

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAPALI SİSTEM YIKAMA İŞLEMİNDE MEKANİK ETKİNİN
TEORİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YUSUF KOÇ

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HASAN ALPAY HEPERKAN**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAPALI SİSTEM YIKAMA İŞLEMİNDE MEKANİK ETKİNİN
TEORİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Yusuf KOÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 30.12.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yar. Doç. Dr. Alper ÖZPINAR
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Prof. Dr. Zeynep Duriye BİLGE
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Derya Burcu ÖZKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yar. Doç. Dr. Ebru MANÇUHAN
Marmara Üniversitesi

Bu tez çalışmasının deneysel ve nümerik çalışmaları, Arçelik AŞ Merkez ARGE altyapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

ÖNSÖZ

Yıkama performansının temelinde dört parametre bulunmaktadır: Termal etkiler, kimyasal etkiler, mekanik etkiler ve süre. Bu dört parametre birbiriyle etkileşim halindedir ve birbirinin değişiminden etkilenmektedir. Termal etki, ortamın sıcaklığının artırılmasıyla gerçekleştiği için enerji tüketimine; yıkama sıvısına kimyasal madde eklenmesi, kimyasal atık miktarının artmasına; yıkama süresini uzatılması ise zaman kaybına neden olmaktadır. Bu parametrelerin etkinliğinin azaltılması istendiğinde, mekanik etkinin artırılması gerekmektedir. Bu sebeple yıkama işlemindeki mekanik etkinin alt parametreleriyle tanımlanması ve yıkama performansı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla bu doktora tezi kapsamında yıkama işleminde mekanik etki deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

Maddi manevi desteklerini hiçbir zaman üzerimden eksik etmeden, büyük özveride bulunarak beni yetiştiren ve bugünlere gelmemi sağlayan, AİLEME en içten şükranlarımı sunarım.

Bu doktora tez çalışmasına olanak sağlayan, yorumları ve eleştirileriyle çalışmaya yön veren, çalışmanın farklı aşamalarında bilgi ve tecrübesini paylaşan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Hasan HEPERKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Öneri ve yorumlarıyla çalışmama destek olan hocalarım Sayın Yar. Doç. Dr. Alper ÖZPINAR ve Sayın Doç. Dr. Özden AĞRA'ya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışma konusu seçiminde beni yönlendiren ve çalışmama olanak sağlayan Sayın Dr. Levent AKDAĞ'a, çalışmamı destekleyen ve beni bu yönde teşvik eden Sayın Dr. Faruk BAYRAKTAR'a, deneysel çalışmalardaki katkılarından dolayı Sayın Mert PATKAVAK ve Sayın Çetin LALE'ye, nümerik çalışmalardaki katkılarından dolayı Sayın Murat KANTAŞ ve Sayın Caner GERMİYANLIOĞLU'na teşekkür ederim.

Her türlü problemimde yanımda olan, teknik ve manevi desteklerini esirgemeyen tüm Arçelik Arge Akışkanlar Dinamiği Teknolojileri ve Arçelik Arge Temizleme Teknolojileri Ailelerine teşekkür ederim.

Çalışmaların boyunca manevi desteğiyle hep yanımda olan Beria Işık CANTÜRK'e teşekkür ederim.

Aralık, 2015

Yusuf KOÇ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGELİSTESİ.....	viii
KISALTIMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	x
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	xi
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Temizleme İşlemine Ait Genel Bilgiler	3
2.1.1 Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılması.....	5
2.1.1.1 Sıvı Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılması	6
2.1.1.2 Katı Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılması.....	7
2.1.1.3 Otomatik Bulaşık Makinaları.....	9
2.1.2 Bulaşık Makinasının Temel Bölümleri	9
2.1.3 Bulaşık Makinasının Çalışma Prensibi.....	12
2.2 Deney Tasarımı.....	13
2.2.1 Ölçüm belirsizliği analizi.....	15
2.2.2 Deney Tasarımı Aşamaları	15
2.2.3 Hipotez Test.....	21
2.2.4 Korelasyon	22
2.2.5 Regresyon	22

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	23
3.1 Kir Yüzey Etkileşimi	23
3.2 Su Jeti İle Kir Çıkarma İşlemleri	36
3.2.1 Su Jetinin Oluşumu	37
3.2.2 Su Jetinin Yapısı	38
3.2.2.1 Birinci Bölge	38
3.2.2.2 Esas Bölge	39
3.2.2.3 Son Bölge	39
3.2.3 Nozullar	39
3.2.3.1 Nozul Seçim Kriterleri	41
3.2.4 Su Jeti Profili Üzerine Açık ve Mesafe Etkisi.....	41
3.3 Patent Araştırması.....	58

BÖLÜM 4

TEORİK ÇALIŞMALAR.....	60
4.1 Lineer Momentum Eşitliği	60
4.2 Yüzeğe Etkiyen Kuvvetin Açıkla Değişiminin Hesaplanması.....	62
4.3 Yüzeğe Etki Eden Kuvvetin Bernoulli Eşitliği İle Hesaplanması	63

BÖLÜM 5

NÜMERİK ÇALIŞMALAR.....	66
5.1 Çalışmanın Amacı	66
5.2 Kullanılan Model ve Sınır Şartları	66
5.2.1 Fiziksel Model ve Kullanılan Denklemler	66
5.2.2 Kullanılan Türbülans Modeli.....	67
5.2.3 VOF (Volume of Fluid) Çoklu faz modeli.....	67
5.2.4 Başlangıç şartları (Initialization)	68
5.2.5 Sınır Şartları	69
5.2.5.1 Hız Girişi.....	69
5.2.5.2 Basınç Çıkışı	69
5.3 Analizler.....	69
5.3.1 1 Numaralı Model.....	70
5.3.2 2 Numaralı Model.....	74
5.3.3 3 numaralı model	79
5.3.4 4 Numaralı model	83

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	88
6.1 Deneyin Amacı	88
6.2 Deney Düzenekinin Tarifi	88
6.3 Deney Düzenekinin Kurulması	90
6.3.1 Nozul Tasarımı	90
6.3.2 Gövde Tasarımı.....	92
6.3.3 Su Tankının Tasarımı.....	93

6.3.4	Üst Kapağın ve Etki Yüzeyinin Tasarımı	95
6.3.5	Kuvvet Ölçüm Cihazının Belirlenmesi	96
6.3.6	Pompanın Seçilmesi.....	96
6.4	Ölçüm Belirsizliği Analizleri, Kuvvet Ölçümü ve Kir Çıkarma Deneyleri	97
6.4.1	Ölçüm Belirsizliği Analizleri.....	98
6.4.2	Kuvvet Ölçümü Deneyleri	100
6.4.3	Teorik, nümerik ve deneysel sonuç kıyaslamaları.....	104
6.4.4	Kir Çıkarma Deneyleri	105
6.4.4.1	İmaj Görselleme ve İşleme Çalışmaları.....	105
6.4.4.2	Kir Çıkarma Ölçüm Belirsizliği Analizi.....	106
6.4.4.3	Kir Çıkarma Deney Tasarımı.....	108
6.4.4.4	Kir Çıkarma Deney Sonuçları.....	110
6.4.4.5	Kir Çıkarmanın Modellenmesi	116
6.4.4.6	Kir Çıkarma İle Kuvvet Arasındaki İlişkinin İncelenmesi	116
6.4.4.7	Kuvvet İle Titreşim Arasındaki İlişkinin İncelenmesi.....	118
6.4.4.8	Kir Çıkarma İle Titreşim Arasındaki İlişkinin İncelenmesi	121
6.4.4.9	Kuvvet İle Reynolds Arasındaki İlişkinin İncelenmesi	124
6.4.4.10	Kir Çıkarma İle Reynolds Arasındaki İlişkinin İncelenmesi.....	125
6.4.4.11	Yüzey İnceleme Çalışmaları	126
BÖLÜM 7		
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		129
KAYNAKLAR.....		135
EK-A		
MİNİTAB ANALİZLERİ.....		139
A-1	Ölçüm Belirsizliği İlişki Çizelgesi.....	138
A-2	Deney Düzeneği için Ölçüm Belirsizliği Analiz Görüntüsü	138
A-3	Deney tasarımı test sonuçları hipotez test değerleri	139
A-4	Deney tasarımı test sonuçları hipotez test değerleri sadeleştirilmiş tablo.....	139
A-5	Kir Plakası için Ölçüm Belirsizliği Analiz Görüntüsü.....	140
A-6	Kir çıkarma regresyon analizi sonuç ekranı 1	140
A-7	Kir çıkarma regresyon analiz sonuç ekranı 2	141
A-8	Kir çıkarma sadeleştirilmiş regresyon analiz sonuç ekranı.....	141
A-9	Kir çıkarmanın formülü.....	142
A-11	Kir çıkarma ve kuvvet arasındaki korelasyon	148
EK-B		
DAĞILIM GRAFİKLERİ.....		150
ÖZGEÇMİŞ.....		159

SİMGE LİSTESİ

θ	Temas açısı
γ	Yüzey gerilimi / yüzey enerjisi / van der Waals etkileşimi
t	zaman
S	yayılm katsayısı
Ca	Kalsiyum
Mg	Magnezyum
Na	Sodyum
W	iş
W	Watt (güç birimi)
σ	Standart sapma, adezif dayanım
%R&R	Yüzde yeniden üretilebilirlik ve tekrarlanabilirlik
k	Parametre sayısı
H_0	Sıfır hipotez
H_A	Alternatif hipotez
α	Risk, parçacık yüzey arası mesafe
P	Sistemin riski
τ	Sistem üzerinde etkili / etkisiz faktör
r	Korelasyon katsayısı
SS	Kareleri toplamı
R^2 , R-sq	Regresyon katsayısı
β_0	Kesim noktası
β_1	Eğim
ϵ	Hata, Dağılım oranı
y_i	Gözlenen değer
\bar{y}	Ortalama değer
\hat{y}_i	Yerini tutan değer
n	Değişken sayısı
W	Temizlemek için gereken iş(J)
V	Kirin hacmi
A	Yüzey alanı, Kesit alanı, Patent başvurusu
x	Kir kalınlığı
ω	Kir-yüzey arası bağların kopartılması için gereken iş (birim yüzey için) (J/m ²)

φ_v	Kirler arası bağları kopartmak için gereken iş (birim hacim için, plastik şekil verme işi gibi düşünülebilir) (J/m ³)
Ra	Pürüzlülük
T	Sıcaklık
H	Hakamer sabiti
d	yüzey parçacık çapı
R	Kir çıkarma
S _a	Yüzey pürüzlülüğü
m	Kütlesel debi
C _v	Hız katsayısı
P	Basınç
ρ	yoğunluk
A	kesit alanı, kir çıkarma sayısı
Zr	Radyal fim sıçrama bölgesinin $\theta=0$ noktasındaki uzunluğunu
2R	Radyal film sıçrama bölgesinin çapı
Nu	Nusselt
Re	Reynolds
W	hız
N	Newton
F	Kuvvet
A	İvme
V	hacimsel debi
v	Akışkanın ortalama hızı
K_p	Açısal bağımlılık faktörü
\underline{g}	Yerçekimi
$\underline{\tau}$	Gerilme tensörü
μ	Viskozite
I	Birim tensörü
K	Kinetik enerji
G _k	Ortalama basınç gradyeni
G _b	Türbülans kinetik enerjisi
Y _M	Genleşme dalgalanması
S _{a,q}	Kütle üretimi
NaOH	Sodyum hidroksit
B	Patent

KISALTMA LİSTESİ

AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
CFD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
CFT	Center for Testmaterials
DOE	Design of Experiment – Deney tasarımı
EN	Avrupa Standartları
FDG	Scanning Fluid Dynamic Gauging
HPR	Yüksek basınçlı jetleme sistemi
LPD	Local Phosphorescence Detection
PC	Polikarbonat
PTFE	Politetrafloretillen
SEM	Taramalı elektron mikroskopu
SLA	Stereolithography
SLS	Selective Laser Sintering
USDA	United States Department of Agriculture
VOF	Çok fazlı akış

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Yıkama işleminde yer alan faktörler [3].....	4
Şekil 2. 2 Kir uzaklaştırma mekanizmaları [3]	5
Şekil 2. 3 Kirlerin sınıflandırılması [3].....	6
Şekil 2. 4 Sıvı kir ve yüzey arasındaki temas açısı gösterimi [3]	6
Şekil 2. 5 $\theta > 90^\circ$ durumunda kirin yüzeyden tamamen uzaklaştırılması [1]	7
Şekil 2. 6 $\theta < 90^\circ$ durumunda kirin yüzeyden koparılarak kısmen uzaklaştırılması [1]	7
Şekil 2. 7 Bulaşık makinası bölüm ve aksamaları [5].....	9
Şekil 2. 8 Bulaşık makinası – Yıkama grubu [5]	10
Şekil 2. 9 Bulaşık makinası – Kazan grubu [5]	11
Şekil 2. 10 Bulaşık makinasının hidrolik şeması [5].....	13
Şekil 2. 11 İki faktörlü ilişki grafiği [10]	19
Şekil 3. 1 Yıkama performansını etkileyen faktörler (makinede yıkama) [12].....	24
Şekil 3. 2 Yıkama performansını etkileyen faktörler (elde yıkama) [12].....	25
Şekil 3. 3 Elektrostatik çekimin gösterilişi [13]	25
Şekil 3. 4 Yüzeydeki kirin gösterilişi [13]	26
Şekil 3. 5 Kirin yüzeye geçmesi [13]	26
Şekil 3. 6 Adezyon kohezyon kuvvetleri algılama deney düzeneği [14]	27
Şekil 3. 7 Domates salçası kiri için hidrasyon zamanının kir çıkarma için gerekli enerjiye etkisi [14]	27
Şekil 3. 8 Yumurta albumin için ısıtma süresinin adezyon ve kohezyon kuvvetlerine etkisi [14]	28
Şekil 3. 9 Ölçüm kademeleri ve ölçüm sırasında zamanla kuvvetin değişimi [15].....	29
Şekil 3. 10 Fırınlama süresinin adezyon kuvveti değişimine etkisi [15]	30
Şekil 3. 11 Hidrasyon sıcaklığının adezyon kuvveti değişimine etkisi [15].....	30
Şekil 3. 12 Farklı sıcaklık ve akış debisinin kir çıkarma üzerindeki etkisi [15]	31
Şekil 3. 13 Yüzey pürüzlülüğüne göre van der Waals kuvveti değişimi [18].....	32
Şekil 3. 14 Farklı tip yüzeylerin, farklı pürüzlülük değerinde adezyon kuvveti değişimi	33
Şekil 3. 15 Surfaktan etkisinin adezyon kuvvetiyle ilişkisi [18]	34
Şekil 3. 16 Sıcaklığın adezyon kuvvetiyle ilişkisi [18]	34
Şekil 3. 17 Yüzeydeki parçacık boyutunun kir çıkarma üzerine etkisi [35]	35
Şekil 3. 18 Deterjanın kir üzerine olan etkisi [3]	37
Şekil 3. 19 Orifisten akan bir jet kesitindeki dinamik basınç dağılımı [21]	38
Şekil 3. 20 Su jetinin yapısı [21]	38

Şekil 3. 21 Örnek nozul (lüle) gösterimi [22].....	40
Şekil 3. 22 Kesitleri farklı borudaki akışan [22]	40
Şekil 3. 23 Kullanılan test düzeneği [24]	42
Şekil 3. 24 Farklı uzaklıklarda görüntülenen etkiler [24]	42
Şekil 3. 25 HPR jetleme sistemi etki yüzeyleri [25]	43
Şekil 3. 26 “B” durumundaki kuvvet açısı grafiği [25]	44
Şekil 3. 27 Yüzey temizleme performansının jetleme açısıyla olan ilişkisi [26]	45
Şekil 3. 28 Çeşitli jet hızlarında frekans-temizleme performansı ilişkisi [26]	45
Şekil 3. 29 Film kalınlığı ölçüm test düzeneği [36]	46
Şekil 3. 30 Jet geliş açısına bağlı olarak yüzeye çarpan suyun hareketi [36]	47
Şekil 3. 31 Kir çıkarma test düzeneği [37]	48
Şekil 3. 32 Hidrolik sıçrama bölgesi ve jetlemenin yoğun olduğu bölge [37]	48
Şekil 3. 33 Hidrolik sıçrama bölgesi alanı ile temizlenen alanın ilişkisi [37].....	49
Şekil 3. 34 Nozul mesafesi ile temizlenen alanın ilişkisi [37]	49
Şekil 3. 35 Su basıncı ile temizlenen alanın arasındaki ilişki [37].....	50
Şekil 3. 36 Hareketli jet ile temizlenen bölgenin gösterimi [38].....	51
Şekil 3. 37 Jet hareket hızı ile temizlenen maksimum mesafe / hidrolik sıçrama yarıçapı [38]	52
Şekil 3. 38 Su jetinin şeffaf yüzeye farklı açılarda püskürtülmesi [39].....	53
Şekil 3. 39 Film sıçrama bölgesinin gösterimi [39].....	53
Şekil 3. 40 Cam ve perspex yüzeye gönderilen su jetinin debisiyle radyal akış bölgesi çapı ve Z_r değerinin değişimi (45° için) [39]	54
Şekil 3. 41 Cam ve perspex yüzeye gönderilen su jetinin debisiyle radyal akış bölgesi çapı ve Z_r değerinin değişimi (60° için) [39]	54
Şekil 3. 42 Kirin çıkma evreleri [41].....	55
Şekil 3. 43 Deney düzeneğinin şematik gösterimi [41].....	56
Şekil 3. 44 Farklı debilerde verilen su için zamanla boru içi kir çıkarma grafiği [41]	56
Şekil 3. 45 Farklı sıcaklıklarda verilen su için zamanla boru içi kir çıkarma grafiği [41]..	57
Şekil 3. 46 Patent ve başvurularının firmalara göre dağılımı	58
Şekil 3. 47 İncelenen patent ve başvurularının yıllara göre dağılımı	59
Şekil 4. 1 Yüzeye etkiyen kuvvet	62
Şekil 5. 1 Kurulan model	69
Şekil 5. 2 1 numaralı model geometisi.....	70
Şekil 5. 3 1 numaralı model geometik özellikleri	70
Şekil 5. 4 1 numaralı model ağ yapısı.....	71
Şekil 5. 5 1 numaralı model merkez çizgisi boyunca hız değişimi.....	72
Şekil 5. 6 1 numaralı modelin su hacim kesrinin merkez düzlemdeki değişimi ($y-z$ düzlemi $x=0$)	72
Şekil 5. 7 1 numaralı modelin hız vektörlerinin merkez düzlemdeki değişimi	73
Şekil 5. 8 1 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değişimi	73
Şekil 5. 9 1 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değişimi (3 m/s'den daha yüksek hızlar için)	74
Şekil 5. 10 2 numaralı model geometrik özellikleri.....	74
Şekil 5. 11 2 numaralı model ağ yapısı.....	75
Şekil 5. 12 2 numaralı model merkez çizgisi boyunca hız değişimi.....	76

Şekil 5. 13 2 numaralı modelin su hacim kesrinin merkez düzlemdeki değişimi (y-z düzlemi $x=0$)	76
Şekil 5. 14 2 numaralı modelin hız vektörlerinin merkez düzlemdeki değişimi	77
Şekil 5. 15 2 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değişimi	77
Şekil 5. 16 2 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değişimi (3 m/s'den daha yüksek hızlar için)	78
Şekil 5. 17 3 numaralı model geometrik özellikleri	79
Şekil 5. 18 3 numaralı model ağ yapısı	79
Şekil 5. 19 3 numaralı model merkez çizgisi boyunca hız değişimi	80
Şekil 5. 20 3 numaralı modelin su hacim kesrinin merkez düzlemdeki değişimi (y-z düzlemi $x=0$)	81
Şekil 5. 21 3 numaralı modelin hız vektörlerinin merkez düzlemdeki değişimi	81
Şekil 5. 22 3 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değişimi	82
Şekil 5. 23 3 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değişimi (3 m/s'den daha yüksek hızlar için)	82
Şekil 5. 24 4 numaralı model geometrik özellikleri	83
Şekil 5. 25 4 numaralı model ağ yapısı	83
Şekil 5. 26 4 numaralı model merkez çizgisi boyunca hız değişimi	84
Şekil 5. 27 4 numaralı modelin su hacim kesrinin merkez düzlemdeki değişimi (y-z düzlemi $x=0$)	85
Şekil 5. 28 4 numaralı modelin hız vektörlerinin merkez düzlemdeki değişimi	85
Şekil 5. 29 4 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değişimi	86
Şekil 5. 30 4 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değişimi (3 m/s'den daha yüksek hızlar için)	86
Şekil 6. 1 Su jeti kuvveti ölçüm test düzeneği	89
Şekil 6. 2 Yıkayıcı pervanesi katı modeli	90
Şekil 6. 3 Yıkayıcı alt pervane	91
Şekil 6. 4 Tasarlanan nozul tipi	91
Şekil 6. 5 Üretilen nozullar	91
Şekil 6. 6 Malzemenin kesilmesi ve birleştirilmesi	92
Şekil 6. 7 Tasarlanan kasa geometrisi	92
Şekil 6. 8 Üretilen kasa	93
Şekil 6. 9 Hazırlanan su tankı (Alttan görüşünü)	94
Şekil 6. 10 Pompa ve küresel vananın montajı	94
Şekil 6. 11 Etki yüzeyi	95
Şekil 6. 12 Küresel mafsal monte edilmiş etki yüzeyi	95
Şekil 6. 13 Dijital dinamometre [30]	96
Şekil 6. 14 Seçilen santrifüj pompa	97
Şekil 6. 15 Su jeti deney düzeneği	98
Şekil 6. 16 Deney sistemi için ölçüm belirsizliği inceleme / değerlendirme tablosu	99
Şekil 6. 17 Kuvvete etki eden parametrelerin ortalama değerleri için ana etki grafiği	102
Şekil 6. 18 Kuvvete etki eden parametreler için etkileşim grafikleri	103
Şekil 6. 19 Deneysel çalışmalarda kullanılan standart kir plakası	105
Şekil 6. 20 Kir plakasının imaj görselleme çalışmaları ana ekranı	106
Şekil 6. 21 Kir ölçümüm sistemi için ölçüm belirsizliği inceleme / değerlendirme tablosu	107

Şekil 6. 22 Kir çıkarma analizi için ana etki grafiği (debi ve kesit alanı için).....	111
Şekil 6. 23 Kir çıkarma analizi için ana etki grafiği (zaman ve açı için).....	112
Şekil 6. 24 Kir çıkarma analizi için ana etki grafiği (sıcaklık ve deterjan için).....	113
Şekil 6. 25 Kir çıkarma üzerindeki tüm parametrelerin görüldüğü etkileşim grafikleri	114
Şekil 6. 26 Kir çıkarma işlemindeki etkin parametreler için pasta grafiği.....	115
Şekil 6. 27 Program arayüzü	116
Şekil 6. 28 Kir çıkarma ile kuvvet arasındaki lineer ilişki grafiği.....	117
Şekil 6. 29 Kir çıkarma ile kuvvet arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği.....	118
Şekil 6. 30 X eksenindeki titreşim ile kuvvet arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği ...	119
Şekil 6. 31 Y eksenindeki titreşim ile kuvvet arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği ...	120
Şekil 6. 32 Z eksenindeki titreşim ile kuvvet arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği ...	121
Şekil 6. 33 X eksenindeki titreşim ile Kir çıkarma arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği	122
Şekil 6. 34 Y eksenindeki titreşim ile Kir çıkarma arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği	123
Şekil 6. 35 Z eksenindeki titreşim ile Kir çıkarma arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği	124
Şekil 6. 36 Reynolds sayısı ile kuvvet arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği.....	125
Şekil 6. 37 Reynolds sayısı ile kir çıkarma arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği.....	126
Şekil 6. 38 Yüzey incelemelerinin yapıldığı kir plakası	126
Şekil 6. 39 İşlem görmemiş yüzey analiz görüntüsü	127
Şekil 6. 40 İşlem görmüş yüzey analiz görüntüsü	127

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 İki seviyeli tam faktöriyel deney tasarımı [10].....	18
Çizelge 2. 2 Tam faktöriyel deney tasarımı ve ilişkiler [10]	19
Çizelge 2. 3 İki seviyeli deney tasarımları için olası tam ve tam olmayan faktöriyel tasarımlar[10].....	20
Çizelge 5. 1 Oluşturulan modellerin özellikleri	70
Çizelge 5. 2 1 Numaralı modelin ağ yapısı özellikleri	71
Çizelge 5. 3 1 numaralı modelin sınır koşulları	71
Çizelge 5. 4 1 numaralı model ölçülen kuvvet	74
Çizelge 5. 5 2 numaralı modelin ağ yapısı özellikleri	75
Çizelge 5. 6 2 numaralı modelin sınır koşulları	75
Çizelge 5. 7 2 numaralı model ölçülen kuvvet	78
Çizelge 5. 8 3 numaralı modelin ağ yapısı özellikleri	79
Çizelge 5. 9 3 numaralı modelin sınır koşulları	80
Çizelge 5. 10 3 numaralı model ölçülen kuvvet	83
Çizelge 5. 11 4 numaralı modelin ağ yapısı özellikleri	84
Çizelge 5. 12 4 numaralı modelin sınır koşulları	84
Çizelge 5. 13 4 numaralı model ölçülen kuvvet	87
Çizelge 6. 1 Kuvvet ölçümü için deney tasarım planı.....	101
Çizelge 6. 2 Kir çıkarma ölçümü için deney tasarım planı.....	108
Çizelge 6. 3 Kir çıkarma ölçümü için deney tasarım planı ve sonuçları	110

**KAPALI SİSTEM YIKAMA İŞLEMİNDE MEKANİK ETKİNİN
TEORİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Yusuf KOÇ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN

Ev tipi ve endüstriyel tip yıkama cihazlarında, yıkama işlemi, prosesin kalitesi ve müşteri memnuniyeti açısından büyük önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra, yıkama performansı, enerji tüketimi, su tüketimi ve ses gücü düzeyi değeri gibi proses kalitesini belirleyen diğer parametrelerle de doğrudan ilişkilidir.

Bu doktora tez çalışmasında, ev tipi bir yıkayıcıda, yıkama performansına etki eden parametreler deneysel olarak; bu parametrelerden mekanik etkiyi oluşturanlar deneysel, teorik ve nümerik olarak incelenmiştir.

Tez çalışması yedi ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmaya başlama nedenleri ve ulaşılmak istenen sonuçlar genel olarak açıklanarak giriş yapılmıştır. İkinci bölümde yıkama işleminde etkili olan parametreler, bu proseste yer alan faktörler ve kir çıkarma mekanizması paylaşılmıştır. Ardından, çalışmada referans alınan şartların daha iyi anlaşılabilmesi için ev tipi bir yıkayıcı tanıtılmıştır. Bu bölümde son olarak, deney tasarımı mekanizması ve deneysel çalışmalarda kullanılan araçların çalışma mekanizmaları anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, konu ile ilgili önceki araştırmacıların yayınları verilmiştir. Bu yayınların tez konusu ile ilgili kısımları vurgulanmış, tez çalışmasının bu yayınlardan farkı belirtilmiştir. Literatür çalışması temel olarak, kirli bir yüzeyin temizlenmesini içeren kir yüzey etkileşimi ve jetleme ile kir çıkarma işlemini

içeren su jeti ile kir çıkarma konu başlıklarından oluşmaktadır. Literatür araştırmasının ardından konu ile ilgili ticari patentlere ve patent başvurularına da yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde Arçelik AŞ laboratuvar altyapısı kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalar anlatılmıştır. Su jetinin oluşturduğu kuvvetin ve su jetinin yıkama performansının incelendiği test düzeneğinin kurulum aşamaları verilmiştir. Test düzeneğinde kullanılan komponentlerin özellikler verilmiş ve seçim amaçları anlatılmıştır. Ardından, ilk kez kurulan bir test düzeneği olması sebebiyle gerçekleştirilen ölçüm belirsizliği analizi çalışmaları anlatılmıştır. Ölçüm belirsizliği analizleri sonrası, yıkama işleminde mekanik etkiyi oluşturan su debisi, nozül kesit alanı, çarpma açısı ve jetleme mesafesi gibi parametrelerin, kuvvet üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiş ve ortaya konulmuştur. Bu çalışmada kuvvet üzerinde baskın parametreler su debisi ve nozül kesit alanı olarak belirlenmiştir. Kuvvet üzerine etki eden parametrelerin belirlenmesinin ardından, kir çıkarma işlemine etki eden parametreler için yeni bir deney tasarımı yapılmıştır. Su debisi, nozül kesit alanı, çarpma açısı gibi mekanik parametrelere ek olarak, deterjan konsantrasyonu, su sıcaklığı ve süre gibi parametreler de deney grubuna eklenmiştir. Kir çıkarma testleri standart bir kir plakası üzerinde yapılmıştır. Kir çıkarma oranının belirlenmesi için imaj görselleme çalışması yapılmıştır. Böylece, değişen her bir deney şartı için imaj görselleme yapılarak, kirin ne kadarının çıktığı belirlenmiş, kir çıkarma işlemine etki eden parametrelerin etki oranları ortaya konmuştur. Kir çıkarma üzerinde etkin parametreler sırasıyla su sıcaklığı, deterjan konsantrasyonu ve su debisi olarak belirlenmiştir. Kir çıkarma işleminin modellenmesinin ardından Matlab tabanlı bir program yazılmıştır. Deneysel çalışmaların ardından, kir çıkarma ve kuvvet etkinliğinin titreşim ve Reynolds ifadesi ile ilişkisi incelenmiştir. Son olarak da, yüzey inceleme çalışmaları yapılarak, adezif kuvvetlerin yanı sıra, kohezif kuvvetlerin varlığı da gösterilmiştir.

Beşinci bölümde, su jetinin oluşturduğu yüzeye etkiyen kuvvet hesaplanmıştır. Yüzeye etkiyen kuvvetin açı ile değişimi gösterilmiş ve açısal bağımlılık faktörü tanımlanmıştır. Altıncı bölümde hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı (Fluent 16) kullanılarak deneysel çalışmalarda incelenen bazı şartlar için kuvvet hesaplamaları yapılmış ve deneysel sonuçlarla kıyaslanmıştır.

Yedinci bölümde sonuçlar değerlendirilerek öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Su jeti, mekanik etki, kuvvet, açısal bağımlılık, kir çıkarma

**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF MECHANICAL EFFECT ON
CLOSED LOOP CLEANING CYCLE**

Yusuf KOÇ

Department of Mechanical Engineering

Ph.D. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN

Cleaning process has great importance in terms of quality of process and customer satisfaction at home appliances and industrial appliances. Besides, cleaning performance is connected with energy consumption, water consumption and noise level.

In this Ph.D. study, parameters that are effect to cleaning performance, investigated experimentally and mechanical parameters that are effect to cleaning performance, investigated experimentally and theoretically.

The thesis is composed of seven major parts. In the introduction section, the reasons for initiating this study, as well as the goal of the work are presented. In the second part, parameters and factors that are affected at cleaning process are shared. Then, a dishwasher is explained for understanding of reference conditions at this study. Also, design of experiment mechanism and some tools for evaluating experiment results are explained. The third part is literature survey on topic. Related subjects of these studies are highlighted and difference between these studies and this Ph.D. study is indicated. This literature survey has two subheads: soil removing thanks to water jet and soil and surface interaction. Also patents and patent applications are given at the end of third part of this study.

