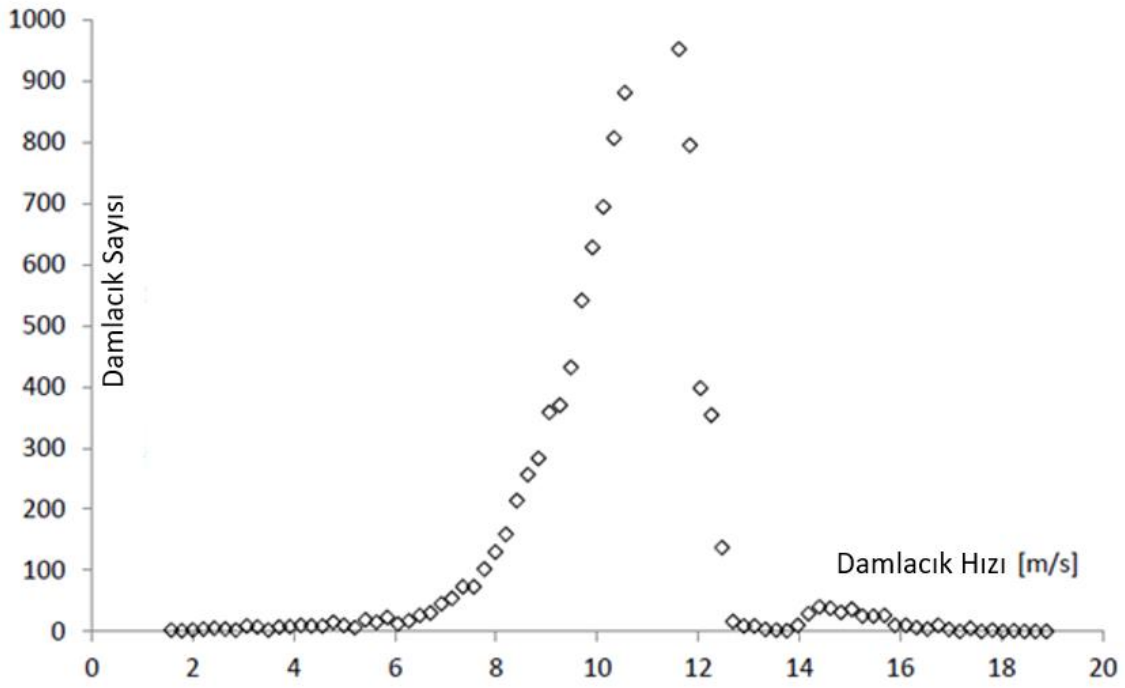
Deneylerde suyun debisi $\dot{m}_{su} = 1.152$ L/d'da, basıncı da 0.62 bar'da sabit tutulmuş ve hava debisi istenilen seviyelerde ayarlanarak farklı debi oranları elde edilmiştir. Debi oranı (w) , hava debisinin su debisine oranı olarak tanımlanmıştır. Debi oranlarını daha anlamlı yapmak için (w^{-1}) olarak yani $w^{-1} = \dfrac{\dot{m}_{su}}{\dot{m}_{hava}}$ tanımlama yapılmıştır. Debi oranları $6 < w^{-1} < 88$ değerleri arasında tutularak farklı oranlarda sekiz adet deney yapılmıştır. Deneyler sonucunda hava debisinin artmasıyla daha küçük boyutlarda damlacıklar elde edilmiştir.



Şekil 2. 63 (a) Önden görünüş, (b) yandan görünüş [50]



Şekil 2. 64 $x = 150d_0$'da damlacık sayısı ve damlacık çaplarının dağılım grafiği [50]



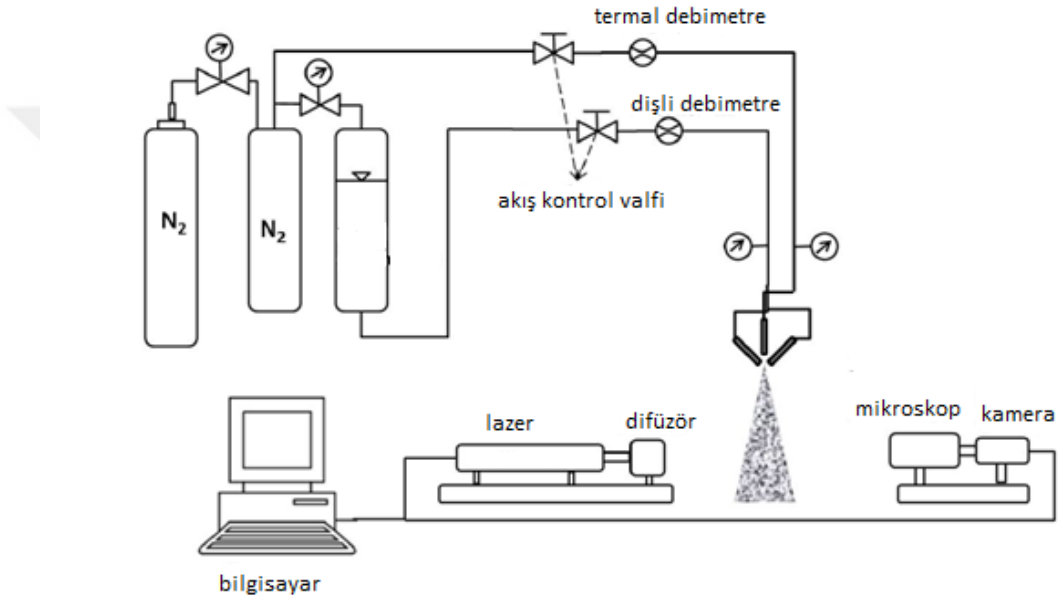
Şekil 2. 65 $x = 150 d_0$ damlacık sayısı ve damlacık hızlarının dağılım grafiği [50]

Watanawanyoo P. ve diğerleri (2011) yakıtın daha etkin püskürtülmesini sağlamak amacıyla tasarlanmış çift akışkanlı atomizerin oluşturduğu spreyin damlacık dağılımını shadowgraph tekniğini kullanarak deneysel olarak incelemiştir. Atomizer içerisinde basınç düşümü oluşturulmakta ve sıvı akışkan (yakıt) bu sayede vakumlanmaktadır. Oluşan sprey tek akışkanlı atomizerlerle elde edilen sprey ile karşılaştırılmış ve sprey akışının daha düzensiz olduğu belirtilmiştir. Sprey akışı üç farklı bölgeye ayrılmış ve hava debisi arttıkça nozul çıkışına daha yakın bölgelerde kopmaların başladığı belirtilmiştir [51].

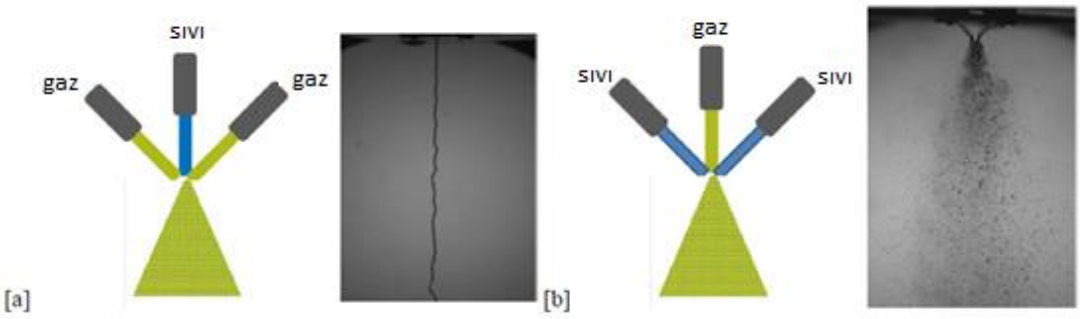
Madan M. ve diğerleri (2012) hava yardımlı jetleme sisteminde sprey karakteristiği üzerine deneysel çalışma yapmıştır [52]. Bu çalışmalar kapsamında sıvı olarak su, gaz olarak da nitrojen kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda iki farklı nozul yerleşimi test edilmiştir. Bunlardan birincisi nitrojen gazının çıktığı nozulun ortada, suyun çıktığı nozulların gaz nozulunun iki yanında olduğu durumdur. İkincisi ise suyun çıktığı nozulun ortada, nitrojen gazının çıktığı nozulların, su nozulunun yanında olduğu durumdur. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar, nitrojen nozulunun ortada olduğu durumda daha iyi atomizasyon elde edilmiştir. Gaz debisi arttığı zaman damlacık boyutu ve jetin parçalanma uzunluğu azalmıştır. Nitrojen gazının çıktığı orifisin çapı spreyin

yayılmasında, damlacık boyutunda ve damlacıkların radyal yöndeki dağılımında önemli bir rol oynamaktadır. Farklı sıvı/gaz oranlarında ve farklı nozul orifisleri için deney tasarımı oluşturulmuştur.

Deneysel çalışmalarda kullanılan atomizör 0.76 mm orifis çapına sahip iki adet sıvı nozuluna ve 1.1 mm orifis çapına sahip bir adet gaz nozuluna sahiptir. Ortadaki nozul ile yan taraflarda bulunan nozullar arasında 7 mm mesafe bulunmaktadır. Yan tarafta bulunan nozulların jetleme açıları aynıdır. Sprey yapısı ve damlacık boyutlarının ölçülmesi için iki farklı ölçüm yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 2. 66 Deney düzeneği [52]

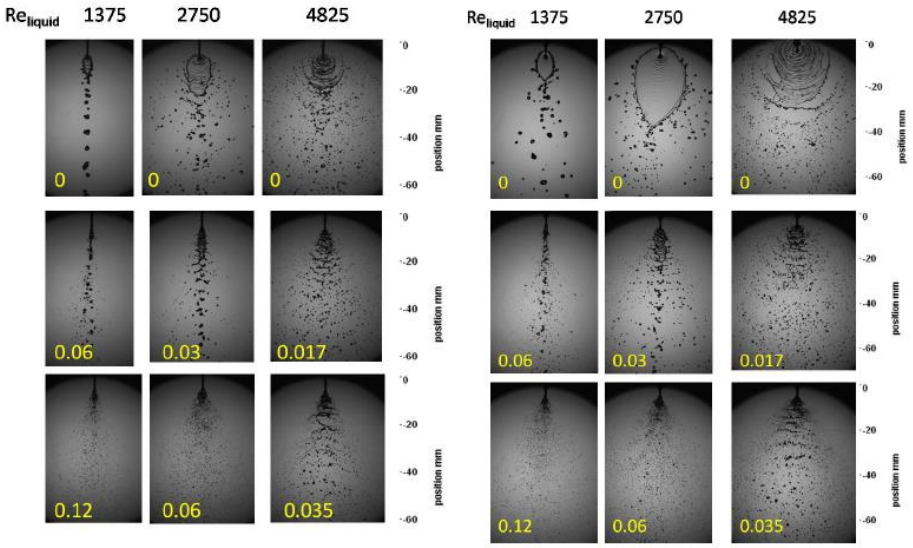


Şekil 2. 67 (a) Sıvı jetinin ortada olduğu yerleşim, (b) gaz jetinin ortada bulunduğu yerleşim [52]

Deneyler gaz jetinin ortada bulunduğu yerleşim için yapılmıştır. Sıvı jetinin çıktığı nozullar 60°, 90° ve 120° açı değerleri için konumlandırılmıştır. Sıvı jetinin hızı 1.8 m/s ile 7.3 m/s arasındadır. Gaz debisi de 0 ile 10 SLPM arasında değiştirilmiştir. Deney tasarımı Çizelge 2.5'teki gibidir. Sıvı nozulunun ortada olduğu durumda (a) sıvı jetinin momentumu artmakta, gaz nozulunun ortada olduğu durumda (b) atomizasyon sağlanmaktadır.

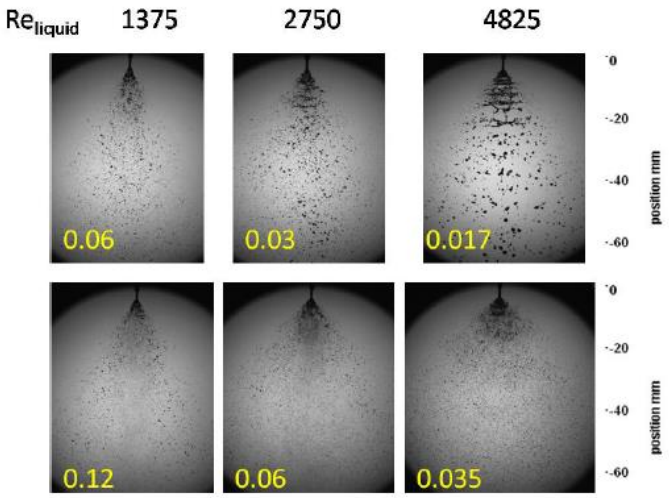
Çizelge 2. 6 Deney tasarımı

Su Debisi $[LPM]$	Hız $[m/s]$	Reynolds Sayısı	Weber Sayısı	GLR @ 5 SLPM	GLR @ 10 SLPM
0.1	1.8	1378	35	0.061	0.121
0.15	2.7	2067	78	0.040	0.081
0.2	3.6	2756	139	0.03	0.061
0.25	4.5	3445	217	0.024	0.048
0.3	5.4	4134	312	0.02	0.04
0.35	6.4	4823	425	0.017	0.035
0.4	7.3	5512	555	0.015	0.03



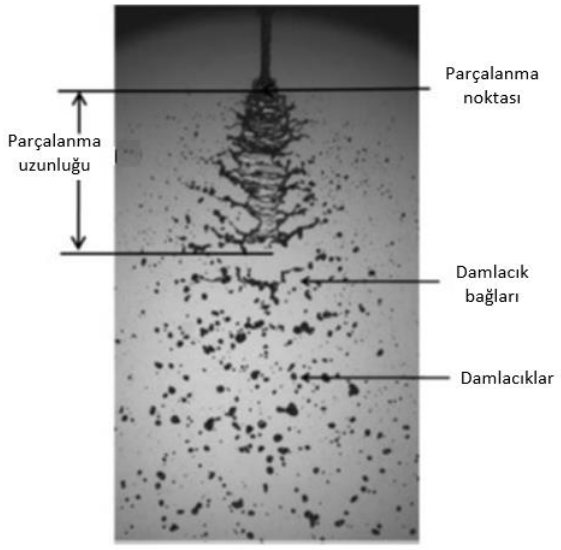
Şekil 2. 68 (a) 90° açı için farklı gaz/sıvı oranları için sprey yapısı, (b) 120° açı için farklı gaz/sıvı oranları için sprey yapısı [52]

Gaz/sıvı oranının sıfır olduğu durumda yani gaz jetinin çalışmadığı durumda iki sıvı jeti birbirine çarparak sıvı filmi oluşmuştur.

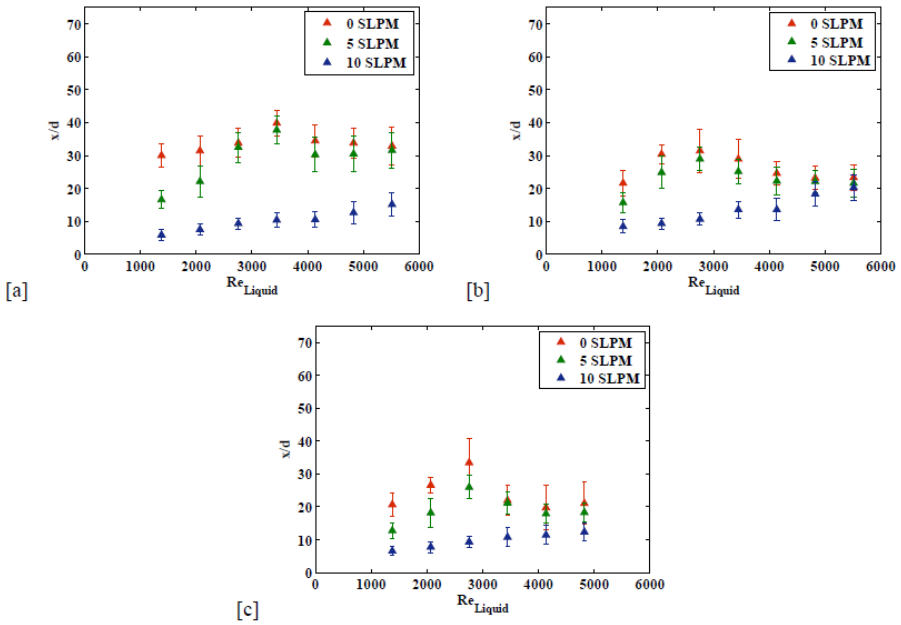


Şekil 2. 69 90° açı için farklı gaz/sıvı oranları için sprey yapısı [52]

Gaz nozulunun orifis çapı azaltıldığında gazın çıkış hızı artmaktadır. Bu da gazın momentumunu arttırmaktadır. Gaz debisi arttığında sıvı jetinin kopma uzunluğu azaltmaktadır. Bunun sonucu olarak jet daha erken parçalanmaya başlamaktadır. Yapılan çalışmada bütün konum açıları için gaz debisi arttığında sıvı jetinde parçalanmalar daha erken başlamaktadır.



Şekil 2. 70 Spreyin kopma uzunluğunun önden görünümü [52]



Şekil 2. 71 Farklı gaz debileri için kopma uzunlukları (a) 60°, (b) 90° ve (c) 120° [52]

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda;

- Gaz debisi arttığında spreyin kopma uzunluğu azalmakta sprey daha erken parçalanmaya başlamaktadır.
- Daha küçük çaplı gaz orifisi kullanıldığında daha iyi atomizasyon sağlanmaktadır.
- Aynı debi şartlarında gaz nozulu ortada sıvı nozulları kenarlarda olduğu durumda, sıvı nozulunun ortada gaz nozullarının kenarda olduğu duruma göre daha iyi atomizasyon sağlanmaktadır.

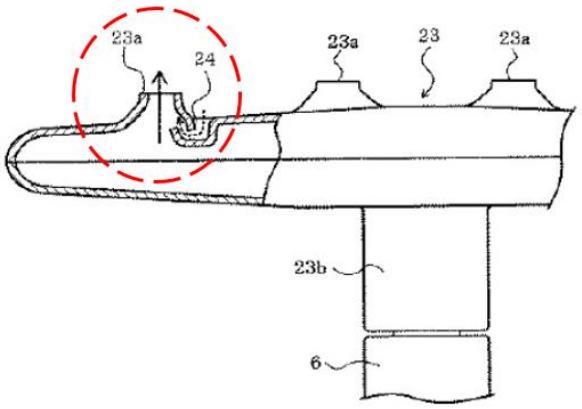
Rakesh P. (2013) yapmış olduğu çalışmada farklı fazlardaki (sıvı ve gaz) çarpışan jetlerin oluşturduğu akış yapısını deneysel olarak incelemiştir. Aynı faza sahip jetler çarpıştığında daha kararlı bir akış yapısı elde edilmektedir. Faz türü akış yapısının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Yapılan deneysel çalışmada farklı gaz jeti orifis çıkış kesit alanı ile sabit sıvı jet çıkış kesit alanı kullanılmıştır. Yakıt ve oksijeninin yanma durumu olduğu için bu akışkanları temsilen su ve hava akışkanları üzerinde deneyler yapılmıştır. Sıvı jetinin kütlesel debisi arttıkça aynı orifis çapları için ortalama hız artmakta ve bunun sonucu olarak damlacık çapının arttığını görmüştür. Bu durumu, sıvı jetinin hızı arttığı için su jeti ve hava jeti arasında etkileşim süresinin az olmasından kaynaklandığını belirtmiştir [53].

2.3 Patent Araştırması

İki fazlı jetleme (su-hava çifti ve su-katı partikül çifti) ile ilgili olan ve nozuldan çıkan jetin daha yüksek jet kuvveti etkisi oluşturması bakımından firmaların aldığı bir çok patent bulunmaktadır. Su-hava akışkan çifti için spreyleme ya da jetleme sisteminde yapılan modifikasyonlar ile yıkama ortamına su ve basınçlı veya basınçsız hava ile beraber gönderilmektedir. Su-katı partikül çifti için endüstriye tip yıkayıcılar mevcuttur.

Dishwasher – JP2005000511 (A)

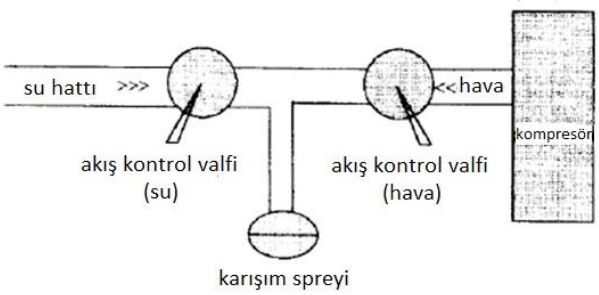
2005 yılında Toshiba firması tarafından yapılan patent başvurusunda [54], pervane üzerinde yapılan çeşitli değişiklikler ile pervane içerisinde bulunan suya düzensiz hava baloncuklarının eklenmesi sağlanarak kir uzaklaştırma performansının arttığından bahsedilmektedir. Pervane içerisine havanın eklenmesi nozulların (23a) (pervane delikleri) bulunduğu yüzey (23) üzerinde bulunan en dar kesitli bölgeye küçük çaplı bir delik (24) açılarak sağlanmıştır. Ortamdaki hava ventüri etkisi ile emilmiştir.