In fourth part of this study, experimental studies that are performed at Arçelik AŞ R&D Laboratories are given. Installation stages of experimental setup are explained. Components specifications of experimental setup are mentioned with selection reason of this component. Uncertainty analysis has been realized before experimental study. At first experimental study, some mechanical parameters (water flow rate, cross section of nozzle, angle of jetting and distance from nozzle to plate) that are affected to cleaning performance are investigated. Cross sections of nozzle and water flow rate are highly important parameters on mechanical force of cleaning process. At second experimental study, all parameters includes chemical and thermal parameters are investigated with a new design of experiment. Water flow rate, cross section of nozzle, angle of jetting, water temperature, detergent concentration of water and time was our parameters to test. Soil removing test was performed by using standard soil plate. Image processing study is realized for determination of soil removing rate. Thus, how much soil was removed from surface of soil plate was calculated with respect to tested parameters. The most important parameters on soil removing were water temperature, detergent concentration of water and water flow rate. Soil removing process was modeled and a software program was written on MATLAB. Then, some interaction between soil removing, force, vibration and Reynolds were investigated. Finally adhesive and cohesive forces were indicated by investigation of soil plate surface.

In fifth part of this study, water jet force was calculated theoretically. Water jet force changes according to water jet angle were showed and angular dependency factor is identified. In sixth part of this study, for the computational analysis, commercial FLUENT® software which solves basic momentum equations was used and results are compared with experimental results.

In the seventh chapter, conclusions and advices have been presented.

Keywords: Water jet, mechanical effect, force, angular dependency, soil removing

GİRİŞ

Ev tipi ve endüstriyel yıkayıcılarda yıkama performansı, enerji tüketimi, su tüketimi ve ses gücü düzeyi değerleri birbirini etkileyen değerlerdir. Günümüzde doğal kaynakların kısıtlı hale gelmesi ile birlikte endüstriyel uygulamalar ve akademik araştırmaların çoğunda olduğu gibi yıkayıcılara yönelik yapılan çalışmalarda da enerjinin ve suyun verimli kullanımına yoğunlaşılmıştır. Yıkama performansı, hem ses gücü düzeyi değeri, enerji ve su tüketimi gibi parametreleri etkileyen hem de yapılan işin kalitesini temelden belirleyen bir parametredir.

Tüm bu parametrelerin incelenmesi bir standart dâhilinde gerçekleşmektedir. Ev tipi yıkayıcılar için tüm üretici firmalar tarafından, EN 50242 “Evsel Kullanım için Elektrikli Bulaşık Makinaları – Performans Ölçüm Metotları” (Electric dishwashers for household use – Methods for measuring the performance) standardı kullanılmaktadır. Bu standartta enerji tüketimi, su tüketimi, yıkama performansı, ses gücü düzeyi değeri gibi temel değerlendirme kriterleri incelenmektedir.

1.1 Literatür Özeti

Yıkama performansını temelde mekanik etkiler, kimyasal etkiler, termal etkiler ve yıkama süresi etkilemektedir. Bu etkiler, yıkama performansının yanı sıra enerji tüketimi, su tüketimi ve ses gücü düzeyi değeri gibi performans kriterlerini de doğrudan ya da dolaylı yünden etkilemektedir.

1.2 Tezin Amacı

Ev tipi yıkayıcılarda yıkama performansının incelendiği bu tez çalışmasında, mekanik etki, kimyasal etki, termal etki ve yıkama süresinin, yıkama performansı üzerindeki etkisinin çıkarılması hedeflenmiştir. Aynı zamanda mekanik etkiyi oluşturan su jeti debisi, su jeti kesit alanı, su jeti çarpma açısı, su jeti ile temizleme yüzeyi arasındaki mesafe gibi parametrelerin yıkama performansı üzerindeki etkisinin teorik ve deneysel incelenmesi ve modellenmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Mekanik etkinin, yıkama performansı üzerindeki etkisinin belirlenmesi ve bu etkiyi artıracak parametre değişimlerinin yapılmasıyla, yıkama performansını bozmadan yıkamayı etkileyen diğer parametrelerin etki oranları düşürülebilir. Bu sayede termal etkinin düşürülmesiyle enerji kazancı sağlanır, kimyasal etkinin düşürülmesiyle çevreye atılacak kimyasal miktarı azalır ve süre etkisinin düşürülmesiyle zaman kaybı engellenir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

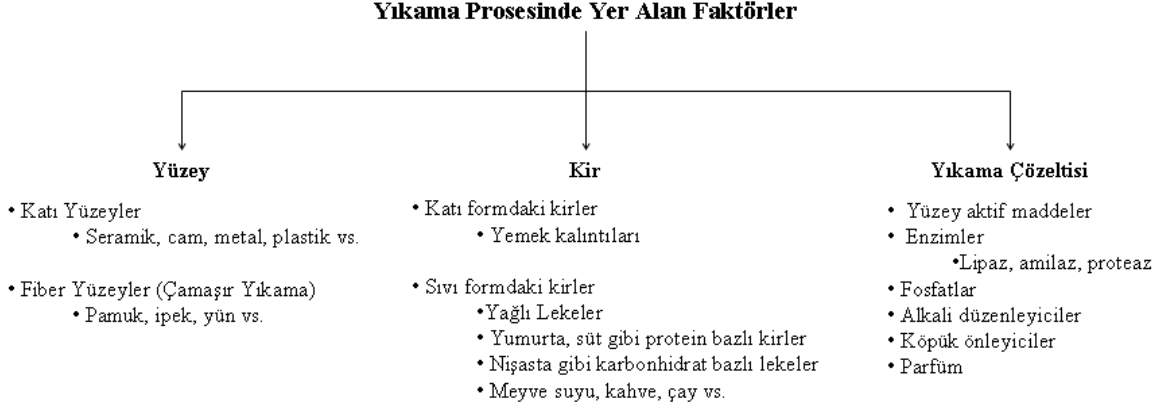
Bulaşık yıkama; tabak, bardak, kase ve çatal-kaşık-bıçak gibi mutfak gereçleri üzerindeki yemek kalıntılarının ve kirlerin yıkanarak temizlenmesi işlemidir. Yıkama işlemini etkileyen parametreler 4 başlıkta incelenebilmektedir.

- Termal etki (Suyun sıcaklığı)
- Kimyasal etki (Suyun içerdiği kir çözücü ve uzaklaştırıcı madde)
- Zaman (Yıkama süresi)
- Mekanik etki (Suyun bulaşık yüzeylerine su jeti halinde gönderilmesi)

Bulaşık makinesinde yıkama işleminin ardından durulama işlemleri gerçekleştirilmektedir. Durulama işleminde, bulaşıklar üzerinde bulunan deterjanın uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Yıkama ve durulama adımları sonunda kirli su sistemden uzaklaştırılmakta ve tabakların kurutulması ile yıkama çevrimi tamamlanmaktadır.

2.1 Temizleme İşlemine Ait Genel Bilgiler

Temizleme işleminin tamamında etkili olan araçlar yüzey, kir ve yıkama çözültisi olarak tanımlanmaktadır. Bu araçlar Şekil 2.1'de özetlenmektedir.

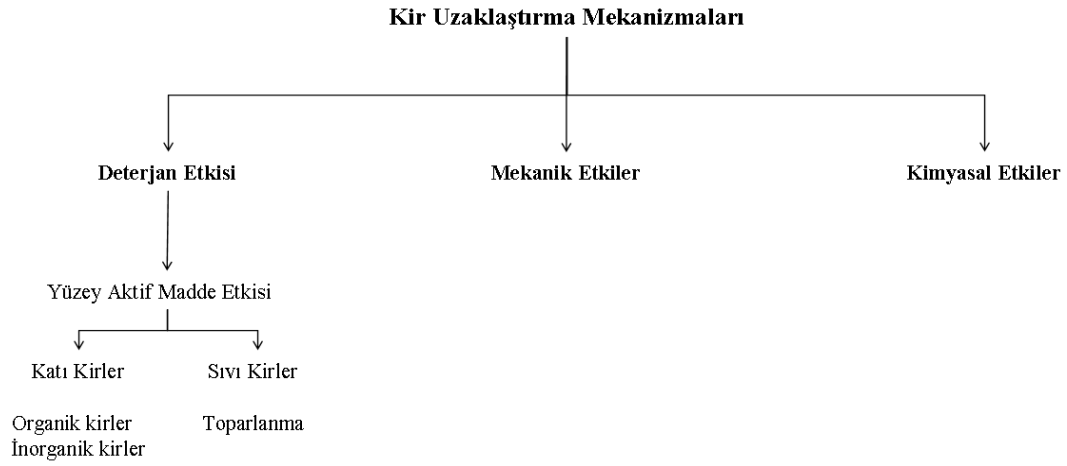


Şekil 2. 1 Yıkama işleminde yer alan faktörler [3]

- **Yüzey**, yıkama işleminin yapılacağı, kirin uzaklaştırılacağı bölge olarak tanımlanmaktadır. Yüzeyin porozitesi, yüzeyin pürüzlülüğü, yüzey alanı, yüzeyin geometrisi, yüzeyin ıslatma açısı ve yüzeydeki kir miktarı yıkamaya etki eden önemli yüzey özelliklerinin başında gelmektedir. Bulaşık yıkama işleminde yer alan tabak, bardak, kâse ve çatal-kaşık-bıçak gibi yüzeylere bakıldığında, bu yüzeylerin genellikle sert, katı yüzeyler oldukları ve cam, porselen, paslanmaz çelik gibi çok farklı malzemelerden yapıldıkları görülmektedir.
- **Kir**, genel yıkama işlemlerinde yüzeyden uzaklaştırılacak maddeyi tarif etmektedir. Katı ya da sıvı formda bulunabilmektedir. Bulaşık yıkama işleminde ise karşılaşılan yemek kalıntısı kirleri katı parçacıklardan sıvı fazdaki yağlara kadar değişkenlik göstermektedir.
- **Yıkama çözeltisi**, bütün yıkama işlemlerinde ortak olan bir diğer faktör ise kirlerin uzaklaştırılması amacıyla yüzeye uygulanan deterjan ya da diğer yardımcı kimyasalların sulu çözeltileridir. Deterjanlar temel olarak yüzey aktif maddeler, enzimler, köpük önleyiciler, alkali maddeler, sertlik düzenleyiciler ve parfüm gibi çok sayıda farklı bileşenden oluşmaktadır [1].

Yukarıda özetlenen ve Şekil 2.1’de gösterilen yıkama faktörleri incelendiğinde; bu faktörlerin çok çeşitli olmasının yıkamayı karmaşık hale getirdiği ve yıkama işleminin standart bir mekanizma ile tanımlanamamasına neden olduğu görülmektedir. Yıkamanın karmaşık yapısı nedeniyle kirin yüzeyden uzaklaştırılmasında etkili olan mekanizmalar da farklılık göstermektedir.

Katı yüzeylerden kir uzaklaştırma mekanizmaları Şekil 2.2’de görüldüğü gibi üç temel prensibe 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 sıyırma işlemi uygulanarak kirin uzaklaştırılmasında etkili olmaktadır. Kimyasal etki; çözücü bir madde yardımı ile kirin parçalanmasını açıklarken; bunlardan farklı olarak deterjan etkisi ise yüzey-aktif madde (*surfactant*) aracılığı ile kirin yüzeyden uzaklaştırılması sağlanmaktadır [2].



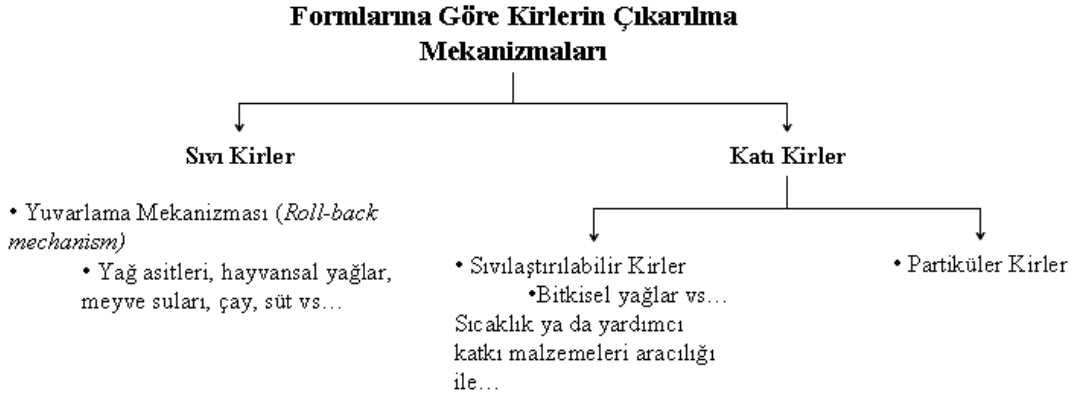
Şekil 2. 2 Kir uzaklaştırma mekanizmaları [3]

Temizleme işleminde yer alan faktör ve mekanizmaların çokluğu nedeniyle genel bir yıkama modellemesi yapılamamasına rağmen yıkama işlemi temel olarak “Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılması” ve “Yüzeyden Uzaklaştırılan Kirlerin Süspansiyonda Tutulması” başlıkları altında sınıflandırılabilir.

2.1.1 Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılması

Kir taneciklerinin yüzeye tutunmasında, farklı yüzeysel etkileşimler rol oynamakta, buna bağlı olarak kirlerin yüzeyden uzaklaştırılmasında da farklı mekanizmalar etkili olmaktadır. Kirlerin çıkarılmasındaki etkin madde yüzey aktif maddelerdir. [1].

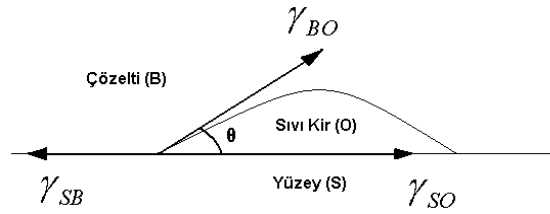
Kir türlerinin formlarına bağlı olarak, yüzey aktif maddeler ile uzaklaştırılma mekanizmaları Şekil 2.3’te özetlendiği gibi sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2. 3 Kirlerin sınıflandırılması [3].

2.1.1.1 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 adsorpsiyonu ile arttırılmakta böylece kirin yüzeyden uzaklaşması sağlanmaktadır. Sıvı kir ve yüzey arasındaki temas açısı gösterimi Şekil 2.4’teki gibidir [1].



Şekil 2. 4 Sıvı kir ve yüzey arasındaki temas açısı gösterimi [3]

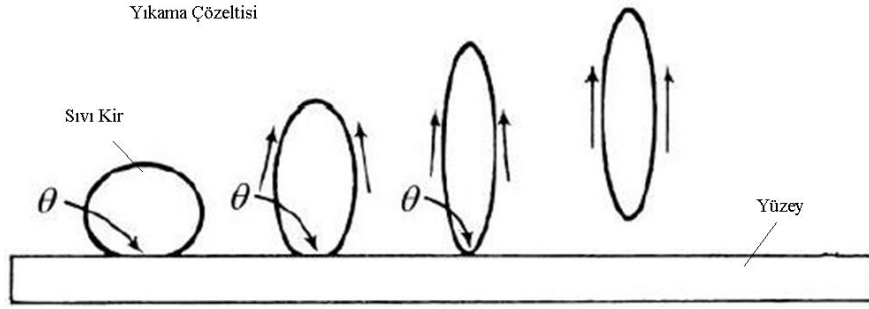
Temas açısı; yüzey, kir ve çözeltinin birbiri arasındaki ara yüzey gerilimleri ile bağlantılı olarak Eşitlik (2.1)’de verilen Young eşitliği ile ifade edilmektedir.

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SB} - \gamma_{SO}}{\gamma_{OB}} \quad (2.1)$$

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. [3]

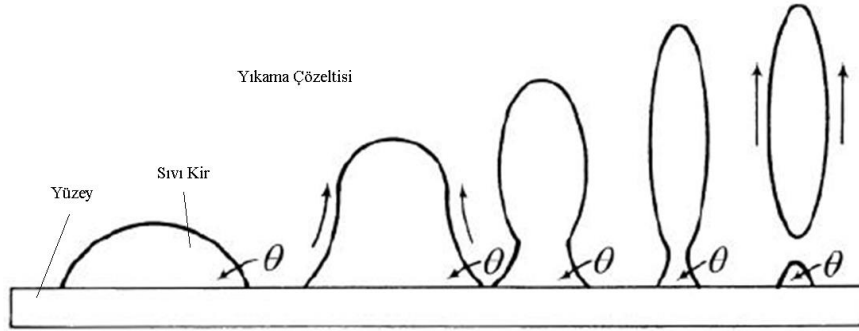
Sıvı kirlerin yüzey-aktif madde ile uzaklaştırılmasında; yüzey-aktif maddenin yüzey – kir arasındaki temas açısını arttırmadaki başarısı etkili olmaktadır. Temas açısının 90°nin

üstünde olması durumunda hidrolik hareket ile sıvı kirin yüzeyden uzaklaştırılması Şekil 2.5'te gösterildiği gibi gerçekleşmektedir.



Şekil 2. 5 $\theta > 90^\circ$ durumunda kirin yüzeyden tamamen uzaklaştırılması [1]

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 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2. 6 $\theta < 90^\circ$ durumunda kirin yüzeyden koparılarak kısmen uzaklaştırılması [1]

Yüzey ile sıvı kir arasındaki temas açısının 180° olduğu özel durumlarda ise kir, sulu ortam etkisi ile yüzeyden kendiliğinden uzaklaşmaktadır [1].

2.1.1.2 Katı Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılması

Katı kirler, çıkarılma mekanizmalarına göre sıvılaştırılabilir kirler ve partikül halindeki kirler olarak ikiye ayrılmaktadır.

Gres ve vaks gibi organik yapıdaki sıvılaştırılabilir kirlerin yüzeyden uzaklaştırılması iki aşamada gerçekleşmektedir. İlk olarak, yüzey aktif maddenin kir tarafından

adsorplanabilmesi için kir sıcaklık gibi bir dış etki ile sıvı forma dönüştürülmektedir. Sıvılaştırılan kir, daha sonra sıvı kirler için geçerli olan yuvarlanma mekanizması ile yüzeyden uzaklaştırılmaktadır [1].

Partiküler formdaki kirlerin yüzeyden çıkarılmasında ise ilk olarak yüzey-kir ikilisi yıkama çözeltisi ile ıslatılmaktadır. Suyun etkisi ile katı parçacıkların yüzeye yapışmasının azaltılması mümkün olmaktadır. Yıkama ortamında bulunan su sayesinde partikül ile yüzey ara yüzeylerinde elektriksel çift tabaka meydana gelmektedir. Böylece yüzey ve partikül aynı elektrik yükü ile yüklenmekte ve bunun sonucu olarak birbirlerini itmektir. Buna bağlı olarak da yüzey ile partiküler kir arasındaki net çekim kuvveti elektriksel çift tabaka nedeniyle azalmaktadır [1].

Yıkama çözeltisi genellikle kir partiküllerinde ve temizlenen yüzeyde yayılma eğilimindedir. Çözelti için $S_{B/P}$ ve $S_{B/S}$ "yayılm katsayıları" (spreading coefficient) sırasıyla Eşitlik (2.2) ve Eşitlik (2.3) ile ifade edilmektedir [1].

$$S_{B/P} = \gamma_{PA} - (\gamma_{PB} + \gamma_{AB}) \quad (2.2)$$

$$S_{B/S} = \gamma_{SA} - (\gamma_{SB} + \gamma_{AB}) \quad (2.3)$$

Yukarıdaki eşitliklerde PA partikül ile hava, SA yüzey ile hava, AB hava ile çözelti ara yüzeylerini belirtmektedir. Yayılm 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 gerekmektedir. Böylece, yıkama çözeltisindeki yüzey-aktif madde ve inorganik iyonlar kir partikülü ve yüzey ara yüzeylerinde adsorplanmakta ve kirin uzaklaştırılması için gerekli iş azalmaktadır. Partikülün katı yüzeye yapışmasını önlemek için birim yüzey alanı başına gerekli iş Eşitlik (3.4)'te verilmektedir [1].

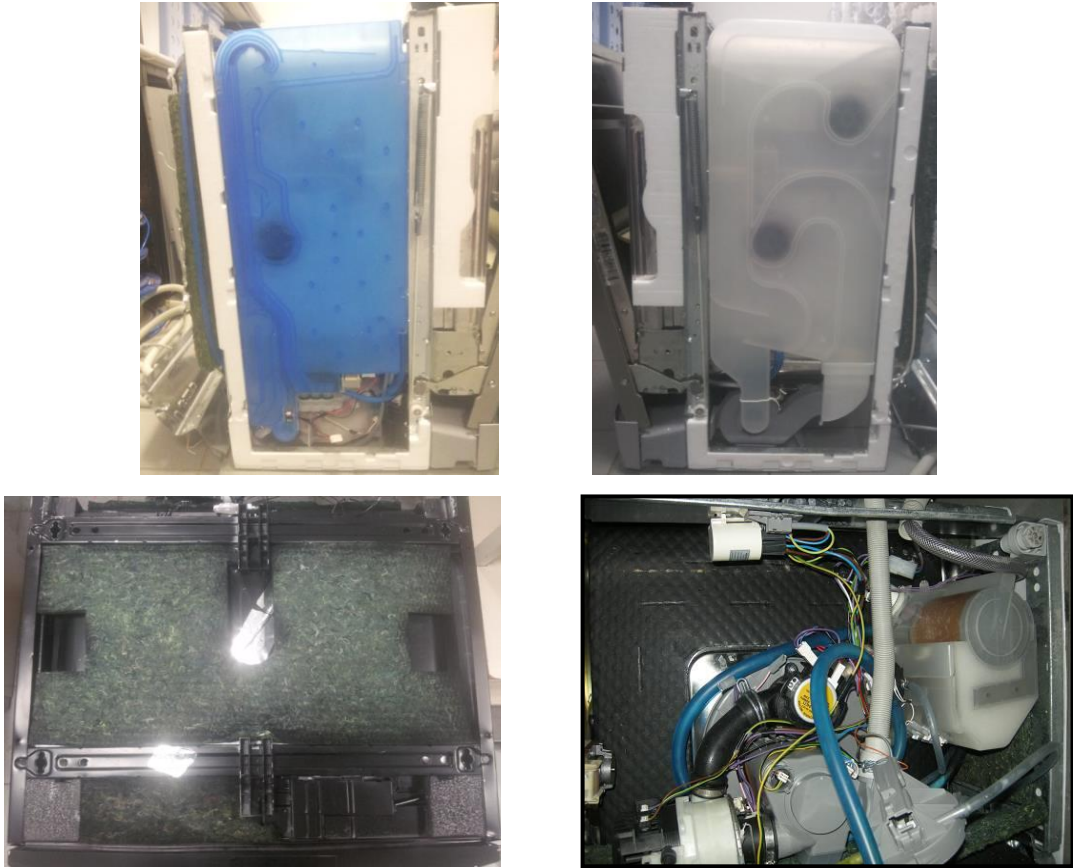
$$W_a = \gamma_{SB} + \gamma_{PB} - \gamma_{SP} \quad (2.4)$$

2.1.1.3 Otomatik Bulaşık Makinaları

Çalışmanın bu kısmında ilk olarak günümüzde kullanılmakta olan otomatik bulaşık makinalarının temel bölümleri anlatılacak ve devamında ise bulaşık makinasının çalışma prensibi açıklanacaktır.

2.1.2 Bulaşık Makinasının Temel Bölümleri

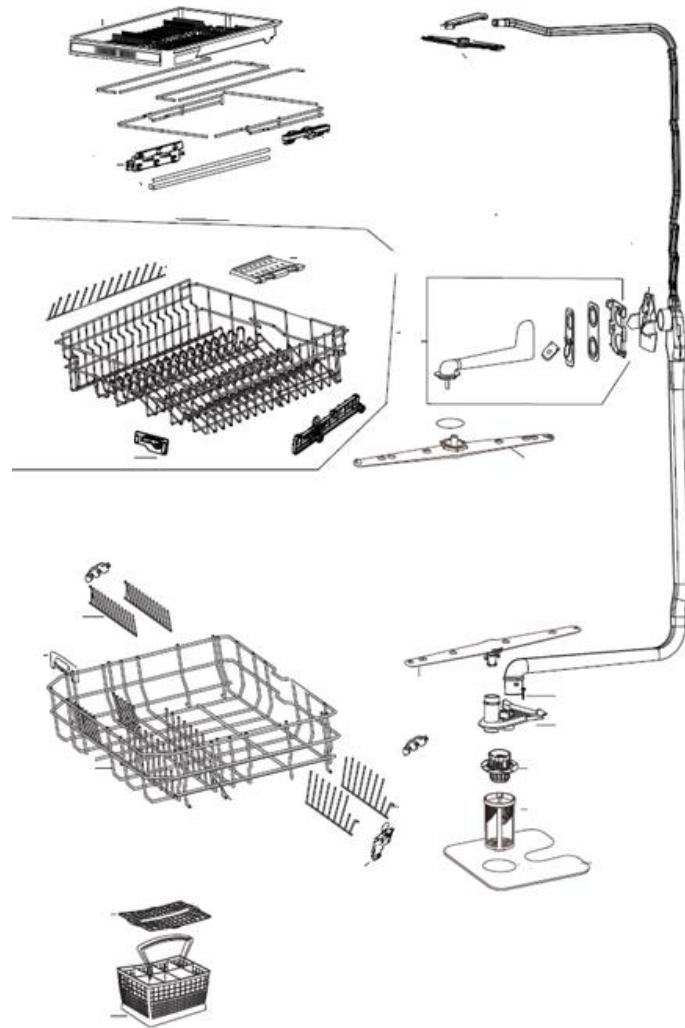
Bulaşık makinaları temel olarak; ön panel, yıkama grubu, kapı ve kazan grubu olmak üzere toplam 4 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler ve aksamları Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2. 7 Bulaşık makinası bölüm ve aksamları [5]

Bulaşık makinasının temel bölümlerinden biri yıkama grubudur. Bu grup, yıkama işlemini sağlayan komponentleri barındırır. Yıkancak bulaşıkların yerleştirildiği alt ve üst sepet, çatal-kaşık sepeti, pervaneler, ve filtreler bu gruba dahildir. Yıkama grubunda yer alan alt ve üst sepetler, çatal-kaşık sepeti ile pervaneler plastik

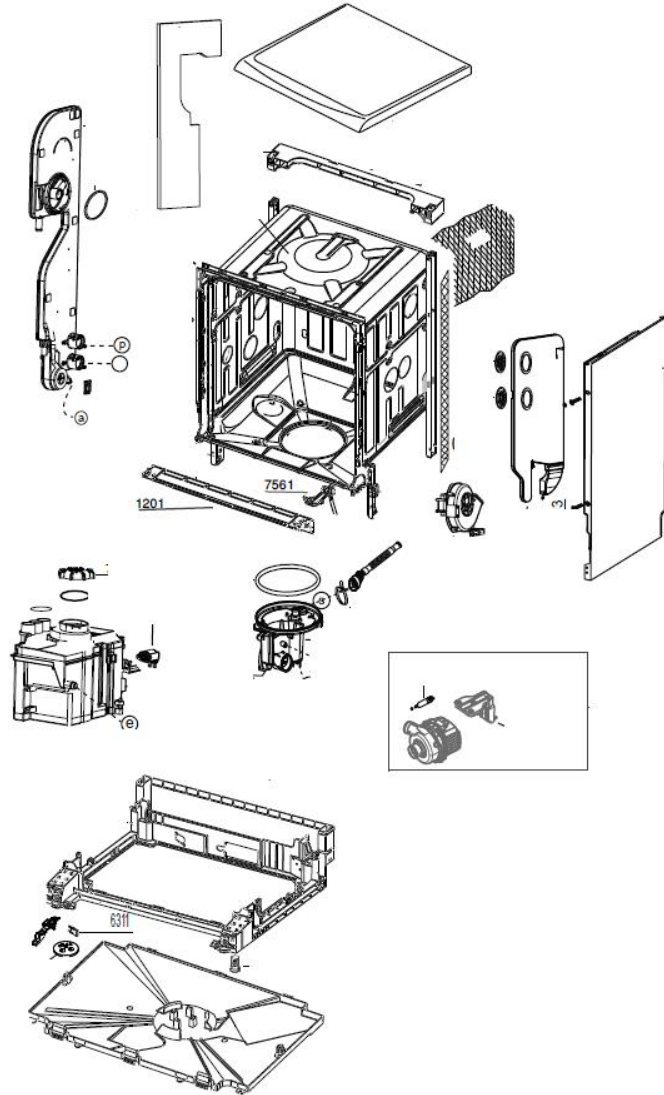
malzemeler olup, filtre grubunda metal malzemeler kullanılmaktadır. Sepete bağılı olan üst pervane ve kazan alt bölgesine bağılı olan alt pervane, üzerinde bulunan delikler aracılığı ile suyun makina içine iletilmesini sağlamaktadır. Pervane üstündeki delikler ve yerleşimleri, yıkama performansının artırılmasına yönelik olarak tasarlanmıştır. Yıkama haznesindeki filtre grubu ise bulaşık kirlerinin yıkama adımı boyunca sirküle edilen yıkama suyundan ayrılmasını sağlamaktadır [5,6]. Pervaneleri, sepetleri ve filtreleri içeren yıkama grubunun şematik gösterimi Şekil 2.8'deki gibidir.



Şekil 2. 8 Bulaşık makinası – Yıkama grubu [5]

Bulaşık makinasının temel gruplarından bir diğeri yıkama işleminin gerçekleştiği kazan grubudur. Bu grup, kazan ve kazana doğrudan monte edilen komponentlerden oluşmaktadır. Kazan, kazan etrafındaki ses yalıtımı, keçe, su haznesi, ana yıkama ve atık su pompaları, su yumuşatma ünitesi, su haznesi, dış saclar ve tahta malzemenen

Üretilen st tabla bu grupta yer almaktadır. Ses izolasyonu amacıyla bütün kazanın yüzeyine kaplanmış olan bitüm aynı zamanda titreşim sönümleme özelliği de sağlamaktadır. Kazan grubunun bir diğer komponenti olan su cebi ise, yıkama suyunun şebekeden sisteme girişi sırasında basıncının düşürülmesinde, yıkama ve kurutma sırasında kazanın içinde oluşan buharın tahliyesinde ve reçinenin rejenerasyonu için kullanılacak suyun depolanmasında görev almaktadır. Kazan grubunun bir diğer komponenti olan su yumuşatma nitesi ise sertlik iyonlarının yıkama suyundan uzaklaştırılmasını sağlamaktadır [5,6]. Kazan grubu ve komponentleri şekil 2.9'da gösterilmektedir.