Şekil 2. 72 Toshiba firmasının patent başvurusundaki sistem [54]

Improvıng Cleaning Using Water Spray To Dislodge Dirt From Surface – NL1004462 (C1)

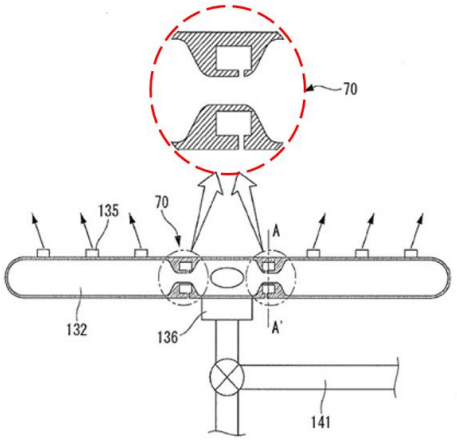
1998 yılında HT Research firması tarafından yapılan patent başvurusunda [55], su ve basınçlandırılmış hava akış hattına beraber gönderilen su-hava karışımının yıkama performansını arttırdığı iddia edilmiştir. Su jetinin hava ile karışması sonucu jet kuvvetinin artacağı ve bunun neticesinde temizleme performansının artacağından bahsedilmektedir.



Şekil 2. 73 HT Research firmasının patent başvurusundaki sistem [55]

Dishwasher – US2014069469 (A1)

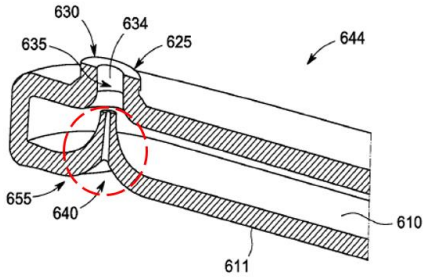
2014 yılında Choi Yongjin, Kim Daegyu, Lee Taehee ve Kim Seonghwan tarafından yapılan patent başvurusunda [56], su tüketimini arttırmadan yıkama performansının arttığından bahsedilmektedir. Akış hattından gelen basınçlı su, nozullardan çıkmadan önce hava ünitelerinden (70) geçmekte ve nozullardan su-hava karışımı olarak çıkmaktadır. Hava dar kesitten çıktığından dolayı iki nokta arasında basınç farkı olduğundan hava vakumlanarak (ventüri etkisi ile) suyun akış yoluna katılmaktadır.



Şekil 2. 74 HT Choi Yongjin ve diğerlerinin patent başvurusundaki sistem [56]

Dishwasher Spray Arm Assembly - US2012325277 (A1)

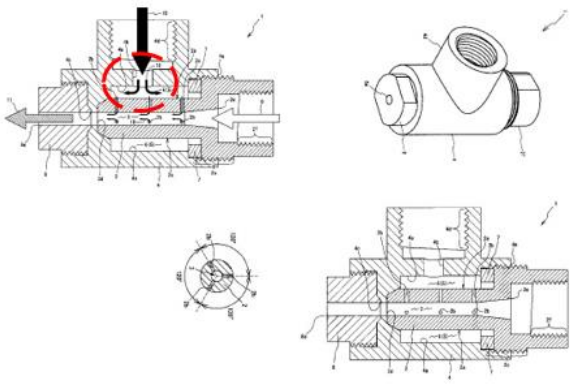
2011 yılında Mitchell Alan Joseph ve Gnadinger Errin Whitney tarafından yapılan patent başvurusunda [57], ventüri etkisi 640) ile basınç farkı yaratılıp dışarıdan hava emildiğinden bahsedilmektedir. Ventüri etkisi ile dış ortamdan emilen hava, pompa tarafından pervanelere gönderilen basınçlı su ile karışmaktadır. Böylece sistemin basıncı değiştirilmeden toplam debisi arttırılmaktadır. Bu debi artışının yıkama performansını arttırdığı iddia edilmektedir.



Şekil 2. 75 Mitchell Alan Joseph ve Gnadinger Errin Whitney'in patent başvurusundaki sistem [57]

Washing Water Injection Device - JP2013086084 (A)

2013 yılında Yamaguchi Teknoloji Enstitüsü tarafından yapılan patent başvurusunda [58], sisteme basınçlı hava verilip daralan kesitte negatif basınç oluşturarak suyun vakumlanmasından (ventüri etkisi) bahsedilmektedir. Böylece hava-su karışımı sisteme verilmiş olmaktadır.



Şekil 2. 76 Yamaguchi Teknoloji Enstitüsü'nün patent başvurusundaki sistem [58]

BÖLÜM 3

TEORİK ÇALIŞMALAR

3.1 Doğrusal Momentum İlkesi

Kütlesi m olan bir sistem üzerine etki eden kuvvetlerin bileşkesi sıfır değil ise sistem net F kuvveti doğrultu ve yönünde bir hareket kazanır. Newton'un ikinci hareket kanununa göre [59];

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \tag{3.1}$$

olarak açıklanmaktadır. Bu eşitlikte, cismin kuvvetinden ve hızından kaynaklanan $m\vec{V}$ sistemin lineer momentumu olarak tanımlanmaktadır. Nozullarda olduğu gibi daralan kesitlerde giriş ve çıkış noktalarında sistemde yoğunluk ve hız değişimi olabilmektedir. Bu değişim dikkate alınıp, Newton'un ikinci hareket kanunu yoğunluk ve hız ifadelerini kapsayacak biçimde modifiye edilirse Eşitlik 3.2 elde edilir.

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt}\int_{sistem} \vec{v}\rho dV \tag{3.2}$$

Bu eşitlikte; $\delta m = \rho dV$ ifadesi, dV diferansiyel hacim elemanının kütlesi, $\vec{v}\rho dV$ ifadesi ise hacim elemanın lineer momentumu olarak tanımlanmaktadır.

Akışkanlar mekaniğinde, akışkan sistemler kontrol hacimleri kullanılarak analiz edilmektedir.

Sistem yaklaşımı ve konrol hacmi arasında bir ilişki kurulması gerekmelte olup Eşitlik 3.2 *Reynolds Transport Teoremine* göre modifiye edilirse;

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt}\int_{KH} \rho \vec{v} dV + \int_{KY} \rho \vec{v}(\vec{v}_r \cdot \vec{n}) dA \quad (3.3)$$

genel ifade elde edilmektedir. Eşitlik 3.3'te $\vec{v}_r = \vec{v} - \vec{v}_{KY}$ ifadesi, akışkanın kontrol yüzeyine göre bağıl hızıdır. $\vec{v}$, sabit bir referans noktasına göre akışkanın hızıdır. $\rho(\vec{v}_r \cdot \vec{n})dA$ ifadesi ise; dA yüzey alanına sahip birim kontrol hacmi elemanının kütlesel debisini ifade etmektedir.

Sabit kontrol hacmine sahip sistemlerde (kontrol hacminin hareket etmediği, deformasyona uğramadığı durumda ($\vec{v}_r = \vec{v}$), doğrusal momentum denklemi;

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt}\int_{KH} \rho \vec{v} dV + \int_{KY} \rho \vec{v}(\vec{v} \cdot \vec{n}) dA \quad (3.4)$$

olmaktadır.

Mühendislikte karmaşık problemlerin çözümü için belirli kabuller ve varsayımlar yapılmaktadır. Momentumun ele alındığı durumlarda akış, sürekli akış olarak kabul edilmektedir. Sürekli akış kabulü yapıldığında, kontrol hacmi boyunca momentum değişim miktarı sabit kalmaktadır. Konrol hacmi boyunca momentum değişimi sıfırdır. Eşitlik 3.4 düzenlenirek Eşitlik 3.5'teki ifade elde edilir.

$$\sum \vec{F} = \int_{KY} \rho \vec{v}(\vec{v} \cdot \vec{n}) dA \quad (3.5)$$

Kütlesel debi;

$$\dot{m} = \int_{A_C} \rho(\vec{v} \cdot \vec{n}) dA_c = \rho v_{ort} A_c = \rho \dot{V} \quad (3.6)$$

olarak ifade edilmektedir. $\vec{v}_{ort}$ akışkanın ortalama hızıdır. Kararlı bir akışta $\vec{v} = \vec{v}_{ort}$ olarak kabul edilmektedir. Eşitlik 3.6'daki $\dot{V}$ akışkanın hacimsel debisidir. Ayrıca kararlı bir akışkan akımında akım borusunun tüm kesitlerinden geçen kütlesel debi sabittir. Bu kabullere göre momentum ifadesi;

$$\int_{A_C} \rho \vec{v}(\vec{v} \cdot \vec{n}) dA_c = \rho v_{ort} A_c \vec{v}_{ort} = \dot{m} \vec{v}_{ort} \quad (3.7)$$

eşitliğiyle ifade edilmektedir.

Momentumun korunumu yasası göz önüne alınırsa, dış kuvvetlerin toplamı momentumun değişimine eşittir. Aynı akım çizgisi üzerinde kararlı ve sürekli akış kabulü yapılarak;

$$\sum \vec{F} = (\dot{m}v)_g - (\dot{m}v)_ç = \dot{m}(v_g - v_ç) = \rho\dot{V}(v_g - v_ç) \quad (3.8)$$

olarak ifade edilmektedir.

Akışkan tipi olarak su-hava iki fazı kullanıldığı durumda her iki fazında ayrı ayrı momentumları etki yüzeyine transfer edilmektedir. Nozul içerisinde su ve hava ayrık olarak hareket etmektedir. Bunun sonucunda hacimsel fraksiyon (yerel boşluk oranı) ile orantılı olarak çıkış kesit alanının bir kısmı su ve bir kısmı hava tarafından kullanılacaktır. Bu yüzden su ve havanın nozul içerisindeki hacimsel fraksiyonlarının hesaplanması gerekmektedir. İki faz kullanıldığında her bir faz için kesit alanı mevcut kesit alanına göre daha küçük olacaktır. Dolayısıyla etki yüzeyindeki momentum değişimi akışkan tipi olarak sadece su kullanıldığı duruma göre artacaktır. Momentumun korunumu yasası gereği, etki yüzeyine etki eden kuvvetlerin toplamı momentumun değişimine eşit olmaktadır. Akım çizgisi üzerinde akış üniform, daimi ve ayrık kabul edilerek Eşitlik 3.8 türetilirse;

$$\sum \vec{F} = (\dot{m}v)_{su,g} + (\dot{m}v)_{hava,g} - (\dot{m}v)_{su,ç} - (\dot{m}v)_{hava,ç} \quad (3.9)$$

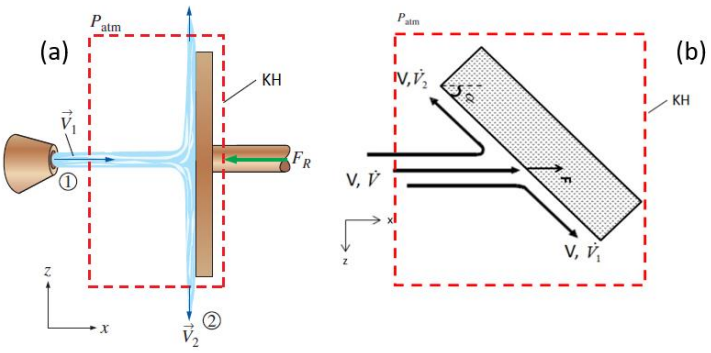
$$\alpha_{su} = \frac{\dot{V}_{su}}{\dot{V}_{su} + \dot{V}_{hava}} \quad (3.10)$$

$$\alpha_{hava} = \frac{\dot{V}_{hava}}{\dot{V}_{su} + \dot{V}_{hava}} \quad (3.11)$$

$$A_{c,su} = \alpha_{su} \times A_c \quad (3.12)$$

$$A_{c,hava} = \alpha_{hava} \times A_c \quad (3.13)$$

$$\sum \vec{F} = \rho_{su} A_{c,su} (v_{su,g} - v_{su,ç})^2 + \rho_{hava} A_{c,hava} (v_{hava,g} - v_{hava,ç})^2 \quad (3.14)$$



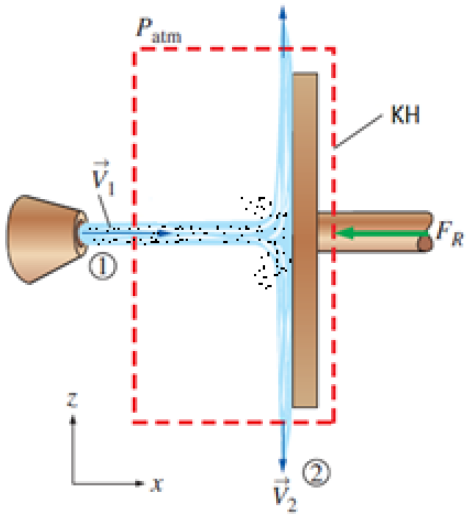
Şekil 3. 1 (a) Düz bir yüzeye çarpan jet, (b) Açılı bir yüzeye çarpan jet

Katı-sıvı partikül akışkan çiftinin kullanıldığı deneylerde katı partiküller ile suyun birbirine göre bağıl hızları sıfırdır. Katı partiküllerin hızı suyun hızına eşit kabul edilebilir. Su-katı partikül karışımı homojen olarak kabul edilmiştir. Bu durumda suyun momentumuna ek olarak katı partiküllerin kütlesinden ve hızından kaynaklı da bir momentum katkısı gelmektedir. Jet kuvveti Eşitlik 3.8'den türetilerek Eşitlik 3.20 ifadesi edilmiştir.

$$\sum \vec{F} = \dot{m}(v_g - v_ç)_{su} + \dot{m}_{katı}(v_g - v_ç)_{kp}$$

(3.15)

$$\sum \vec{F} = \rho\dot{V}(v_g - v_ç) + \dot{m}_{katı}(v_g - v_ç) = (v_g - v_ç)(\rho_{su}\dot{V}_{su} - \dot{m}_{katı}) \qquad (3.16)$$



Şekil 3. 2 Düz bir yüzeye çarpan su-katı partikül jeti

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan tez çalışması kapsamında etki yüzeyine çarpan su-hava ve su-katı partikül akışkan çift jetlerinin etki yüzeyinde oluşturduğu hidrodinamik kuvvet ve bu hidrodinamik kuvveti etkileyen parametreler incelenmiştir. Ayrıca akışkan çiftlerinin içerisindeki boşluk oranı ve katı partiküllerin davranış karakteristiği hem akış hattında hem de nozul kesitinde gözlemlenmiştir. İncelenen parametreler aşağıdaki gibidir.

•Su debisi

•Jet ile etki yüzeyi arasındaki açı

•Nozul çıkış çapı

•Akışkan tipi

Akışkan tipi parametresi iki fazlı akış içinde bulunan akışkanları temsil etmektedir.Deneylerde iki fazlı akış olarak su-hava ve su-katı partikül akışkan çiftleri kullanılmıştır.

Kuvvet ölçümünde ise dar bir kesitten çıkan akışkan çifti jetinin etki yüzeyine çarptırılmasıyla oluşan hidrodinamik kuvvetin yukarıda bahsedilen parametrelere göre değişimi incelenmiştir. Deneysel veriler çeşitli ölçüm aletleri ve veri toplama sistemi yardımıyla okunmuştur. Ölçüm sisteminin yeterliliğini ölçmek için bazı istatistik yaklaşımlarına göre tekrar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kuvvet ölçüm deneyleri ve kir çıkarma deneyleri önceden belirlenen deney planına göre yapılmıştır.

Görselleme kapsamında ise su-hava, su-katı partikül akışkan çiftlerinde ikincil fazların (hava ve katı partikül) akış hattı içerisindeki davranışları incelenmiştir.

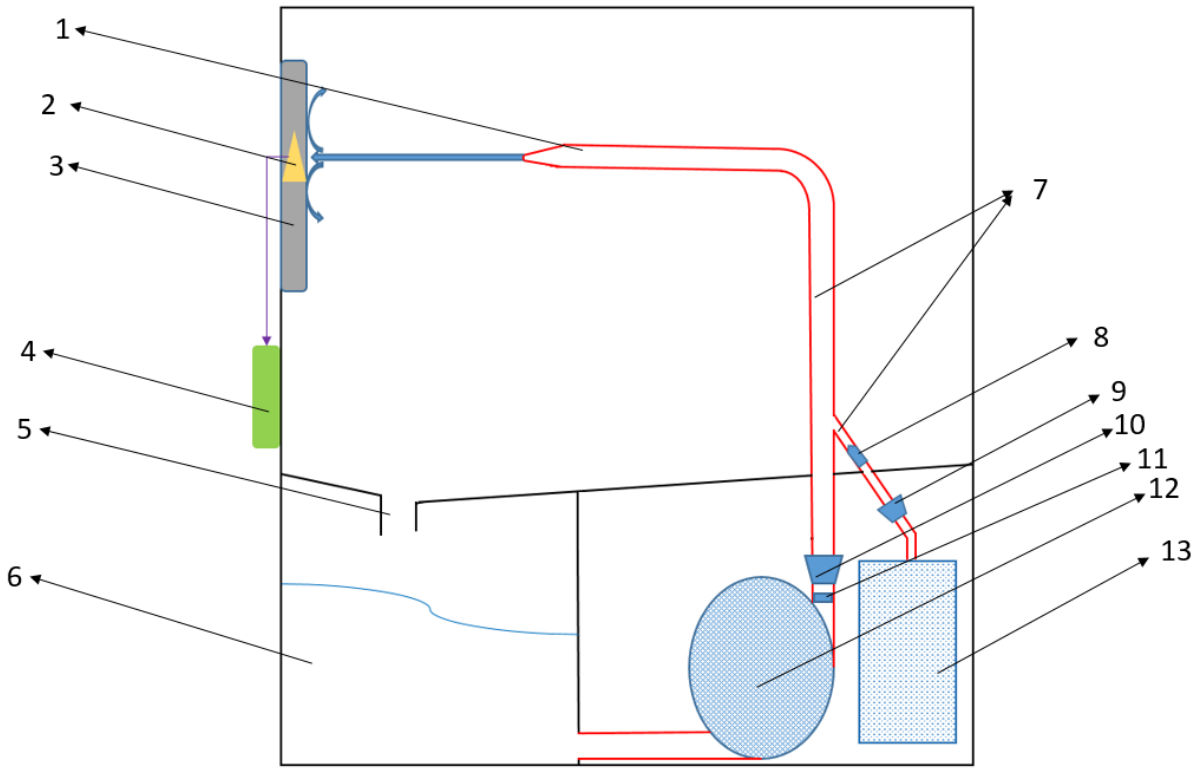
4.1 Deney Düzeneğinin Tanıtılması

Kuvvet ölçümü ve akış görsellemesi için tek bir deney düzeneği kurulmuştur. Hazırlanan deney düzeneği ana olarak su deposu, pompa kompresörün yerleştirileceği hacim ve ana gövdeden oluşmaktadır. Deney düzeneğinin ana boyutları 500x500x800 mm'dir. Bunun 220x465x270 mm'lik hacmi pompa ve kompresörün yerleştirildiği hacim, 245x465x270 mm'lik hacmi su deposudur. Nozuldan çıkan su jeti etki yüzeyine çarptıktan sonra su deposuna tekrar geri toplanabilmesi için ana gövdeye su deposunun üstüne gelecek şekilde tahliye deliği açılmıştır. Böylece sistem kapalı devre gibi çalışmaktadır. Ana gövdenin iskeleti 20x20 mm sigma profillerden yapılmıştır. Sigma profillerin arasında 6 mm'lik kanallar mevcuttur. Bu kanallara 5 mm kalınlığında şeffaf pleksi glass plakalar yerleştirilmiştir.

Deneylerde kullanılacak olan nozullar, SLA malzemeden kalıp alınarak silikon kalıba döküm tekniği ile üretilmiştir. Nozul çıkış çapları 4, 5 mm ve nozul boyu 150 mm olacak şekilde 2 adettir. Borulama hattı ve nozullar şeffaftır.

Etki yüzeyi, tabağı simule etmesi düşünülerek 150 mm çapında dairesel renkli pleksi glass malzemeden üretilmiştir. Etki yüzenin merkezine akışkan çifti jeti çarpacak şekilde nozulun 200 mm ilerisine konumlandırılmıştır. Su jetinin etki yüzeyinde oluşturacağı kuvveti ölçmek için kuvvete duyarlı sensör kullanılmıştır. Etki yüzeyinin orta kısmında kuvvet sensörünü yerleştirmek için sensörün boyutlarında 5 mm derinliğinde bir kanal bırakılmıştır. Sensörün su ile temasını önlemek için sensörün üst kısmına esnek bir malzeme konulmuştur.

Suyun basıncının arttırılması, su deposunun yanındaki hacme yerleştirilen santrifüj pompa ile sağlanmaktadır. Pompanın sıfır basınçta basma debisi ~55 L/d'dır. Pompa debisi, frekans konvertör ile istenilen debi değerlerinde ayarlanmıştır. Sisteme basılan debinin okunması için de sisteme debimetre eklenmiştir.



Şekil 4. 1 Deney düzeneği (1. Nozul, 2. Kuvvete duyarlı sensör, 3. Etki yüzeyi, 4.Arduino Kart, 5.Tahliye girişi, 6. Su deposu, 7. Pleksi glass borular, 8. Çek valf, 9. Rotametre, 10. Debimetre, 11.Frekans konvertör, 12. Santrifüj pompa, 13. Hava kompresörü)

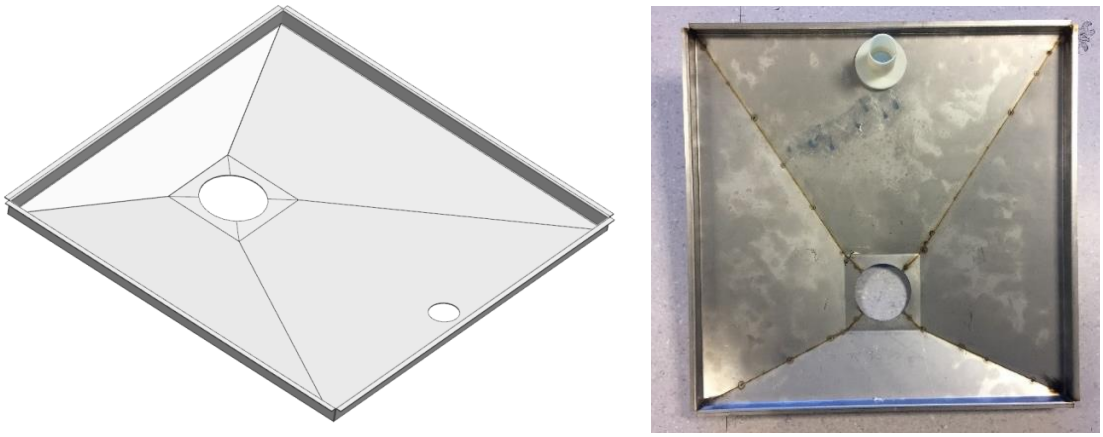
Sistemin çalışması, su deposundan emilen su santrifüj pompa vasıtasıyla basınçlandırılarak debimetreden geçmekte ve borulama sistemi üzerinden ilerlemektedir. Bu borulama sistemine havanın eklenmesi için ayrı bir hat eklenmiştir. Bu hattan da kompresör tarafından basınçlandırılan hava rotametre üzerinden geçerek sisteme eklenmektedir. Su ve hava akış hattında iki fazlı olarak ilerlemekte ve nozula kadar ulaşmaktadır. Su-hava ve su katı partikül akışkan çifti nozul çıkış kesiti borulama sisteminden daha düşük çapa sahip olduğu için çıkışta hızlanmaktadır. Nozuldan çıkan akışkan çifti jeti etki yüzeyine çarpmaktadır. Akışkan çiftinin momentumu bu yüzeye aktarılır ve momentum transferi sonucunda etki yüzeyi üzerinde bir tepki kuvveti oluşur. Etki yüzeyinde oluşan bu tepki kuvveti, kuvvete duyarlı sensör yardımı ile ölçülmüştür. Etki yüzeyine çarpıp yayılan su, deponun üzerinde bulunan tahliye deliğinden tekrar su deposuna aktarılmaktadır.

4.2 Deney Düzeneğinin Oluşturulması

Tez çalışmasının bu bölümünde çalışmaların yapılacağı deney düzeneğinin prototipleme aşamaları tarif edilmektedir.

4.2.1 Evyenin Tasarımı ve Üretimi

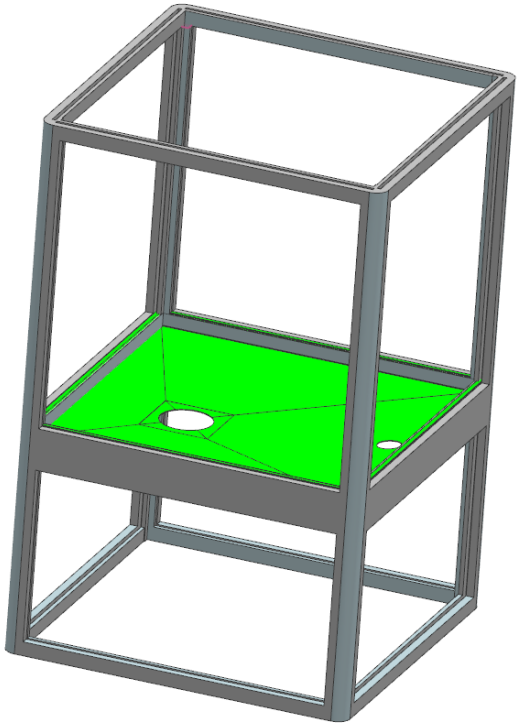
Evye kısmı, yıkayıcının alt taban sacının genel formundan esinlenerek tasarlanmıştır. Evye, 1 mm et kalınlığına sahip paslanmaz çelik sacın istenilen ölçü ve geometrilerde lazer kesim metodu ile kesilerek ve kesilen parçaların dikişsiz kaynak ile birleştirilmesi ile üretilmiştir. Suyun evye içerisinde birikmesini önlemek ve su deposuna tekrar dönmesini sağlamak için dört köşesinden de merkeze doğru eğim verilmiştir. Evye üzerindeki tahliye deliği su deposunun üzerine gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Evyenin orta-alt kısmına su deposu ve pompanın yerleştirileceği bölümü ayırmak için ayırma evyeye kaynak ile birleştirilmiştir. Pompanın emiş yapacağı bağlantı malzemesi SLS malzemeden üretilerek ayırma sacına montaj edilmiştir. Evye, alüminyum sigma profillerden oluşturulmuş karkas yapısının içerisine oturtulmuş ve köşelerinden profillere sabitlenmiştir.



Şekil 4. 2 Evye tasarımı

4.2.2 Deney Düzeneğinin İskelet Sisteminin Tasarımı

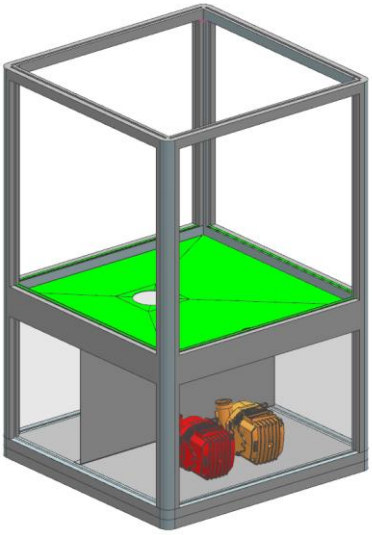
Deney düzeneğinin ana boyutlarını belirleyen iskelet sistemi, uygun ölçülerde 20x20 mm kesitinde alüminyum sigma profillerin kesilip birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Sigma profillerin ortasındaki kanallara 5 mm et kalınlığında şeffaf pleksi glass plakalar yerleştirilmiştir. Evye bu iskelet sisteminin içine yerleştirilmiştir.



Şekil 4. 3 Deney düzeneği iskelet sistemi

4.2.3 Pompa ve Kompresörün Yerleştirileceği Bölmenin Tasarımı

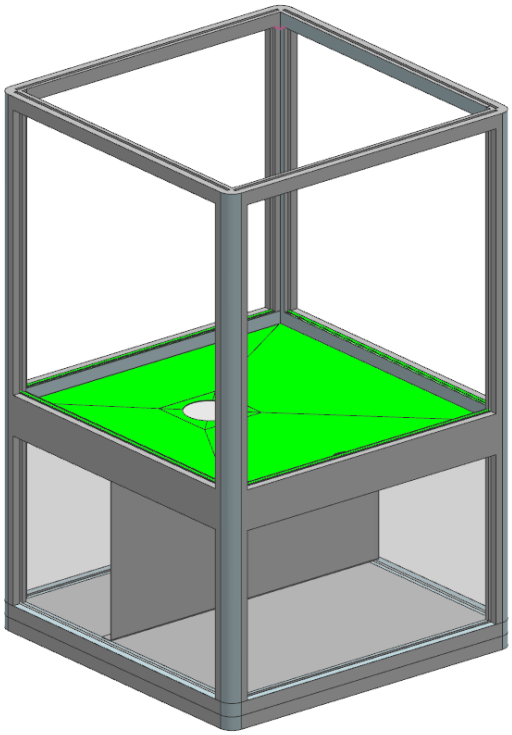
Pompa ve kompresörün konumlandırılacağı odacığın boyutları, su deposunun boyutlarına göre şekillenmiştir. Pompa ve kompresörün geometrik boyutları da odacığın boyutlarını etkilemiştir. Odacığın boyutları 460x225x250 mm'dir.



Şekil 4. 4 Pompa ve kompresörün yerleştirileceği bölme

4.2.4 Su Deposunun Tasarımı

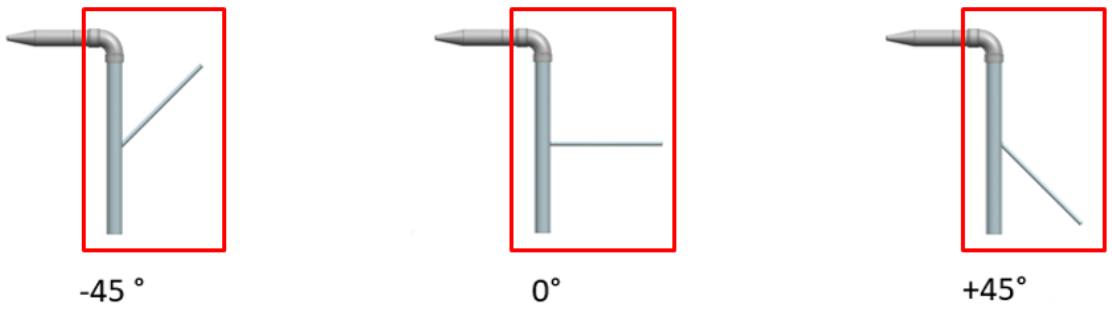
Su deposunun boyutları belirlenirken, pompanın sistem çalışmazken sirkülasyon başladığında suyun dolaşacağı akış hattının hacmi ve pompanın sisteme basacağı debi miktarı hesaba katılmıştır. Su deposunun boyutları 460x235x250 mm (~ 27 L) olarak belirlenmiştir. Su deposu, pompa ve kompresörün bulunduğu bölümden metal bir sac ile ayrılmıştır. Nozuldan çıkan su jeti etki yüzeyine çarpıp dağıldıktan sonra süzülen suyun tekrar su deposuna dökülmesini sağlamak için evye üzerinde bulunan tahliye deliği su deposunun üzerinde yer almaktadır. Sızdırmazlığı sağlamak için alüminyum sigma profillerin ortasındaki kanala yerleştirilen şeffaf pleksi glass plakalar ile kanal arasına silikon uygulaması yapılmıştır. Su deposunda kalan suyun hızlıca tahliye edilebilmesi için deponun en alt kısmına küresel vana montaj edilmiştir.



Şekil 4. 5 Su deposunun tasarımı

4.2.5 Akış Hattının Tasarımı

Akış hattı şeffaf pleksi glass borulardan oluşmaktadır. Pompanın bağlı olduğu boru 26 mm iç çapa sahiptir. Kompresörün bağlı olduğu boru 8 mm iç çapa sahiptir. Kompresörün bağlı olduğu borular, pompanın bağlı olduğu boruya -45, 0 ve 45° açı ile birleştirilmiştir. Sisteme eklenen havanın akış hattına kolayca katılabilmesi için deneylerde +45°'lik hava akış hattı kullanılmıştır.



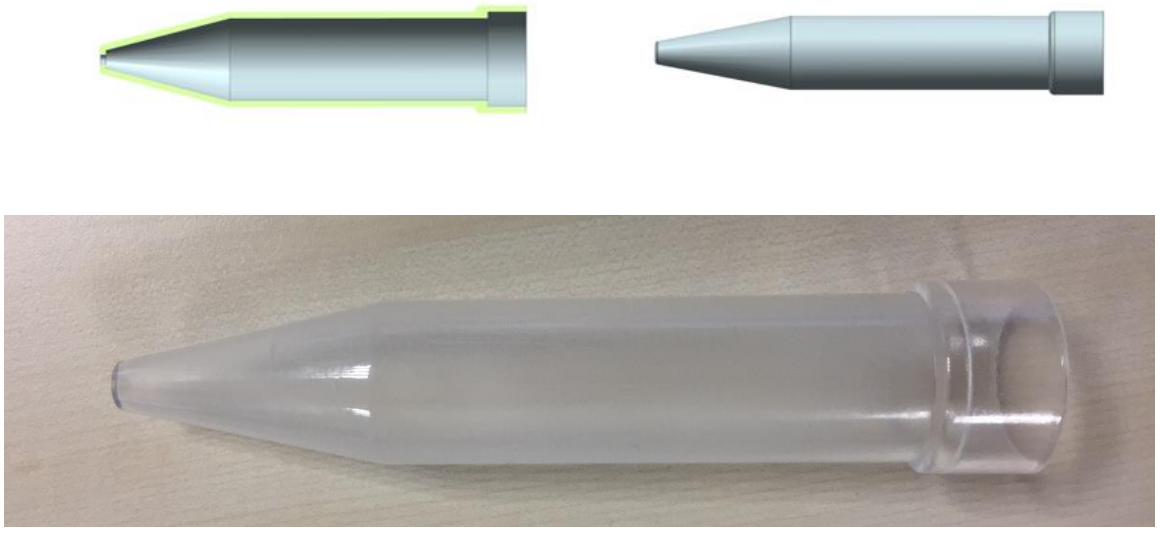
Şekil 4. 6 Akış hattının tasarımı

4.2.6 Nozulların Tasarımı

Deneysel çalışmalar için kurulan deney düzeneği bulaşık makinesinin yıkama sisteminden esinlenerek tasarlanmıştır. Deney düzeneğinde kullanılacak olan nozulların çıkış çapı bulaşık makinesi pervanesinin katı modeli üzerinden belirlenmiştir. Pervanede birden fazla delik bulunmaktadır ve çapları birbirinden farklıdır. Bu bağlamda nozulların çıkış çapları 3 mm ve 4 mm olarak belirlenmiştir.

Deneysel düzeneğinde kullanılan nozullar belirlenen boyutlarda bilgisayar ortamında tasarlandıktan şeffaf olmasını sağlamak için silikon kalıba döküm yöntemiyle üretilmiştir. Silikon kalıba döküm işleminden önce nozullar SLA malzemeden üretilmiştir. SLA malzemeden üretilen nozulların yüzey kalitesi yüksektir. SLA malzemeden üretilen nozullar kalıp olarak kullanılmaktadır.

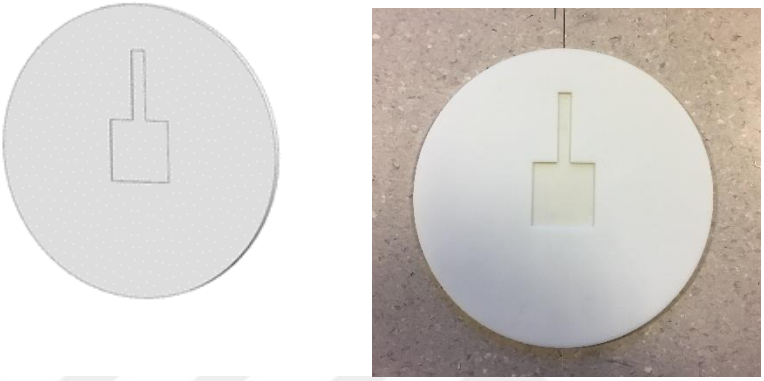
Ani kesit daralmasının yüksek basın düşümüne neden olacağı hesaba katılarak nozulların tasarımı konik olarak yapılmıştır. Nozulların giriş çapı 30 mm ve uzunluğu 150 mm'dir.



Şekil 4. 7 Nozul tasarımı

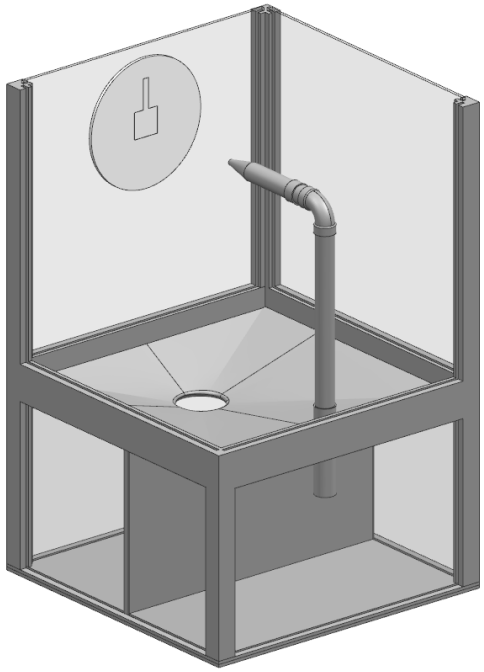
4.2.7 Etki Yüzeyinin Tasarımı

Etki yüzeyi tasarlanırken tabak formunu anımsatacak bir dairesel kesit tasarlanmıştır. Etki yüzeyinin çapı standart tabaklara uygun olması açısından 210 mm ve yüzeyi porseleni anımsatsın diye pleksi glass malzemeden üretilmiştir. Etki yüzeyinin merkezine kuvvete duyarlı sensörü konumlandırılabilmek için sensörün geometrik boyutlarına uygun kanal açılmıştır. Kanalın derinliği 2 mm'dir.



Şekil 4. 8 Etki yüzeyinin tasarımı

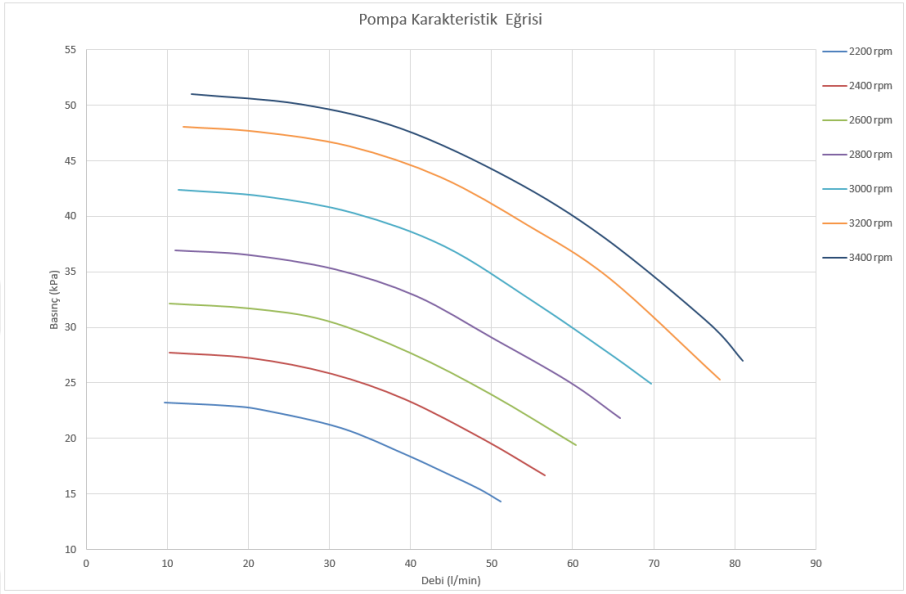
Sensörün su ile etkileşimini önlemek için kanalın geometrisine göre silikon parça kesilmiştir. Etki yüzeyinin merkezi, nozulun çıkış kesitinin merkezi ile paraleldir. Etki yüzeyinin açısal değişimi incelenmeyeceği için arka duvara vidalanarak sabitlenmiştir.



Şekil 4. 9 Etki yüzeyinin arka duvara montajı

4.2.8 Pompanın Seçimi

Sistemde kullanılan pompa seçilirken yerleştirileceği hacme sığması, bastığı debisi, çalışma basıncı, verimi dikkate alınmış ve Arçelik A.Ş bulaşık makinelerinde kullanılan değişken devirli ısıtıcılı pompa kullanılmıştır. Pompa su sıcaklığının da parametre olabileceği düşünülerek ısıtıcılı tip seçilmiştir. Farklı devirlerde yapılan ölçümler sonucu pompaya ait karakteristik eğri aşağıda verilmiştir.