şekil 2. 9 Bulaşık makinası – Kazan grubu [5]

2.1.3 Bulaşık Makinasının Çalışma Prensibi

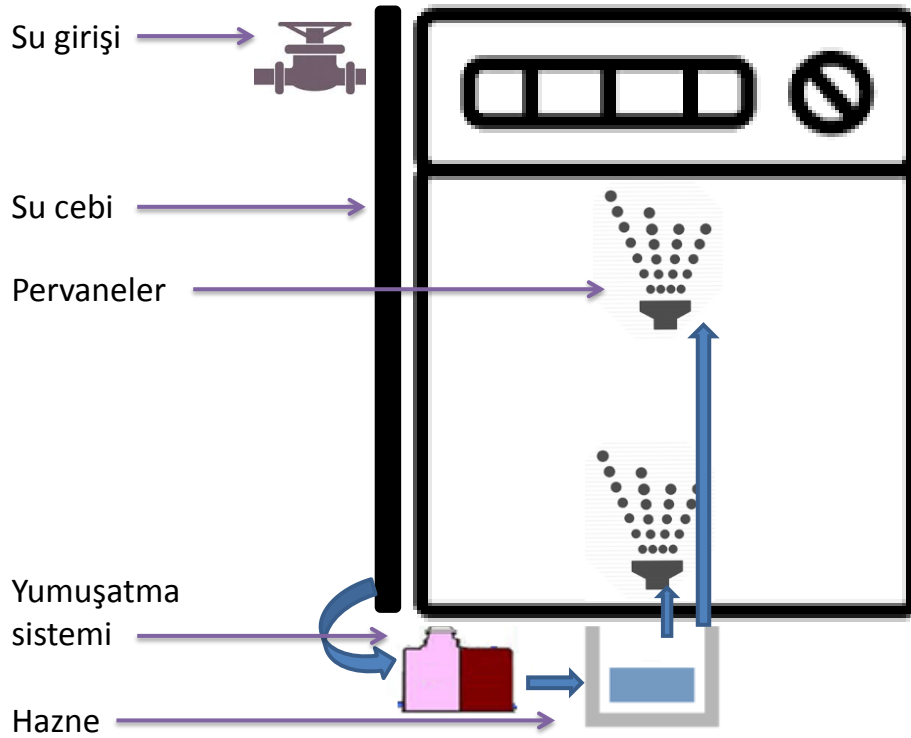
Bulaşık makinalarının çalışma prensibine bakıldığında üretici firma ve yıkama programına göre farklılık gösterse de; genel olarak soğuk ve sıcak yıkama adımları, durulama ve ardından kurutma adımlarından oluştuğu görülmektedir. Kapalı bir sistem içindeki sepetlere yerleştirilen tabak, bardak ve çatal-kaşık-bıçak gibi mutfak araçlarının önce soğuk, ardından sıcak yıkama adımlarında yüksek sıcaklıkta, mekanik etki ve deterjan ile birlikte su ile yıkanmaktadır. Soğuk ve sıcak yıkamanın ardından deterjanın uzaklaştırılması için durulama adımı ve son olarak bulaşıkların kurutulması için kurutma adımı gerçekleştirilmektedir. Her yıkama adımının başında şebekeden gelen soğuk su makineye alınmakta ve yıkama adımına bağlı olarak belli bir sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Adım boyunca kullanılan su, bulaşıklar üzerine çarptırılmaktadır. Bulaşıklara çarptırılan suyun sıcaklığı zamanla düşmekte ve su, bulaşıklar üzerindeki kiri taşımaktadır [6].

Yıkama prosesine daha ayrıntılı bakıldığında, her bulaşık makinasının, yıkamaya başlamadan önce; bir önceki yıkama adımından kalan suyun uzaklaştırılması için tahliye pompası çalıştırdığı görülmektedir. Tahliyenin ardından su giriş vanası açılarak şebekeden gerekli miktarda su, makine içerisine alınmaktadır. Makineye alınan su; önce su cebinden ardından reçineden geçirilerek yıkama haznesine aktarılmaktadır. Şebeke suyu hazneye gönderilmeden önce reçineden geçirilerek sertliğe neden olan Ca^{2+} ve Mg^{2+} başta olmak üzere sertlik iyonları, Na^{1+} iyonları ile yer değiştirmektedir. Böylece sertlik iyonlarının makinanın paslanmaz çelik iç yüzeylerine zarar vermesi, bulaşıklar üzerinde kireç tabaklarının oluşumu ve cam yüzeylerden parça kopması önlenmektedir. Soğuk yıkama işleminde deterjan kutusunun kapağı açılarak deterjan makineye alınmaktadır. Sıcak yıkama adımında ise elektrikli ısıtıcı çalıştırılmakta ve yıkama suyu belli bir sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Bu yıkama adımında sirkülasyon devam etmektedir. Isıtıcının devreden çıkmasının ardından belli bir süre sıcak su ile yıkama işlemine devam edilmekte ve ardından yıkama adımı tamamlanarak, su tahliye edilmektedir.

Sıcak yıkamanın tamamlanmasının ardından, durulama işlemi için tekrar su cebi ve reçine üzerinden su alınmaktadır. Bu şekilde alınan su ile soğuk durulama adımı

gerçekleştirilmekte, durulama suyunun tahliyesinin ardından ikinci durulama için su alınmaktadır. İkinci durulama adımında kurutma etkinliğini arttırmak için durulama suyu ısıtılmakta ve bu adımda parlaticı kullanılmaktadır. Parlaticı kullanımı ile suyun bulaşık yüzeylerinde tutunması zorlaşmakta ve yıkama sonunda bulaşıkların daha parlak görünmesi sağlanmaktadır. İkinci durulama adımındaki ısıtma işlemi ana yıkama adımına benzer şekilde gerçekleşmekte, belli bir sıcaklığa ulaşılmasının ardından adım sonlandırılmakta ve su tahliye edilmektedir.

Bulaşık makinasının çalışmasını gösteren hidrolik şema Şekil 2.10'da sunulmuştur.



Şekil 2. 10 Bulaşık makinasının hidrolik şeması

2.2 Deney Tasarımı

Hem endüstriyel çalışmalarda hem de akademik çalışmalarda ekonomik kaynakların kısıtlı olması ve kısa sürede sonuca ulaşılmak istenmesi nedeniyle; mümkün olduğunca az deney ile ulaşılabilecek maksimum bilginin elde edilmesi deneysel çalışmaların en kritik noktası olmaktadır. “İstenilen sonuca ulaşmak için kaç deney yapılması gerekmektedir?” ve “Kısıtlı bütçe ile olabildiğince fazla bilgi nasıl elde edilebilir?” sorularının yerine “Bu deneydeki asıl amaç nedir?” ve “Bu çalışmada esas olarak

bulunmaya çalışılan nedir?" sorularının cevaplanması deneylerin planlanmasına yardımcı olmaktadır [9].

Yapılan çoğu deneysel çalışmanın amacı; genel olarak aşağıda özetlenenlerden biri ya da bir kaçı olabilmektedir [9]:

- Belirli koşullarda gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarındaki farklılıkların temel sebeplerinin belirlenebilmesi
- Bir sistemde ulaşılabilecek maksimum ya da minimum değerlerin elde edilebilmesi için gerekli koşulların belirlenebilmesi
- Kontrollü değişkenlerin farklı seviyelerinde gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarının karşılaştırılabilmesi
- Benzer sistemler için, gelecekte yapılacak değişikliklerin etkisinin önceden tahmin edilebilmesi için matematiksel modellerin elde edilebilmesi

Deneysel çalışmaların belirli kurallar çerçevesinde planlanması ile yukarıda sıralanan amaçlara ulaşılabilmesi, deneylerin sistematik bir şekilde gerçekleştirilebilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu amaçla kullanılan "deney tasarımı (DOE - Design of Experiment)", eş zamanlı olarak çoklu değişkenin çıktı üzerindeki etkisinin araştırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede, deneylerde amaca yönelik bir kaç değişik düzeyde testler tekrarlanarak, çıktının değişimi incelenmektedir. Deney tasarımı sayesinde istenilen sonuca göre girdilerin seviyeleri tespit edilebilmektedir [9].

Endüstride deney tasarımı çalışmaları, ürün kalitesini yükseltmek için sistematik şekilde, üretim aşamasındaki proseslere ve ürünlere uygulanmaktadır. Ürün kalitesine etki eden proses aşamasını ve ürün komponentlerini belirledikten sonra, ürünün üretilebilirliği, güvenilirliği ve performansına yönelik iyileştirme çalışmaları doğrudan yapılabilmektedir[11].

Limitlerin sınırlı olmasından dolayı, yapılan her deneyden sonra en fazla bilginin toplanabilmesi çok önemlidir. İyi tasarlanmış deney tasarımlarında, organize olmamış ve planlanmamış deneylere göre daha az deney ile göreceli olarak çok daha fazla bilgi toplanabilmektedir. Ek olarak, iyi tasarlanmış deney tasarımlarında, önemli olduğu belirlenmiş etkiler birlikte değerlendirilebilmektedir. Örneğin, iki girdi değişkeninin arasında etkileşim olup olmadığının belirlenebilmesi için, deney tasarımında bu iki

değişken girdi olarak tanımlanmaktadır. Bu sayede, her deneyde tek bir faktörün değiştirildiği “her seferinde bir faktör” deneylerine göre girdiler arasındaki etkileşimleri görmek çok daha faydalı ve etkili bir yol olmaktadır.

2.2.1 Ölçüm belirsizliği analizi

Ölçüm belirsizliği analizi, bir deney sisteminin, ölçülecek parçaları anlamlı tolerans değerleri içinde değerlendirip değerlendirilemeyeceğinin kararının verilebilmesi için yapılan bir inceleme ve analiz çalışmasıdır. Bu çalışmada ölçülen parçalar, ölçüm sistemi ve operatörler değerlendirilmektedir.

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_o^2} \quad (2.5)$$

Ölçüm sisteminin standart sapması, ölçülen parçanın standart sapması ile operatörün standart sapmasına bağlıdır. [10]

$$\sigma_t^2 = \sigma_p^2 + \sigma_m^2 \quad (2.6)$$

$$\%R\&R = \frac{\sigma_m}{\sigma_t} \times 100 \quad (2.7)$$

Ölçüm sisteminin tekrarlanabilirliği ve yeniden üretilebilirliğinin (%R&R) sapma yüzdesi ölçüm sisteminin standart sapması ve toplam standart sapmaya bağlı olarak değişmektedir. [10]

2.2.2 Deney Tasarımı Aşamaları

Deney tasarımı; planlama, perdeleme, optimizasyon ve doğrulama olmak üzere 4 aşamada gerçekleştirilmektedir. Bu aşamalar aşağıda kısaca anlatılmaktadır [10].

Planlama: Dikkatli planlama, deneyler sırasında karşılaşılabilecek problemlerin önlenmesini sağlamaktadır. Her deneysel çalışmada, planlama aşamasında verilmesi gereken kararlar aşağıdaki gibi özetlenmektedir.

- a. Deney ile ulaşılmak istenen hedefin belirlenmesi

Deneyle ulaşılmak istenilen sonuç açıkça ifade edilmeli, bu sonuca ulaşmak için cevaplanması gereken sorular listelenmelidir.

b. Değişkenlik kaynaklarının belirlenmesi

Deney tasarımında incelenecek faktörlerin, deneyin uygulanacağı birimin, gürültünün ve kovaryansın seviyelerindeki değişikliklerin incelenmesi ve bu değişikliklerin kaynaklarının belirlenmesi gerekmektedir.

c. Faktörlerin incelenmesi için gerekli yöntemin belirlenmesi

İncelenecek faktörlerin çıktı üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla uygulanacak yöntem planlama aşamasında karar verilmesi gerekmektedir.

d. Deney yönteminin, ölçülecek parametrelerin ve beklenen zorlukların belirlenmesi

Deneyin başlangıcından sonuna kadar çıktılar üzerinde etki edebilecek tüm detayların belirlenmesi ve tasarımın tüm deneylerinde aynı prosedürün uygulanması gerekmektedir. Buna ek olarak, deney sonunda toplanacak datalar, dataların birim ve hassasiyetleri ile deney boyunca karşılaşılabilecek zorluklar önceden belirlenmelidir.

e. Ön deneme yapılması (pilot deney)

Pilot deneyler ile bir kaç gözlem yapılması, deneysel tekniğin ve beklenmedik problemlerin incelenmesine olanak sağlamaktadır.

f. Modelin belirlenmesi

Deneyler sonucunda toplanan dataların değerlendirileceği modele bu adımda karar verilmelidir.

g. Analiz taslağının hazırlanması

Bir önceki adımda belirlenen modele uygun olarak gerekli hipotez testlerinin ve güven aralığının belirtildiği taslak hazırlanmalıdır.

h. Yapılacak gözlem sayısının belirlenmesi

Güven aralığına ve sonucun kesinliğine uygun olarak yapılması gereken deney sayısına karar verilmelidir. Gereğinden az deney yapılması durumunda elde edilen sonuç yetersiz olacağı gibi, fazla sayıda deney yapılması durumunda ise zaman, emek ve para kaybına sebep olacaktır.

i. Gözden geçirme

Son olarak, yukarıdaki adımlarda alınan bütün kararlar gözden geçirilmeli ve gerekli yerlerde düzeltmeler yapılmalıdır.

Perdeleme: Perdeleme, ürün kalitesi üzerinde etkili olabilecek önemli değişkenleri belirleyerek, etkili olabilecek değişkenlerin sayısını azaltmaktadır. Böylece süreç iyileştirme çalışmalarını direkt olarak önemli değişkenlerin üzerine yoğunlaştırmak mümkün olmaktadır. Ayrıca perdeleme, belirlenen bu faktörler ile en iyi veya en uygun sonuca yaklaştırmakta ve oluşturulacak modelde eğrisellik olup olmadığını göstermektedir.

Optimizasyon: Perdeleme aşamasında değişkenlerin sayısı azaltıldıktan sonra, deneysel faktörler için en iyi veya en uygun değerlerin belirlenmesi gerekmektedir. Buna örnek olarak; prosesin veriminin artırılması veya üründeki değişkenliğin azaltılması verilebilir.

Doğrulama: Doğrulama, optimizasyon sonuçlarının kontrol edilebilmesi için en iyi faktörlerin tahmin edildiği ve kontrollü olarak testlerin yapıldığı adımdır. Sonuç için en uygun ayarlarda bir kaç doğrulama deneyi yapılarak, ortalama sonuç değeri için güven aralığı değeri tespit edilebilmektedir.

Tez çalışmasında öncelikle kurulan test düzeneği için ölçüm belirsizliği analizleri yapılmıştır. Ardından kuvveti oluşturan parametrelerin, kuvvet üzerinde etkisi incelenmiş ve sonrasında da imaj görselleme çalışmasının ölçüm belirsizliği yapılarak, kir çıkarma üzerinde etkili olan parametreler incelenmiştir.

Çalışmalarda orta noktalı deney tasarımları yapılarak, ara değerlerde bir eğrisellik olup olmadığı, yani ara değerlerde maksimum ya da minimum değer olup olmadığı incelenmiştir.

Su jetleme kuvvetini oluşturan açı, mesafe, debi ve nozul kesit alanı gibi parametrelerin incelendiği deney için iki düzeyli, orta noktalı, tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. Tam faktöriyel testlerde, tüm faktör düzeyleri kombinasyonunda çıktı değeri ölçülmektedir. İki düzeyli tam faktöriyel tasarımlarda incelenen her faktörün minimum ve maksimum olmak üzere iki düzeyi mevcuttur. Tasarıma orta nokta eklenmesi ise faktörler arasında eğrisellik olup olmadığının belirlenmesini sağlamaktadır. Eğer

tasarımın merkezinde bir eğrisellik var ise buradaki değer, yani tasarımın çıktısı, faktörlerin minimum ve maksimum noktalarını birleştiren doğru üzerinde bulunmayacaktır [3]. Kir çıkarma için ise 6 adet parametre incelenmiş ve yarım faktöriyel bir deney tasarımı kurulmuştur.

3 parametrenin incelendiği bir tam faktöriyel deney düzeneğinde 2^3 , yani 8 adet test yapılması gerekmektedir. Testlerin tekrar sayıları ve orta nokta atanması kullanıcının isteğine ve yapılan deneyin niteliğine bağlı olarak değişmektedir.

A faktörünün etkisinin hesaplanması eşitlik 2,9'dak gibi olmaktadır. Burada işlemin aldığı + ve – değerler tabloda verilmektedir. Diğer faktörlerin hesaplanması da benzer şekilde olmaktadır. (Çizelge 2.1)

$$\left| (\bar{x}_{|A^+|}) - (\bar{x}_{|A^-|}) \right| = \frac{x_1+x_2+x_3+x_4}{4} + \frac{x_5+x_6+x_7+x_8}{4} \quad (2.9)$$

Çizelge 2. 1 İki seviyeli tam faktöriyel deney tasarımı [10]

Deneme	Faktör Tasarımı			Deneysel Sonuç
	A	B	C	
1	+	+	+	X_1
2	+	+	-	X_2
3	+	-	+	X_3
4	+	-	-	X_4
5	-	+	+	X_5
6	-	+	-	X_6
7	-	-	+	X_7
8	-	-	-	X_8

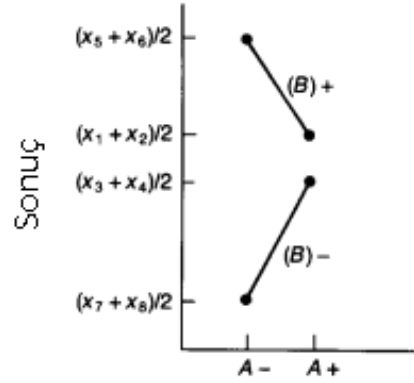
İkili ve üçlü etkileşimlerin incelendiği tablo aşağıda verilmiştir. Bu tabloya bakarak AB değerinin nasıl hesaplanacağı da Çizelge 2.2'de verilmiştir. [10]

Çizelge 2. 2 Tam faktöriyel deney tasarımı ve ilişkiler [10]

Deneme	Faktör Tasarımı							Deneysel Sonuç
	A	B	C	AB	BC	AC	ABC	
1	+	+	+	+	+	+	+	X ₁
2	+	+	-	+	-	-	-	X ₂
3	+	-	+	-	-	+	-	X ₃
4	+	-	-	-	+	-	+	X ₄
5	-	+	+	-	+	-	-	X ₅
6	-	+	-	-	-	+	+	X ₆
7	-	-	+	+	-	-	+	X ₇
8	-	-	-	+	+	+	-	X ₈

$$\left| (\bar{x}_{|AB^+|}) - (\bar{x}_{|AB^-|}) \right| = \frac{x_1+x_2+x_7+x_8}{4} + \frac{x_5+x_6+x_3+x_4}{4} \quad (2.10)$$

İkili etkileşimin gösterildiği grafik ise Şekil 2.11'de verilmiştir. [10]



Şekil 2. 11 İki faktörlü ilişki grafiği [10]

Tam faktöriyel deneylerin yanı sıra yarım, çeyrek faktöriyel deneyler de planlanabilmektedir. Tez kapsamında 1 adet tam, bir adet yarım faktöriyel deney planı yapılmıştır. Yarım faktöriyel deneylerde, deney sayısı $1/2 \cdot 2^k$ olmaktadır. [10]

Çizelge 2. 3 İki seviyeli deney tasarımları için olası tam ve tam olmayan faktöriyel tasarımlar [10]

Deneme Sayısı	Deneyisel Çözünürlük			
	V+	V	IV	III
4	2			3
8	3		4	5_7
16	4	5	6_8	9_15
32	5	6	7_16	17_31
64	6	7_8	9_32	33_63

V+: 2 seviyeli tam faktöriyel

V: Bütün ana etkiler ve ikili ilişkiler görülebilmektedir.

IV: Ana etkiler görülebilmektedir.

III: Ana etkiler ile ikili ilişkiler üst üste gelmektedir.

Burada yapılacak deney sayısına göre çözünürlük seçilebilir. Örneğin 6 faktör için tam faktöriyel test yapılmak istenirse, 64 adet teste ihtiyaç bulunmaktadır. Ancak 32 test yapılmak istenirse, yarım faktöriyel deney planlanabilir. (Çizelge 2.3) [10]

$$\frac{1}{2} (2^6) = 2^{-1} 2^6 = 2^{6-1} \quad (2.11)$$

Yarım faktöriyel olması durumunda, seçim örnekte gösterildiği gibi yapılmaktadır. Bu durumda 5'li etkileşimler görünmemektedir ancak tüm ana etkiler ve ikili etkileşimler görünmektedir.

Testlerde, özellikle Gage R&R çalışmalarında datalar rastgele test edilir. Bu olası gürültünün azalmasını sağlamaktadır. Örneğin, deney sırası karıştırılıp, açılı her seferinde değiştirildiğinde, açının ayarlanmasından gelebilecek gürültüler ortaya çıkacaktır. Ölçümlerin rasgele sırayla yapılmaması durumunda bazı parametrelerden gelebilecek gürültüler göz ardı edilmiş olacaktır.

Özellikle iki seviyeli deney tasarımlarında eğriselliğin incelenmesi kritik olabilir. Eğrisellik, ölçülen iki nokta arasında minimum ya da maksimum bir nokta olup olmadığını göstermektedir. Bu sebeple, iki seviyeli testlerde orta noktaları incelemekte fayda olacaktır.

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + b_7x_7 \quad (2.12)$$

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 \quad (2.13)$$

2.2.3 Hipotez Test

Yapılan analizin amacı, cevap üzerinde etkili faktörlerin ve bu faktörlerin etkilerinin seviyesinin belirlenmesidir. Bu nedenle analizin başında hipotez testleri oluşturulmaktadır. Hipotez testleri, sıfır ve alternatif hipotezler olmak üzere (sırasıyla H_0 ve H_A iki adet savın incelenmesini temel almaktadır. Sıfır hipotezi incelenen etkinin ihmal edilebilir olduğunu, alternatif hipotez ise incelenen etkisinin ihmal edilemeyeceğini savunmaktadır. Başka bir ifadeyle sıfır hipotezi etkinin sıfır olduğunu, alternatif hipotez ise etkinin sıfır olmadığını belirtmektedir. Hipotezlerin matematiksel ifadeleri aşağıda verilmiştir[3].

Hipotez testi için kurulan H_0 ve H_A hipotezlerinden hangisinin kabul edilebilir olduğuna karar verilmesinde p değerinden faydalanılmaktadır. Analiz sonucunda her bir faktör ve etkileşimleri için elde edilen olasılık değerleri (p değerleri) önceden kabul edilen α riski ile karşılaştırılarak incelenen faktör ve etkileşimlerinin çıktı üzerinde etkili olup olmadığına karar verilmektedir. α riski, verilen karar ile alınacak riski belirtmekte ve çalışılan güven aralığını ifade etmektedir. Risk seviyesi, çalışılan konuya bağlı olarak belirlenmektedir. Endüstriyel alanların bir çoğunda risk düzeyi %5, sağlık sektöründeki uygulamalarda ise %1 veya altında kabul edilmektedir. α riskinin %10 ve üzerinde olabileceği durumlar da söz konusudur. Buna göre;

- $p > \alpha$ ise; H_0 (Her $\tau_i = 0$) hipotezini reddetmemeye kararı alınmalıdır. Yani, τ faktörünün çıktı üzerinde etkisinin olmayabileceği, etkili denmesi durumunda alınacak riskin kabul edilen güven aralığının dışında olacağı söylenebilmektedir.
- $p < \alpha$ ise; H_A (En az bir $\tau_i \neq 0$) hipotezini kabul etme kararı alınır. Yani, τ faktörünün çıktı üzerinde etkisi olduğu, bu durumda alınacak riskin kabul edilebilir seviyede olduğu söylenebilmektedir.

Hipotez testi sonuçlarına göre değerlendirilen tam faktöriyel deney tasarımı ile bağımsız faktörlerin ve etkileşimlerinin çıktı üzerinde etkisinin olup olmadığına, etkili faktörlerin kurulacak modelde etki katsayıları ile karar verilir.

2.2.4 Korelasyon

İki değişken arasındaki lineer bağlantı korelasyon ile tanımlanmaktadır. $Y = f(x)$ fonksiyonunda Y bağımlı, x bağımsız değişkeni tanımlamaktadır. Lineer olmayan, kübik ve kuadratik ilişki regresyon üzerinden tanımlanmaktadır.

Korelasyon katsayısı (r) -1 ile +1 arasında değişmektedir. +1'e yakın olması durumunda iki değişken arasında pozitif yönde kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir. -1'e yakın olması durumunda ise ilişki negatif yönde kuvvetlidir. 0 olması korelasyon olmadığını göstermektedir. [10]

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.14)$$

2.2.5 Regresyon

Bir bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişki incelemek için regresyon kullanılır. Basit lineer regresyon aşağıdaki formdadır. Burada β_0 kesim noktası, β_1 eğim ve ε hatayı göstermektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (2.15)$$

R^2 (kararlılık katsayısı) değeri büyükse hatalar küçük ve model gerçeğe oldukça yakın anlamına gelmektedir.

Gerçek eğrinin değerlerinin kareleri toplamı, regresyonun kareleri toplamı ve hataların kareleri toplamının toplamına eşittir.

$$SS_{toplam} = SS_{regresyon} + SS_{hata} \quad (2.16)$$

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması kapsamında iki temel konu üzerine araştırmalar yapılmıştır. Öncelikle, kirin yüzeydeki davranışının incelendiği, kirin yüzeye tutunması ve kirin hem kendi içinde hem de yüzeyden kopmasının incelendiği kir yüzey etkileşimi başlığı altında çeşitli çalışmalar incelenmiştir. Sonrasında yüzeydeki kirin, su jeti etkisiyle yüzeyden sökülmesini temel alan su jeti ile kir çıkarma işlemleri başlığı altında çalışmalar incelenmiştir. İncelenen çalışmaların tez çalışmasına katkısı ve tez çalışmasının incelenen çalışmalardan farkı verilmiştir.

3.1 Kir Yüzey Etkileşimi

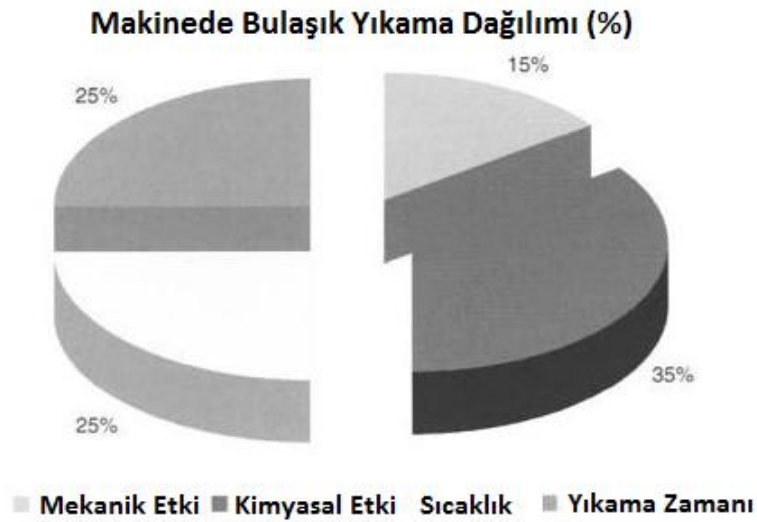
Temizleme işleminde amaç, kir ile yüzey arasında oluşan bağı koparmaktır. Bu amaç doğrultusunda, basınçlı temizleme işleminde mekanik, termal, kimyasal faktörler ve zaman faktörü kullanılmaktadır.

Peter T. Tsouknidas ve Xiang Zhang'ın "Developing A Simplified Test Method To Determine The Influence Of Spray Arm Speed And Pressure" [11] isimli Chalmers University Of Technology bünyesinde, 2010 yılında yayımlanan çalışmada; yıkanacak cisim üzerindeki kir ile yıkama sıvısı arasındaki etkileşimden bahsedilmektedir.

Kimyasal etki, kir ile yıkama sıvısı arasındaki etkileşimle ilgilidir. Sıcaklık, yıkama sıvısının, kir çıkarma işlemindeki performansını değiştirmektedir. Zaman etkisi ise kir üzerine uygulanacak kuvvetin etki süresiyle ilgili olup tüm parametreleri etkileyen faktördür. [11]

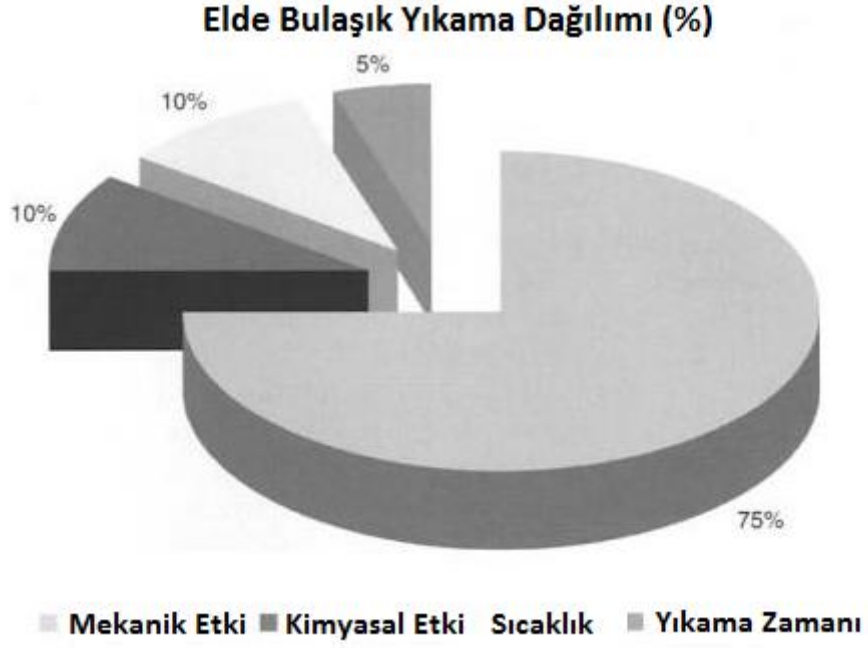
Mekanik etki bu üç etkiden bağımsız olmamakla birlikte, sıvının kirli yüzey ile mekanik etkileşimiyle ilgilidir. Mekanik etkinin alt kollarında ise sıvının momentumu, geliş açısı ve sıvı partikülün geometrisi bulunmaktadır. [11]

Alan Tomlinson ve Joseph Carnali'nin "A review of key ingredients used in past and present auto dishwashing formulations and the physico-chemical processes they facilitate" [12] isimli çalışmasında makinede yıkama işleminde etkili olan parametrelerin etki oranları ortaya konmuştur. Buna göre baskın parametre %35 ile kimyasal etki görünmektedir. Süre ve sıcaklık %25'er oranda etkilidir ve mekanik etkinin yüzdesi %15'tir (Şekil 3.1). [12]



Şekil 3. 1 Yıkama performansını etkileyen faktörler (makinede yıkama) [12]

Aynı makalede, elde yıkama işlemi de incelenmiş ve bu işlemde mekanik etki %75 olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.2). [12]



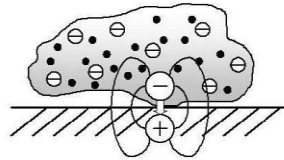
Şekil 3. 2 Yıkama performansını etkileyen faktörler (elde yıkama) [12]

Bu değerlendirmeye göre, makinede mekanik etkinin değeri %15 ile sınırlı olmamakta, etkinin artırılmasıyla, diğer etkilerin payı azalabilmekte ve mekanik etkinin payı artırılabilir. [12]

Kir oluşumu incelendiğinde, kirin nesnelere üzerinde üç farklı şekilde oluşabildiği görülmektedir. [12]

- **Elektrostatik çekim:**

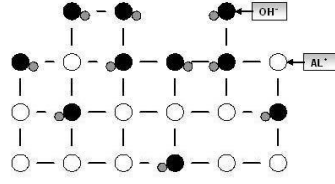
Bir yüzey kirden farklı bir yüke sahip olduğunda, bu karşılıklı yük sonucunda nesne kiri çeker ve üzerinde kir oluşur. (Şekil 3.3)



Şekil 3. 3 Elektrostatik çekimin gösterilişi [13]

- **Kimyasal malzeme dönüşümü:**

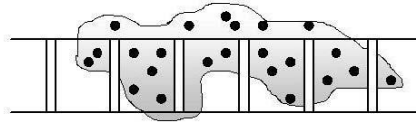
Malzeme dönüşümü sonucunda yüzey değişir, kirlenir ve kirli görünür. (Şekil 3.4)



Şekil 3. 4 Yüzeydeki kirin gösterilişi [13]

- **Birbirine geçme:**

Kir, pürüzlü bir yüzeye takılır ve ikisi birbirlerine geçer. (Şekil 3.5)



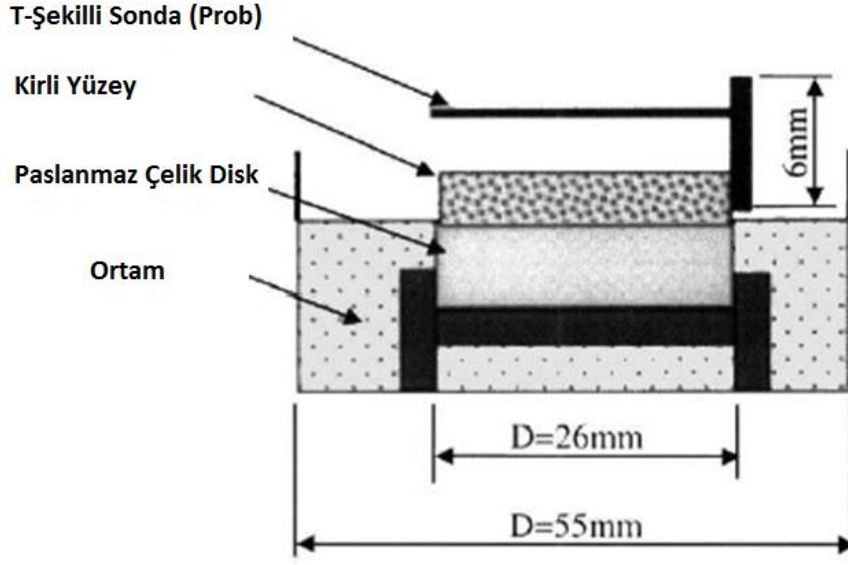
Şekil 3. 5 Kirin yüzeye geçmesi [13]

Farklı iki madde arasında var olan ve bu iki maddenin birbirine yapışmasını sağlayan çekim kuvvetine **adezyon**, yani yapışma denir.