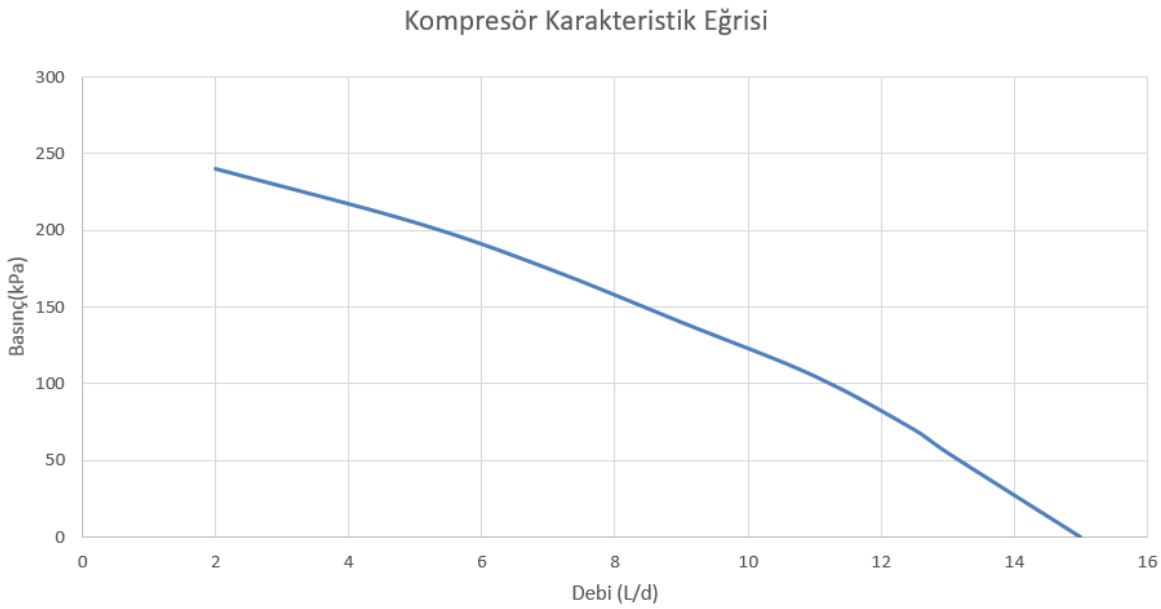
Şekil 4. 10 Pompa karakteristik eğrisi



Şekil 4. 11 Deney düzeneğinde kullanılan pompa

4.2.9 Kompresörün Seçimi

Sistemde kullanılan kompresör seçilirken pompa seçim kriterlerindeki parametreler dikkate alınmıştır. Kullanılan kompresör tek kademelidir. Kompresörün çalışma noktası rotametre ile ayarlanmaktadır. Kompresöre ait karakteristik eğri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4. 12 Kompresör karakteristik eğrisi

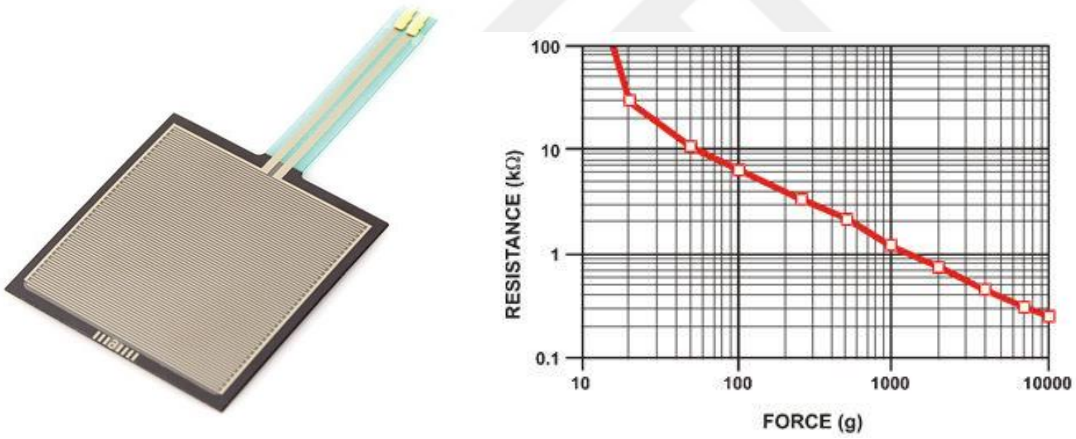


Şekil 4. 13 Deney düzeneğinde kullanılan kompresör

4.2.10 Kuvvet Sensörünün Seçimi

Deneylerde akışkan çiftinin etki yüzeyinde oluşturduğu kuvveti ölçmek için kuvvete duyarlı sensör kullanılmıştır. Kuvvete duyarlı sensörün çalışma prensibi; üzerine uygulanan kuvvetle orantılı olarak direnç değerlerinde düşüş meydana gelmektedir. Bu sayede kuvvetin ya da basıncın algılanması sağlanmaktadır. Sensörün mikroişlemciye ilettiği analog sinyaller gerçek zamanlı olarak kayıt edilmektedir. Kuvvet sensörünün özellikleri ve boyutları aşağıdaki gibidir.

- Birkaç gram ile 10 kilogram arasındaki kuvvetleri ölçme kapasitesine sahiptir.
- 1.5”x1.5” aktif ölçüm alanına sahiptir.
- Kalınlığının düşük olmasından dolayı esnek kullanım sağlamaktadır.
- Mikroişlemci ile kolayca iletişim kurabilmektedir.
- Sensör, hızlı ve küçük etkilere ani tepki verebilmektedir.



Şekil 4. 14 Kuvvete duyarlı sensör [60]

Sensör üzerinde yapılan kuvvet doğrulama testlerinde, ürün üzerine kuvvet uygulanmadığında 1MΩ, 20 gramlık bir kuvvet uygulandığında ise 50kΩ değerinde direnç oluşturduğu görülmüştür. Sensör üzerine olabildiğince yüksek kuvvet uygulandığında ise 200Ω değerine ulaşılmıştır. Uygulanan kuvvet karşında oluşan değerler yüksek tutarlılığa sahiptir. Tekrarlanan sabit kuvvet uygulamalarında ürünün sabit değerler ürettiği yapılan testlerde görülmüştür.

4.2.11 Mikroişlemcinin Programlanması

Kuvvet sensöründen gelen sinyal değerlerini işleyebilmek için Arduino UNO R3'ten faydalanılmıştır. Arduino bir giriş/çıkış kartı ve işleme dilinin bir uygulamasını içeren ve geliştirme ortamından oluşan bir fiziksel programlama platformudur. Arduino tek başına çalışan interaktif nesneler geliştirmek için kullanılabileceği gibi bilgisayar üzerinde çalışan yazılımlara da bağlanabilmektedir. Kullanılan Arduino UNO R3 karta ait teknik veriler Çizelge 4.1'de yer almaktadır.

Çizelge 4. 1 Arduino UNO'ya ait teknik veriler

Mikrodenetleyici	Atmega328
Çalışma Gerilimi	5V
Dijital Giriş/Çıkış Pinleri	14 (6 tanesi PWM olarak kullanılabilmektedir)
Analog Giriş Pinleri	6
Pin Başına Düşen Birim Akım Değeri	40 mA
Saat Hızı	16 MHz

Sensörden alınan sinyal değerleri [0, 1023] bit aralığında değişmektedir. Alınan bu sinyal değerleri [0, 5V] gerilim aralığına denk gelecek şekilde ölçeklendirilmiştir. Sensör üzerinde bir kuvvet uygulandığında sensörden gelen çıkış gerilimi Eşitlik 4.1'den faydalanılarak elde edilmiştir.

$$V_o = V_{cc}(R/(R+FSR)) \tag{4.1}$$

Burada V_o sensörden gelen çıkış gerilimini, V_{cc} besleme gerilimini (*5V*), R sistemde kullanılan direnci (*10kΩ*) ve FSR sensör üzerine kuvvet uygulandığında sensör üzerinde oluşan direnç değerini temsil etmektedir.

Elektronik devrenin kurulmasından kısaca bahsedecek olursak;

Kuvvete duyarlı sensörün iki adet çıkışı bulunmaktadır. Bu çıkışlardan birisi pozitif (*VCC,5V*) yüke diğeri ise analog çıkış pinine bağlanmaktadır. Analog çıkışa bağlanan ayaktan analog sinyal değeri okunmaktadır. Sensörün analog çıkışa bağlanan ayağına 10 kΩ'luk bir direnç bağlanmış ve direncin boşta kalan ucu toprak hattına (*GND*) bağlanmıştır.

Sensör üzerinde oluşan kuvveti okuyabilmek için yazılan programlama kodundan bahsedecek olursak;

Arduino güç kablosu ve veri okuma bağlantısı COM3 portuna bağlanmıştır. Kuvvete duyarlı sensör üzerine kuvvet uygulandığı zaman analog sinyal değişimini görmek için, Arduino UNO R3 üzerinde bulunan A0 pini ***FSRpin*** olarak tanımlanmış ve kuvvete duyarlı sensörün veri okuma ucu bu pine bağlanmıştır. Pinden gelen analog sinyal verilerini okumak için;

FSR_reading = *analogRead**(FSRpin)***;

kodu kullanılmıştır. Okunan sinyal değerleri [0, 1023] bit aralığında değişim göstermektedir. Analog sinyal değerlerinin gerilim olarak karşılığı **FSR_Voltage** olarak tanımlanmış ve analog sinyal aralık değeri [0, 5000] mV aralık değerine ölçeklendirilmiştir. Bu ölçeklendirmeyi yapabilmek için,

FSR_Voltage = *map (***FSR_Reading**, *0, 1023, 0, 5000);*

kodu kullanılmıştır. Eşitlik 4.2'den faydalanılarak kuvvete duyarlı sensör üzerinde oluşan direnç değeri hesaplanmıştır. Bu hesaplama işlemini yapabilmek için kuvvete duyarlı sensör üzerinde oluşan direnç **FSR_Resistance** olarak tanımlanmış ve direnç değeri sırasıyla;

$$FSR = ((V_{cc} - V_o) \times R) / V \tag{4.2}$$

FSR_Resistance = *5000 – FSR_Voltage;*
FSR_Resistance *= *10000;*

FSR_Resistance /= *FSR_Voltage);*

FSR_Resistance /= *1000;*

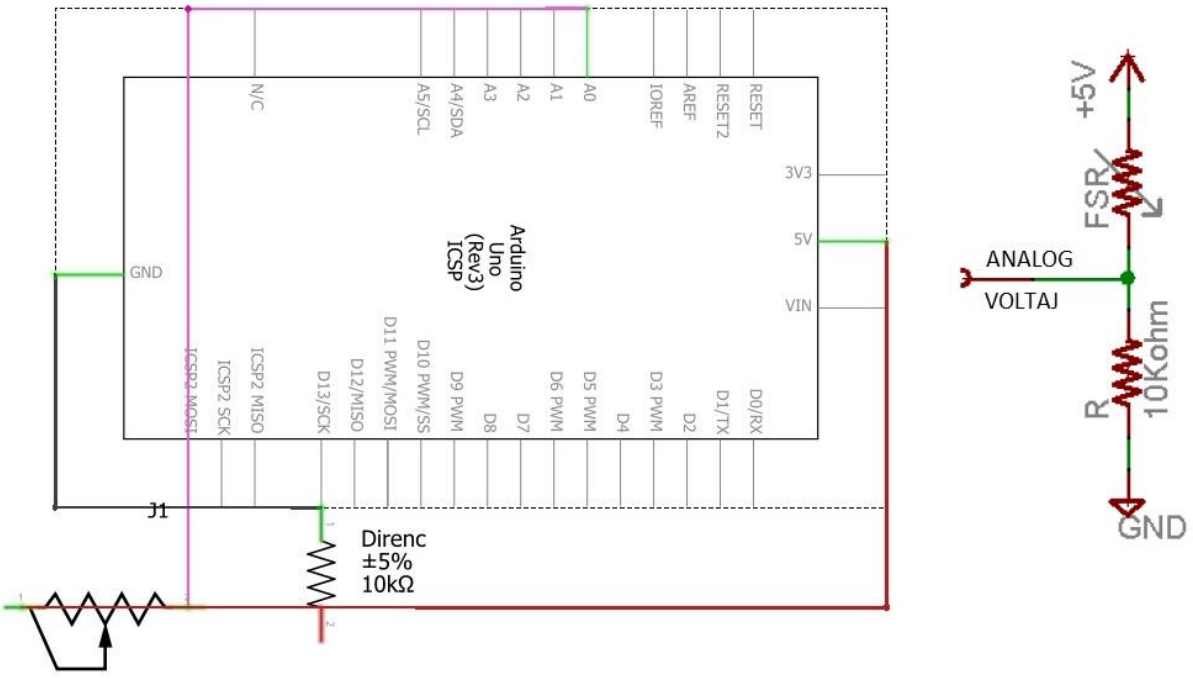
kodları kullanılarak kΩ biriminde sensör üzerinde oluşan direnç hesaplanmıştır. Kuvvete duyarlı sensörün veri kitapçığında bulunan, sensör üzerinde oluşan direnç – kuvvet grafiğinden ve eğrinin denkleminden faydalanılarak sensör üzerinde oluşan kuvvet direncin bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Yapılan dönüşümlerden sonra elde edilen denklem Eşitlik 4.3'teki gibidir.

$$F_{sensör} = F_{jet} = 2.5 / (FSR_Direnç)^{1.33} \quad (4.3)$$

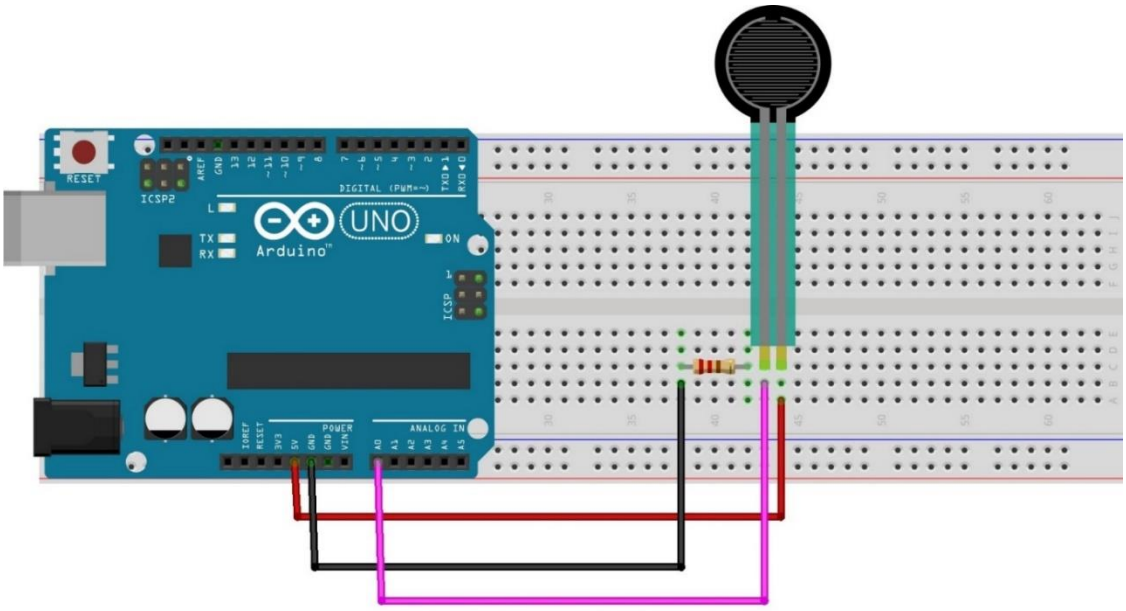
Sensör üzerinde oluşan kuvvet **FSR_Force** olarak tanımlanmış ve sensör üzerinde oluşan kuvvet değeri sırasıyla;

FSR_Force = *2.50 / pow (***FSR_Resistance***, 1.33);*

Deneylere başlamadan önce sadece su jeti kullanılarak yapılan öncül deneylerde ölçülen kuvvet değeri ile teorik kuvvet değeri birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

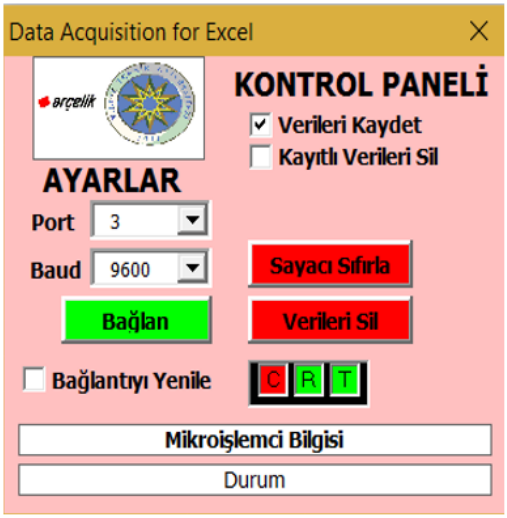


Şekil 4. 15 Kuvvet sensörü elektronik şema



Şekil 4. 16 Arduino devre şeması

COM3 portundan 9600 Baud hız oranıyla okunan analog sinyal değeri, sensör üzerinde oluşan gerilim, direnç ve kuvvet Visual Basic programlama dili kullanılarak hazırlanan bir makro veri toplama sistemi vasıtasıyla gerçek zamanlı olarak kaydedilmiştir. Yazılan veri toplama programının arayüzü Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



ZAMAN	ANALOG SINYAL DEGERI	SENSOR VOLTAJI	SENSOR DIRENCI	JET KUVVETI
20:22:55	580,00	2834	6,53	0,20
20:22:56	555,00	2712	7,46	0,17
20:22:57	543,00	2653	7,76	0,16
20:22:58	544,00	2658	6,06	0,22
20:22:59	527,00	2575	6,27	0,21
20:23:00	538,00	2629	6,37	0,21
20:23:01	541,00	2644	5,67	0,24
20:23:02	533,00	2605	6,27	0,21
20:23:03	555,00	2712	7,16	0,18
20:23:04	599,00	2927	7,86	0,16
20:23:05	550,00	2688	7,61	0,16
20:23:06	602,00	2942	9,68	0,12

Şekil 4. 17 Makro veri toplama programı arayüzü

4.2.12 Kir Çıkarma Deneyleri

Kir çıkarma deneylerinde yüzeyi seramik ile kaplanmış 100x60 mm boyutunda metal plakalar kullanılmıştır. Metal plakaların yüzeyine 3 gr. standart ıspanak kiri sürülmüş ve

fırında 80°C'de 2 saat boyunca pişirilmiştir.Plakalar temizlenme öncesinde ve sonrasında yüksek çözünürlüklü bir tarayıcı ile taranmıştır.



Şekil 4. 18 Plaka tarama süreci

Tarama sonucunda elde edilen plaka görüntüleri bir görüntü işleme programı kullanılarak analiz edilmiştir. Taranan görüntüler siyah-beyaz renk konsatrasyonuna dönüştürülmüştür. Görüntü işleme programı siyah-beyaz görüntüdeki siyah piksellerin ve beyaz piksellerin sayısını hesaplamaktadır. Ispanak lekelerinin olduğu kısımlar siyah diğer kısımlar beyaz piksellerden oluşmaktadır. Kirlilik oranı, siyah piksel sayısının toplam piksel sayısına oranına göre belirlenmektedir.



Şekil 4. 19 Görüntü işleme prosesi

Yıkama öncesindeki kirlikik miktarı ve yıkama sonrasındaki kirlilik miktarı karşılaştırılarak kir çıkarma performası belirlenmiştir. Kir çıkarma performansı Eşitlik 4.4 ile hesaplanmıştır.

$$\%Temizleme = \frac{(YÖK - YSK)}{YÖK} x100 \quad (4.4)$$

4.3 Ölçüm Belirsizliği Analizi, Ölçüm Yeterliliği Analizi ve Deney Tasarımının Yapılması

Deneylere başlamadan önce tasarlanan deney düzeneği için ölçüm yeterliliği analiz edilmiştir. Ölçülen verilerin tekrarlanabilir olup olmadığı, deneylerde kullanılan parametrelerin çıktılar üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığı, ölçümleri yapacak olan operatörlerin kendini tekrar etmesi ve birden fazla operatör olduğu durumda operatörler arasında fark olup olmadığı incelenmiştir. Bu analizi yapmak için hava debisi, iki fazlı jet ile etki yüzeyi arasındaki açı ve katı partikül miktarı sabit tutularak su debisi 3-4 l/d debi aralığında, nozul çıkış kesit alanı 4-5 mm aralığında, işlem zamanı 90-150 saniye aralığında üç farklı akışkan çiftine sahip (su, su-hava ve su-katı partikül) akışkan tipleri için iki farklı operatör tarafından iki tekrarlı deneyler yapılmıştır. Yapılan tekrarlı testler sonucunda operatörlerin ölçüm yeterliliğine sahip olduğu ve deney düzeneğinin de tekrarlanabilir olduğu sonuçları elde edilmiştir.

4.3.1 Ölçüm Belirsizliği ve Ölçüm Yeterliliği Analizi

Ölçüm belirsizliği öncesi çalışmanın genel çerçevesinin belirlenmiştir. Çalışmada odaklanılan parametreler su debisi, akışkan çiftinin türü, nozul çıkış çapı ve jet ile etki yüzeyi arasındaki açı gibi parametreler üzerine odaklanılmıştır. Deney düzeneğinin bu parametrelere karşı verdiği çıktıların anlamlı bir aralıkta olup olmadığı irdelenmiştir. Parametrelerin seviyelerinin seçiminde, yıkayıcının genel özelliklerini kapsayacak seviyeler seçilmiştir.

Ayrıca plaka malzemesi, plaka boyutu, ortam sıcaklığı ve ortam neminin sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi olmayacağı kabul edilmiştir. Ölçüm belirsizliği deneyleri dört parametre, iki operatör ve iki tekrarlı olarak hem kir çıkarma deneyleri hem de kuvvet ölçüm deneyleri için yapılmıştır.

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	2	1542,77	771,384	191,372	0,005
Operators	1	5,70	5,699	1,414	0,356
Parts * Operators	2	8,06	4,031	0,326	0,734
Repeatability	6	74,17	12,361		
Total	11	1630,70			

α to remove interaction term = 0,05

Şekil 4. 20 Kir çıkarma deneyleri için ölçüm belirsizliği analizi

Yapılan ölçüm belirsizliği analizinde *Pvalue* değeri dikkate alınmıştır. *Pvalue* değeri analiz sonucunda her bir parametre için elde edilen olasılık verilerinin önceden bir risk ile mukayese edilerek incelenen parametrenin çıktılar üzerinde anlamlı bir fark olup olmadığını yorumlayabilmek için kullanılır. *Pvalue* alınan risk ile güven aralığını ifade etmektedir. Endüstriyel uygulamalarda risk değeri %5 olarak kabul edilmektedir ve *Pvalue* değerinin bu değerin altında olması beklenmektedir. Tez çalışması kapsamında da risk değeri endüstriyel uygulamalardaki gibi kabul edilmiştir. Parts satırında *Pvalue* değeri 0,005 olarak hesaplanmıştır. Burada parçadan gelen değişkenlikler temsil edilmektedir. Bu değer %5'ten küçük olduğu için değişkenliklerin birbirinden farklı olduğu yorumu yapılabilmektedir. Operators satırında ise Pvalue değeri 0,356 olarak hesaplanmıştır. Operatörler arasında %35,6 fark olduğu yorumu yapılabilmektedir. Tez çalışması kapsamında kir çıkarma deneyleri tek bir operatör ile yapılmıştır.

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	10,279	5,13
Repeatability	10,279	5,13
Reproducibility	0,000	0,00
Operators	0,000	0,00
Part-To-Part	190,276	94,87
Total Variation	200,555	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	3,2061	19,2363	22,64
Repeatability	3,2061	19,2363	22,64
Reproducibility	0,0000	0,0000	0,00
Operators	0,0000	0,0000	0,00
Part-To-Part	13,7941	82,7644	97,40
Total Variation	14,1618	84,9705	100,00

Number of Distinct Categories = 6

Şekil 4. 21 Kir çıkarma deneyleri için ölçüm yeterliliği analizi

Ölçüm yeterliliği analizinin istatistiksel raporu Şekil 4.21'de verilmiştir. Ölçüm yeterliliğinin yorumlanabilmesi için Total Gage R&R satırında *%StudyVar* değeri incelenmektedir. Endüstriyel uygulamalarda Total Gage R&R değeri %30'un altında olması gerekmektedir. Toplam ölçüm yeterliliği istatistiksel olarak %22,64 hesaplanmıştır. Bu değer %30'un altında olduğu için ölçüm yeterliliğinin olduğu yorumu yapılabilmektedir.

Benzer şekilde yukarıda bahsedilen işlemler kuvvet ölçüm deneyleri içinde yapılmıştır.

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	2	0,0209727	0,0104863	41,8407	0,000
Operators	1	0,0000000	0,0000000	0,0000	1,000
Repeatability	8	0,0020050	0,0002506		
Total	11	0,0229777			

Şekil 4. 22 Kuvvet ölçüm deneyleri için ölçüm belirsizliği analizi

Parts satırında *Pvalue* değeri 0,000 olarak hesaplanmıştır. Burada parçadan gelen değişkenlikler temsil edilmektedir. Bu değer %5'ten küçük olduğu için değişkenliklerin birbirinden farklı olduğu yorumu yapılabilmektedir.

Gage R&R

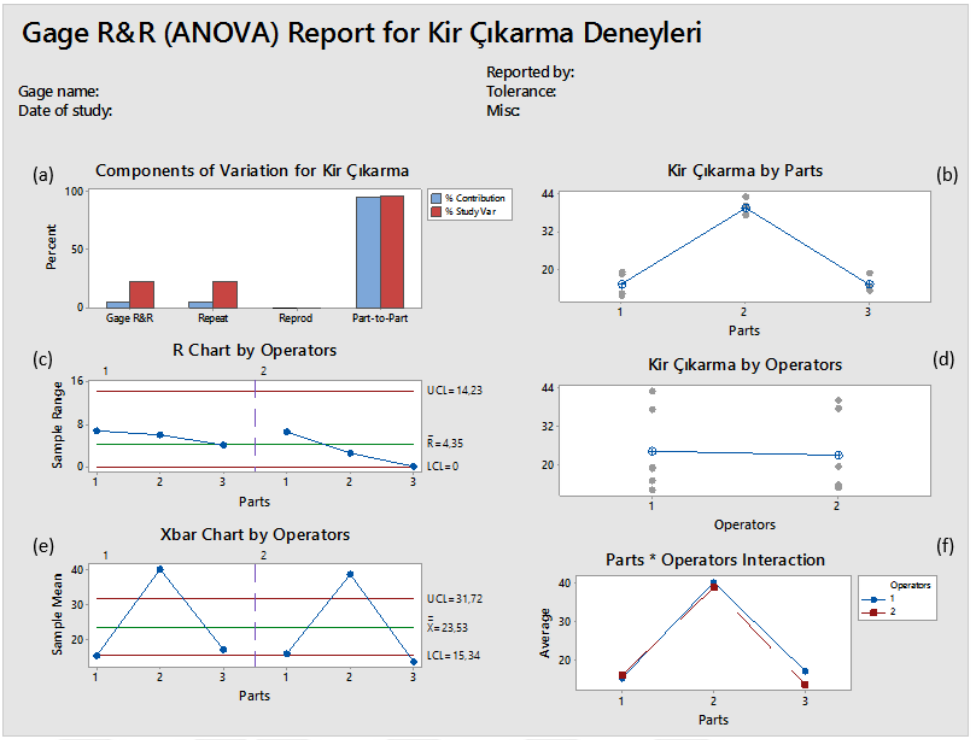
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0002506	8,92
Repeatability	0,0002506	8,92
Reproducibility	0,0000000	0,00
Operators	0,0000000	0,00
Part-To-Part	0,0025589	91,08
Total Variation	0,0028096	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,0158311	0,094987	29,87
Repeatability	0,0158311	0,094987	29,87
Reproducibility	0,0000000	0,000000	0,00
Operators	0,0000000	0,000000	0,00
Part-To-Part	0,0505858	0,303515	95,44
Total Variation	0,0530052	0,318031	100,00

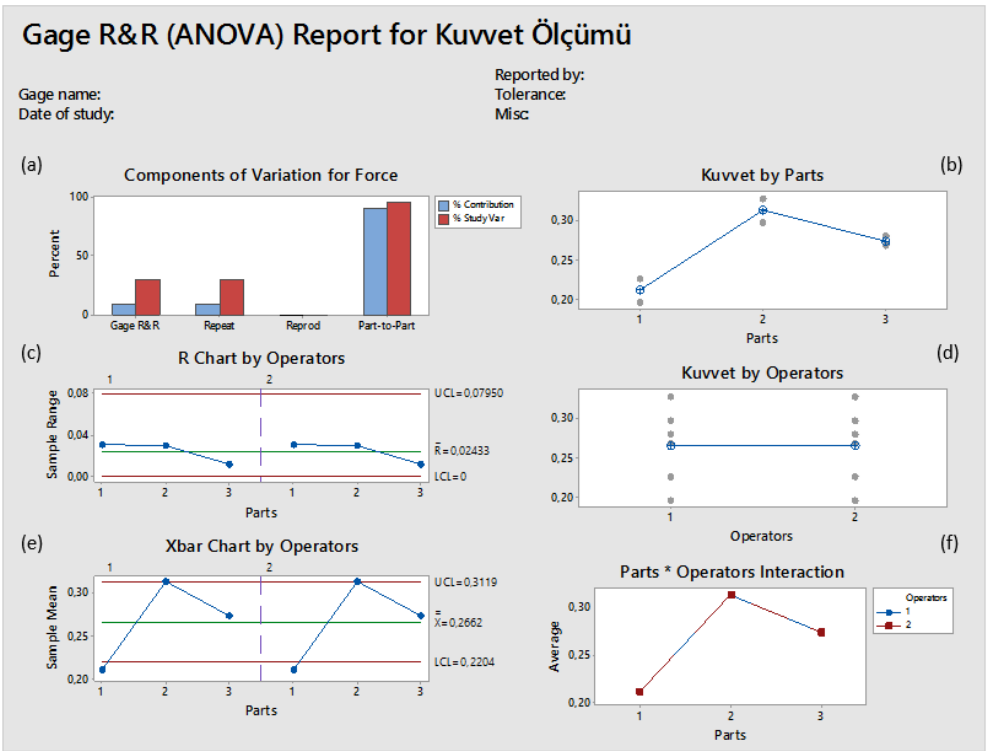
Number of Distinct Categories = 4

Şekil 4. 23 Kuvvet ölçüm deneyleri için ölçüm yeterliliği analizi

Toplam ölçüm yeterliliği istatistiksel olarak %29,87 hesaplanmıştır. Bu değer %30'un altında olduğu için ölçüm yeterliliğinin olduğu yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 4. 24 Kir çıkarma için ölçüm belirsizliği, tekrarlanabilirlik, yeniden üretilebilirlik, operatör analiz grafikleri



Şekil 4. 25 Kuvvet ölçümü için ölçüm belirsizliği, tekrarlanabilirlik, yeniden üretilebilirlik, operatör analiz grafikleri

Şekil 4.24 (a) ve Şekil 4.25 (a)'daki grafik değişkenlikleri göstermektedir. Ölçüm sisteminden kaynaklanan değişkenliklerin parçadan kaynaklanan değişkenliklerden küçük olması istenen bir durumdur. Tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik grafiklerinin yüzdesi oldukça düşüktür. Bu yüzden tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik anlamında değişkenlik olmadığı söylenebilmektedir. Hem kir çıkarma hem de kuvvet ölçümü için değişkenliğe neden olan faktör parçadan kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.24 (b) ve Şekil 4.25 (b)'deki grafik her bir parça için alınan ölçümleri ve ortalamalarını göstermektedir. Her iki çıktı için de birbirine benzer parçaların ortalamaları birbirine yakın çıkmıştır.

Şekil 4.24 (c) ve Şekil 4.25 (c)'deki grafik operatörlerin kir ölçüm ve kuvvet ölçüm sonuçları gösterilmektedir. Her zaman kontrol altında olması gerekmekte ve operatörlerin tutarlı olması beklenmektedir. İki operatörde her iki çıktı için izin verilen alt ve üst limitler içerisinde kalmaktadır.

Şekil 4.24 (d) ve Şekil 4.25 (d)'deki grafik iki operatörün ölçüm sonuçlarının ortalamasını göstermektedir. Grafikteki çizginin olabildiğince yatay olması beklenmektedir. Çizginin eğilmesi operatörden kaynaklanan etkiyi göstermektedir. Grafikler incelendiğinde hem kir çıkarma hem de kuvvet ölçümü için iki operatörün de ölçüm sonuçlarının ortalamaları birbirine yakın çıkmıştır.

Şekil 4.24 (e) ve Şekil 4.25 (e)'deki grafik parçalardan kaynaklanan değişkenlikleri göstermektedir. İyi bir ölçüm sistemi için parçadan kaynaklanan değişkenliklerin alt ve üst limitlerin dışında olması gerekmektedir. Parçadan kaynaklanan değişkenliklerin, ölçüm sisteminden kaynaklanan değişikliklerden daha büyük olması beklenmektedir. Grafikler incelendiğinde hem kir çıkarma hem de kuvvet ölçümü için parçadan kaynaklanan değişkenlikler alt ve üst limitlerin dışında kalmaktadır.

Şekil 4.24 (f) ve Şekil 4.25 (f)'deki grafik operatörlerin ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Grafikler incelendiğinde hem kir çıkarma hem de kuvvet ölçümü için operatörlerin ölçüm sonuçları birbirine çok yakındır.

4.3.2 Deney Tasarımının Yapılması

Deneysel çalışmaların yapılması için parametreler ve çıktılar belirlenmiştir. Deneysel çalışmaların yapılması için tam faktöriyel bir deney tasarımı oluşturulmuştur. Tam faktöriyel deney tasarımı oluşturabilmek için en az iki parametre ve bu parametrelere ait en az iki seviye olmalıdır. Seviyelerin birbirleri ile çarpımlarıyla oluşan bir kombinasyondur. Deney tasarımını oluşturmak için istatistik paket programı Minitab 17.0'dan faydalanılmıştır.

Parametrelerin minimum ve maksimum seviyeleri Çizelge x.x'te gösterilmiştir. Parametreler ve seviyeleri; nozul çıkış çapı 4-5 mm, su debisi 3-4 l/d, etki yüzeyi ile jet arasındaki açı 45-90° aralığında ve akışkan tipi olarak su, su-hava ve su-katı partikül akışkan çiftleri kullanmıştır. Akışkan tipinde su-hava akışkan çiftinde hava debisi 0,15-0,25 m^3/h ve su-katı partikül akışkan çiftinde ise katı partikül miktarı 100-250 g aralığında değişmektedir. Deney parametreleri seçilirken günümüzde kullanılan evsel yıkayıcıların özelliklerini kapsayacak şekilde ve uygulanabilirlik dikkate alınarak seçilmiştir. Deneylerde çıktı olarak kir çıkarma etkinliği ve jet kuvveti değeri incelenmiştir. Deney parametreleri ve deney seviyeleri Çizelge 4.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 4. 2 Deney parametreleri ve seviyeleri

Parametreler	**Minimum Değer**	**Maksimum Değer**
Su debisi (l/d)	3	4
Nozul çıkış çapı (mm)	4	5
Açı (°)	45	90
Akışkan Çifti	**Minimum Değer**	**Maksimum Değer**
Su (Su debisi) (l/d)	3	4
Su-Hava (Hava debisi) (m^3/h)	0.15	0.25
Su-Katı Partikül (Katı partikül miktarı) (g)	100	250

Multilevel Factorial Design

Factors:	4	Replicates:	1
Base runs:	40	Total runs:	40
Base blocks:	1	Total blocks:	1

Number of levels: 2; 5; 2; 2

Şekil 4. 26 Tam faktöriyel deney tasarımı çıktısı

Şekil 4.26'da tam faktöriyel bir deney tasarımının detayları gösterilmektedir. Deney tasarımı dört parametre ve parametreler iki seviyelidir. Akışkan çifti kendi içerisinde üç seviyelidir. Bu seviyelerin alt kırınımları ise iki seviyelidir. Deney tasarımı kontrollü bir şekilde eşlenerek Çizelge 4.3'teki deney tasarımı elde edilmiştir. Kir çıkarma etkinliği ve jet kuvveti için 40'ar adet deney yapılmıştır.

Çizelge 4. 3 Deney tasarımı

Deney No	Su Debisi (l/d)	Akışkan Tipi	Nozul Çıkış Çapı (mm)	Açı (°)
1	3	0,15 m^3/h	4	45
2	3	0,15 m^3/h	4	90
3	3	0,15 m^3/h	5	45
4	3	0,15 m^3/h	5	90
5	3	0,25 m^3/h	4	45
6	3	0,25 m^3/h	4	90
7	3	0,25 m^3/h	5	45
8	3	0,25 m^3/h	5	90
9	3	100 g	4	45
10	3	100 g	4	90
11	3	100 g	5	45
12	3	100 g	5	90
13	3	250 g	4	45
14	3	250 g	4	90
15	3	250 g	5	45
16	3	250 g	5	90

17	3	SU	4	45
18	3	SU	4	90
19	3	SU	5	45
20	3	SU	5	90
21	4	0,15 m^3/h	4	45
22	4	0,15 m^3/h	4	90
23	4	0,15 m^3/h	5	45
24	4	0,15 m^3/h	5	90
25	4	0,25 m^3/h	4	45
26	4	0,25 m^3/h	4	90
27	4	0,25 m^3/h	5	45
28	4	0,25 m^3/h	5	90
29	4	100 g	4	45
30	4	100 g	4	90
31	4	100 g	5	45
32	4	100 g	5	90
33	4	250 g	4	45
34	4	250 g	4	90
35	4	250 g	5	45
36	4	250 g	5	90
37	4	SU	4	45
38	4	SU	4	90
39	4	SU	5	45
40	4	SU	5	90

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

5.1.1 Kir Çıkarma Deneyleri

Kir çıkarma deneyleri, su debisi 3-4 L/d , nozul çıkış çapı 4-5 mm, etki yüzeyi ile jet arasındaki açı 45-90° aralıklarını kapsayacak şekilde yapılmıştır. Ayrıca akışkan çiftleri su, su-hava ve su-katı partiküldür. Hava debisi 0.15-0.25 m^3/h ve katı partikül miktarı 100-250 g aralığında değişmektedir. Su ve akışkan çifti jetleri nozuldan çıktıktan sonra hızın artmasıyla etki yüzeyine çarpmaktadır. Kir çıkarma performansı görüntü işleme metoduyla ölçülmüştür.



Şekil 5. 1 Kir çıkarma deneyinde jetin etki yüzeyine çarpması

Kir çıkarma deneylerinde ıspanak kiri ile hazırlanmış kir plakalarının kirlilik oranı %55-60 aralığında değişmektedir. Deneysel çalışmalar sonunda elde edilen kir çıkarma performansı sonuçları Çizelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5. 1 Kir çıkarma deney sonuçları

Deney No	Su Debisi (l/d)	Akışkan Tipi	NÇÇ (mm)	Açı (°)	% Temizleme
1	3	0,15 m^3/h	4	45	26,51
2	3	0,15 m^3/h	4	90	31,65
3	3	0,15 m^3/h	5	45	30,16
4	3	0,15 m^3/h	5	90	24,64
5	3	0,25 m^3/h	4	45	38,29
6	3	0,25 m^3/h	4	90	41,32
7	3	0,25 m^3/h	5	45	31,09
8	3	0,25 m^3/h	5	90	33,04
9	3	100 g	4	45	9,24
10	3	100 g	4	90	14,37
11	3	100 g	5	45	8,71
12	3	100 g	5	90	11,93
13	3	250 g	4	45	21,63
14	3	250 g	4	90	27,13
15	3	250 g	5	45	16,69
16	3	250 g	5	90	23,55
17	3	SU	4	45	10,91
18	3	SU	4	90	8,03
19	3	SU	5	45	6,77
20	3	SU	5	90	13,85

21	4	0,15 m^3/h	4	45	39,38
22	4	0,15 m^3/h	4	90	50,00
23	4	0,15 m^3/h	5	45	39,24
24	4	0,15 m^3/h	5	90	31,38
25	4	0,25 m^3/h	4	45	44,27
26	4	0,25 m^3/h	4	90	59,68
27	4	0,25 m^3/h	5	45	46,29
28	4	0,25 m^3/h	5	90	55,30
29	4	100 g	4	45	18,79
30	4	100 g	4	90	23,64
31	4	100 g	5	45	11,36
32	4	100 g	5	90	14,11
33	4	250 g	4	45	22,20
34	4	250 g	4	90	24,37
35	4	250 g	5	45	22,24
36	4	250 g	5	90	24,75
37	4	SU	4	45	17,18
38	4	SU	4	90	21,72
39	4	SU	5	45	17,80
40	4	SU	5	90	17,23

General Factorial Regression: % Temizleme versus Su Debisi; Akışkan Tipi; Nozul Çıkış ; Açı

Factor Information

Factor	Levels	Values
Su Debisi	2	3; 4
Akışkan Tipi	5	Su; Su-Hava_1; Su-Hava_2; Su-Katı_1; Su-Katı_2
Nozul Çıkış Çapı	2	4; 5
Açı	2	45; 90

Forward Selection of Terms

α to enter = 0,05

Analysis of Variance

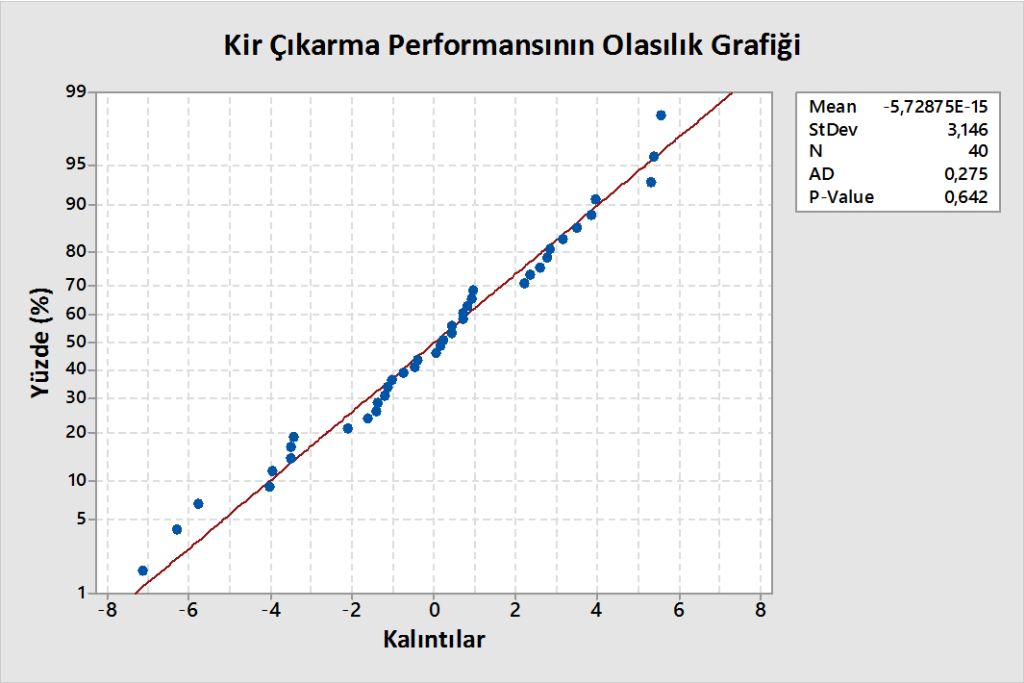
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	12	6602,08	550,17	38,49	0,000
Linear	7	6281,95	897,42	62,78	0,000
Su Debisi	1	734,57	734,57	51,39	0,000
Akışkan Tipi	4	5365,93	1341,48	93,85	0,000
Nozul Çıkış Çapı	1	94,98	94,98	6,64	0,016
Açı	1	86,46	86,46	6,05	0,021
2-Way Interactions	5	320,14	64,03	4,48	0,004
Su Debisi*Akışkan Tipi	4	239,52	59,88	4,19	0,009
Nozul Çıkış Çapı*Açı	1	80,62	80,62	5,64	0,025
Error	27	385,94	14,29		
Total	39	6988,02			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3,78075	94,48%	92,02%	87,88%

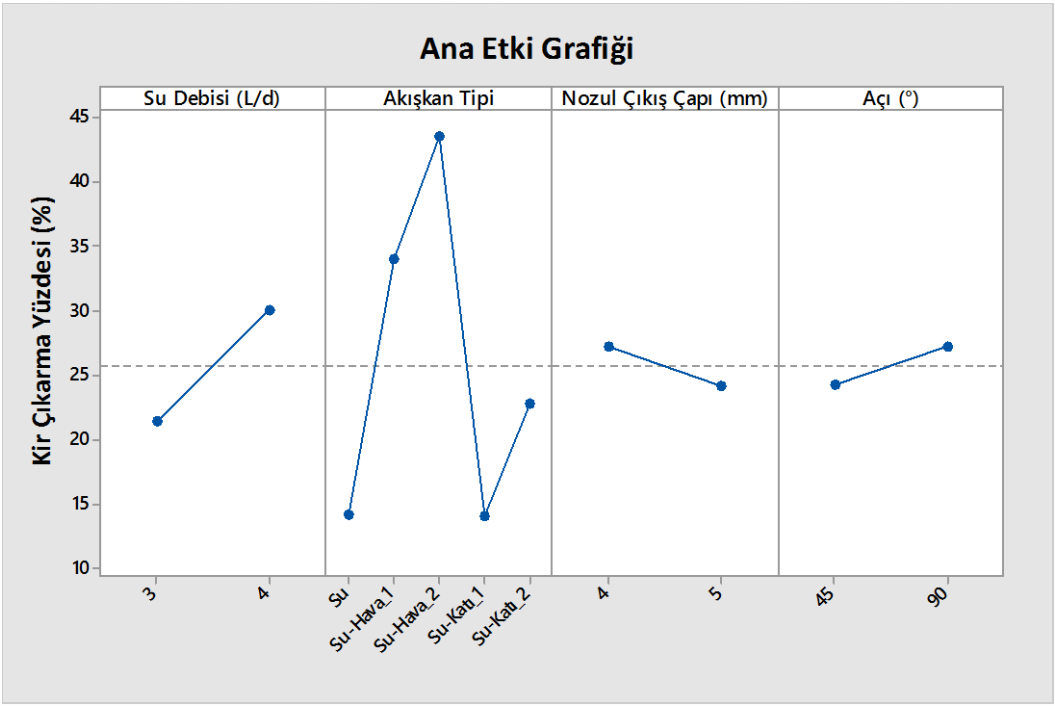
Şekil 5. 2 Kir çıkarma sonuçlarına etki eden parametrelerin istatistiksel analizi

İstatiksel hesaplamalarda kullanılan Minitab 17.0 paket programında yapılan deney çıktıları Şekil 5.2'de gösterilmektedir. Tez kapsamında yapılan tüm deneysel çalışmalarda maksimum risk %5'tir. Bu yüzden analiz sonuçları, parametrelerin kir çıkarma yüzdesi üzerindeki etkisini maksimum %5 risk alarak açıklayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi bütün parametreler ve ikili etkileşimlere ait *Pvalue* değeri 0.05'ten küçüktür. Analiz sonucundan elde edilen bilgiye göre R-sq (adj) değeri kontrol edilerek kir çıkarma performansı üzerinde etkili olan parametrelerin (su debisi, nozul çıkış çapı, akışkan tipi ve açı) %92,02'sini açıklayan bir model elde edilmiştir. R-sq (adj) değeri %80'den büyük olduğu için parametrelerin etkisi kabul edilebilir bir aralıktadır.