Aynı cins moleküllerin çekim kuvvetine ise **kohezyon** denir. Kohezyon, sıvı ve katı (gazlarda ihmal edilebilecek kadar küçüktür) maddelerde görülür. Bu maddelerin moleküllerindeki pozitif ve negatif yükler arasında oluşur. Bağların ömrü saniyenin trilyonda biri kadardır; ancak komşu moleküller arasında sürekli yeni bağ kurulur ve bu da bileşiği bir arada tutar. [13]

W. Liu, P.J. Fryer, Z. Zhang, Q. Zhao, Y. Liu tarafından yazılan "Identification of cohesive and adhesive effects in the cleaning of food fouling deposits" (2006) [14] isimli makalede yapılan deneylerde kirlerin yüzeyden temizlenmesi için gereken adezif ve kohezif kuvvetleri ölçülmüştür. Domates salçası, ekmek hamuru ve yumurta akının adezif dayanımı kohezif dayanımından daha düşük, peynir altı suyu proteininde ise kohezif dayanım adezif dayanımdan daha düşük tespit edilmiştir. [14]

Şekil 3.6'da görülen T şeklindeki prob'un ucuna, yüzeydeki kir filmini parçalayabilecek gerekli kuvveti belirleyebilmek için kuvvet ölçüm sistemi yerleştirilmiştir. Ayrıca bu prob ile yüzeydeki kir filminin kalınlığı mm seviyesinde ölçülebilmektedir. [14]

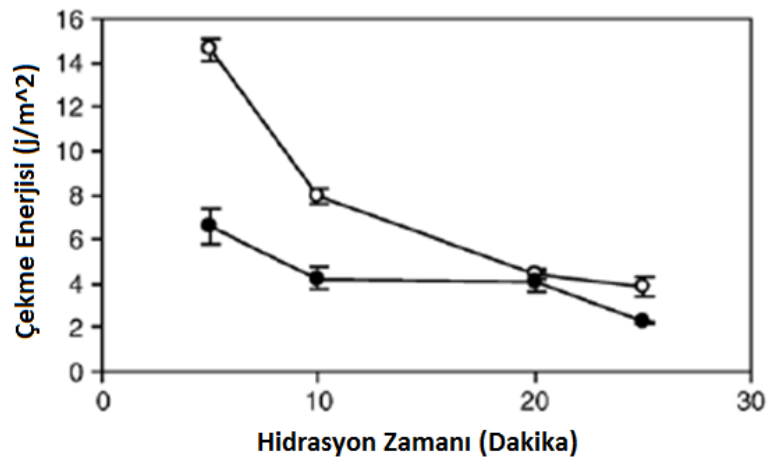


Şekil 3. 6 Adezyon kohezyon kuvvetleri algılama deney düzeneği [14]

Kirlere, paslanmaz çelik veya modifiye edilmiş yüzeylerin ($d=26$ mm) üzerinde ısıtma işlemi uygulanmıştır. 4 tip kir üzerinde çalışılmıştır. Bunlar;

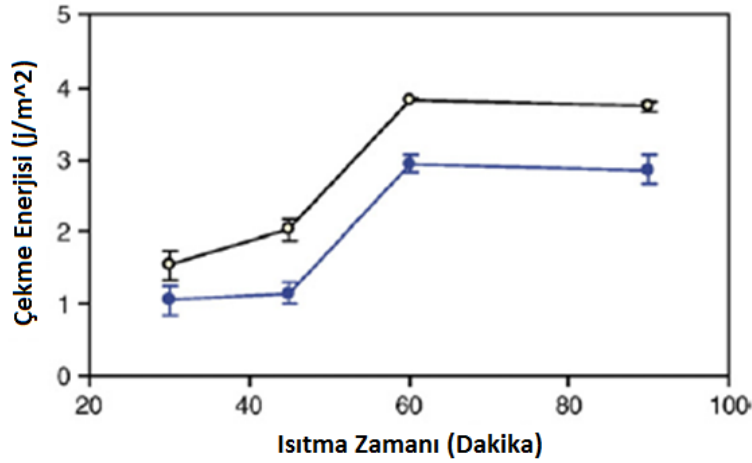
- Domates Salçası
- Süt Proteini
- Yumurta Akı
- Ekmek Hamuru

Kirler paslanmaz çelik yüzeylere uygulanmıştır. Yüzey olarak, 26 mm çapında numune kullanılmıştır. Yüzey, $Ra=0,2$ pürüzlülüğündedir. [14]



Şekil 3. 7 Domates salçası kiri için hidrasyon zamanının kir çıkarma için gerekli enerjiye etkisi [14]

Şekil 3.7’de açık noktalar kohezyon kuvvetini vermekte, koyu noktalar adezyon kuvvetini vermektedir. Şekilde de görüldüğü üzere; Kir parçacıkları arasındaki kohezif enerji, yüzey ile kir molekülleri arasındaki adezif enerjiden daha yüksektir. Ölçümlerden önce kir üzerine hidrasyon işlemi uygulanmıştır. Bu hidrasyon süresi ve çekme enerjisi arasındaki ilişki şekilde verilmiştir. Görüldüğü üzere kohezif kuvvetlerde daha yüksek bir düşüş ivmesi vardır. [14]



Şekil 3. 8 Yumurta albumin için ısıtma süresinin adezyon ve kohezyon kuvvetlerine etkisi [14]

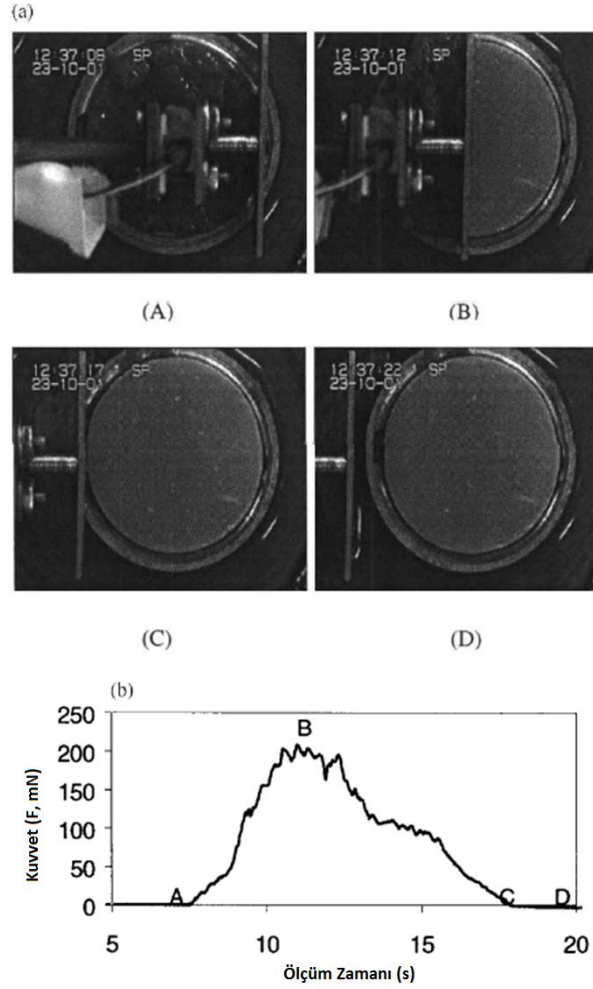
Kirin ilk kalınlığı 2,2 mm’dir. Bu kısımda yüzeydeki besin maddesinin ısıtma zamanı ile dayanımı arasındaki bağıntı incelenmiştir (Şekil 3.8). Isıtma zamanı arttıkça kir katılaşmaktadır. Bunun sonucunda kirde oluşan kohezif dayanım, adezif dayanımından daha yüksek olmaktadır. Yani kiri kendi içinde parçalamak, kiri yüzeyden tamamen çıkarmaktan daha zordur. (Açık noktalar kohezyon, kapalı noktalar adezyon) [14]

Kuvvetler, prob yardımıyla yüzeyle kir arası ve kirler arası kuvvetlerin toplamı olarak ölçülmüştür (yüzeyden uzaklaşması için gereken kuvvet). [14]

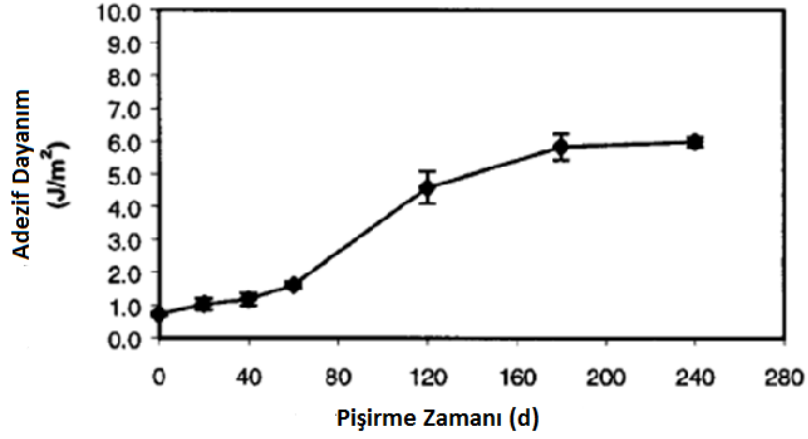
W : Temizlemek için gereken iş(J), V : Kirin hacmi, A : Yüzey alanı, ω_s : Kir-yüzey arası bağların kopartılması için gereken iş (birim yüzey için) (J/m^2), φ_v : Kirler arası bağları kopartmak için gereken iş (birim hacim için, plastik şekil verme işi gibi düşünülebilir) (J/m^3) olmak üzere

$$W = \omega_s A + \varphi_v V \quad (3.2)$$

W. Liu, G.K. Christian, Z.Zhang, P.J.Fryer tarafından 2002 yılında yazılan "Development and use of a micromanipulation technique for measuring the force required to disrupt and remove fouling deposits" [15] isimli çalışmada, domates salçasının paslanmaz çelik yüzeyde; değişen fırınlama süresi, hidrasyon süresi ve çalışma sıcaklığında davranışı incelenmiştir. Fırınlama süresi, kirin kalınlığının artması ve yüzey pürüzlülüğünün artması adeziv dayanımı artırırken, hidrasyon süresi ve sıcaklığı adeziv dayanımı düşürmektedir. [15]

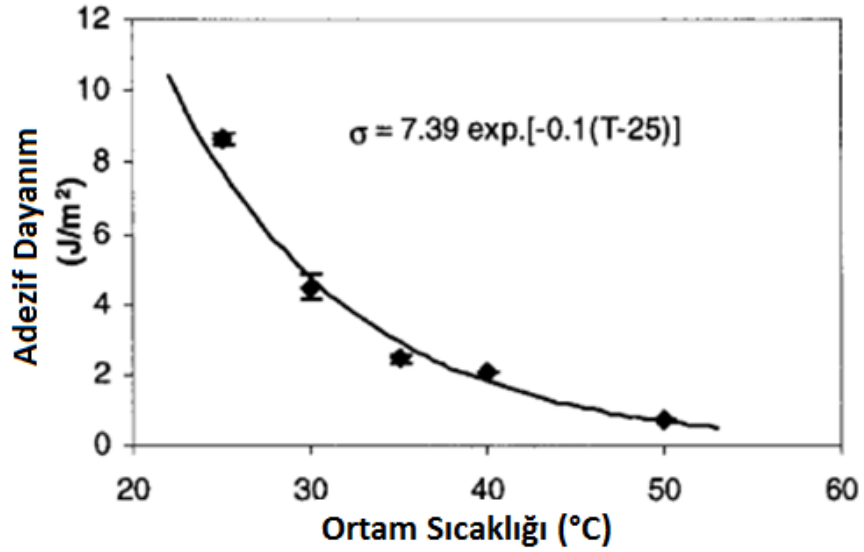


Şekil 3. 9 Ölçüm kademeleri ve ölçüm sırasında zamanla kuvvetin değişimi [15]
Ölçümlerde kuvvetin maksimum olduğu yerdeki değer alınmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3. 10 Fırınlama süresinin adezyon kuvveti değişimine etkisi [15]

Yapılan deneylerde numunenin fırınlama süresinin artırılmasının adezif kuvvetin artmasına neden olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat bu artış 3 saatten sonra önemsiz bir hale gelmiştir (Şekil 3.10). [15]



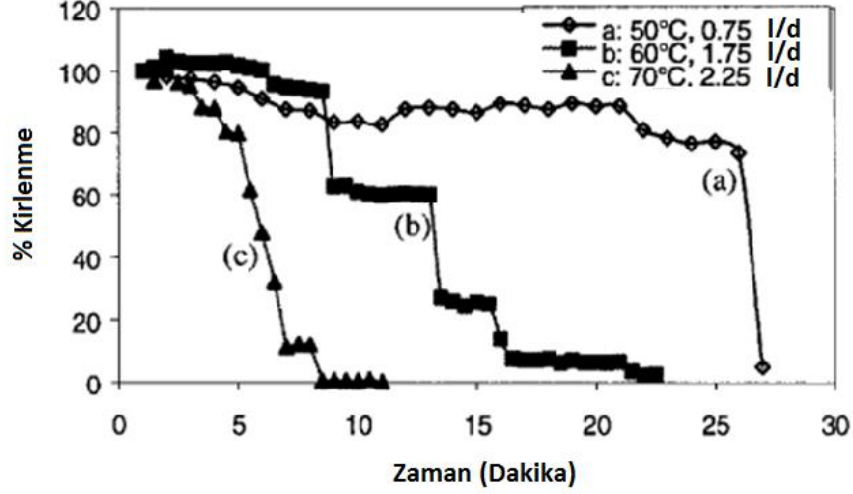
Şekil 3. 11 Hidrasyon sıcaklığının adezyon kuvveti değişimine etkisi [15]

Hidrasyon sıcaklığının artırılması ise adezif dayanımda keskin bir düşüşe neden olmaktadır (Şekil 3.11). [15]

$$\sigma = 7.39 \exp[-0.1(T - 25)] \quad (3.4)$$

T, °C olarak alınır.

Debi değişimi ve akışkan sıcaklığındaki değişime göre kirlerin yüzeyden çıkartılması arasındaki ilişki incelenmiştir.



Şekil 3. 12 Farklı sıcaklık ve akış debisinin kir çıkarma üzerindeki etkisi [15]

Yüzeiden belirli debi ve sıcaklıklarda su geçirilmiş ve bu durumlardaki kir çıkarma prosesi incelenmiştir. Buna göre yüksek sıcaklık ve yüksek debi kir çıkarmayı iyileştirmektedir (Şekil 3.12). [15]

W. Liu, G.K. Christian, Z.Zhang, P.J.Fryer tarafından 2005 yılında yayımlanan “Direct measurement of the force required to disrupt and remove fouling deposits and whey protein concantrate [16] isimli makalede peynir altı suyu proteininin yüzeiden çıkartılması çalışmaları anlatılmıştır. Bu çalışmada da önceki çalışmalara benzer testler gerçekleştirilmiştir. Farklı kimyasalların kir çıkarma üzerindeki etkileri incelenmiştir. [16]

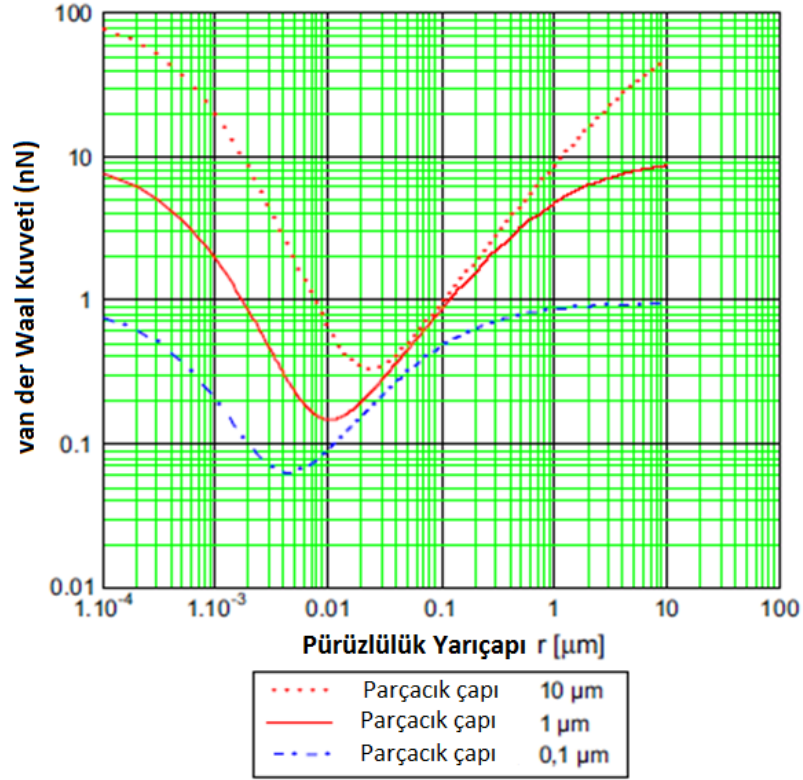
W.Liu, N.Ab. Aziz, Z.Zhang, P.J. Fryer tarafından 2005 yılında yayınlanan “Quantification of the cleaning of egg albumin deposits using micromanipulation and direct observation techniques” [17] adlı çalışmada, yumurta akı için sıcaklık ve içerdiği albümin miktarının adezif ve kohezif dayanıma olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada, ortam sıcaklığının adezif dayanım üzerine etkisi incelenmiştir. Sıcaklık artışının adezif dayanımı artırdığı gözlenmiştir. Ayrıca yumurta içindeki ovalbumin konsantrasyonu arttıkça adezif dayanım artmıştır. [17]

Ulrich Bobe, J. Hofmann, K.Sommer, G.Reiners, tarafından 2006 yılında hazırlanan “Adhesion-Where Cleaning Starts” isimli çalışmada temizlemeyi etkileyen faktörler incelenmiştir. Bunlar yüze malzemesi (pürüzlülük Ra , yüze enerjisi), yüze yapışan maddeler (çap, malzeme) ve yıkama sıvısıdır (pH, sıcaklık, yüze aktif maddeler). [18]

Adezyon iki kuvvetten oluşmaktadır: van der Waals kuvveti ve elektrostatik kuvvet. Temizlemenin incelendiği deneylerde, temizlemenin analizi van der Waals kuvvetlerine bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. [18]

$$F_{vdW} = \frac{Hd}{12a^2} \quad (3.5)$$

Bu denklem, bir parçacığın düz yüzeydeki van der Waals kuvvetini vermektedir. Eğer parçacık yüzeye temas halinde değilse α , parçacık ile yüzey arasındaki mesafeyi belirtmektedir. Eğer parçacık yüzeye temas halindeyse α sabit olarak $\alpha_0 = 0,4$ nm olarak ifade edilir. H ise Hamaker sabitidir. Parçacığın malzemesiyle ilgili olup, yüzey ve ortamın özelliklerine bağlı olarak yüzeyin enerjisinden hesaplanmaktadır. [18]



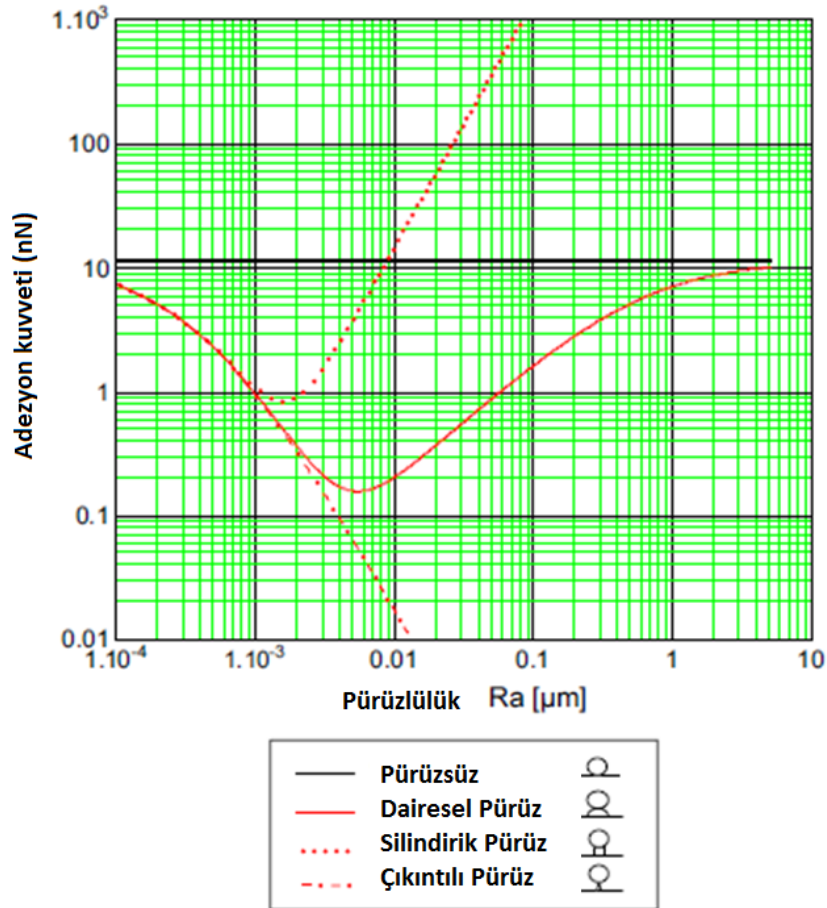
Şekil 3.13 Yüzey pürüzlülüğüne göre van der Waals kuvveti değişimi [18]

$$F_{vdW} = \frac{Hd}{12a^2} \left| \frac{1}{1+\frac{d}{2r}} + \frac{1}{\left(1+\frac{r}{a}\right)^2} \right| \quad (3.6)$$

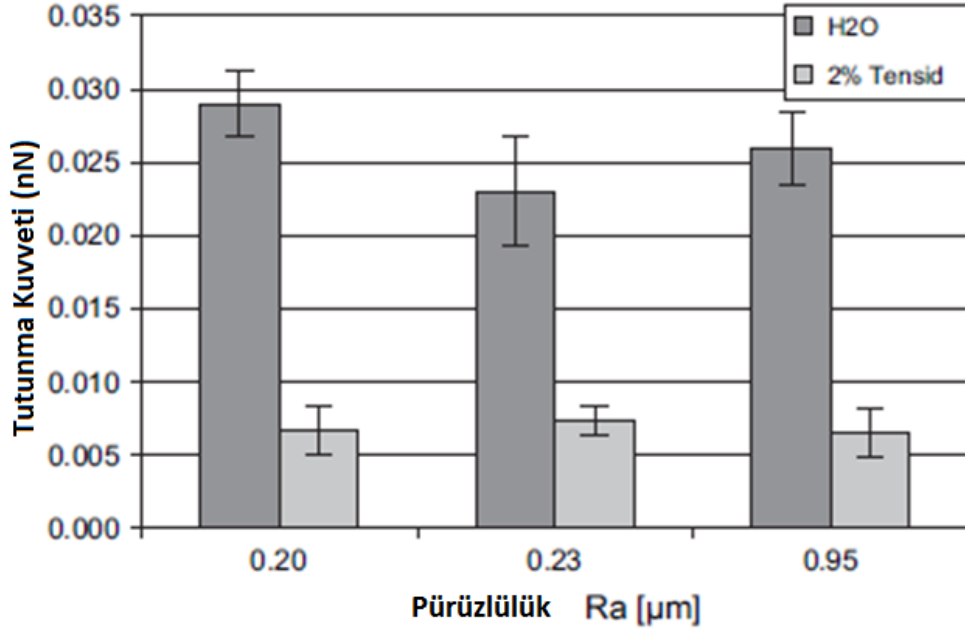
Yüzey pürüzlülüğü r olarak ifade edilmektedir. Şekil 3.13'te yüzey pürüzlülüğü ve parçacık çapı değişiminin van der Waals kuvveti üzerindeki değişim verilmiştir. [18]

3 farklı pürüzlülük karakteristiğinde deney yapılmıştır. Silindirik bir pürüz karakteristiğinde; belli bir değerden sonra pürüzlülük arttıkça adezyon kuvveti yüksek oranda artmaktadır. [18]

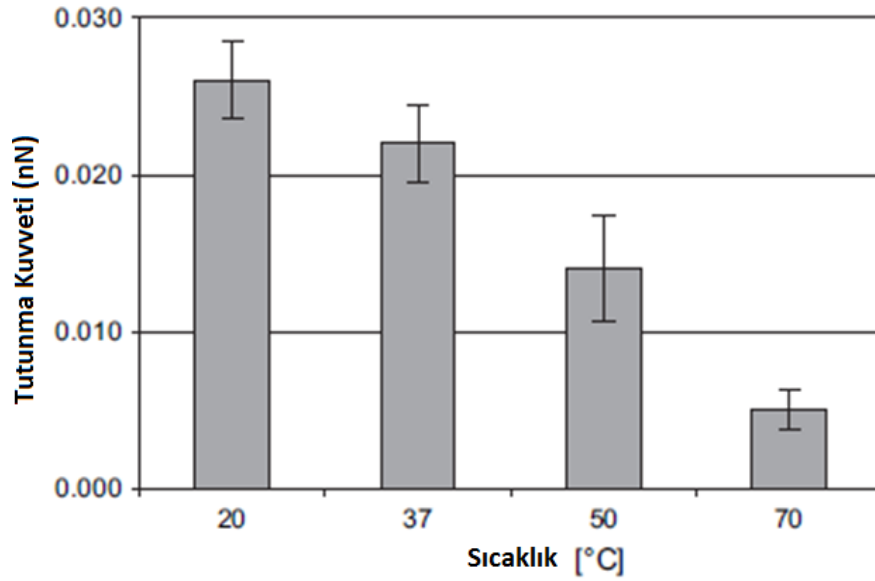
Şekil 3.14'te bu üç karakterdeki pürüzlülük ile adezyon kuvveti arasındaki ilişki verilmiştir. Adezyon kuvveti üzerinde, pürüzlülük karakterinin, pürüzlülük değerinden daha önemli olduğu ortaya çıkmıştır. [18]



Şekil 3. 14 Farklı tip yüzeylerin, farklı pürüzlülük değerinde adezyon kuvveti değişimi Deterjanın kullanılması bağlayıcı kuvvetlerde azalma meydana getirmektedir (Şekil 3.15). [18]



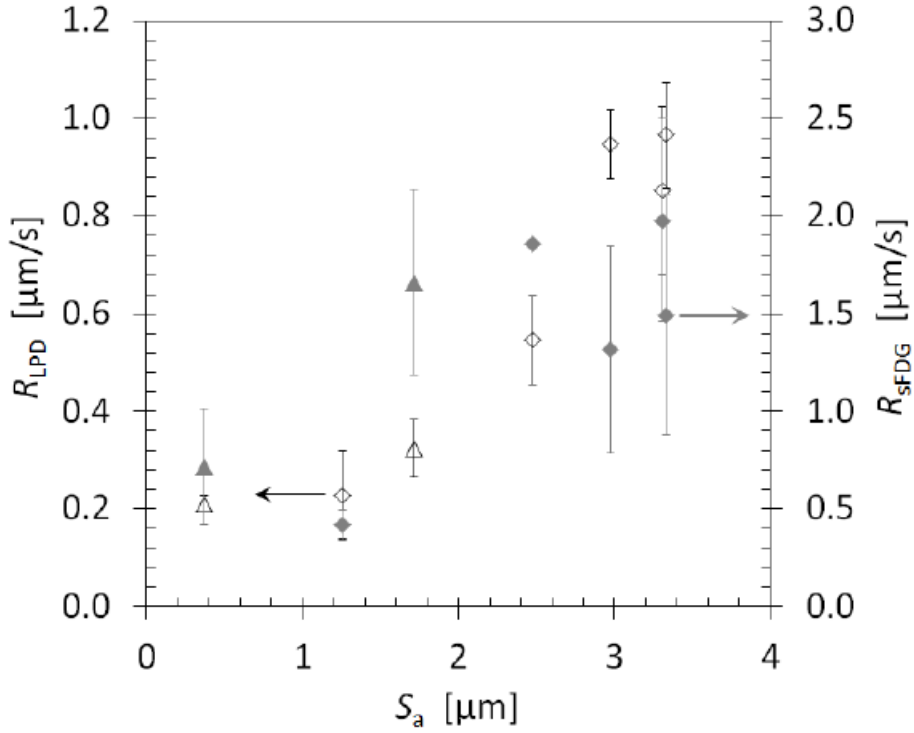
Şekil 3. 15 Surfaktan etkisinin adezyon kuvvetiyle ilişkisi [18]



Şekil 3. 16 Sıcaklığın adezyon kuvvetiyle ilişkisi [18]

Sonuç olarak; Düşük enerjili yüzeylerin temizlenme kabiliyeti daha yüksektir. Çünkü yüzey enerjisinin düşük olması, kirin bağlanmasını zorlaştırmaktadır. Yani temizleme performansı, katı yüzeyin malzemesini değiştirerek arttırabilir. Öte yandan yıkama sıvısında değişen parametrelerden sıcaklık da yıkama performansı üzerinde büyük rol oynamaktadır (Şekil 3.16). [18]

P. W.Gordon, M.Schöler, H.Föste, M.Helbig, W. Augustin, Y.M.J.Chew, S.Scholl, J.P.Majschak, D.I.Wilson tarafından 2014 yılında hazırlanan “A comparison of local phosphorescence detection and fluid dynamic auging methods for studying the removal of cohesive fouling layers: effect of layer roughness” [35] isimli çalışmada yüzey pürüzlülüğünün kir çıkarma üzerine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan biri LPD (Local Phosphorescence Detection) ve diğeri FDG (Scanning Fluid Dynamic Gauging) yöntemleridir.