Şekil 5. 3 Kir çıkarma performansının olasılık grafiği

Şekil 5.3'te görüldüğü gibi kir çıkarma performansı analizinin olasılık grafiği göstermektedir. ANOVA (Analysis of Variance) testinden elde edilen *Pvalue* değerlerinin güvenilirliğinin yüksek olması için kalıntıların normal dağılması gerekmektedir.

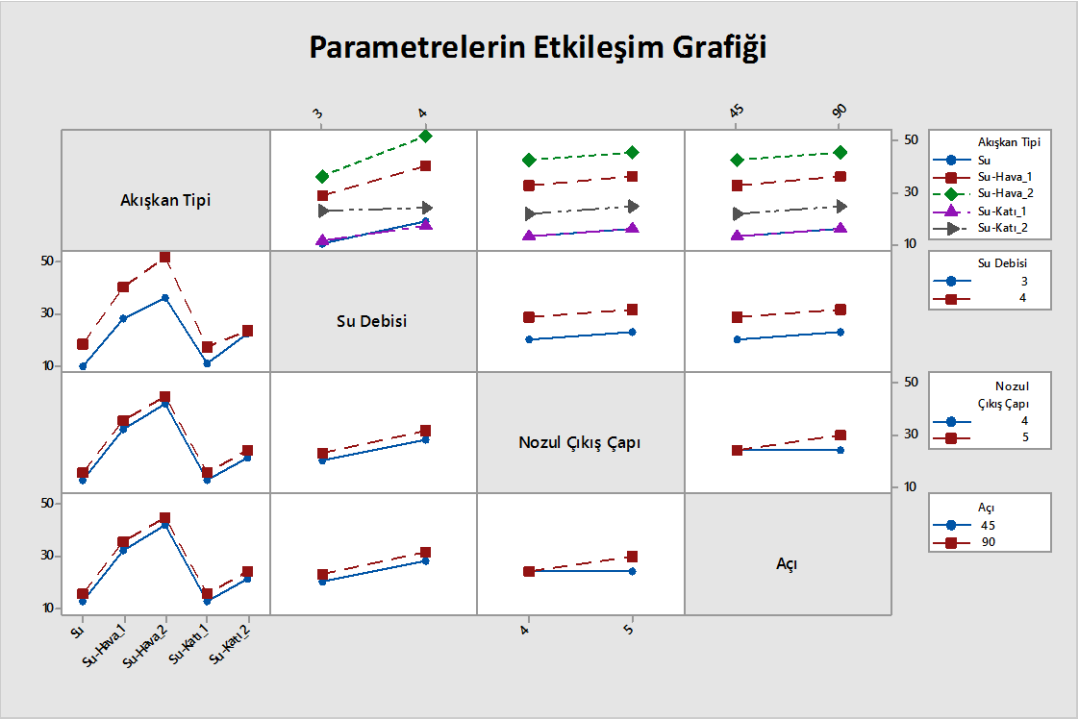


Şekil 5. 4 Kir çıkarma performansı üzerindeki parametrelerin ana etki grafiği

Şekil 5.4 incelendiğinde, parametrelerin seviyelerinin değişiminin kir çıkarma performansı üzerindeki etkileri görülmektedir. Grafikte X ekseni (yatay eksen) parametrelerin seviyelerini, Y ekseni (dikey eksen) kir çıkarma performansını % cinsinden ifade etmektedir. Hangi parametrenin kir çıkarma performansı üzerinde daha etkili olduğu grafikteki doğruların eğimine bakılarak anlaşılabilmektedir. Buna göre kir çıkarma performansı üzerinde en etkili parametre akışkan tipidir. Ana etki grafiği yorumlanacak olursa;

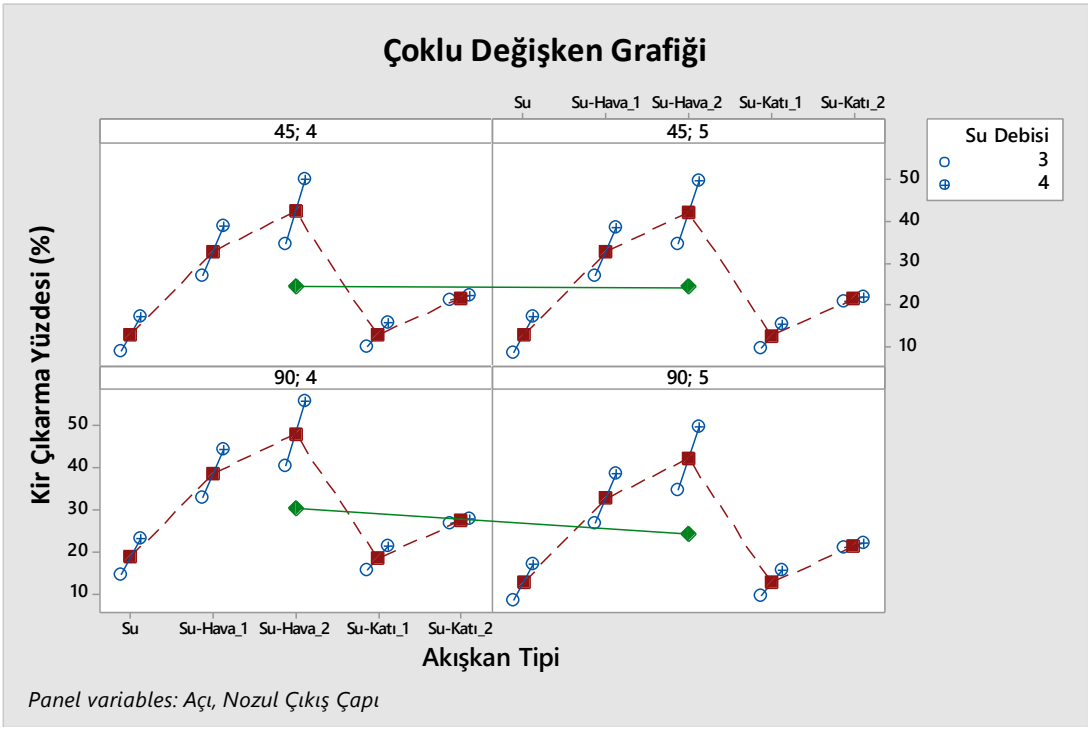
- Aynı deney şartlarında, su debisi arttığında etki yüzeyinden çıkarılan kir miktarı artmaktadır.
- Aynı deney şartlarında, sisteme eklenen ikinci faz etki yüzeyinden çıkarılan kir miktarı artmaktadır. Bu ifadenin detayında sisteme eklenen ikinci fazdan gelen ekstra momentum yüzeye aktarılacaktır. Bunun sonucunda yüzeyde oluşan jet kuvveti artacaktır.
- Aynı deney şartlarında, nozul çıkış çapı artmasıyla jetin hızı azalacağı için etki yüzeyine daha az momentum transferi olacaktır. Bunun sonucunda kuvvet azalacağı için yüzeyden daha az miktarda kir uzaklaştırılacaktır.
- Aynı deney çartlarında jet ile etki yüzeyi arasındaki açı arttığında yüzeyden uzaklaştırılan kir miktarı artmaktadır. Jet ile etki yüzyi arasındaki açı 90° olduğunda jetin momentumunun tamamı yüzeye aktarılmaktadır.

Kir çıkarma performansı üzerinde akışkan tipi ve su debisi diğer parametrelere göre daha keskin bir etki göstermektedir.



Şekil 5. 5 Parametrelerin etkileşim grafiği

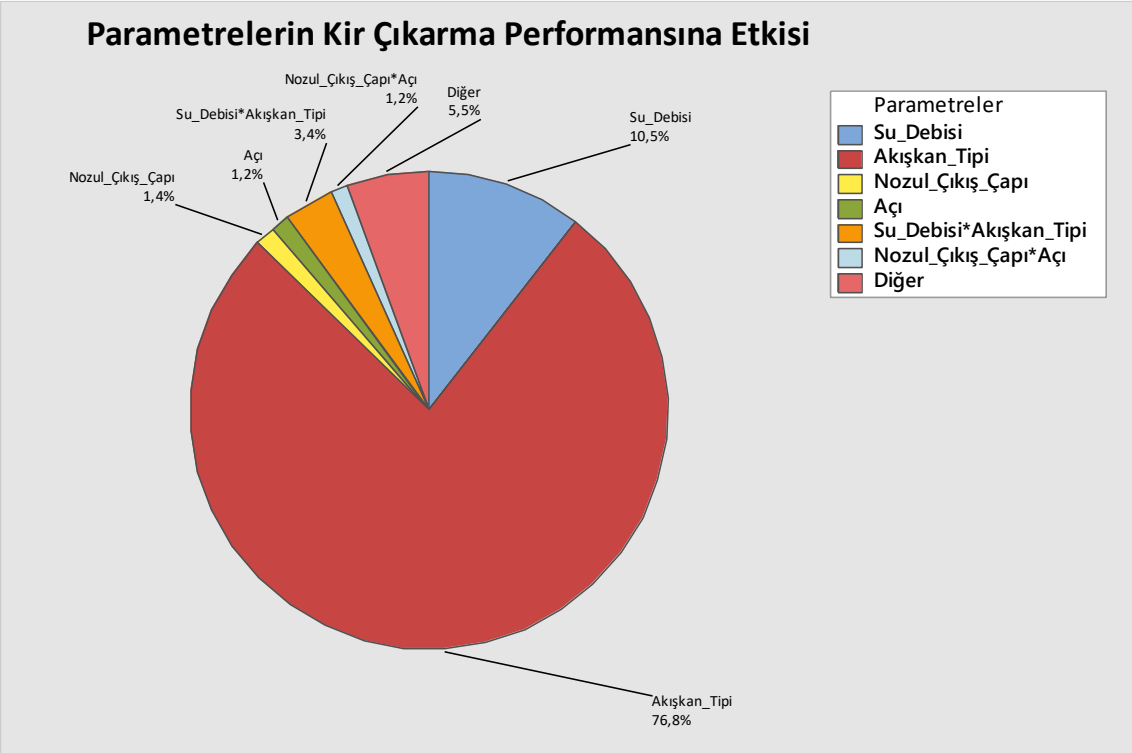
Şekil 5.5'te parametrelerin birbirleri ile etklileşimleri görülmektedir. Açı ile nozul çıkış çapı arasında az da olsa ikili etkileşim olduğu görülmektedir. Diğer parametrelere ait doğrular birbirine paralel olduğu için bu parametreler arasında etkileşim yoktur.



Şekil 5. 6 Çoklu değişken grafiği

Şekil 5.6'da çoklu değişken grafiği gösterilmektedir. Yapılan kir çıkarma deneyleri sonucunda;

- Yüzdesel olarak en yüksek kir çıkarma miktarı su debisinin 4 L/d, akışkan tipinin su-hava (su-0.25 m^3/h hava) nozul çıkış çapının 4 mm ve jet ile etki yüzeyi arasındaki açı 90° olduğunda %59.68 olarak ölçülmüştür.
- Yüzdesel olarak en düşük kir çıkarma miktarı su debisinin 3 L/d, akışkan tipinin sadece su, nozul çıkış çapının 5 mm ve jet ile etki yüzeyi arasındaki açı 45° olduğunda %6.77 olarak ölçülmüştür.



Şekil 5. 7 Kir çıkarma üzerinde etkili olan parametrelerin yüzdesel etki grafiği

Şekil 5.7'de parametrelerin kir çıkarma üzerindeki etkilerinin yüzdesel dağılımı görülmektedir. Grafiğe göre akışkan tipinin kir çıkarma işlemindeki etkisi tekil olarak %76.8, su debisinin tekil etkisi %10.5, nozul çıkış çapının tekil etkisi %1.4, jet ile etki yüzeyi arasındaki açının tekil etkisi %1.2 olarak hesaplanmıştır. Diğer parametrelerin ve ikili etkileşimlerin etkisi %9.2'dir. Bu etkinin alt kırınımlarında %3.4 etki ile su debisi ve akışkan tipinin ikili etkileşimi öne çıkmaktadır.

5.1.2 Kuvvet Ölçüm Deneyleri

Kuvvet ölçüm deneyleri, kir çıkarma deneylerinde kullanılan parametreler ile yapılmıştır. Etki yüzeyinde oluşan jet kuvveti kuvvete duyarlı sensör (FSR) ile ölçülmüştür. Jet kuvveti, 60 saniye boyunca her bir saniye için Arduino ile uyumlu geliştirilen veri toplama sistemi ile kaydedilmiştir. Alınan sinyal değerleri kuvvet birimi sensörün veri kitapçığındaki grafiklerden ve yapılan öncül deneylerden yararlanarak Newton'a dönüştürülmüştür. Kuvvet-zaman grafiğinin altında kalan alan momentum değişimini vermektedir. Kuvvetler arasında az miktarda salınımlar meydana gelmiştir. 60 saniye boyunca toplanan verilerin ortalaması ile jet kuvveti hesaplanmıştır. Deneysel olarak ölçülen kuvvet değerleri teorik kuvvet değerleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. 8 Kuvvet ölçüm deneyinde jetin etki yüzeyine çarpması

Sensör tarafından ölçülen ortalama kuvvet değerleri Çizelge 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5. 2 Kuvvet ölçümü deney sonuçları

Deney No	Su Debisi (l/d)	Akışkan Tipi	NÇÇ (mm)	Açı (°)	Kuvvet (N)
1	3	0,15 m^3/h	4	45	0,36
2	3	0,15 m^3/h	4	90	0,53
3	3	0,15 m^3/h	5	45	0,24
4	3	0,15 m^3/h	5	90	0,37
5	3	0,25 m^3/h	4	45	0,49
6	3	0,25 m^3/h	4	90	0,69
7	3	0,25 m^3/h	5	45	0,33
8	3	0,25 m^3/h	5	90	0,44
9	3	100 g	4	45	0,22
10	3	100 g	4	90	0,29
11	3	100 g	5	45	0,13
12	3	100 g	5	90	0,21
13	3	250 g	4	45	0,25
14	3	250 g	4	90	0,36
15	3	250 g	5	45	0,14
16	3	250 g	5	90	0,21
17	3	SU	4	45	0,22
18	3	SU	4	90	0,32
19	3	SU	5	45	0,13
20	3	SU	5	90	0,13
21	4	0,15 m^3/h	4	45	0,54
22	4	0,15 m^3/h	4	90	0,97
23	4	0,15 m^3/h	5	45	0,38

24	4	0,15 m^3/h	5	90	0,52
25	4	0,25 m^3/h	4	45	0,82
26	4	0,25 m^3/h	4	90	0,99
27	4	0,25 m^3/h	5	45	0,54
28	4	0,25 m^3/h	5	90	0,71
29	4	100 g	4	45	0,40
30	4	100 g	4	90	0,53
31	4	100 g	5	45	0,23
32	4	100 g	5	90	0,36
33	4	250 g	4	45	0,37
34	4	250 g	4	90	0,54
35	4	250 g	5	45	0,22
36	4	250 g	5	90	0,33
37	4	SU	4	45	0,39
38	4	SU	4	90	0,60
39	4	SU	5	45	0,21
40	4	SU	5	90	0,35

General Factorial Regression: Deneysel Kuvvet versus Su Debisi;Akışkan Tipi; ...

Factor Information

Factor	Levels	Values
Su Debisi (L/d)	2	3; 4
Akışkan Tipi	5	Su; Su-Hava_1; Su-Hava_2; Su-Katı_1; Su-Katı_2
Nozul Çıkış Çapı (mm)	2	4; 5
Açı (°)	2	45; 90

Forward Selection of Terms

α to enter = 0,05

Analysis of Variance

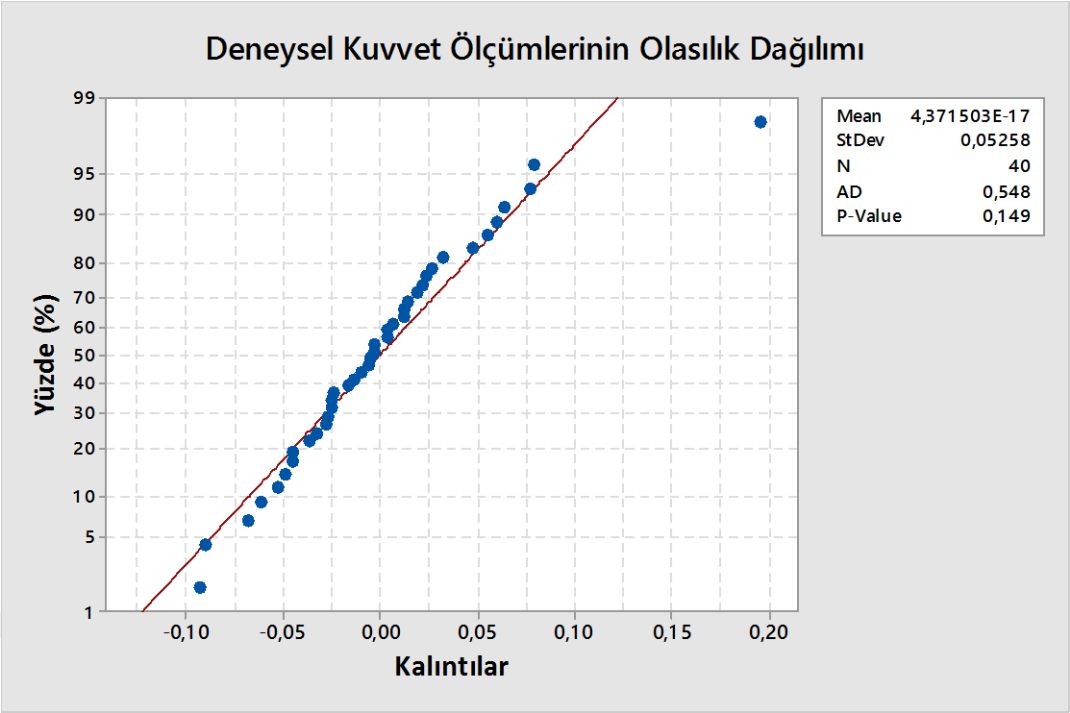
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	1,67566	0,209457	60,22	0,000
Linear	7	1,65381	0,236259	67,92	0,000
Su Debisi (L/d)	1	0,38028	0,380280	109,33	0,000
Akışkan Tipi	4	0,72294	0,180735	51,96	0,000
Nozul Çıkış Çapı (mm)	1	0,33311	0,333111	95,77	0,000
Açı (°)	1	0,21748	0,217485	62,53	0,000
2-Way Interactions	1	0,02184	0,021845	6,28	0,018
Su Debisi (L/d)*Nozul Çıkış Çapı (mm)	1	0,02184	0,021845	6,28	0,018
Error	31	0,10783	0,003478		
Total	39	1,78349			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0589776	93,95%	92,39%	89,93%

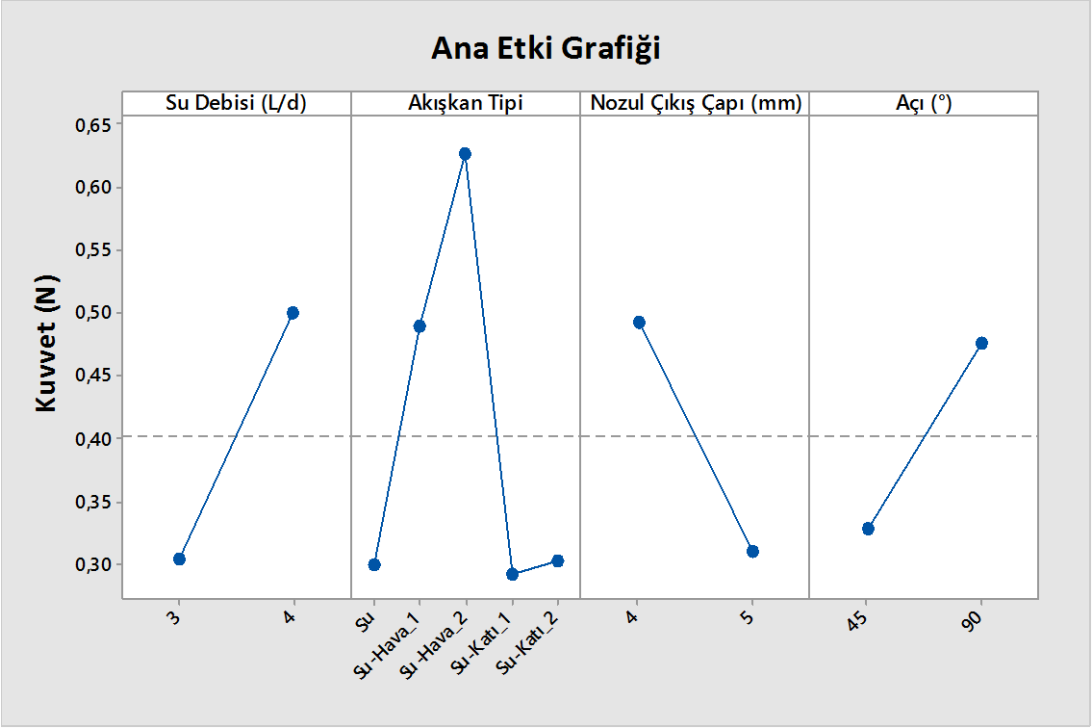
Şekil 5. 9 Jet kuvvetine etki eden parametrelerin istatistiksel analizi

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen kuvvet verileri de kir çıkarma performansı sonuçları gibi istatistiksel metotlar ile analiz edilmiştir. Kuvvet ölçüm deneylerinin analiz sonuçları parametrelerin jet kuvveti üzerindeki etkisini maksimum %5 risk alarak açıklayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.9'da görüldüğü üzere bütün parametrelere ve ikili etkileşimlerin *Pvalue* değerleri 0.05'ten küçüktür. Analiz sonucundan elde edilen bilgiye göre R-sq(adj) değeri incelenerek jet kuvvetini etkileyen parametreler (su debisi, nozul çıkış çapı, akışkan tipi ve açı) %92.39'unu açıklayan bir model ortaya konulmuştur. R-sq (adj) değeri %80'den büyük olduğu için parametrelerin kuvvet çıktısı üzerinde etkisinin olduğu yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 5. 10 Kuvvet ölçümünün olasılık dağılımı

Şekil 5.10'da kuvvet ölçüm analizinin olasılık grafiği gösterilmektedir. Analizden elde edilen *Pvalue* değerlerinin güvenilir olması için kalıntıların normal olarak dağılması gerekmektedir. Kalıntılar normal dağılmaktadır.

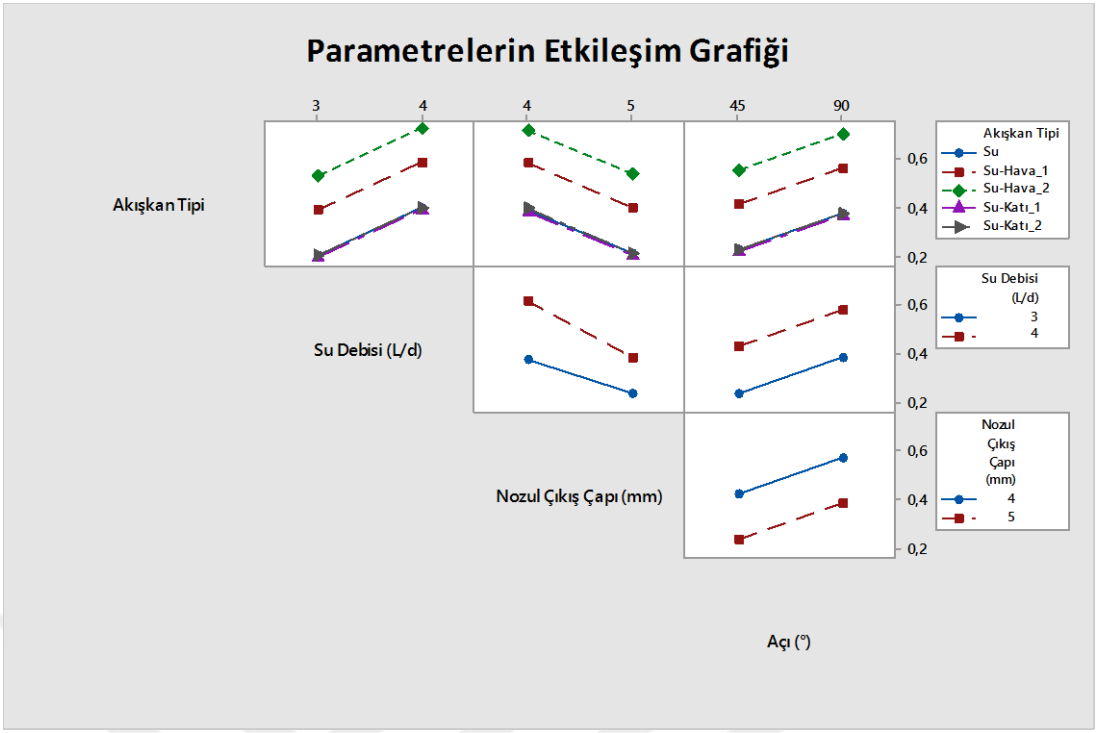


Şekil 5. 11 Jet kuvveti üzerindeki etkili parametrelerin ana etki grafiği

Şekil 5.11 incelendiğinde, parametrelerin seviyelerinin değişiminin etki yüzeyinde oluşan jet kuvveti üzerindeki etkileri görülmektedir. Grafikte X ekseni parametrelerin seviyelerini, Y ekseni etki yüzeyinde sensör tarafından ölçülen jet kuvvetini Newton cinsinden ifade etmektedir. Parametrelerin jet kuvveti üzerindeki etkilerinin büyüklüğü doğruların eğimi ile doğru orantılıdır. Buna göre jet kuvveti üzerinde en etkili parametre akışkan tipidir. Bu sonuç kir çıkarma performansı deneylerindeki sonuçlar ile uyum sağlamaktadır. Ana etki grafiği detaylı olarak incelenecek olursa;

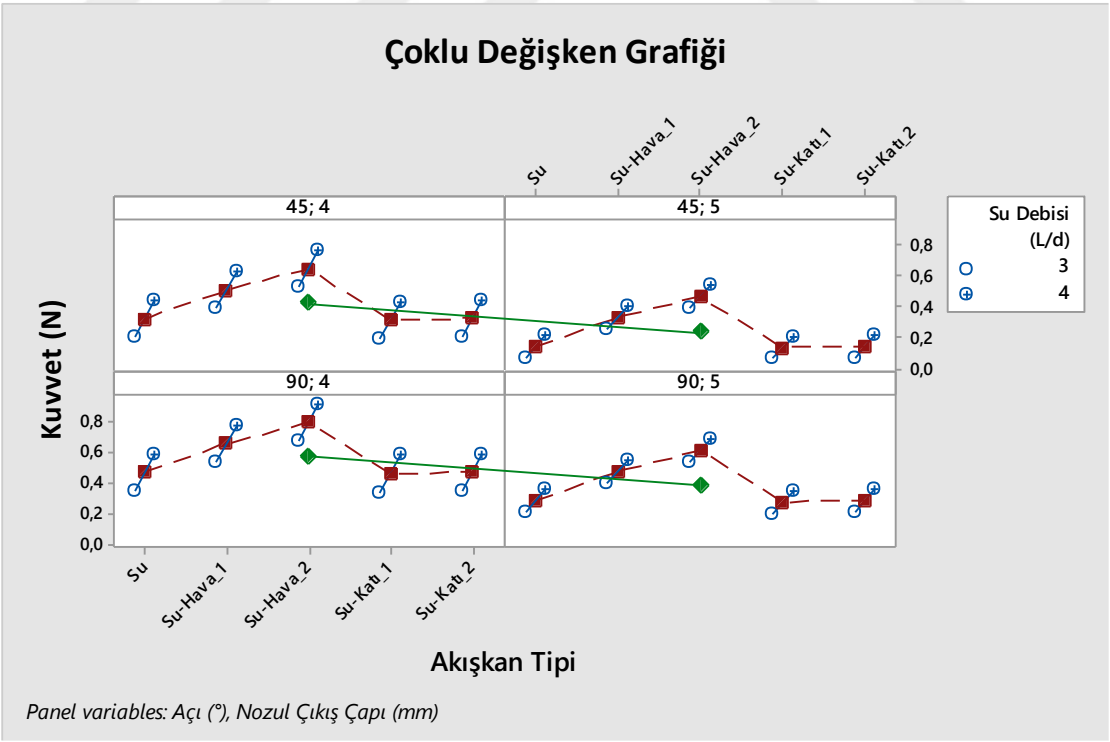
- Aynı deney şartlarında, su debisi arttığında etki yüzeyinde oluşan kuvvet değeri artmaktadır.
- Aynı deney şartlarında, sisteme eklenen ikinci faz etki etki yüzeyinde oluşan jet kuvvetini arttırmaktadır. Bu ifadenin detayında sisteme ikinci faz eklendiğinde hacimsel fraksiyonlara bağlı olarak nozulun bir kısmından su bir kısmında hava çıkmaktadır. Dolayısıyla sadece su kullanıldığı duruma göre etki yüzeyine ekstra momentum transfer edilecektir. Momentum değişiminden dolayı etki yüzeyinde oluşan kuvvet artmaktadır.
- Aynı deney şartlarında, nozul çıkış çapı artmasıyla jetin hızı azalacağı için etki yüzeyine daha az momentum transferi olacaktır. Bunun sonucunda etki yüzeyinde oluşan jet kuvveti azalmaktadır.
- Aynı deney şartlarında jet ile etki yüzeyi arasındaki açı arttığında yüzeye aktarılan momentumun normal bileşeninin değeri artacaktır. Jet ile etki yüzeyi arasındaki açı 90° olduğunda etki yüzeyinde oluşan kuvvet maksimum değerine ulaşmaktadır.

Jet kuvveti üzerinde Kir çıkarma performansı üzerinde akışkan tipi ve su debisi ve nozul çıkış çapı daha keskin bir etkiye sahiptir. Jet kuvvetine ait ana etki grafiği kir çıkarma performansı deneylerinde elde edilen ana etki grafiği ile benzer karakteristiğe sahiptir.



Şekil 5. 12 Parametrelerin etkileşim grafiği

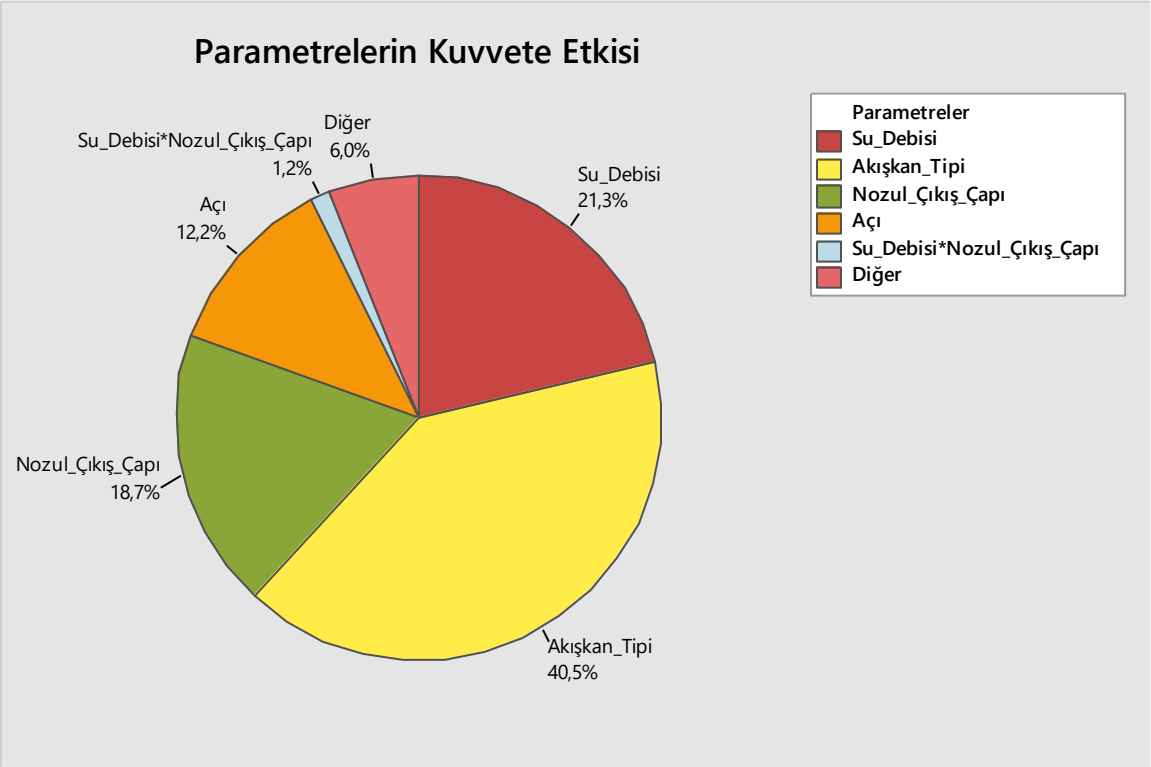
Şekil 5.12'de parametrelerin birbirleri ile etklileşimleri görülmektedir. Parametrelere ait doğrular birbirine paralel olduğu için bu parametreler arasında etkileşim yoktur.



Şekil 5. 13 Çoklu değişken grafiği

Şekil 5.13'te çoklu değişken grafiği gösterilmektedir. Jet kuvveti ölçüm deneyleri sonucunda;

- En yüksek jet kuvveti su debisinin 4 L/d, akışkan tipinin su-hava (su-0.25 m^3/h hava) nozul çıkış çapının 4 mm ve jet ile etki yüzeyi arasındaki açı 90° olduğunda 0,99 N olarak ölçülmüştür.
- En düşük jet kuvveti su debisinin 3 L/d, akışkan tipinin sadece su, nozul çıkış çapının 5 mm ve jet ile etki yüzeyi arasındaki açı 45° olduğunda 0,13 N olarak ölçülmüştür.

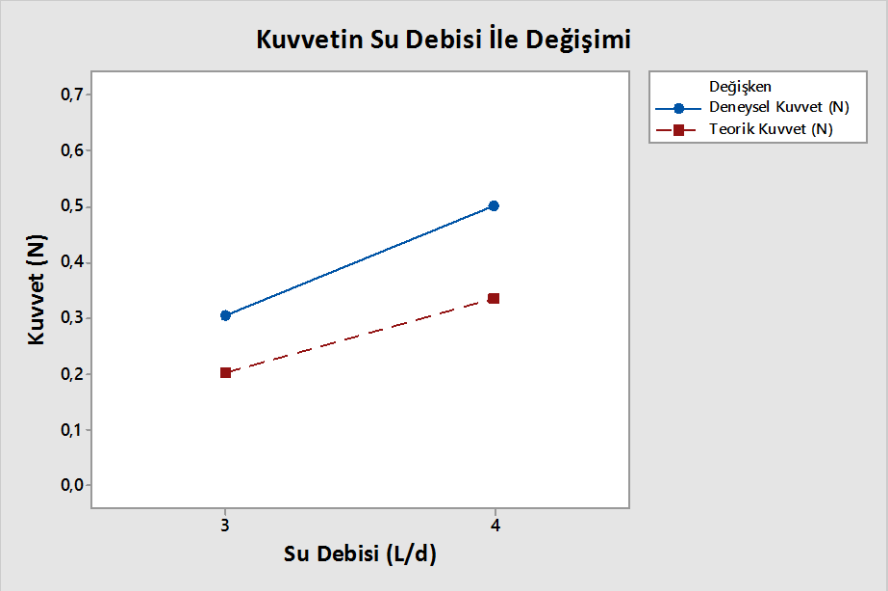


Şekil 5. 14 Jet kuvveti üzerinde etkili olan parametrelerin yüzdesel etki grafiği

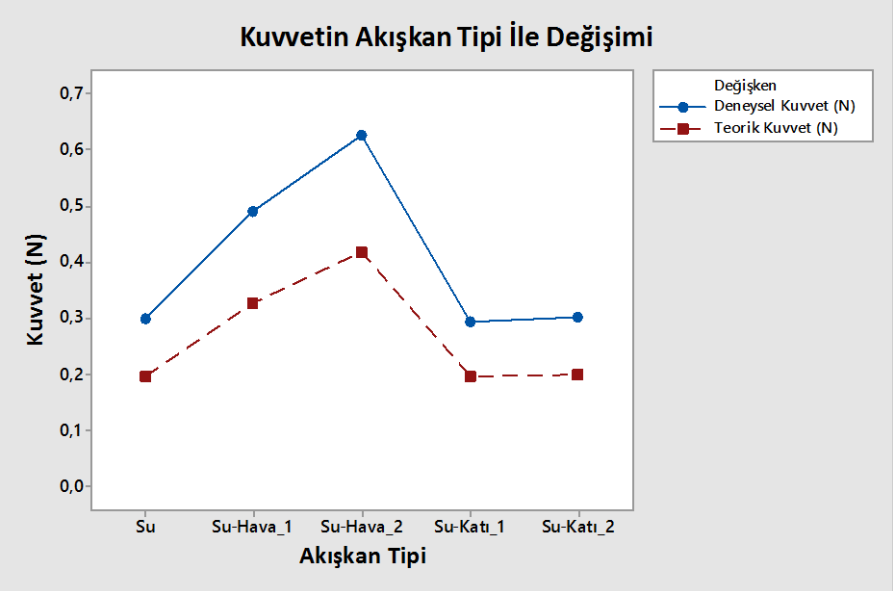
Şekil 5.14'te parametrelerin jet kuvveti üzerindeki etkilerinin yüzdesel dağılımı görülmektedir. Grafiğe göre akışkan tipinin yüzeyde oluşan jet kuvveti üzerindeki etkisi tekil olarak %40.5, su debisinin tekil etkisi %21.3, nozul çıkış çapının tekil etkisi %18.7, jet ile etki yüzeyi arasındaki açının tekil etkisi %12.2 olarak hesaplanmıştır. Diğer parametrelerin ve ikili etkileşimlerin etkisi %7.2'dir. Bu etkinin detayında %6 etki ile diğer etkiler ön plana çıkmaktadır.

Teorik jet kuvveti su için Eşitlik 3.8, su-hava akışkan çifti için Eşitlik 3.14 ve su-katı partikül akışkan çifti için Eşitlik 3.18 kullanılarak hesaplanmıştır. Jetin etki yüzeyinde oluşturduğu teorik jet kuvveti sensör tarafından ölçülen deneysel kuvvet ile karşılaştırılmıştır.

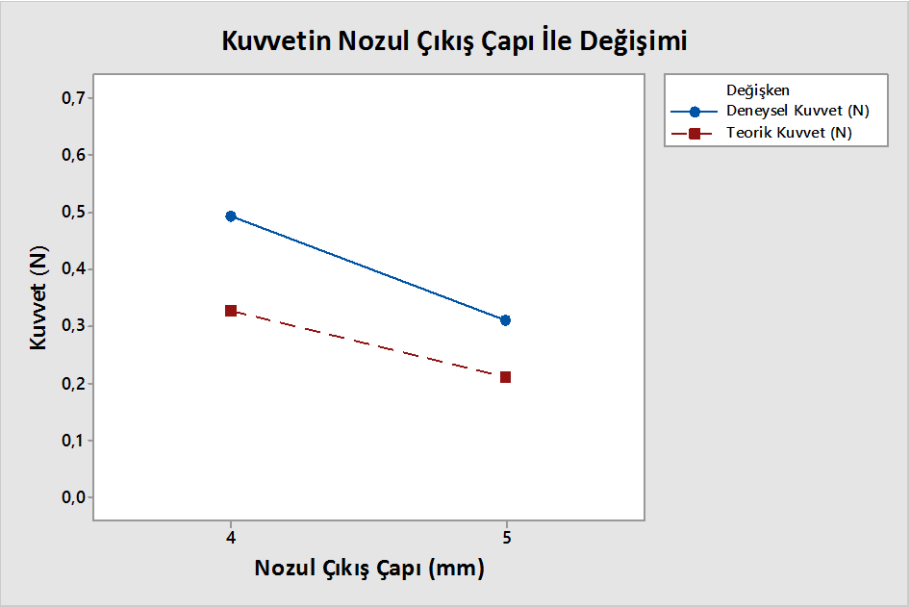
Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de sırasıyla deneysel ve teorik jet kuvvetinin su debisi, akışkan tipi, nozul çıkış çapı ve nozul çıkış çapı ile değişimi görülmektedir.