Şekil 3.17 Yüzeydeki parçacık boyutunun kir çıkarma üzerine etkisi [35]

Yüzey pürüzlülüğünün kir çıkarma oranı üzerine etkisi şekilde verilmiştir. Sol eksen LPD, sağ eksen FDG yönteminin sonuçlarını göstermektedir. Siyah semboller FDG sonucunu verirken açık semboller LPD sonucunu vermektedir. Şekil 3.17’de anlaşıldığı gibi, genel olarak yüzeydeki parçacık boyutu arttıkça kir çıkarma kolaylaşmaktadır. [35]

L.B.Petermann, C.Gabet, .Baroux, tarafından 2005 yılında hazırlanan “On the respective effect of the surface energy and micro-geometry in the cleaning ability of bare and coated steels” [19] isimli çalışmanın amacı, temizleme prosesinde etkili olan yüzey enerjisini ve kirli yüzeylerin kinetiğini anlatmaktır. Düz ve işlenmiş paslanmaz

çelik yüzeylerin temas açıları incelenmiştir. Yüzeyler iki farklı malzemeyle kaplanmıştır: Silicon oxide (hidrofilik) ve polysiloxane (hidrofobik). [19]

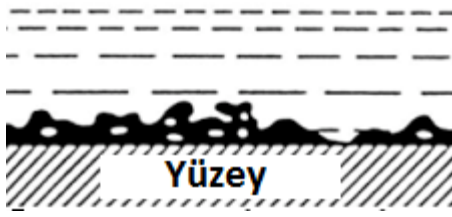
Bu çalışmada farklı yüzeylerin temizlenme kabiliyetini incelemek için farklı yüzeylerde çalışılmıştır. Hidrofobik yüzey elde etmek için polysiloxane kaplama, hidrofilik yüzey elde etmek için silicon oxide kaplama kullanılmıştır. Çalışmada yüzeyin polarlığı arttıkça, sıvının yüzeyle yaptığı temas açısı küçülmektedir. Polar yüzeylerin kir çıkarma yeteneği daha yüksektir sonucu çıkarılmıştır. [19]

A.Handojo, Y.Zhai, G.Frankel, M.A.Pascall tarafından 2009 yılında hazırlanan “Measurement Of Adhesion Strengths Between Various Milk Products On Glass Surfaces Using Contact Angle Measurement And Atomic Force Microscopy” [20] isimli çalışmada, çeşitli süt ürünleri, (tam yağlı süt, yağ oranı %2 düşürülmüş süt, çikolatalı süt ve az yağlı süt) cam yüzey üzerinde yıkama işleminden önce ve sonra analiz edilmiştir. Bu çalışmada farklı süt tipleri için yüzeye tutunma ve kir çıkarma işlemi incelenmiştir. Tam yağlı süt daha yüksek adezyon kuvvetiyle yüzeye tutunmaktadır. Bu sebeple bunu çıkarmak daha zor olmaktadır. [20]

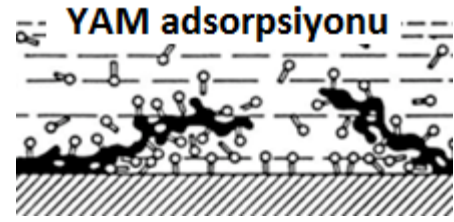
3.2 Su Jeti İle Kir Çıkarma İşlemleri

Suyun nozuldan geçirilmesi neticesinde, kesit daralmasıyla birlikte çıkış hızı artırılmış suya, su jeti denilmektedir. Su jeti, nozuldan çıktıktan sonra çok yüksek basınçlara çıkabilmektedir. Başta temizleme ve kesme işlemleri olmak üzere birçok sektörde suyun bu basıncından yararlanılmaktadır.

Su jeti, yüzeye uyguladığı mekanik etki sonucunda, kirin altına girerek yüksek basıncın da etkisiyle kirleri yüzeyden kolay bir şekilde çıkarılmasını sağlamaktadır. Su jeti genellikle deterjan gibi bir kimyasal ile birlikte kullanılmaktadır. Deterjanlar bileşimindeki surfaktan madde vasıtasıyla çözelti ile kirli yüzey arasındaki ara yüzey gerilimi düşmektedir. Böylece kirin yüzeyden uzaklaşması daha kolay olmaktadır (Şekil 3.18).



Kirli Yüzey



Deterjanın Yüzeğe Tutunması



Kirin Yüzeyden Sökülmesi

Şekil 3. 18 Deterjanın kir üzerine olan etkisi [3]

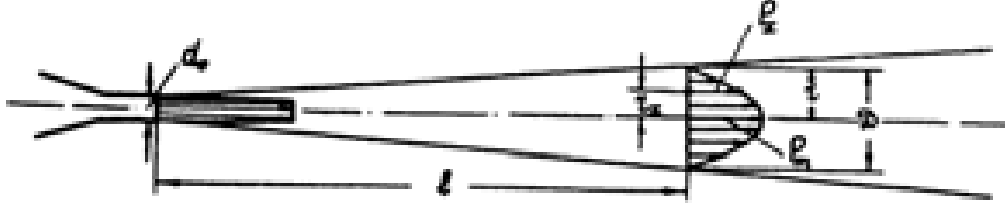
3.2.1 Su Jetinin Oluşumu

Suya küçük bir nozuldaki yol verilmesi halinde, oldukça yüksek hıza sahip jetler elde edilebilmektedir. Tüp içerisindeki hızı, saniyede bir kaç metre olan su, nozula ulaştığında oldukça yüksek bir hız ile dışarı akmaya zorlanır. Sonuçta nozul çapına bağlı olarak, yüksek hızlara sahip jetler elde edilmektedir. Basıncı su, nozula ulaştığında, sıvıdaki basıncın değerinde atmosferik basınç düzeyine kadar bir düşüş meydana gelecektir. Sistemdeki enerji sabit olduğundan, sudaki hidrostatik enerji kinetik enerjiye dönüşür ve yüksek hıza sahip su jeti elde edilir. Su basıncına (P) bağlı olarak, su jetinin hızı (w), Bernoulli denkleminde elde edilir.

$$w = C_v \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad (3.7)$$

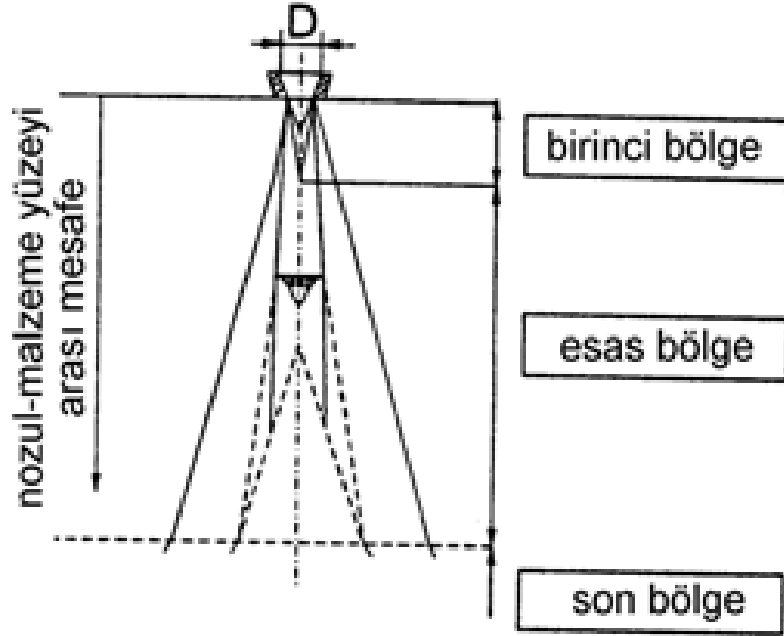
Burada C_v hız katsayısıdır ve standart bir su jeti orifisinde sürtünmeler nedeniyle 0,98 alınır. ρ ise suyun yoğunluğudur. Suyun orifisi terk etmesiyle jet merkezinden yüzeyine doğru basınçta kademeli bir düşüş görülür. Jetin boyuna kesitinde basınç dağılımına bakıldığında, kenarlardan jet merkezine doğru hızlı bir basınç artışı söz konusudur. Jetin orifisi terk etmesiyle basınç profili değişir. Jetin dış kısmını oluşturan katman, kendisini çevreleyen hava ile olan sürtünme nedeniyle yavaşlar. Bu katman sırası ile merkeze

doğru giden katmanları da yavaşlatır. Böylece Şekil 3.19'da görüldüğü gibi çana benzer bir basınç profili meydana gelecektir.



Şekil 3. 19 Orifisten akan bir jet kesitindeki dinamik basınç dağılımı [21]

3.2.2 Su Jetinin Yapısı



Şekil 3. 20 Su jetinin yapısı [21]

Su jeti üç ana yapıdan oluşmaktadır (Şekil 3.20).

3.2.2.1 Birinci Bölge

Nozuldan hemen sonra gelen ilk bölgede jet, sürekli akış özelliğinde ve aksiyal dinamik basınca sahiptir. Bu alanda sudan havaya olan kütle ve momentum transferleri düzensizdir. [22]

3.2.2.2 Esas Bölge

Bu bölgede su jeti damlacıklara dönüşmektedir. Bu bölgedeki damlacıkların yüzeye çarpmasıyla oluşan pikler halindeki yükler, birinci bölgenin sağlayacağı yüklerden oldukça yüksektir. Her bir damlacığın yüzeye çarpması sonucu, bir kaç mili saniye içerisinde çarpma noktasında basınç meydana gelir. Su jeti ilerledikçe hava ile olan momentum transferi sonucunda damlacık çapı küçülür ve hızı yavaşlar. Git gide etrafa yayılan bir hareket sergiler. Esas olarak su jetiyle işin yapıldığı bölge burasıdır. Bu kısım; 2 ayrı bölgeden oluşmaktadır. [22]

Esas bölgenin dış kısmı; suyun momentinin büyük bir kısmının havaya iletiildiği kısmıdır. Damlacık boyutları çok küçüktür ve bu bölgede damlacık hızları ihmal edilmektedir. Esas bölgenin iç kısmı; su jetinin esas karakteristiğinin korunduğu bölgedir. Hız değerleri yüksek mertebelere sahiptir. Bu kısımda suyun momentinden etkin olarak yararlanılabilir. [22]

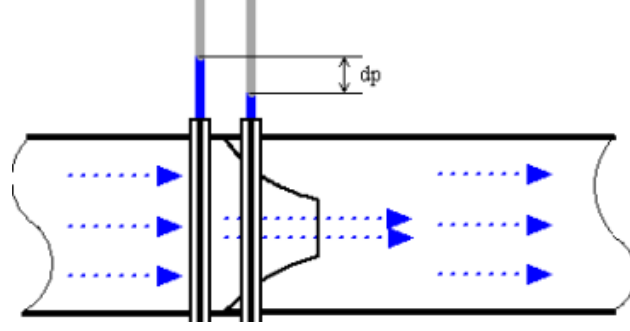
3.2.2.3 Son Bölge

Esas bölgeden hemen sonra jet difüzyonun (yayıma) meydana geldiği son bölge yer alır. Damlacıklar bu bölgeye ulaştıklarında oldukça küçüktür. Suyun, momentinin tamamını havaya iletmediği, küçük damlacıklardan oluşan, hızın ihmal edildiği bölge olarak tanımlanmaktadır. [22]

3.2.3 Nozullar

Her püskürtme nozulu bir püskürtme şekli üretir ve bu en ayırt edici özelliktir. Nozul seçimi tipik olarak, soğutma, yıkama, kaplama, yağlama, kurutma, parça yıkama vb. uygulamalara uygun bir püskürtme şekli seçimi ile başlar.

Süreklilik denklemi esasına göre tasarlanan, akışkanın sabit debi altında hızlandırılmasını sağlayan araçlardır.



Şekil 3. 21 Örnek nozul (lüle) gösterimi [22]

Kütlenin korunumu prensibi; Fransız kimyacı, A.L. Lavoisier tarafından klasik olarak; “madde ne yoktan var edilebilir ne de yok edilebilir” şeklinde ifade edilmiştir. Bunun bir akım borusu içerisinde akmakta olan kararlı bir akışa uygulanmasına süreklilik denklemi denir. Bu tanım; bir akım tüpü içerisinde kesitten kesite akışın sürekliliği anlamına gelir. Bir akım borusu içerisinde sıkıştırılmaz bir akışkanın kararlı akımını göz önüne alalım ve (1) kesitinde; kesit alanı A_1 ve akışkanın ortalama özkütlesi ρ_1 , (2) kesitinde kesit alanı A_2 ortalama özkütlesi ise ρ_2 olsun. Kütle korunduğu ve akışkan kararlı olduğu için, Δt süresi içinde A_1 kesitinden geçen kütle aynı süre içinde A_2 kesitinden geçen kütleye eşit olur (Şekil 3.22).

$$\Delta m_1 = \Delta m_2 \quad (3.8)$$

$$\rho_1 A_1 \omega_1 = \rho_2 A_2 \omega_2 \quad (3.9)$$



Şekil 3. 22 Kesitleri farklı borudaki akışan [22]

Bu ifadenin anlamı ise; kararlı bir akışkan akımında akım borusunun tüm kesitlerinden geçen kütleli debi ($\rho A w$)’nin sabit olduğu şeklindedir. Böylece, $\rho \cdot A \cdot w = \text{sabittir}$. Yoğunluk değişiminin ihmal edilebilir sınırlarda kaldığı gaz ve sıvı akımlarında yani sıkıştırılmayan akışkan ortamlarda

$$(\rho_1 = \rho_2 = \text{sabit}) \quad (3.10)$$

süreklilik denklemi;

$$A_1 \omega_1 = A_2 \omega_2 = \text{sabit yani } A \cdot \omega = Q \text{ (sabit)} \quad (3.11)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki Q sembolüne hacimsel debi veya kısaca debi denir. Debi; birim zamanda sistemden geçen akışkan hacmi anlamına geldiğinden birimi (m³/s)'dir. Nozulların çalışma mantığı da bu süreklilik denkleminde anlaşılmaktadır.

3.2.3.1 Nozul Seçim Kriterleri

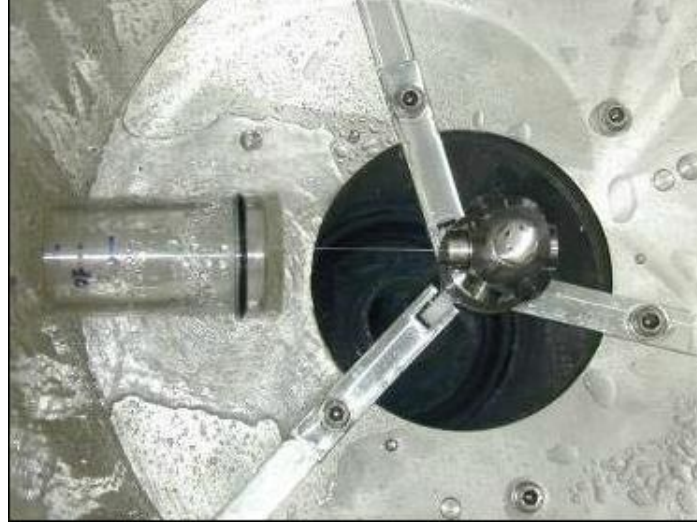
- Debi
- Basınç
- Püskürtme açısı
- Akışın dağılımı
- Çarpma etkisi
- Damlacık boyutu

Yukarıdaki parametreler nozul seçiminde kullanılan seçim kriterleridir. Deney düzeneğinde çarpma etkisinin maksimum, akışın dağılmadığı, damlacık boyutunun büyük olduğu noktasal püskürtme nozulları kullanılmıştır.

3.2.4 Su Jeti Profili Üzerine Açı ve Mesafe Etkisi

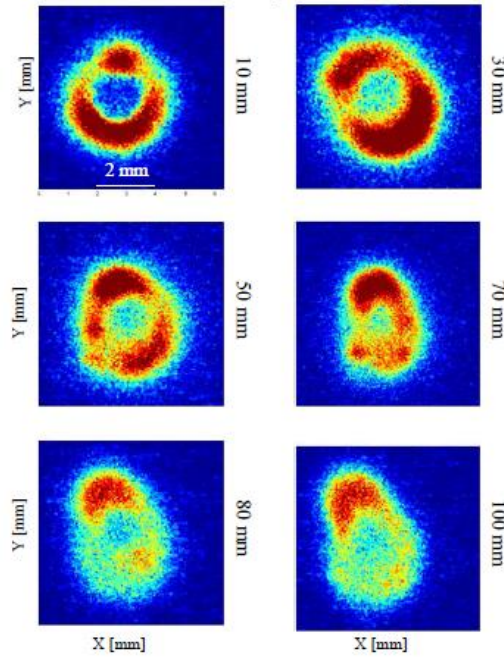
Nozuldan çıkan su jeti ilerledikçe, yerçekimi ivmesi ve hava direnci nedeniyle su jetinin hızında ve ivmesinde düşüş görülmektedir. Bu kısımda su jetinin etki yüzeyinde oluşturduğu etkinin uzaklıkla değişimini inceleyen **Sertore D., Fusetti M., Michelato P., Pagani C., Pierini P., tarafından 2006 yılında hazırlanmış "High Pressure Rinsing Water Jet Characterization" [24]** adlı makale incelenmiştir.

Bu çalışmada, su 5,14 lt/d debisinde 1 mm çapında bir nozülde geçirilmiş, nozülde çıkan su jeti şeffaf etki yüzeyine gönderilmiştir. Bu işlem, nozül ile şeffaf etki yüzeyi arasındaki uzaklık 10'dan 100 mm'ye kadar değiştirilerek tekrarlanmıştır. [24]



Şekil 3. 23 Kullanılan test düzeneği [24]

Su jetinin etki yüzeyine çarpması sırasında meydana gelen görüntüler $40 \mu\text{m}$ piksel mertebesinde kamera ile kaydedilmiştir (Şekil 3.23). [24]

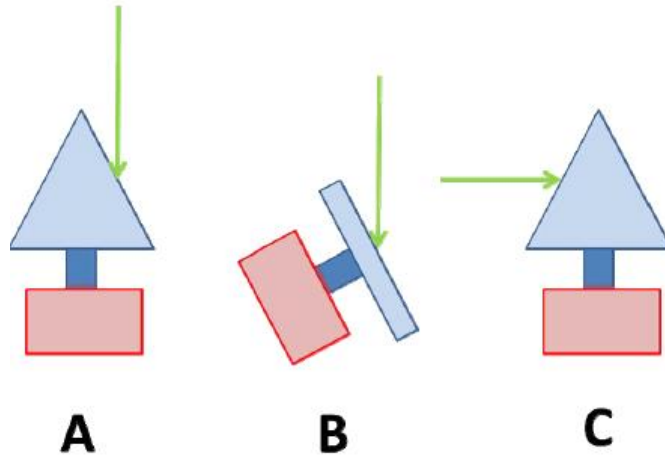


Şekil 3. 24 Farklı uzaklıklarda görüntülenen etkiler [24]

Şekil 3.24'te, 10mm uzaklığında su jetinin çekirdek bölgesi (ortadaki mavi bölge) açıkça görülmektedir. Merkezden çevreye doğru türbülanslar oluşmaktadır. Nozül ile su jeti arasındaki mesafe arttırıldıkça çekirdek bölgesi de görünürlüğü kaybedip türbülansın içine dâhil olmaktadır. Ayrıca su jetinin sınırları da genişlemekte, yani taradığı alan artmaktadır. [24]

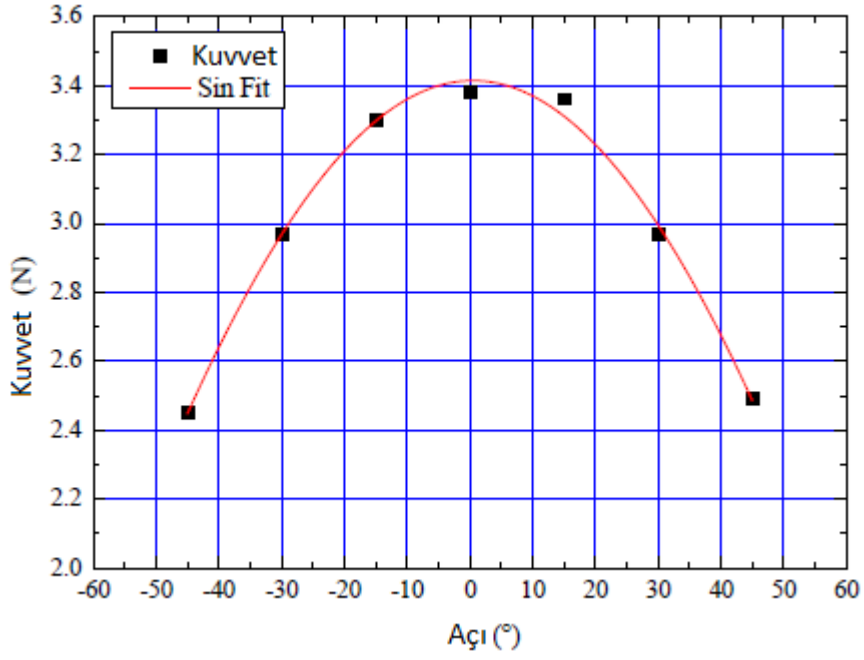
Makalede su jetinin farklı uzaklıklarda etki yüzeyine gönderilmesiyle yüzeyde oluşan yayılma profilleri incelenmiştir. Bunun sonucunda nozul ile etki yüzeyi arasındaki uzaklığın artmasıyla birlikte su jetinin çekirdek bölgesinin kaybolduğu ve yüzeyde daha az etki kuvveti oluşturduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda kirli yüzeye gönderilen bu jetin yıkama performansının, uzaklığın artmasıyla birlikte değişeceği belirtilmiştir. [24]

Sertore, Fusetti ve arkadaşları tarafından 2008 yılında [25] yayınlanan “High Pressure Rinsing Water Jet Interactions”, isimli çalışmada; HPR sisteminde (Yüksek basınçlı jetleme sistemi) etki yüzeyi açısı ile kuvvet arasındaki ilişki incelenmiştir.



Şekil 3. 25 HPR jetleme sistemi etki yüzeyleri [25]

Su jetinin 100 bar basınçta, 90 mm mesafeden 3 farklı etki yüzeyine gönderildiği durumda kuvvet sensörüyle su jeti kuvvetleri ölçülmüştür (Şekil 3.25). “B” durumundaki etki yüzeyi için açı ile kuvvet ilişkisi tanımlanmıştır.

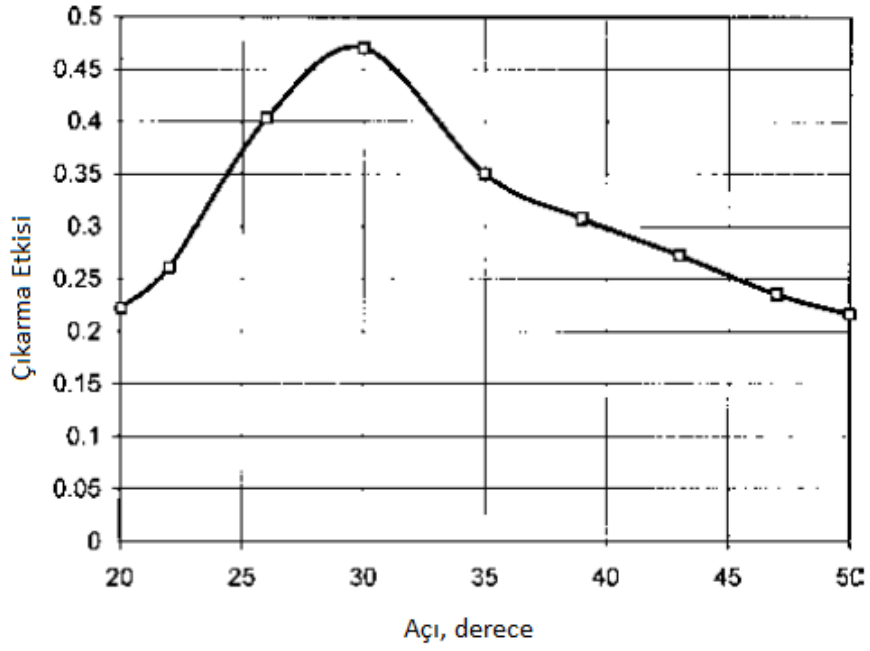


Şekil 3. 26 “B” durumundaki kuvvet açı grafiği [25]

Şekil 3.26’da görüldüğü gibi etki yüzeyine gelen yüksek basınçlı su jetinin, jetleme açısı arttıkça etkiyen kuvvet azalmaktadır. Bu azalma sinüs fonksiyonu ile benzerlik göstermektedir. Yapılan deneyler “A, B ve C” durumları için tekrarlanmıştır. [25]

2002 yılında Ziskind G., Yarin L. P., Peles S., and Cutfinger C. Tarafından hazırlanan “Experimental investigation of particle removal from surfaces by pulsed air jets”, [26] isimli çalışmada; hava jetinin çeşitli parametrelere bağlı olarak yüzeyden partikül çıkarma performansı incelenmiştir. [26]

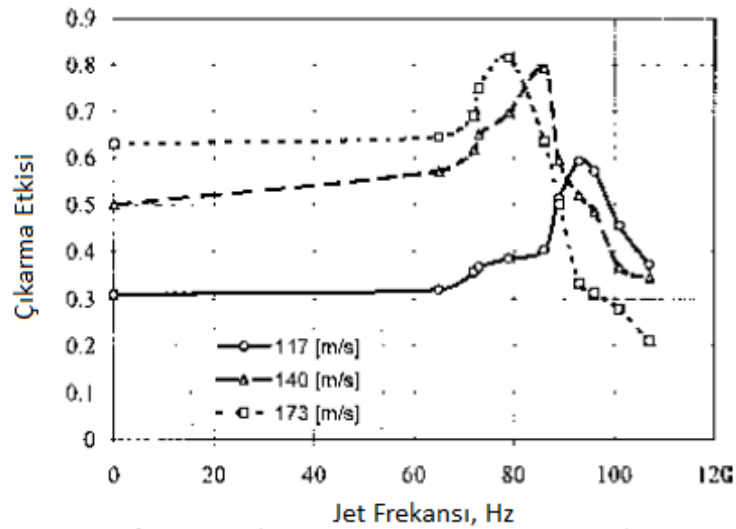
Jetleme açısının kir çıkarma üzerindeki etkisini incelemek için, boyutu 2-5 μm mertebelerinde olan divinylbenzene ve polystren latex parçacıkları yüzeye konularak, 1,5 mm nozul çapına sahip bir sistemden, 30 mm uzaklıktan, 194 m/s çıkış hızıyla hava verilmiş ve kir çıkarma etkisi incelenmiştir. [26]



Şekil 3. 27 Yüzey temizleme performansının jetleme açısıyla olan ilişkisi [26]

Şekilde 3.27’de görüldüğü üzere belli bir jetleme açısına kadar temizleme performansı artmaktadır. Jetleme açısının 30° olduğu durumda temizleme performansı maximum olmaktadır. Bu değerden sonra ise düşmektedir. [26]

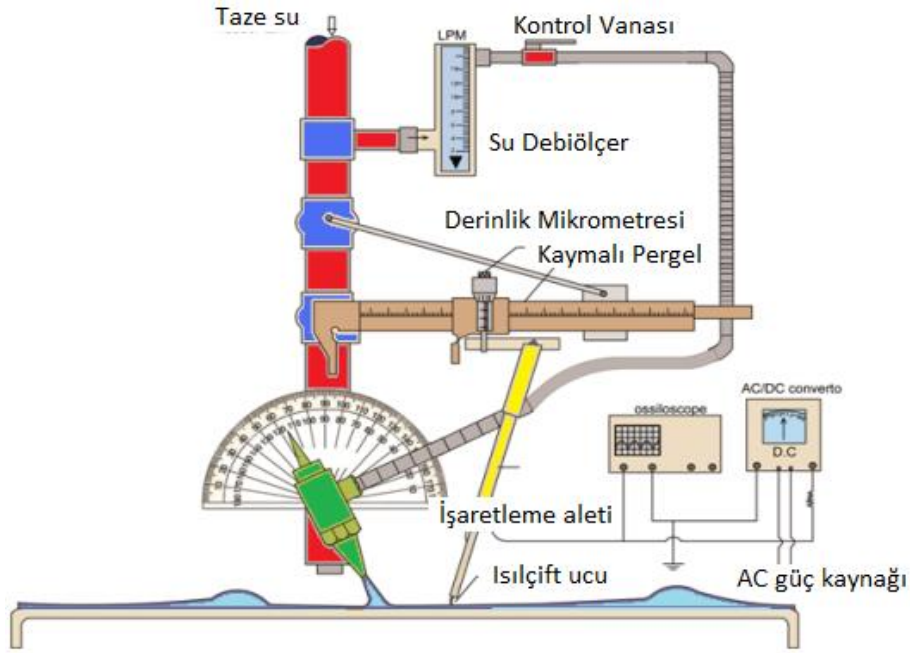
Deneylerin ikinci kısmında titreşim frekansının temizlemeye olan etkisi incelenmiştir. Nozul çapı 1.5 mm, mesafe 300mm, havanın nozuldaki çıkış hızı 100-200 m/s ve Reynold sayısı 1 - 2 x 10⁴ aralığında olacak şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir. [26]



Şekil 3. 28 Çeşitli jet hızlarında frekans-temizleme performansı ilişkisi [26]

Şekil 3.28’de görüldüğü gibi, 60 Hz jet frekansına kadar temizleme performansı sabit kalmaktadır. 80 Hz mertebelerinde maksimum olmaktadır. Bu noktadan itibaren frekans arttıkça temizleme performansı düşmektedir. Sonuç olarak; sabit jet hızında, belli bir değere kadar frekans arttıkça temizleme performansı artmaktadır. Ayrıca su jeti hızı arttıkça parçacıkların yüzeyden uzaklaştırılması kolaylaştırılmaktadır. [26]

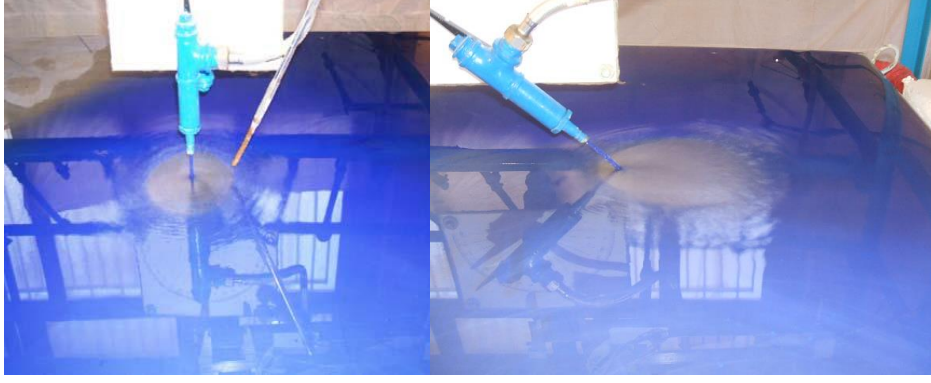
Teamah M. A., Ibrahim M. K., Dawood M. M. K., and Aleem E. A. tarafından 2012 yılında hazırlanan “Experimental investigation for hydrodynamic flow due to obliquely free circular water jet impinging on horizontal flat plate” [36] isimli çalışmada; su jetinin geliş açısına göre davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Nozül ile etki yüzeyi arasındaki mesafe sabit olup 30 mm’dir. Deneylerde kullanılan nozul tipi dairesel kesit alana sahip olup 5,5 mm çapındadır (Şekil 3.29). [36]



Şekil 3. 29 Film kalınlığı ölçüm test düzeneği [36]

Yapılan deneysel çalışmalara göre; film kalınlığı hidrolik sıçrama noktasına kadar azalmakta ve bu noktadan sonra tekrardan artmaktadır. Film kalınlığı uniform olmayan bir dağılıma sahiptir. [36]

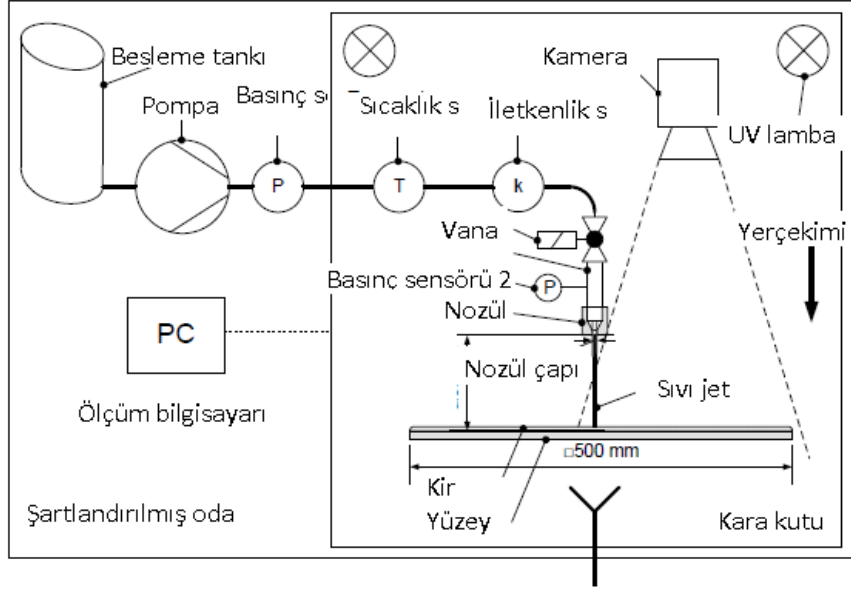
Film tabakasının genişliği, jetin geliş açısı yükseldikçe artmaktadır. Maksimum değere su jetinin yüzeye dik bir açıyla çarptığı zaman ulaşmaktadır. Ayrıca debi arttıkça film kalınlığı azalmaktadır. [36]



Şekil 3. 30 Jet geliş açısına bağlı olarak yüzeye çarpan suyun hareketi [36]

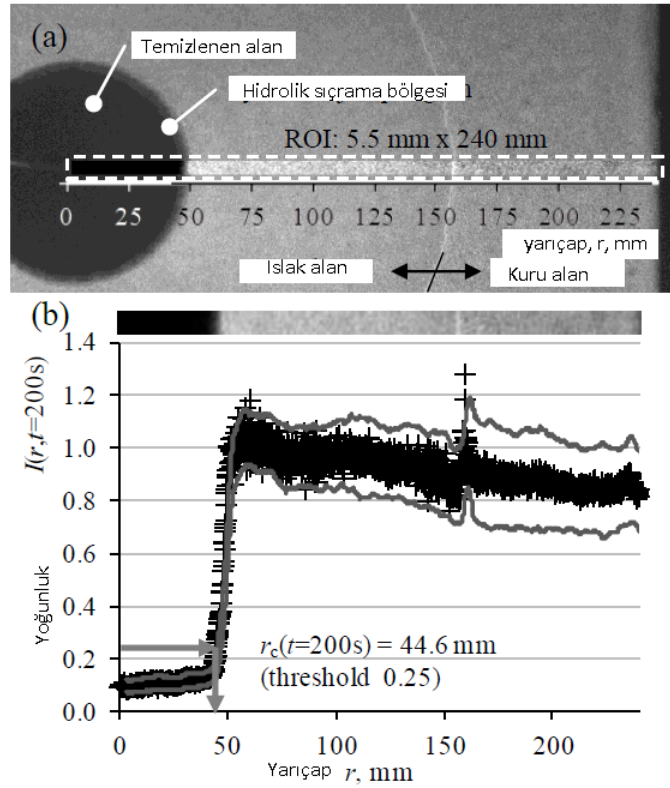
H.Köhler, H.Stoye, M. Mauermann, J.P. Majschak tarafından 2013 yılında yayınlanan “Optimization approach for efficient cleaning with impinging jets- influence of nozzle diameter, pressure and nozzle distance” [37] isimli çalışmada jetleme kuvvetinin temizleme üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada dairesel bir yüzeyde, jetin kir çıkarması zamana bağlı olarak incelenmiştir. Çalışmada gıda bazlı kir, nozül çapı, basınç ve nozül mesafesi gibi parametrelerin değişimiyle çıkarılmıştır. [37]

Kir olarak Polisakarit Xanthan reçine kullanılmıştır. (Kremer Pigmente GmbH &Co) , test metali ise 500*500*1 mm’lik AISI 304 2B’dir. Test kiri, spreyleme tekniğiyle metal plakaya uygulanmıştır. [37]



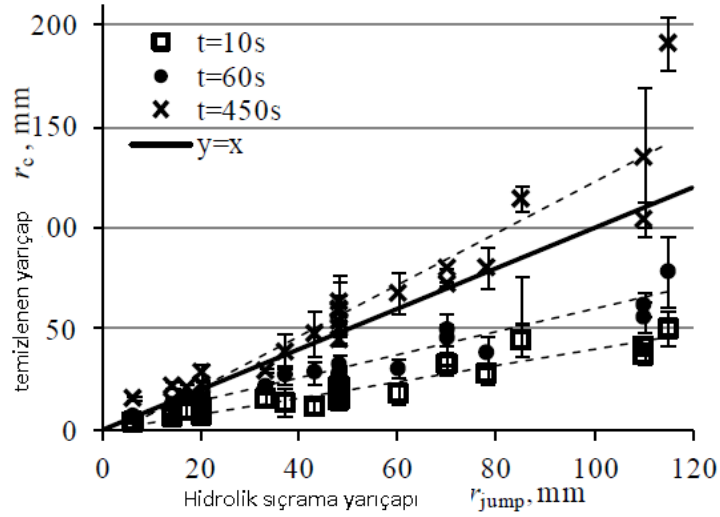
Şekil 3. 31 Kir çıkarma test düzeneği [37]

Test düzeneği Şekil 3.31'deki gibidir. Kir çıkarma testi, jet nozülün 10 dakika boyunca plakaya dik açıyla su püskürtmesi ile gerçekleştirilmiştir. Hızlı kamera ile gözlem yapılmıştır. [37]



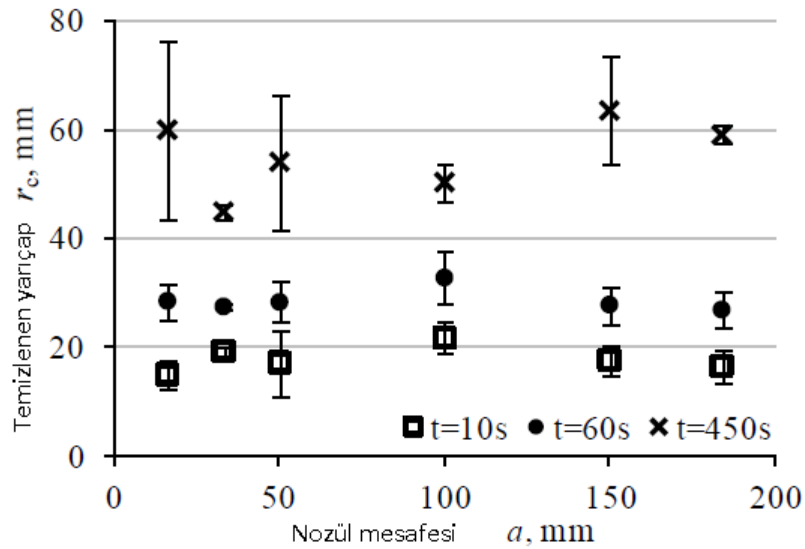
Şekil 3. 32 Hidrolik sıçrama bölgesi ve jetlemenin yoğun olduğu bölge [37]

Kamera ile suyun çarptığı ve sonrasında dağıldığı bölge incelenmiştir. Hidrolik sıçrama bölgesi belirlenmiş ve yoğunluk haritası çıkarılmıştır. Burada yoğunluk haritasına bakarak, temizlenen alana da karar verilmiştir. Şekil 3.32'ye göre 0 ile 50 mm'lik alan temizlenmiştir. [37]



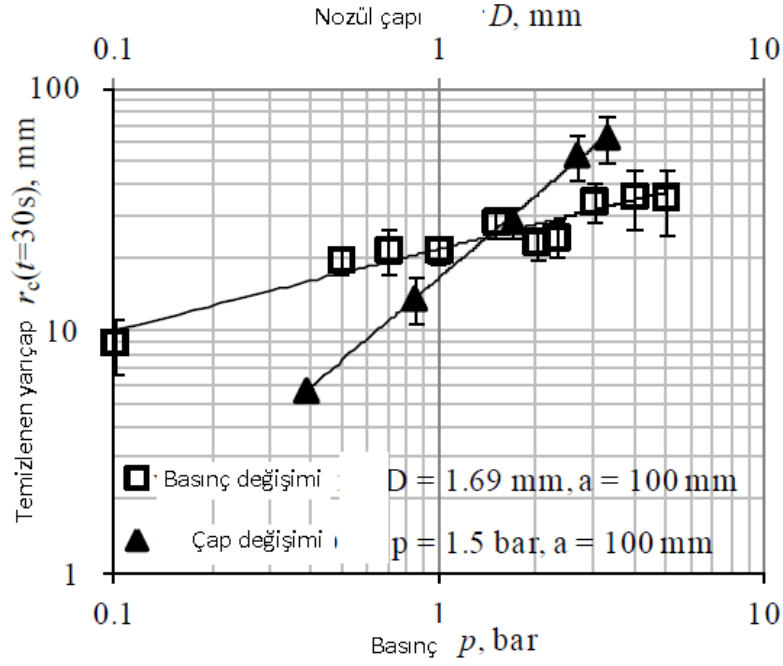
Şekil 3. 33 Hidrolik sıçrama bölgesi alanı ile temizlenen alanın ilişkisi [37]

Hidrolik sıçrama bölgesinin artışı, temizlenen alanı artırmaktadır (Şekil 3.33). [37]



Şekil 3. 34 Nozül mesafesi ile temizlenen alanın ilişkisi [37]

Çalışmada nozül mesafesinin kir çıkarma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı sürelerde yapılan testlere göre, nozül mesafesinin kir çıkarma üzerinde etkisi olduğu söylenememektedir (Şekil 3.34). [37]



Şekil 3.35 Su basıncı ile temizlenen alan arasındaki ilişki [37]

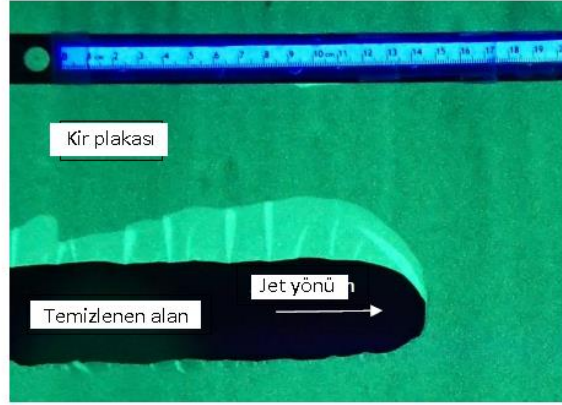
Nozül çapı ve basınç değişiminin yıkama üzerindeki etkisi incelenmiştir. Buna göre basınç ve bununla birlikte nozül çapının artması kir çıkarma alanını artırmaktadır. Bu iki parametre ile kir çıkarma arasında bir korelasyon bulunmaktadır (Şekil 3.35). [37]

$$r_c/mm = 6,3349 \cdot D/mm^{1,1751} \cdot p/bar^{0,3779} \cdot t/s^{0,212} \quad (3.12)$$

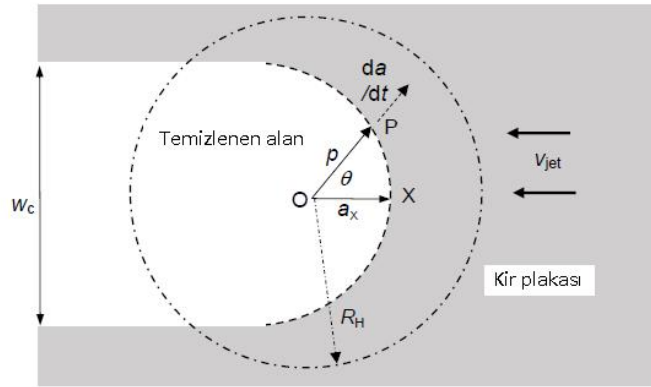
D.I.Wilson, H.Köhler, L.Cai, J.P. Majschak, J.F.Davidson tarafından 2014 yılında hazırlanan "Cleaning of a model food soil from horizontal plaes by a moving vertical water jet" [38] isimli çalışmada kir çıkarmada nozül çapı, nozüldeki basınç kaybı ve nozülün yüzeyde hareketi kritik parametreler olarak ele alınmıştır. Bu çalışmada bu parametrelerin kir çıkarma üzerine etkisi çalışılmıştır. [38]

Çalışmada, su basıncı 2 bar üzeri, nozülün yüzeydeki hareketi 120 mm/s ve üzeri alınmıştır. Bu çalışmada hareketli dik nozülün kir çıkarma üzerine etkisi detaylı olarak incelenmiştir (Şekil 3.36). [38]

(a)



(b)

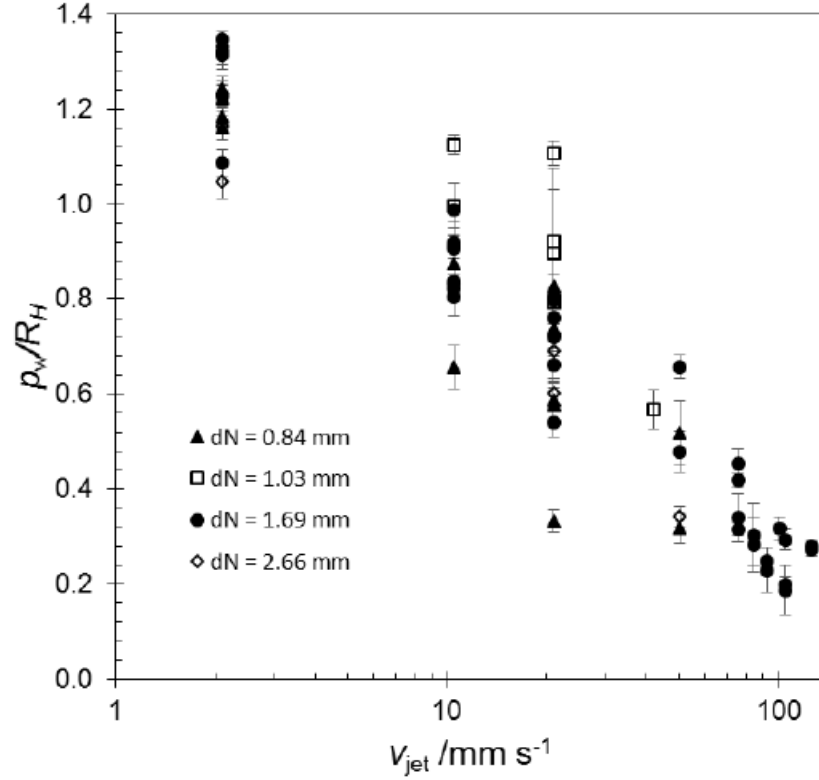


Şekil 3. 36 Hareketli jet ile temizlenen bölgenin gösterimi [38]

Çalışmada hareketli jet ile temizlenen bölge incelenmiştir. Sadece, hareketli jet incelemesi için jet hareket ettirilebilmektedir. Jet kuvveti türbülanslıdır. Reynolds sayısı 7.7×10^3 ile 5×10^4 arasındadır. [38]

Hidrolik sıçrama bölgesinin çapı

$$R = 0,276 \left[\frac{m^3}{\mu \rho \gamma (1 - \cos \beta)} \right]^{1/4} \quad (3.13)$$



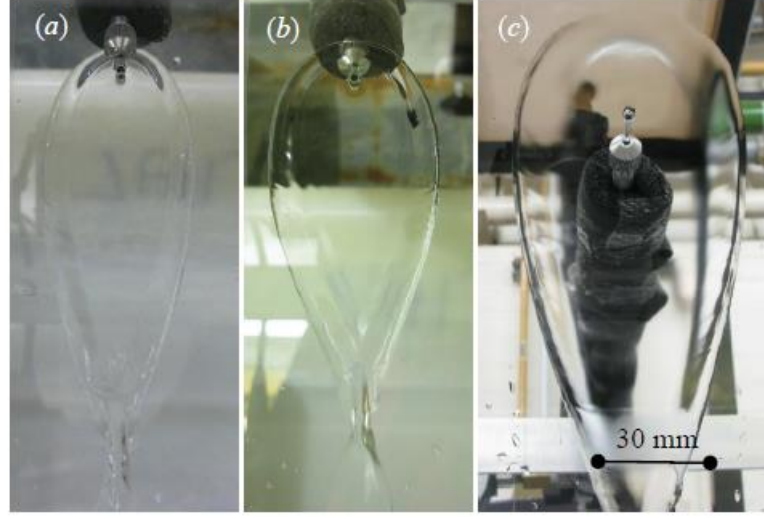
Şekil 3. 37 Jet hareket hızı ile temizlenen maksimum mesafe / hidrolik sıçrama yarıçapı [38]

P_w hareketli olması durumunda, temizlenen maksimum mesafeyi göstermektedir. R_H ise hidrolik sıçrama yarıçapını göstermektedir. Jetleme hızına göre, bu iki değişkenin oranı şekilde verilmiştir. Buna göre; jetleme hızı arttıkça bu ikisinin birbirine oranı azalmaktadır. Yani temizlenen alan azalmaktadır. Jetlemenin düşük hızda hareket ettirilmesiyle daha fazla alan temizlenebilmektedir (Şekil 3.37). [38]

Tao Wan, John F. Davidson, D. Ian Wilson tarafından 2014 yılında yayınlanan "Flow patterns and cleaning behaviour of stationary horizontal liquid jets impinging on angled walls" [39] isimli çalışmada farklı açılarla püskürtülen jetlemenin davranışı incelenmiştir. Test çalışmasında 1, 2 ve 3 mm çapındaki nozüller kullanılmıştır. Debi olarak 0,78 ila 17,3 g/s kütleli debiler arası incelenmiştir. Açı ise 30 ila 120° arası incelenmiştir. [39]

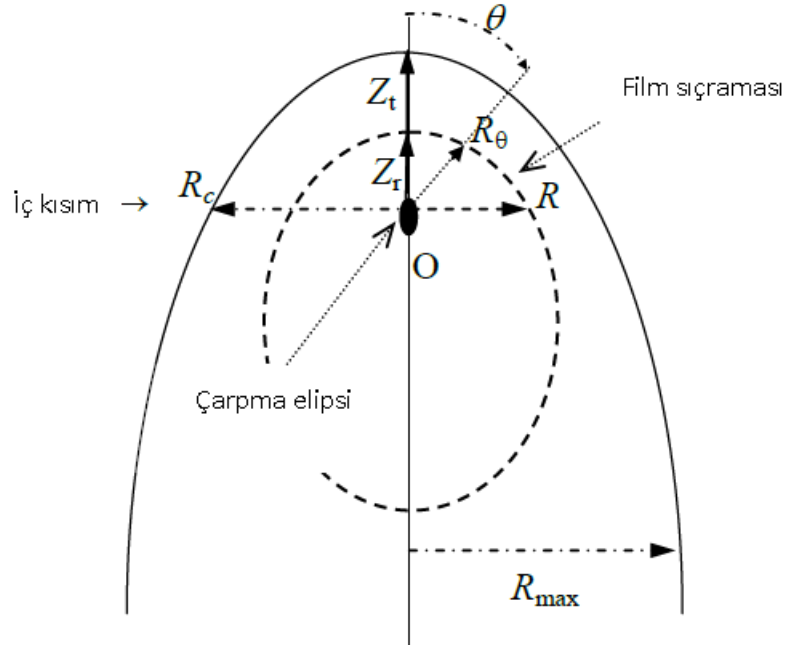
Deneysel çalışmada kullanılan plakalar şeffaf ve nozülden 30 mm uzaklıkta bulunmaktadır. 0 ila 60° arasında değişen açılarda yerleştirilebilmektedir. Bu çalışmada hidrolik sıçrama benzeri bir film sıçrama oluşmaktadır. Bu sıçrama radyal akış alanının

sınırında oluşmaktadır ve en yüksek kesme gerilmesi burada meydana gelmektedir. [39]

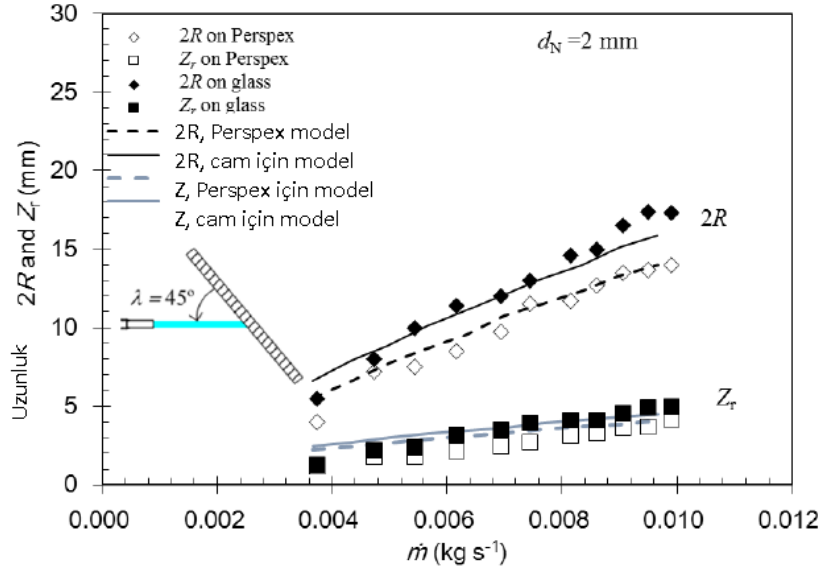


Şekil 3. 38 Su jetinin şeffaf yüzeye farklı açılarda püskürtülmesi [39]

Farklı açılarda (a) 45, (b) 60 (c)60 gönderilen su jetinin yüzeyde oluşturduğu görüntüler Şekil 3.38’de verilmiştir. Film sıçraması detayı Şekil 3.39’da verilmiştir. [39]

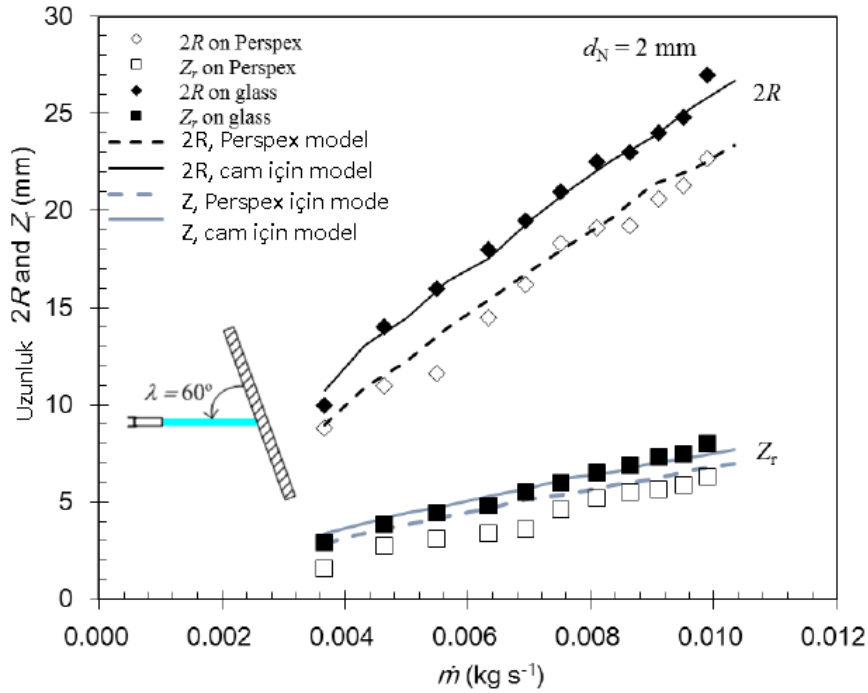


Şekil 3. 39 Film sıçrama bölgesinin gösterimi [39]



Şekil 3. 40 Cam ve perspex yüzeye gönderilen su jetinin debisiyle radyal akış bölgesi çapı ve Z_r değerinin değişimi (45° için) [39]

45° 'de su gönderildiğinde, debiye göre oluşan sıçrama radyal akış bölgesinin çapı ve Z_r bu bölgenin $\theta=0$ noktasındaki uzunluğunu vermektedir. Buna göre; 45° açıda, cam yüzeyde, perspex yüzeye göre bu mesafeler daha geniş olmaktadır (Şekil 3.40). [39]

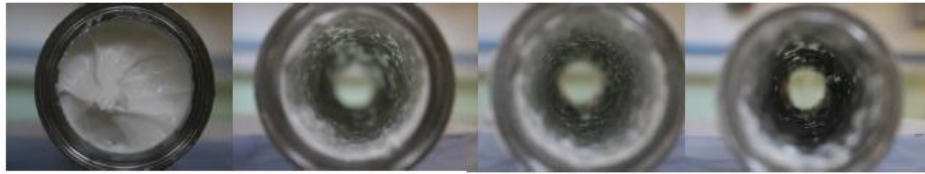


Şekil 3. 41 Cam ve perspex yüzeye gönderilen sı jetinin debisiyle radyal akış bölgesi çapı ve Z_r değerinin değişimi (60° için) [39]

60° açıda ise 2R boyutu oldukça yüksek olmakta ve debiyle birlikte artış eğimi yüksek olmaktadır. 60°'de 45°'ye göre özellikle 2R değeri daha yüksektir. Bu da yanal yüzeyden daha fazla alanın tarandığını göstermektedir (Şekil 3.41). [39]

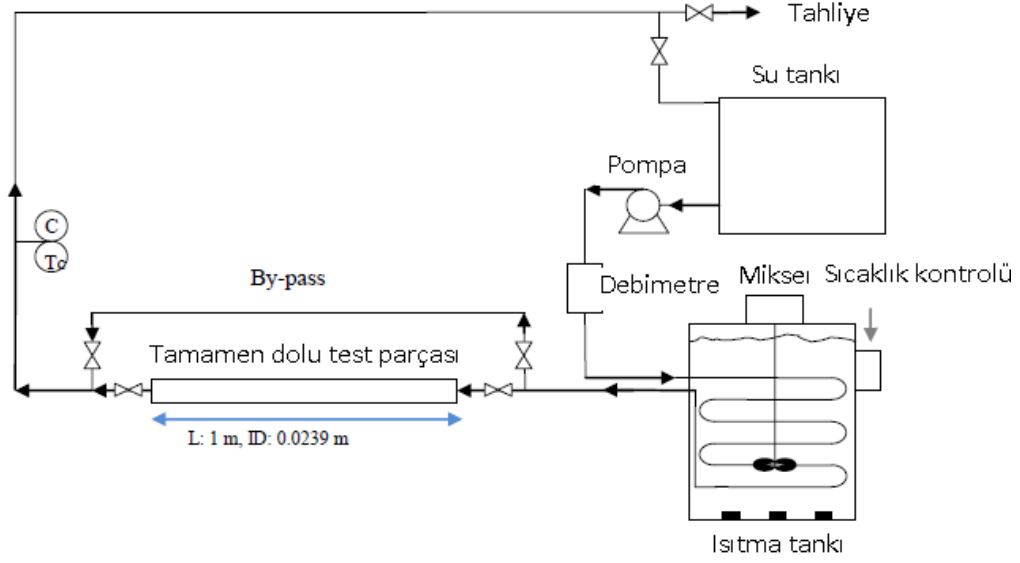
H.Föste, M.Schöler, J.P.Majschak, W.Augustin, S.Scholl tarafından 2011 yılında hazırlanan “Optimization of the cleaning efficiency by pulsed flow using an experimentally validated CFD model” [40] isimli çalışmada yüzeye çarpan bir akış ile temizleme etkinliğinin artırılması konusuna odaklanılmıştır. Çalışma kir çıkarma ile ilgili öncül nümerik çalışmalardandır. Öncelikle kir çıkarma üzerinde kesme gerilmesinin etkisinin kuvvetli olup olmadığı incelenmiştir. Yapılan çalışmada kir çıkarma üzerinde kesme etkisinin zayıf olduğu görülmüştür. [40]

İbrahim Palabıyık tarafından 2013 yılında doktora tezi olarak verilen “Investigation of fluid mechanical removal in the cleaning process” [41] isimli tez çalışmasında farklı tip kirler için (diş macunu, el kremi gibi) kir çıkarma performansı incelenmiştir. Parametre olarak da mekanik, termal ve kimyasal etkiler gösterilmiştir. [41]

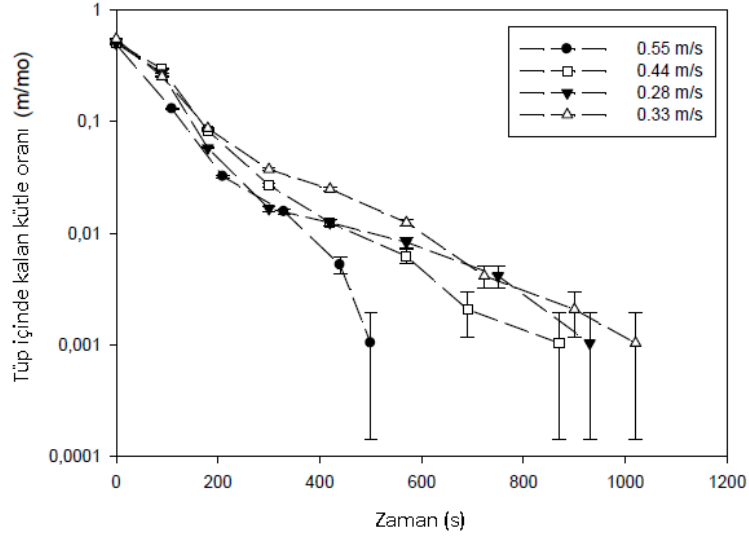


Şekil 3. 42 Kirin çıkma evreleri [41]

Deneysel yapılan çalışmada laboratuvar tipi ve pilot boyutta deney düzenekleri hazırlanmıştır. Isıtıcı ve ısıtıcısız şekilde hazırlanan deney düzeneklerinde, bir boru içine akış, farklı şartlarda verilmekte ve kirletilmiş bölgenin temizlenmesi incelenmektedir (Şekil 3.42 ve Şekil 3.43). [41]

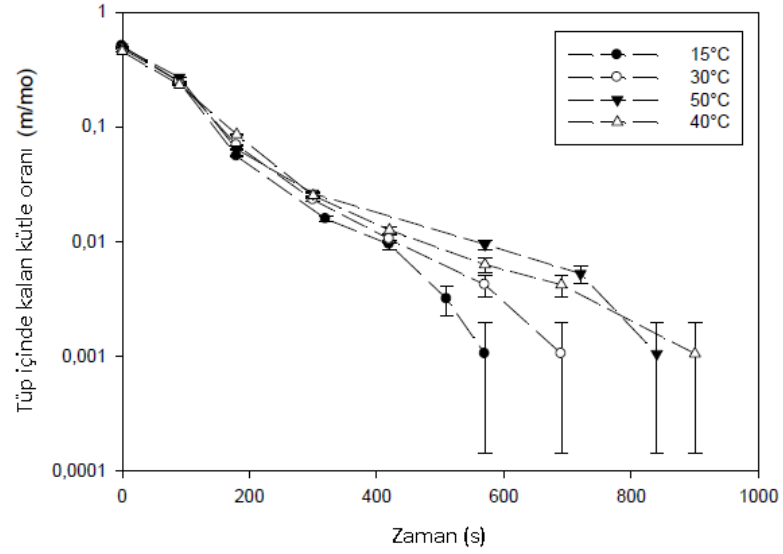


Şekil 3. 43 Deney düzeneğinin şematik gösterimi [41]



Şekil 3. 44 Farklı debilerde verilen su için zamanla boru içi kir çıkarma grafiği [41]

Su debisinin kir çıkarma üzerindeki etkisi şekilde gösterilmiştir. Bu çalışma diş macunu için gerçekleştirilmiştir. Buna göre debinin artmasıyla kir çıkarma süresi kısalmaktadır ve kir daha kısa zamanda çıkmaktadır (Şekil 3.44). [41]



Şekil 3. 45 Farklı sıcaklıklarda verilen su için zamanla boru içi kir çıkarma grafiği [41]

Diş macunu için sıcaklığın artışı kir çıkarma süresi üzerinde olumsuz bir etki yapmaktadır. Artan sıcaklıkla beraber, kir çıkarma süresi uzamaktadır (Şekil 3.45). [41]

Bu çalışmada ayrıca, Reynolds, kesme gerilmesi gibi değerlerin kir çıkarma süresi üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Her iki parametrenin de etkisi düşük bulunmuştur. [41]

Literatür araştırması iki bölümde gerçekleştirilmiştir. İlk bölümde kir çıkarma konusunu işleyen makale ve yayınlar incelenmiştir. Bu bölümdeki yayınlarda genel olarak, farklı kir tiplerinin yüzeyden çıkması incelenmiştir. Sıcaklığın, kimyasalların, yüzey ıslatma süresinin, yüzey tipinin ve pürüzlülüğünün kir çıkarma üzerine olan etkileri incelenmiştir. İkinci bölümde ise jetleme ile kir çıkarma konusunu içeren yayınlar incelenmiştir. Öncelikle jet oluşumu anlatılmış, ardından su jetinin farklı açılarda verilmesi durumunda yüzeyde oluşan profilden ve kuvvetten bahsedilmiştir. Ayrıca farklı açıların kir çıkarma üzerine etkisi de incelenmiştir. Farklı nozül çapının ve nozül ilerleme hızının çıkarma üzerine etkisi incelenmiştir.