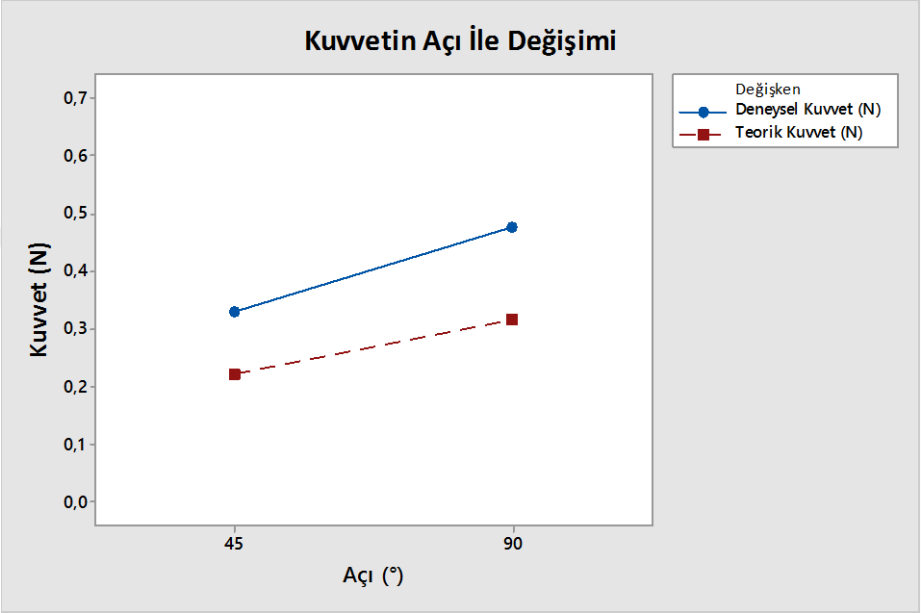
Şekil 5. 15 Jet kuvvetlerinin su debisi ile değişimi



Şekil 5. 16 Jet kuvvetlerinin akışkan tipi ile değişimi



Şekil 5. 17 Jet kuvvetlerinin nozul çıkış çapı ile değişimi



Şekil 5. 18 Jet kuvvetlerinin açı ile değişimi

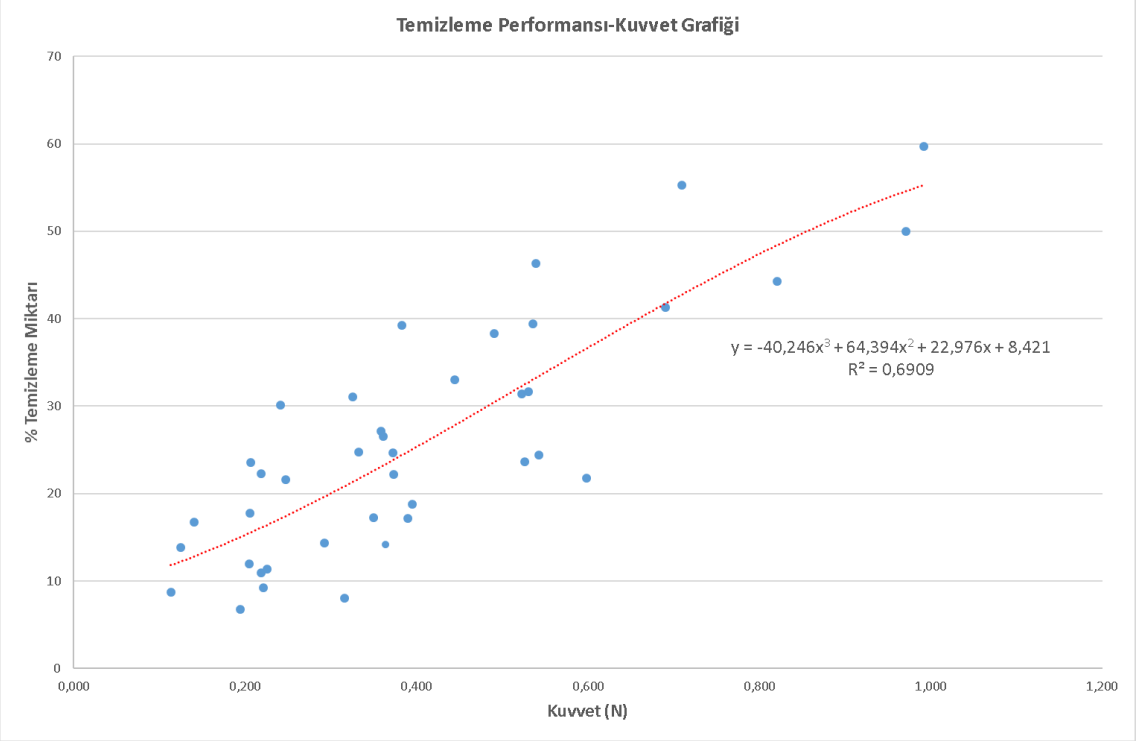
Deneysel kuvvet ve teorik kuvvete ait eğrilerin eğimleri ve karakteristikleri birbiri ile uyum göstermektedir.

Teorik hesaplamalar yapılırken sürekli ve uniform akış kabulü ile yapılmıştır. Deneysel ve teorik kuvvetler arasında farklılık olması beklenen bir sonuçtur. Çünkü jet sensörün sürekli aynı noktasına çarpmamaktadır. Bu yüzden kuvvet değerinde bir miktar farklılıklar meydana gelmektedir. Ayrıca hesaplamalarda jet yüzeye çarptıktan sonra simetrik olarak dağıldığı kabul edilerek yapılmıştır. Deneylerde bir miktar su ortama

sıçramaktadır. Simetrik bir dağılım elde etmek çok zordur. Bu durum deneysel kuvvetlerin teorik kuvvete göre bir miktar yüksek çıkmasına neden olmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kir çıkarma performansı ile jet kuvveti arasında Eşitlik 5.1'deki matematiksel model elde edilmiştir. Bu model kir çıkarma miktarı ile jet kuvveti arasındaki ilişkiyi %69.09 oranında açıklayabilmektedir. Temizleme performansı ve kuvvetin dağılım grafiği Şekil 5.19'da görülmektedir.

$$\%Temizleme = -40,25 \times (Kuvvet)^3 + 64,4 \times (Kuvvet)^2 + 22,98 \times (Kuvvet) + 8,42 \qquad (5.1)$$



Şekil 5. 19 Kuvvet-temizleme performansı dağılım grafiği

Tez çalışması kapsamında, genel olarak Sinner Çemberi 'ne göre yıkama prosesine etki eden kimyasal etki, sıcaklık etkisi, zaman etkisi ve mekanik etki ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Bunların yanı sıra iki fazlı akış, iki farklı fazın çarpıştırılması sonucu damlacık dağılımı ile ilgili de literatür araştırması yapılmıştır.

İncelenen konu başlıkları daha özele indirgendiğinde mekanik etkiye etki eden parametreler ile ilgili literatürler üzerinde durulmuştur. Mekanik etki parametreleri deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Bu minvalde su debisi, akışkan tipi, nozul çıkış çapı ve etki yüzeyi ile jet arasındaki açı gibi parametreler incelenmiştir.

Kir çıkarma testlerinde en etkili parametre akışkan tipidir. Akışkan tipi; su, su-hava ve su katı partikül olarak test edilmiştir. Sisteme hava eklendiğinde kir çıkarma performansı anlamlı bir şekilde iyileşmektedir. Bunun sebebinin suyun oluşturduğu momentuma ek olarak hava akışkanının da bir momentum katkısının olacağı, nozul çıkış kesit alanı nozul içerisindeki su ve havanın fraksiyonları ile orantılı olacak şekilde paylaşılacaktır. Dolayısıyla süreklilik prensibine göre akışkanların hızlarının artması sonucu etki yüzeyine aktarılan toplam momentum artmış olacaktır. Su-katı partikül akışkan olarak kullanıldığında su-hava kullanıldığı duruma benzer olarak, katı partiküller de suyun momentumuna ekstra bir momentum eklemektedir.

Kir çıkarma testlerinde ikinci en etkili parametre su debisidir. Aynı nozul çıkış çapında su debisi arttığında jetin hızı artacaktır. Hız da momentumun bir bileşeni olduğundan dolayı kir çıkarma performansını arttırmaktadır.

Etki yüzeyine aktarılan momentum arttıkça, etki yüzeyi üzerindeki tepki kuvveti de artacaktır. Tepki kuvvetinin artmasıyla birlikte kirlerin yüzeyden daha kolay uzaklaştırılması beklenmektedir.

Jet ile etki yüzeyi arasındaki açı değeri arttıkça kir çıkarma performansı artmaktadır. Bu çıktı literatür ile tutarlıdır. 90° olduğunda etki yüzeyine aktarılan momentum maksimum değerine ulaşmaktadır.

5.2 Öneriler

Gelecekte ıspanak haricindeki diğer standart kirlerde test edilerek, görüntü işleme metodu ile kir miktarının belirlenip belirlenemeyeceği incelenebilir.

Deneysel çalışmalar sırasında gözlemlenen suyun sıkışarak kesikli olarak jetlenmesi sonucu kirlerin daha iyi uzaklaştırıldığı gözlemlenmiştir. Buna benzer bir sistem kurulup bulaşık makinesi üzerinde test edilebilir.

Katı partiküllerin boyutlarının da kir çıkarma performansına etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Tutkak, E., (2010). Bulaşık Makinesi Enerji Tüketimi – Yıkama Performansı İlişkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[2] Tsouknidas, P. ve Zhang, X., (2010). "Dishwasher Improvement at ASKO, Developing a Simplified Test Method To Determine The Influence of Spray Arm Speed and Pressure", Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweeden.

[3] Patkavak, M., (2015). Spreyleme Yöntemi İle Yıkama İşleminde Mekanik Etkinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[4] Kaiser Kraft, Yüksek Basınçlı Temizlik Temelleri, https://www.kaiserkraft.com.tr/yuksek-bas%C4%B1ncl%C4%B1-temizlik, 16 Mart 2017.

[5] Kinloch A.J., (1988) "Adhesion and Adhesives", Science and Technology, Chapmen and Hall, Newyork.

[6] Adhezyon ve Kohezyon, http://www.eba.gov.tr/arama?q=Kohezyon, 16 Mart 2017.

[7] Rosen, M.J., Kunjappu, J.T., (2012). Surfactants and Interfacial Phenomena 4th Edition, Wiley, New York.

[8] Batıgöç, Ç., (2010). Yüzey Aktif Maddelerin Etkileşimlerinin ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

[9] Cox, M.F., (1986). "Surfactants for Hard Surface Cleaning: Mechanisms of Solid Soil Removal", Journal of the American Oil Chemists' Society, 63:559-565.

[10] Verma, S. ve Kumart, V., (1998). "Relationship Between Oil-Water Interfacial Tension and Oily Soil Removal In Mixed Surfactant Systems", Journal of Colloid and Interface Science.

[11] Who Invented the Dishwasher, http://www.sophisticatededge.com/who-invented-the-dishwasher.html, 18 Mart 2017.

[12] Dishwasher Put an End to Drudgery, http://www.xologymagazine.com/metro-retro/2015/10/16/dishwashers-put-an-end-to-drudgery-or-do-they, 18 Mart 2017.

[13] Livens, W.H., (1924). “Improvements in Apparatus for Washing Household Crockery and The Like”, Patent No: 579765, French Patent Institute, France.

[14] EN 50242 Standadı, “Evsel Kullanım için Elektrikli Bulaşık Makinaları – Performans Ölçüm Metotları” (*Electric Dishwashers For Household Use - Test Methods For Measuring The Performance*).

[15] Arçelik Bulaşık Makineleri, www.arcelik.com/bulaşıkmakinası, 18 Mart 2017.

[16] Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP), (2011). Bulaşık Makineleri, 522EE0109, Ankara.

[17] Arçelik A.Ş., (2006). Bulaşık Makinesi Ürün Detayları Dökümanı, Bulaşık Makinesi İşletmesi, Ankara .

[18] Mendi, F. ve Külekçi, M., (1999). “İmalatta Su Jeti Uygulamalarının Değerlendirilmesi”, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

[19] Barnea, D., Luninski, Y., Taitel, Y., (1983). “Flow Pattern In Horizontal and Vertical Two Phase Flow In Small Diameter Pipes”, The Canadian Journal of Chemical Engineering.

[20] Noé Pinto del, C., (2014). Analysis of Two-Phase Flow Pattern, Brno University of Technology, Czech Rebuplic.

[21] Fossa, M., Guglielmini, G., (1998). “Dynamic Void Fraction Measurements In Horizontal Ducts with Sudden Area Contraction”, International Journal of Heat and Mass Transfer, 41:3807-3815.

[22] Ottens, M., Hoefsloot, H.C.J. and Hamersma, P.J., (2001). “Correlatıons Predıctıng Lıquıd Hold-Up and Pressure Gradıent In Steady-State (Nearly) Horızontal Co-Current Gas-Lıquıd Pipe Flow “, Trans IChemE, Vol 79, Part A.

[23] Huang Z., Xie D., Zhang, H. and Li, H., (2005). “Gas–Oil Two-Phase Flow Measurement Using An Electrical Capacitance Tomography System And a Venturi Meter”, Flow Measurement and Instrumentation, 16:177–182.

[24] Spedding, P.L., Benard, E. and Donnelly, G.F., (2006). “Prediction of Pressure Drop In Multiphase Horizontal Pipe Flow”, International Communications in Heat and Mass Transfer, 33: 1053–1062.

[25] Reis, E.D., Goldstein, L., (2008). Barnea D., Luninski Y., Taitel Y. (1983). “On The Measurement Of The Mass Flow Rate of Horizontal Two-Phase Flows In The Proximity of The Transition Lines Which Separates Two Different Flow Patterns”, Flow Measurement and Instrumentation, 19: 69–282

[26] Sanchis, A., Johnson, G.W., Jensen, A., (2011). “The Formation Of Hydrodynamic Slugs By The Interaction Of Waves In Gas–Liquid Two-Phase Pipe Flow”, International Journal of Multiphase Flow, 37:358–368.

[27] Pacurar, C.B., Guigui, C., Line, A. and Pain, A.T., (2011). “Behaviour of A Large Bubble Flowing Through a Sudden Constriction Between a Cylindrical Pipe and A Rectangular Cross Section Channel”, Chemical Engineering Research and Design, 89:921–929.

[28] Manmatha, K.R., Sukanta, K.D., (2012). “Flow of Single-Phase Water and Two-Phase Air-Water Mixtures Through Sudden Contractions in Mini Channels”, International Journal of Engineering Research and Applications, 2:757-763.

[29] Magalhães, G.R., Gonçalves, G.F.N., (2013). “An Experimental Investigation of The Effects of Gas Solubility On The Properties of Horizontal Slug Flow”, International Journal of Multiphase Flow, 50:33–40.

[30] Xing, L., Geng, Y. and Hua, C., (2014). “A Combination Method For Metering Gas–Liquid Two-Phase Flows of Low Liquid Loading Applying Ultrasonic and Coriolis Flowmeters”, Flow Measurement and Instrumentation, 37:135–143.

[31] Swanand, M.B., Afshin, J.G., (2014). “A Flow Pattern İndependent Drift Flux Model Based Void Fraction Correlation For A Wide Range of Gas–Liquid Two Phase Flow”, International Journal of Multiphase Flow, 59:186–205.

[32] Zhai, L.S., Jin, N.D., Gao, Z.K., Zhao, A., (2014). “ Cross-Correlation Velocity Measurement of Horizontal Oil–Water Two-Phase Flow By Using Parallel–Wire Capacitance Probe”, Experimental Thermal and Fluid Science, 53:277–289.

[33] Deniz, E. ve Eskin, N., (2015). “Hydrodynamic Characteristics of Two-Phase Flow Through Horizontal Pipe Havıng Smooth Expansion”, Journal of Thermal Science and Technology, 35:1-9.

[34] Taylor, S.G., (1966). “Oblique İmpact of A Jet On A Plane Surface” Proceedings of The Royal Society, 1110:96-100.

[35] Mi, J., Nathan, G.J., Luxton R.E., (2000). “Centreline Mixing Characteristics of Jets From Nine Differently Shaped Nozzles”, Experiments in Fluids, 28:93-94.

[36] Miller, E., Gibson, B., McWilliams, E., Rothstein, J.P., (2005). “Collision of Viscoelastic Jets and The Formation of Fluid Webs”, Applied Physics Letters.

[37] Crafton, J., Carter, C., Elliott, G. and Sullivan, J., (2006). “The Impingement of Sonic and Sub-Sonic Jets Onto A Flat Plate At Inclined Angles”, Experimental Fluids, 41:699–710.

[38] Sertore, D., Fusetti, M., Michelato, P., Pagani, C. and Pierini, P., (2006). “High Pressure Rinsing Water Jet Characterization“, Proceedings of EPAC06, 18-22. Edinburgh, Scotland.

[39] Çelik, N., (2006). Optimum Lüle Şeklinin Çarpan Jet Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

[40] Kibar, A., Karabay, H, Yiğit, K.S., Uçar, I.O. ve Erbil, H.Y., (2010). “Experimental Investigation of Inclined Liquid Water Jet Flow Onto Vertically Located Superhydrophobic Surfaces”, Experiments in Fluids, 49:1135–1145.

[41] Guha, A., Ronald, M.B., Balachandar, R., (2010). “An Experimental and Numerical Study of Water Jet Cleaning Process”, Journal of Materials Processing Technology, 211:610-618.

[42] Yükselentürk, Y., (2011). Dairesel Ve Dairesel Olmayan Jet Akım Alanlarının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[43] Teamah, M.A., Ibrahim, M.K., Dawood, M.M.K. and Aleem, E.A., (2012). “Experimental Investigation for Hydrodynamic Flow Due to Obliquely Free Circular Water Jet Impinging on Horizontal Flat Plate”, European Journal of Scientific Research, 60-75.

[44] Ching-Yu, H., Cho-Chung, L., Tso-Liang, T. and Anh-Tu, N., (2013). “A Numerical Study On High-Speed Water Jet Impact”, Ocean Engineering, 72:98-106.

[45] Patkavak, M., Koç, Y., (2014). “An Experimental Study of Effective Factors On Soil Removal Efficiency In Cleaning Process By Solid Stream Jet Nozzles”, Journal of Thermal Engineering, 1:1-2.

[46] Mehegan, P.F., Campbell, D.T. and Schenerman, G., (1970). “Investigation of Gas Augmented Injectors”, NASA, California.

[47] Hoehn, F.W., Rupe, J.H., Sotter, J., (1971). “Liquid-Phase Mixing of Bipropellant Doublets”,California Institute Of Technology, 32:1546.

[48] Rajaratnam, N., Albers, C., (1998). “Water Distribution In Very High Velocity Water Jets In Air”, Journal of Hydraulic Engineering, 124:647-650.

[49] Hede, P.D., Bach, P., Jensen, A.D., (2008). “Two-Fluid Spray Atomisation and Pneumatic Nozzles For Fluid Bed Coating/Agglomeration Purposes: A Review”, Chemical Engineering Science, 63:3821-3842.

[50] Balık, G., (2010). The Use Of Air Atomızıng Nozzles To Produce Sprays With Fine Droplets, Doktora Tezi, Von Karman Institute, Belgium.

[51] Watanawanyoo, P., Hirahara, H., Mochida, H., Furukawa, T., Nakamura, M., Chaitep, S., (2011). “Experimental Investigations On Spray Characteristics In Twin-Fluid Atomizer”, Procedia Engineering, 24:816 – 822.

[52] Madan, M., Anand T.N.C., and Ravikrishna R.V., (2012). “Experimental Spray Characterisation of Air-Assisted Impinging Jets”, International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Heidelberg, Germany.

[53] Rakesh, P., (2012). “Effect of Variable Gas Orifice Geometry On Gas-Liquid Impinging Injectors”, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.

[54] Sagou, K., (2003). “Dishwasher”, Toshiba Corp., Patent No: JP2005000511 (A).

[55] Maatkamp, H., Winters, A.P., (1996). “Improvıng Cleaning Using Water Spray To Dislodge Dirt From Surface”, HT Research, Patent No: NL1004462 (C1).

[56] Choi, Y., Kim, D., (2012). “Dishwasher”, Patent No: US2014069469 (A1).

[57] Mitchell, A.J., Gnadinger, E.W., (2011). “Dishwasher Spray Arm Assembly”, Patent No: US2012325277 (A1).

[58] Matsuda, K., Matsumoto, Y., (2011). “Washing Water Injection Device”, Yamaguchi Prefectural Technology Institue, Patent No: JP2013086084 (A).

[59] Çengel, Y. ve Cimbala, J., (2004). “Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications”, New York, McGraw-Hill.

[60] Interlink Electronics, “Force Sensing Resistor Data Sheet”.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Furkan BAYAV

Doğum Tarihi ve Yeri : 26.03.1991 – Adapazarı/Sakarya

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : furkanbayav@outlook.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Fen Bilimleri	Adapazarı Atatürk Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
08.2015 - …	Arçelik A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
05.2014 – 05.2015	Türk Silahlı Kuvvetleri Harp Akademileri	Makine Mühendisi
06.2013 – 08-2013	Türk Uzay ve Havacılık Sanayi A.Ş - TAI	Uzun Dönem Stajyer
06.2012 – 07.2012	Federal Mogul A.Ş.	Stajyer

YAYINLARI

Bildiri

1. Bayav, F., Ağra, Ö., “Experimental Study of Two Phase Flow Jet Force and Stain Removal Performance In Cleaning Process”, International Conference on Energy and Thermal Engineering (ICTE’17), 440-445, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

ÖDÜLLERİ

1. Arçelik A.Ş Patent Ödülü – 2017
2. Yüksek Onur Subayı (Türk Silahlı Kuvvetleri) – 2014