Tez çalışmasında, literatürdekilerden farklı bir deney düzeneği kurularak su jeti debisinin, nozül kesit alanının, jetleme açısının, su sıcaklığının ve suyun içerdiği kimyasal miktarının kir çıkarma üzerine etkisi incelenmiş ve modellenmiştir.

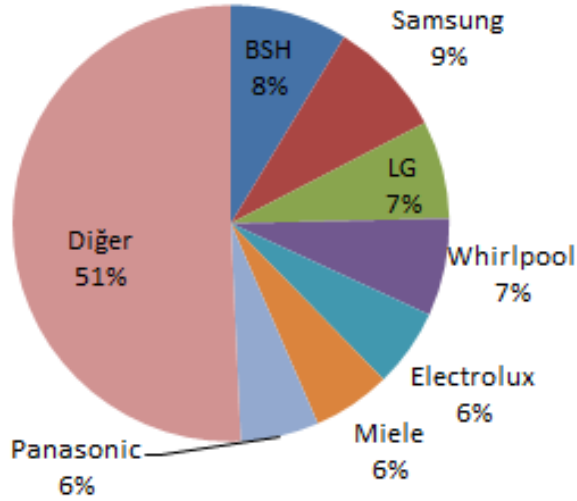
3.3 Patent Araştırması

Bulaşık makinasında spreyleme sistemleriyle ilgili çok sayıda patent bulunmaktadır. Tez kapsamında pervane tasarımları ve jetleme/spreyleme sistemleri ile ilgili 500'ün üzerinde patent incelenmiştir. [28]

Patentlerin içeriğine göre ilgili konuları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

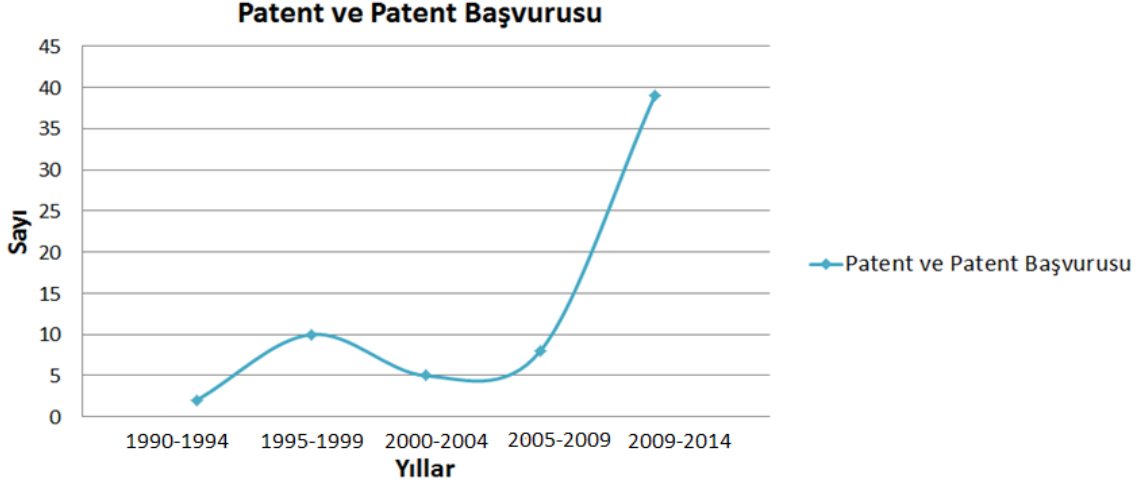
- Pervane geometrisi
- Çift taraflı dönebilen pervane tasarımı
- Pervane tarama alanları
- Pervane üstüne ek aparat
- Su jetiyle birlikte havanın gönderildiği nozul sistemleri
- Alternatif spreyleme / jetleme sistemleri

Firmalara Göre Dağılım



şekil 3. 46 Patent ve başvurularının firmalara göre dağılımı

Bu patent ve başvurularından 6'şar tanesi BSH ve Samsung, 5'er tanesi LG ve Whirlpool, 4'er tanesi Electrolux, Miele ve Panasonic, 2'şer tanesi General Electric, Mitsubishi, Toshiba, Gold Star ve Daewoo Electronics şirketlerine aittir (şekil 3.46).



Şekil 3. 47 İncelenen patent ve başvurularının yıllara göre dağılımı

Araştırmada 70 yılı ve sonrasındaki patentler incelenmiştir. 90 sonrası patentlerde artış gözlenirken, son yıllarda başvurular önceki yıllara göre artmıştır (Şekil 3.47). İnceleme yaparken spray, arm, jet, nozzle kelimeleri keyword olarak kullanılmıştır. IPC kod olarak da A47L15 kullanılmıştır.

TEORİK ÇALIŞMALAR**4. TEORİK ÇALIŞMALAR****4.1 Lineer Momentum Eşitliği**

Kütlesi m olan bir sistem üzerine net bir F kuvveti etki ediyorsa, Newton'un ikinci hareket kanunu gereği [10];

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \quad (4.1)$$

olarak ifade edilir. Bu eşitlikte, $m\vec{v}$ sistemin doğrusal momentumudur. Belirli iki nokta arasında sistemde yoğunluk ve hız değişimi olabilmektedir. Bu değişim göz önüne alınıp, Newton'un ikinci hareket kanunu;

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{sistem} \vec{v} \rho dV \quad (4.2)$$

olarak düzenlenmektedir. Bu eşitlikte; $\delta m = \rho dV$ ifadesi, dV diferansiyel hacim elemanının kütlesidir. $\vec{v} \rho dV$ ifadesi ise elemanın momentumudur.

Akışkanlar mekaniğinde, akışkan sistemler kontrol hacimleri kullanılarak analiz edilmektedir. Yukarıda verilen eşitliği, Reynolds transport teoremi yardımıyla düzenlersek;

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{KH} \rho \vec{v} dV + \int_{KY} \rho \vec{v} (\vec{v}_r \cdot \vec{n}) dA \quad (4.3)$$

genel ifade elde edilmektedir. Burada $\vec{v}_r = \vec{v} - \vec{v}_{KY}$ 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 kütleli debisini ifade etmektedir.

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

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{KH} \rho \vec{v} dV + \int_{KY} \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA \quad (4.4)$$

olmaktadır.

Mühendislik problemlerinde karmaşık problemlerin çözümü için belirli kabuller yapılmaktadır. Bunlardan bir tanesi de, momentum konularında daimi akış kabulüdür. Böylece yapılan işlem sayısı azalmaktadır. Daimi akış kabulüyle; kontrol hacmi boyunca momentum değişim miktarı sabit kalmaktadır. Yani, kontrol hacminde zamana bağlı doğrusal momentum değişimi sıfır olmaktadır. Eşitlik;

$$\sum \vec{F} = \int_{KY} \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA \quad (4.5)$$

olarak düzenlenmektedir.

Kütleli debi;

$$\dot{m} = \int_{A_c} \rho (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA_c = \rho v_m A_c = \rho \dot{V} \quad (4.6)$$

olarak ifade edilmektedir. \vec{v}_m akışkanın ortalama hızıdır. Uniform bir akıştan $\vec{v} = \vec{v}_m$ olarak kabul edilmektedir. Burada \dot{V} ile ifade edilen hacimsel debidir. Ayrıca kararlı bir akışkan akımında akım borusunun tüm kesitlerinden geçen kütleli debi sabittir. Bu kabullere göre momentum ifadesi;

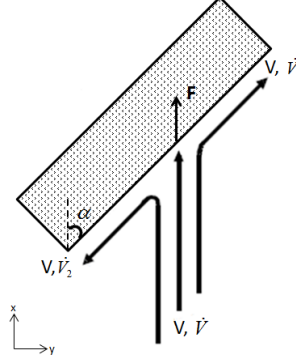
$$\int_{A_c} \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA_c = \rho v_m A_c \vec{v}_m = \dot{m} \vec{v}_m \quad (4.7)$$

eşitliğiyle ifade edilmektedir. Momentumun korunumu yasası gereği, dış kuvvetlerin toplamı momentumun değişimine eşittir. Aynı akım çizgisi üzerinde uniform ve daimi akış kabulüyle;

$$\sum \vec{F} = (\dot{m}v)_g - (\dot{m}v)_\xi = \dot{m}(v_g - v_\xi) = \rho \dot{V}(v_g - v_\xi) \quad (4.8)$$

olarak ifade edilmektedir.

4.2 Yüze Etkiyen Kuvvetin Açıyla Değişiminin Hesaplanması



Şekil 4. 1 Yüzeye etkiyen kuvvet

Şekil 4.1’de plakaya etkiyen kuvvet verilmiştir. Momentumun değişiminden kaynaklanan, yüzeyde x yönünde oluşan F jet kuvveti;

$$F = \rho v \dot{V} - (\rho v \dot{V}_1 \cos \alpha - \rho v \dot{V}_2 \cos \alpha) \quad (4.9)$$

Toplam hacimsel debi, iki yana ayrılan debilerin toplamına eşit olduğundan

$$\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2, \quad (4.10)$$

eşitliğiyle,

$$F = \rho v \dot{V} \left(1 + \frac{(\dot{V}_2 - \dot{V}_1)}{(\dot{V}_1 + \dot{V}_2)} \cos \alpha\right) \quad (4.11)$$

K_p ifadesini, yüzeye etkiyen kuvvetin açı bağımlılık faktörü olarak tanımlarsak,

$$K_p = \left(1 + \frac{(\dot{V}_2 - \dot{V}_1)}{(\dot{V}_1 + \dot{V}_2)} \cos \alpha\right) \quad (4.12)$$

Tüm bu eşitliklere göre,

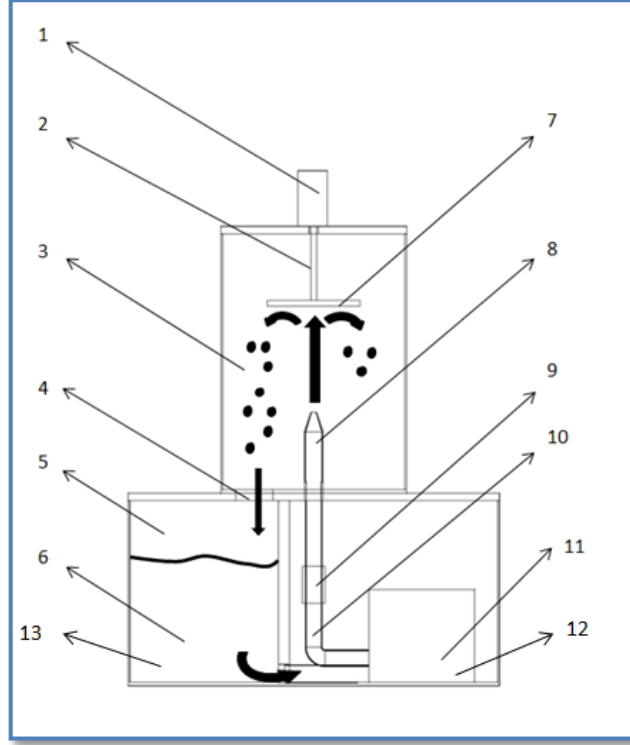
$$F = K_p \rho v \dot{V} \quad (4.13)$$

Teorik jet kuvveti, lineer momentum prensibine göre (4.13) numaralı eşitlikle ifade edilmektedir.

4.3 Yüzeze Etki Eden Kuvvetin Bernoulli Eşitliği İle Hesaplanması

Deney düzeneğinin şematik görüntüsü Şekil 4.2’de verilmiştir. Bir pompa ile bir nozülünden su basılmakta ve su bir etki yüzeyine çarpmaktadır.

Suyun etki yüzeyinde oluşturduğu kuvvetin hesaplanabilmesi için su çıkış bölgesi ile, etki yüzeyine çarpma bölgesi arasında Bernoulli eşitliği kurulmuştur.



Şekil 4. 2 Deney düzeneğinin şematik görüntüsü

Bernoulli ifadesi 4.14 nolu denklemde verilmiştir.

$$\frac{v^2}{2} + gz + \frac{P}{\rho} = \text{sabit} \quad (4.14)$$

Denklemde v hız, g yerçekimi ivmesi, z referans noktadan yükseklik, ρ yoğunluk ve P basınç ifadelerini vermektedir.

Bu ifadeye göre; 4 model için kuvvet hesaplaması yapılmıştır. Hesaplanan bu kuvvet değerleri ilerleyen bölümlerde nümerik ve deneysel çalışma sonuçlarıyla kıyaslanacak ve yorumlanacaktır.

Çizelge 4. 1 Kesit alanı, açı ve mesafeye göre kuvvet değişimi teorik hesap tablosu

Koşul	Debi (L/s)	Kesit alanı (mm ²)	Açı (°)	Mesafe (mm)	Kuvvet (N)
1	2,5	11	90	15	
2	2,5	11	90	25	
3	2,5	17	90	15	
4	2,5	11	20	15	

Çizelge 4.1'deki tabloyu doldurabilmek için suyun giriş şartlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bunun için deneysel datalar kullanılmıştır.

Çizelge 4. 2 Teorik çalışma sınır koşulları

Bölge	Koşul 1	Koşul 2	Koşul 3	Koşul 4
Nozül öncesi hız (m/s)	0,133	0,133	0,133	0,133
Nozül öncesi basınç (Pa)	13360	19667	7685	13333
Nozül bölgesi yükseklik (mm)	0	0	0	0
Yerçekimi ivmesi (m/s ²)	9,8	9,8	9,8	9,8
Yoğunluk (kg/m ³)	1000	1000	1000	1000
Çarpma bölgesi yükseklik (mm)	150	250	150	150
Çarpma bölgesi basınç (P)	0	0	0	0
Çarpma bölgesi hız(m/s) (Hesap)	4,9	5,9	3,5	4,9

Giriş bölgesi ve çıkış bölgesi arasında Bernoulli ifadesi Koşul 1 için kurulduğunda,

$$\frac{0,133^2}{2} + 9,8 \times 0 + \frac{13333}{1000} = \frac{\vartheta^2}{2} + 9,8 \times 0,15 + 0$$

$\vartheta = 4,9$ çıkmaktadır.

Kuvvet hesaplaması da Bölüm 4.2'de anlatıldığı gibi $F = k_p \times \rho \times \vartheta \times \dot{V}$ formülüyle hesaplanmaktadır.

Buna göre;

$$F = 1 \times 1000 \times 4,9 \times 4,17 \times 10^{-5}$$

$$F = 0,20 \text{ N}$$

Diğer koşullar da benzer şekilde hesaplanarak Çizelge3 oluşturulmuştur.

Çizelge 4. 3 Koşulların kuvvet değerleri

Bölge	Koşul 1	Koşul 2	Koşul 3	Koşul 4
Kuvvet (N)	0,20	0,25	0,15	0,14

NÜMERİK ÇALIŞMALAR

5.1 Çalışmanın Amacı

Deneysel çalışmalar kapsamında, yıkama performansı üzerine mekanik parametrelerin etkisi ortaya konmuştur. Mekanik etkiyi oluşturan parametreler de ayrıca incelenmiş ve her birinin yıkama üzerindeki tekil, ikili ve üçlü etkileri gösterilmiştir. Nümerik çalışmalar kapsamında, deney düzeneğindeki benzer olarak, bir plakaya belirli bir mesafeden püskürtülen suyun plaka üzerinde oluşturduğu kuvvet hesaplanmıştır. parametreler değiştirilerek, etkiyen kuvvetin değişimi hesaplanmış ve sonrasında deneysel çıktılar ile karşılaştırılmıştır.

5.2 Kullanılan Model ve Sınır Şartları

5.2.1 Fiziksel Model ve Kullanılan Denklemler

FLUENT çözüm oluştururken Navier-Stokes ve Süreklilik denklemlerini esas olarak kabul ederek çözüm yapmaktadır. Süreklilik veya diğer adıyla kütle korunumu denklemi aşağıdaki şekildedir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{V}) = S_m \quad (5.1)$$

S_m , farklı fazlar var ise bu fazlardan çalışılan faza eklenen kütle (suyun yoğunlaşması gibi). Navier-Stokes denklemi ise momentumun korunumu esasına dayanır ve aşağıdaki şekilde gibidir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{V}) + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \cdot \vec{V}) = -\nabla P + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (5.2)$$

P statik basıncı, $\bar{\tau}$ ise gerilme tensörünü göstermektedir. $\rho \vec{g}$ ve \vec{F} ise yerçekimi ve dış kuvvetleri temsil etmektedir. Gerilme tensörü aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\bar{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{V} + \nabla \vec{V}^T) - \frac{2}{3} \nabla \vec{V} I \right] \quad (5.3)$$

μ viskoziteyi, I ise birim tensörü göstermektedir [31].

5.2.2 Kullanılan Türbülans Modeli

Çözüm için k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır. Bu modele göre türbülans uzunluğu ve zaman boyutu olmak üzere iki adet türbülans modeli kullanılır. Model yarı-ampirik olarak oluşturulmuş bir modeldir. Bu model endüstriyel akış ve ısı transferi problemlerinde kabul görmüş ve günümüzde çok farklı CFD yazılımlarında kullanılmaktadır. Denklemler ampirik ölçüm ve deneyler ile oluşturulmuştur.

Standard k- ϵ modeli, taşınım denklemlerindeki türbülans kinetik enerjisi (k) ve buna ait dağılım oranına (ϵ) dayanmaktadır. k için olan denklem taşınım denklemlerinden, ϵ için olan denklem ise fiziksel akıl yürütme ve matematiksel eş denkleme olan benzerliklere dayanmaktadır.

k- ϵ modelinde akış tamamen türbülanslı kabul edilir ve moleküler viskozite ihmal edilir. Bu yüzden model sadece tam türbülanslı akış bölgeleri için geçerlidir.

5.2.3 VOF (Volume of Fluid) Çoklu faz modeli

Akış alanında birden fazla fazın dikkate alınması gerektiği durumlarda aynı akış alanında birden fazla akışkan modellenenmektedir. Bu akışkanlar sıvı-sıvı, sıvı-gaz veya gaz-gaz şeklinde olabilmekte ve her bir spesifik problem için uygun bir çoklu faz modeli seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca gaz ve sıvı içerisine çözünmüş veya partikül halindeki katı maddeler de modellenenmektedir.

Çalışılan problemde fazların birbiriyle geçişmediği ve sıvı gaz arayüzünün net bir şekilde belli olduğu bir model aranmıştır. FLUENT arayüzünde bu tür problemler sıvı hacimler

(Volume of Fluid, VOF) yöntemi ile çözülebilmektedir. Bir veya birden fazla fazın kuruluk dereceleri kullanılarak süreklilik denklemi üzerinden aşağıdaki formül uygulanmaktadır.

$$\frac{1}{\rho_k} \frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q \vec{V}_q) = S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (m_{pq} - m_{qp} \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_j} \quad (5.4)$$

Yukarıdaki denklemde \dot{m}_{pq} faz p'den faz q'ya kütleli debiyi, \dot{m}_{qp} ise faz q'dan faz p'ye kütleli debiyi göstermektedir. S_{α_q} ise 0 olarak tanımlanmıştır. Her iki fazdan da oluşabilecek kütle üretimi bu katsayı ile ifade edilmektedir. Kuruluk derecesi birincil faz için hesaplanmamaktadır. Birincil faz için kuruluk derecesi aşağıdaki formül ile sınırlandırılmıştır.

$$\sum_{p=1}^n \alpha_q = 1 \quad (5.5)$$

Akışkan özellikleri ve momentum denklemleri ise sırasıyla aşağıdaki denklemler ile ifade edilmektedir.

$$\rho = \sum \alpha_q \rho_q \quad (5.6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{V}) + \nabla (\rho \vec{V} \cdot \vec{V}) = -\nabla P + [\nabla \cdot \mu (\nabla \vec{V} + \nabla \vec{V}^T)] + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (5.7)$$

Fazlar arasındaki yüzey gerilimi, P_1 ve P_2 arayüzlerdeki basınç değerleri olmak üzere aşağıdaki formüle göre [33]

$$P_2 - P_1 = \sigma \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (5.8)$$

5.2.4 Başlangıç şartları (Initialization)

Başlangıç koşulları Hybrid Initialization olarak belirlenmiştir. Hybrid Initialization farklı tipte yöntem ve enterpolasyon metodlarının bir birleşimidir. Hız ve basınç alanlarının hesaplanması için Laplace's eşitliği kullanılmaktadır. Sıcaklık, türbülans, kuruluk derecesi gibi tüm diğer değişkenler alanın ortalama değerlerine göre belirlenmektedir. Yapılan çözümlerde enerji, faz oranı gibi değişkenler olmadığı için bu metodun kullanılması yeterli kabul edilmiştir [33].

5.2.5 Sınır Şartları

Sınır koşulları tüm CFD problemlerinde çözüm için olmak zorunda olan giriş değerleridir. FLUENT arayüzünde 20'ye yakın farklı sınır koşulu tanımı vardır (Hız girişi-basınç çıkışı, fan girişi-basınç çıkışı vb.). Bu sınır koşullarının her biri farklı bir özel durumu modellemek için geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada hız girişi ve basınç çıkışı sınır değerleri kullanılacaktır.

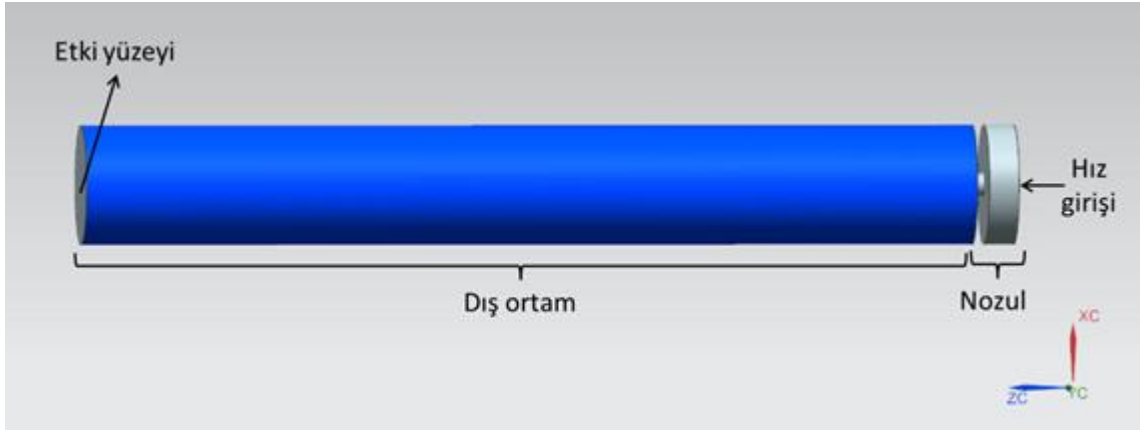
5.2.5.1 Hız Girişi

Her bir koşul için deney sırasında ölçülen hız değerleri girdi olarak analize girilmiştir.

5.2.5.2 Basınç Çıkışı

Çıkış şartları sistemin dış ortama açık olmasından dolayı 0 Pa seçilmiştir. Sistemden geri çıkışlar sadece hava için tanımlanmıştır.

5.3 Analizler

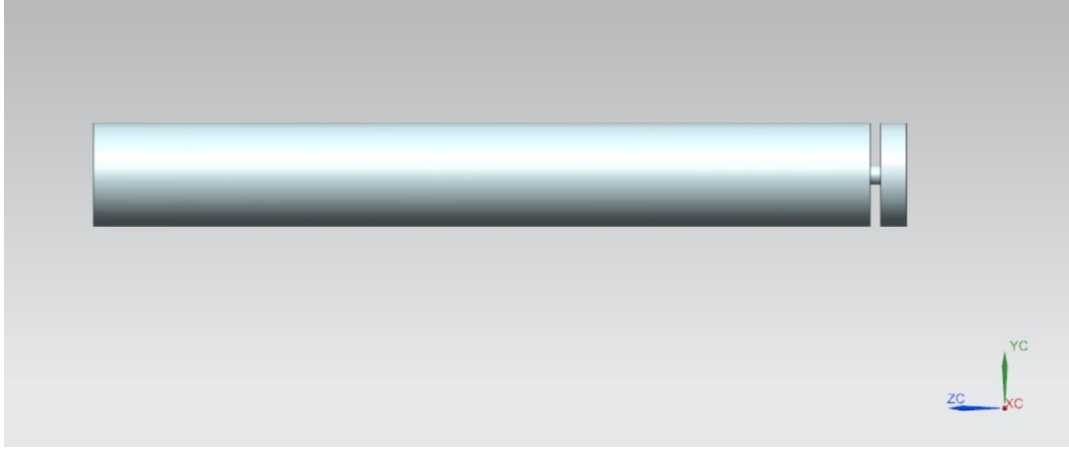


Şekil 5. 1 Kurulan model

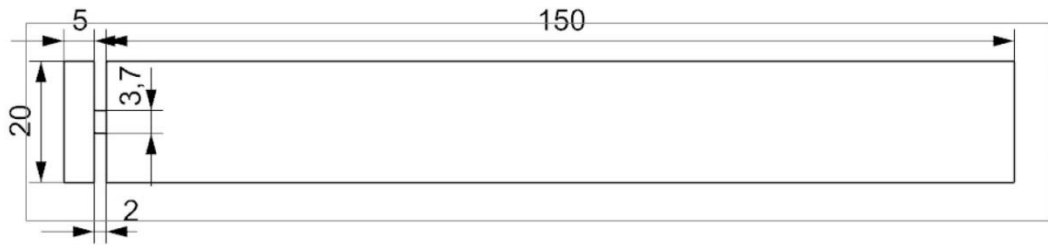
Çizelge 5. 1 Oluşturulan modellerin özellikleri

Kullanılan Modeller			
Model No	Kesit Alanı [mm ²]	Açı	Mesafe [cm]
1	11	90°	15
2	17	90°	15
3	11	90°	25
4	11	20°	15

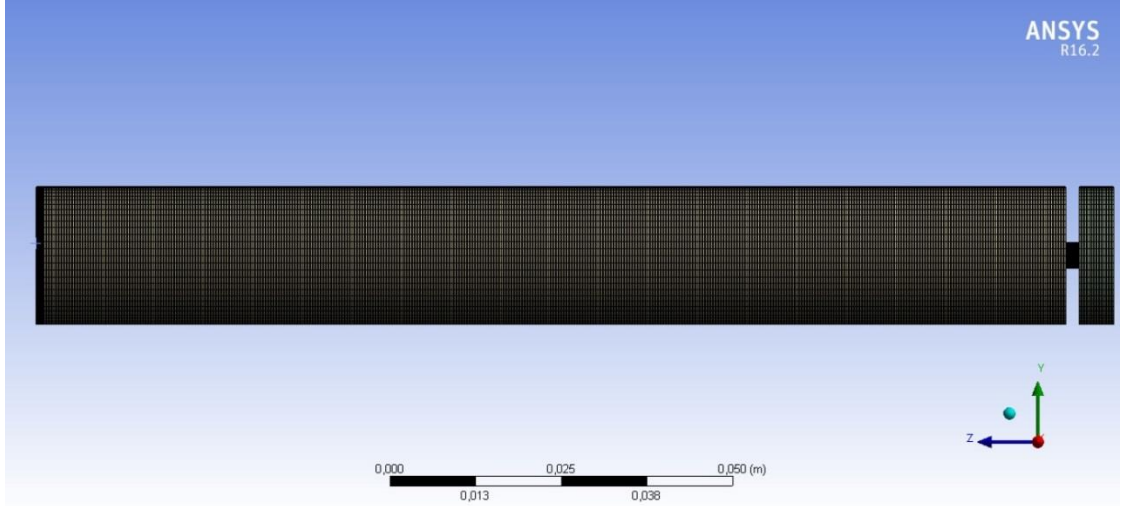
5.3.1 1 Numaralı Model



Şekil 5. 2 1 numaralı model geometisi



Şekil 5. 3 1 numaralı model geometik özellikleri



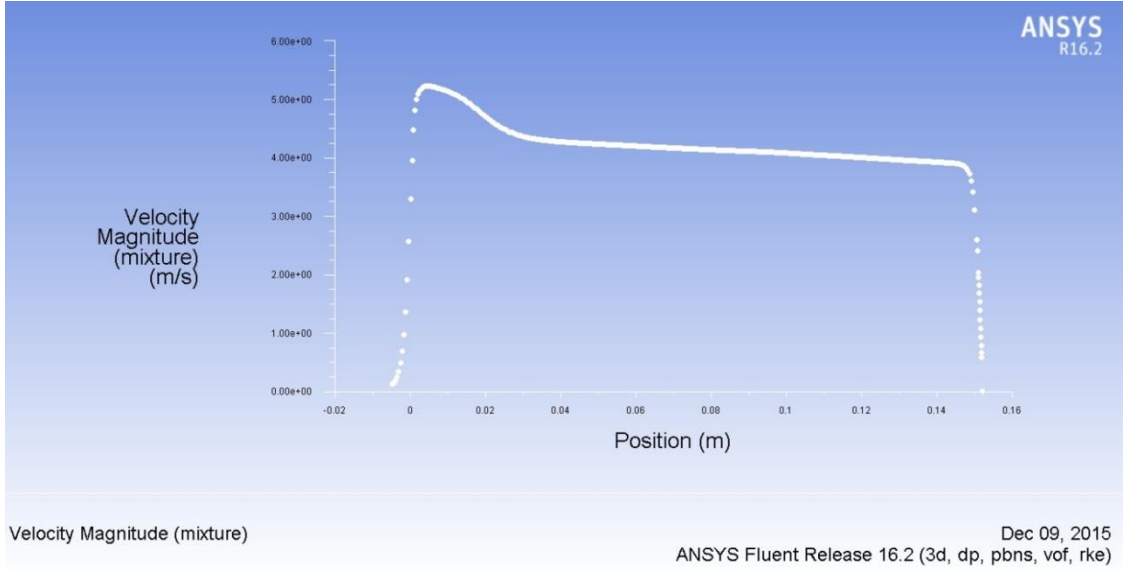
Şekil 5. 4 1 numaralı model ağ yapısı

Çizelge 5. 2 1 Numaralı modelin ağ yapısı özellikleri

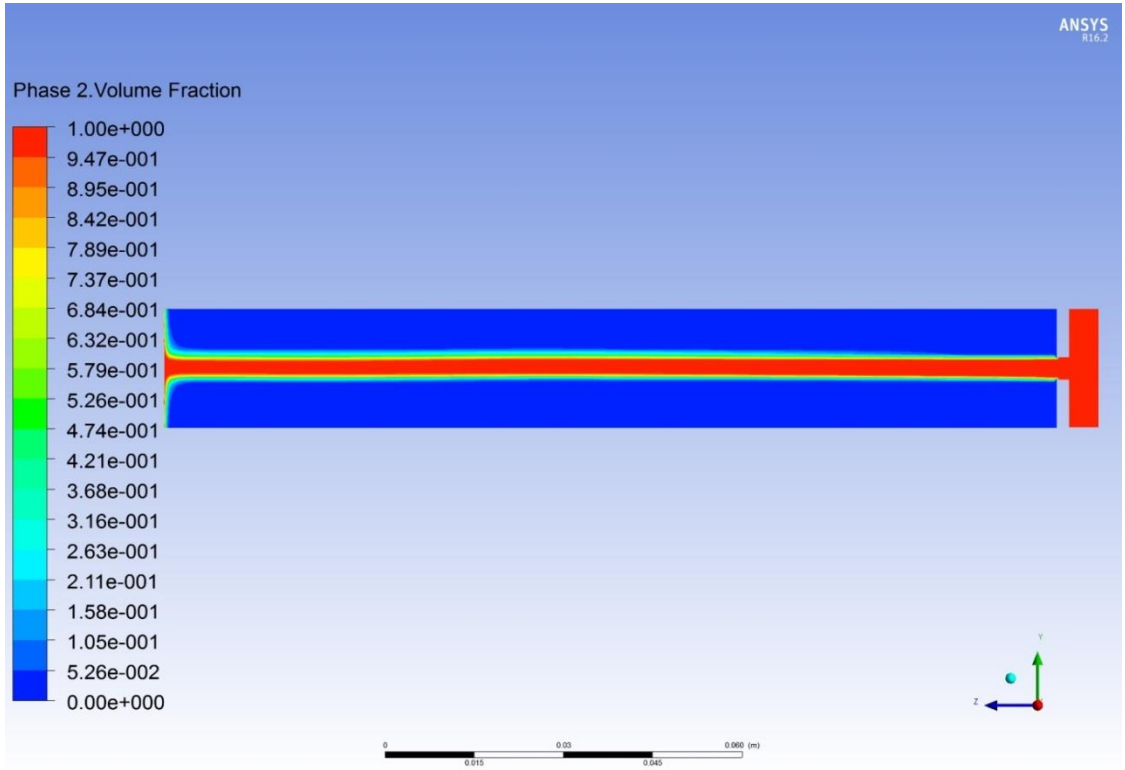
Ağ elemanı sayısı	1009972
Ağ elemanı düğüm sayısı	1037712
Birim hacimde bulunan ağ elemanı sayısı [ağ eleman sayısı / mm ³]	20
maksimum y^+	14,5

Çizelge 5. 3 1 numaralı modelin sınır koşulları

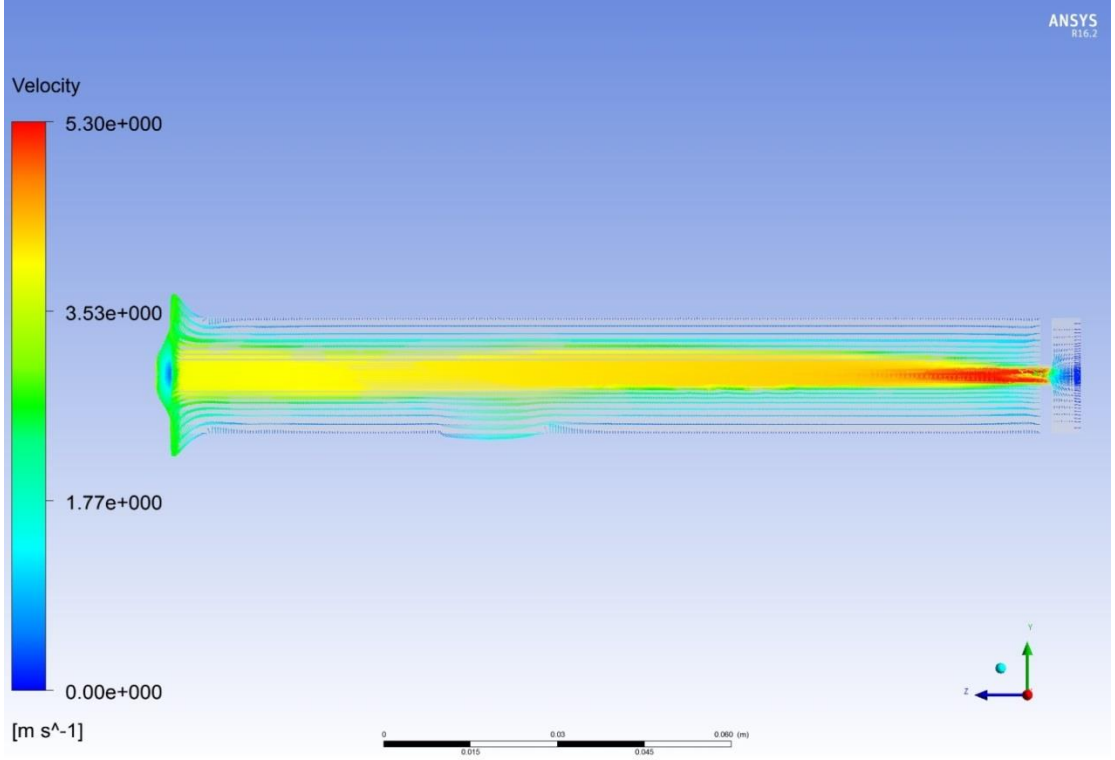
Hız girişi sınır koşulu	Hız girişi	0.13262 [m/s]
	Basınç girişi	13360 [Pa]
	Türbülans yoğunluğu	11.6 [%]
	Hidrolik çap	0.02 [m]
	Hacim kesri	Su=1, Hava=0
Basınç çıkış koşulu	Dış basınç	0 [Pa]
Nozul duvarları	Duvar sınır şartı	
Etki yüzeyi	Duvar sınır şartı	



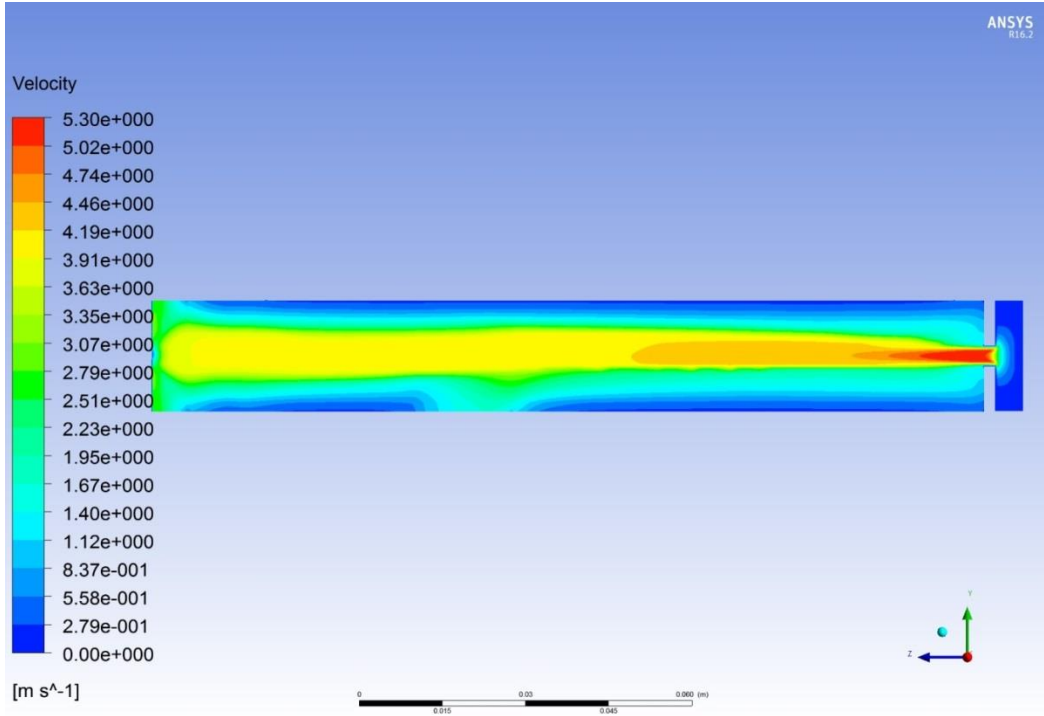
Şekil 5. 5 1 numaralı model merkez çizgisi boyunca hız değişimi



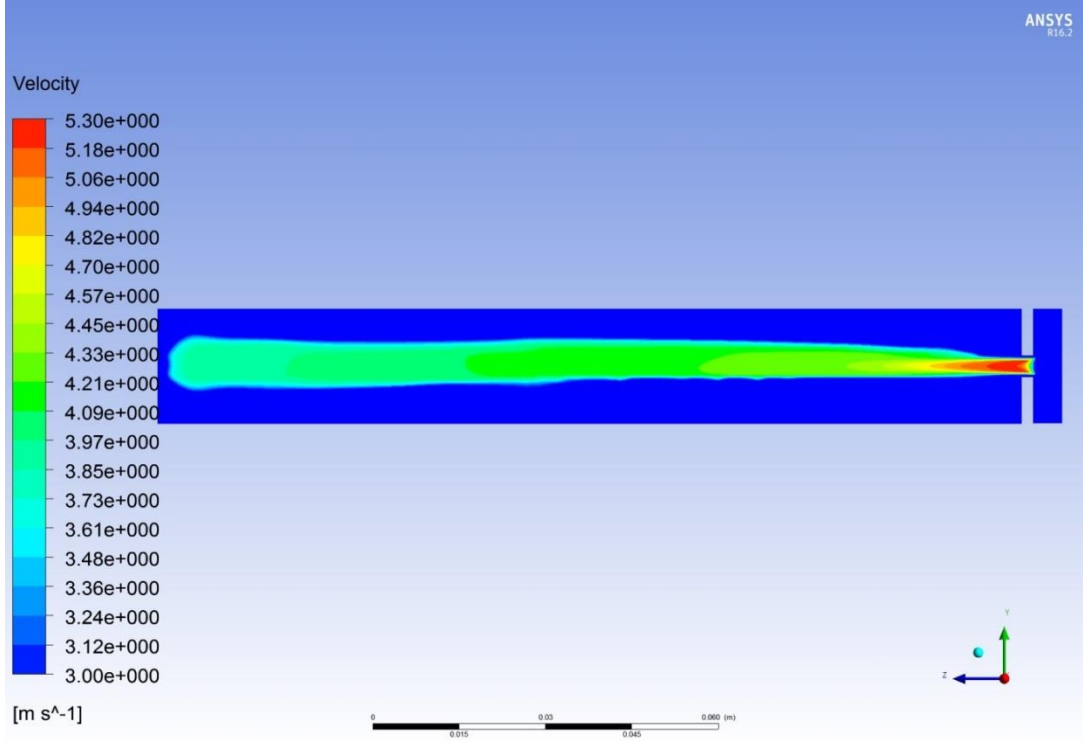
Şekil 5. 6 1 numaralı modelin su hacim kesrinin merkez düzlemdeki değişimi (y-z düzlemi x=0)



Şekil 5. 7 1 numaralı modelin hız vektörlerinin merkez düzlemdeki değışimi



Şekil 5. 8 1 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değışimi

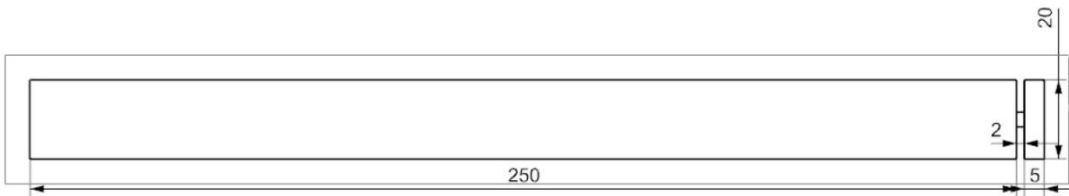


Şekil 5. 9 1 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değişimi (3 m/s'den daha yüksek hızlar için)

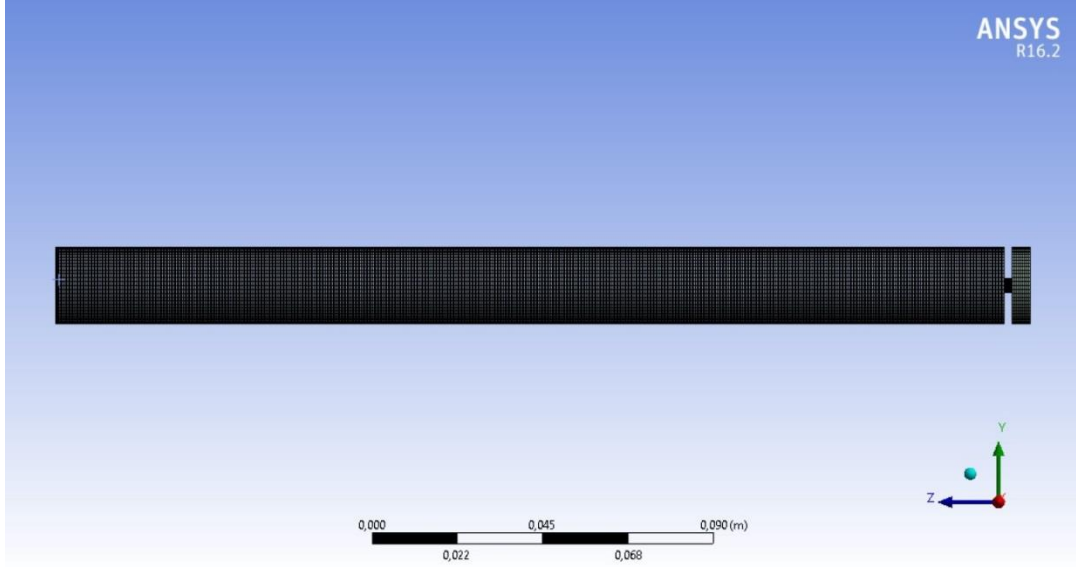
Çizelge 5. 4 1 numaralı model ölçülen kuvvet

1 numaralı model etki yüzeyinde teorik olarak hesaplanan toplam kuvvet	0,20 N
Sayısal olarak ölçülen toplam kuvvet	0,20 N

5.3.2 2 Numaralı Model



Şekil 5. 10 2 numaralı model geometrik özellikleri



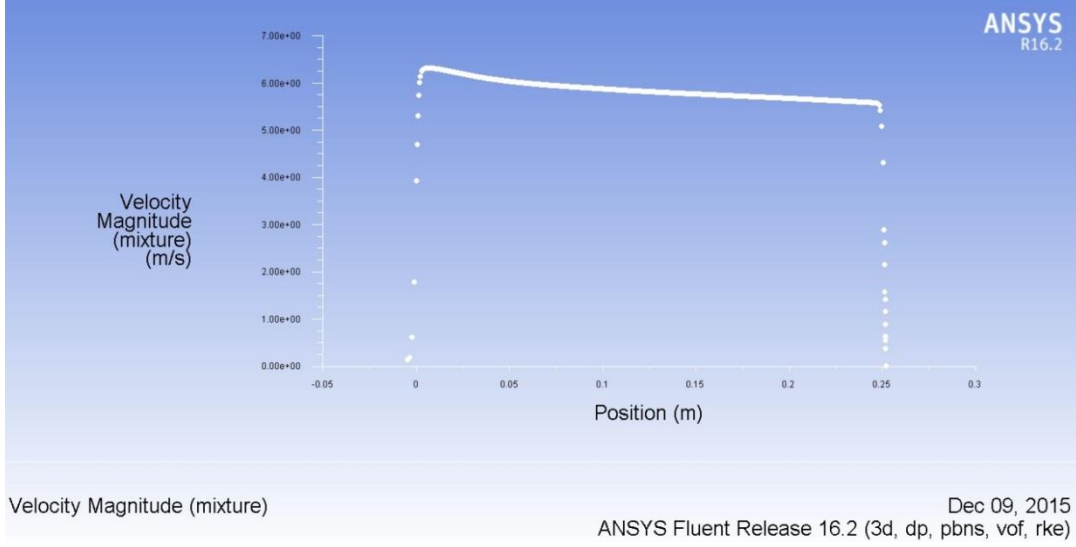
Şekil 5. 11 2 numaralı model ağ yapısı

Çizelge 5. 5 2 numaralı modelin ağ yapısı özellikleri

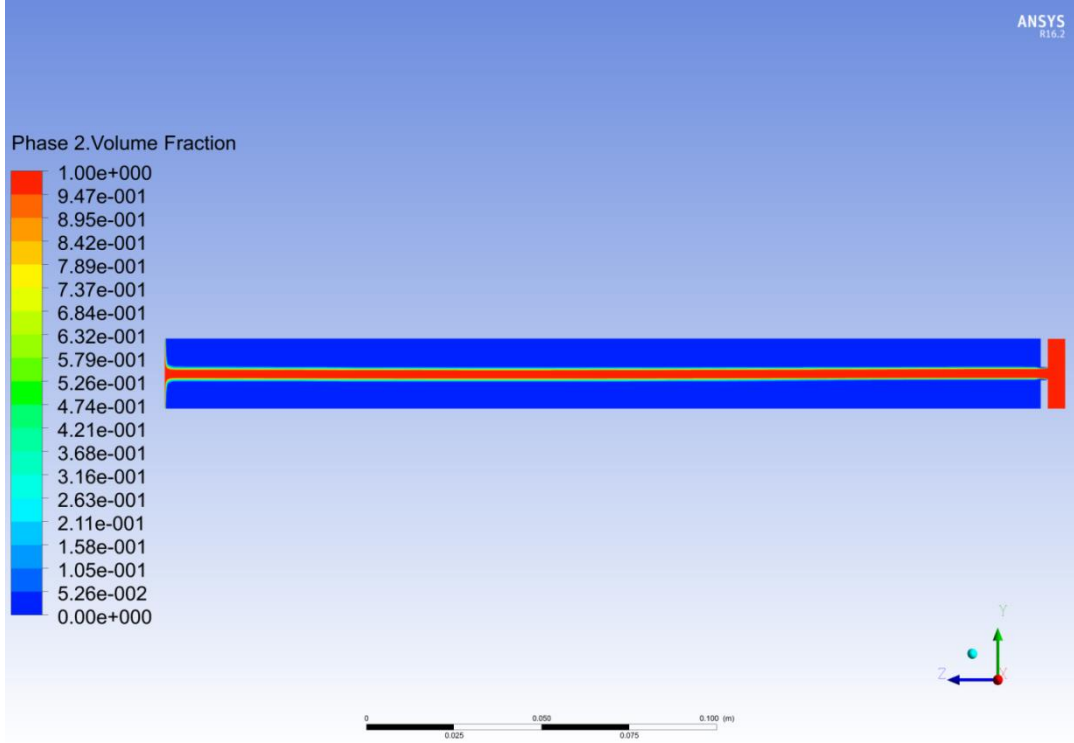
Ağ elemanı sayısı	1249026
Ağ elemanı düğüm sayısı	1232693
Birim hacimde bulunan ağ elemanı sayısı [ağ eleman sayısı / mm ³]	16
maksimum y^+	14,8

Çizelge 5. 6 2 numaralı modelin sınır koşulları

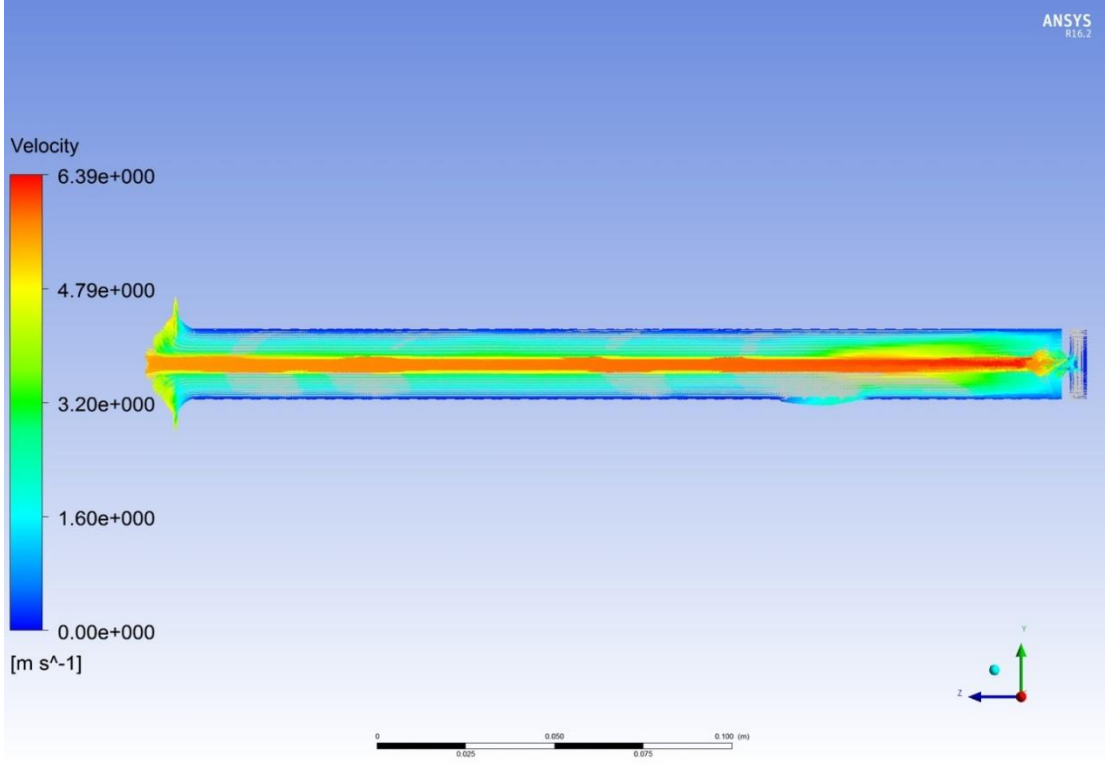
Hız girişi sınır koşulu	Hız girişi	0.13262 [m/s]
	Basınç girişi	19667 [Pa]
	Türbülans yoğunluğu	11.6 [%]
	Hidrolik çap	0.02 [m]
	Hacim kesri	Su=1, Hava=0
Basınç çıkış koşulu	Dış basınç	0 [Pa]
Nozul duvarları	Duvar sınır şartı	
Etki yüzeyi	Duvar sınır şartı	



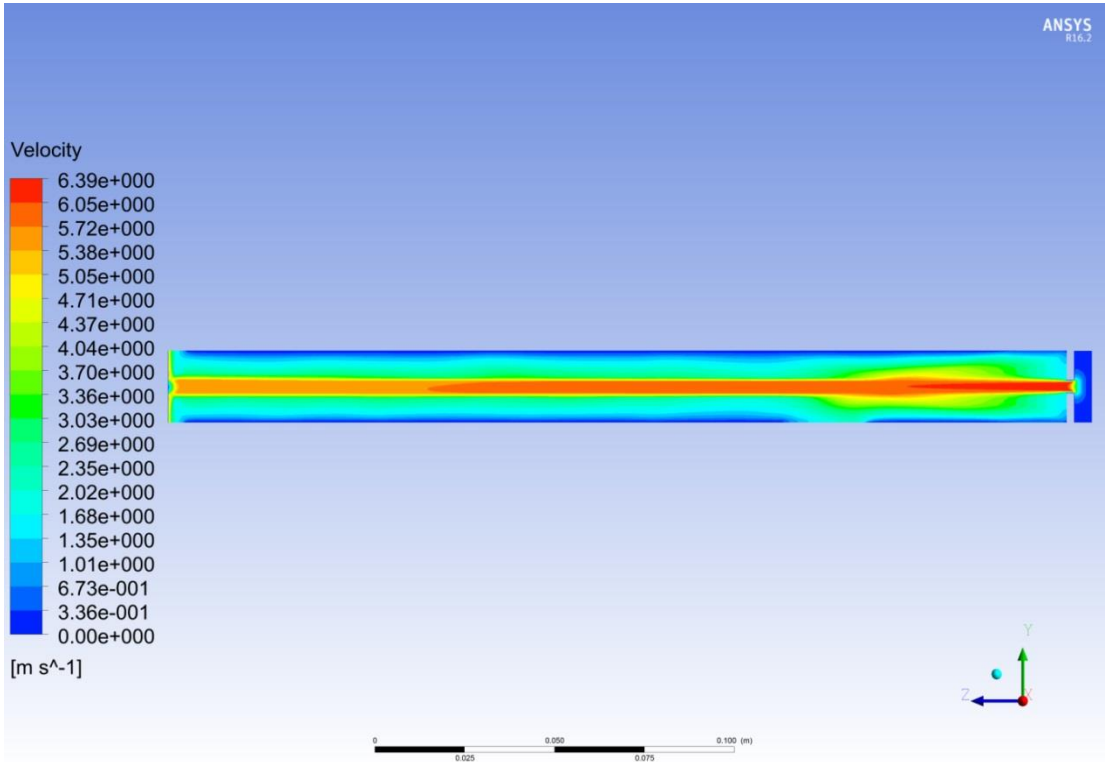
Şekil 5. 12 2 numaralı model merkez çizgisi boyunca hız değişimi



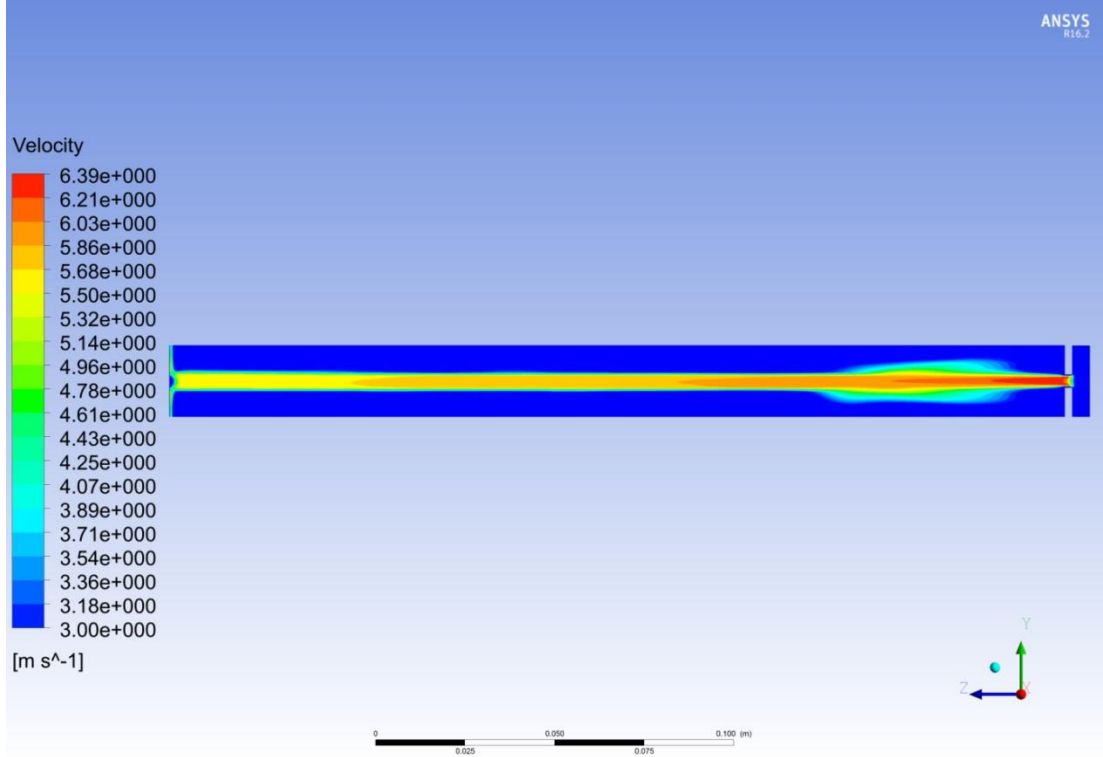
Şekil 5. 13 2 numaralı modelin su hacim kesrinin merkez düzlemdeki değişimi (y-z düzlemi x=0)



Şekil 5. 14 2 numaralı modelin hız vektörlerinin merkez düzlemdeki değişimi



Şekil 5. 15 2 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değişimi

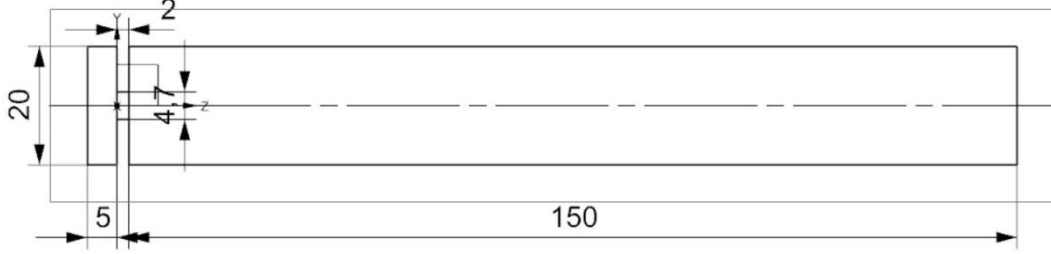


Şekil 5. 16 2 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değişimi (3 m/s'den daha yüksek hızlar için)

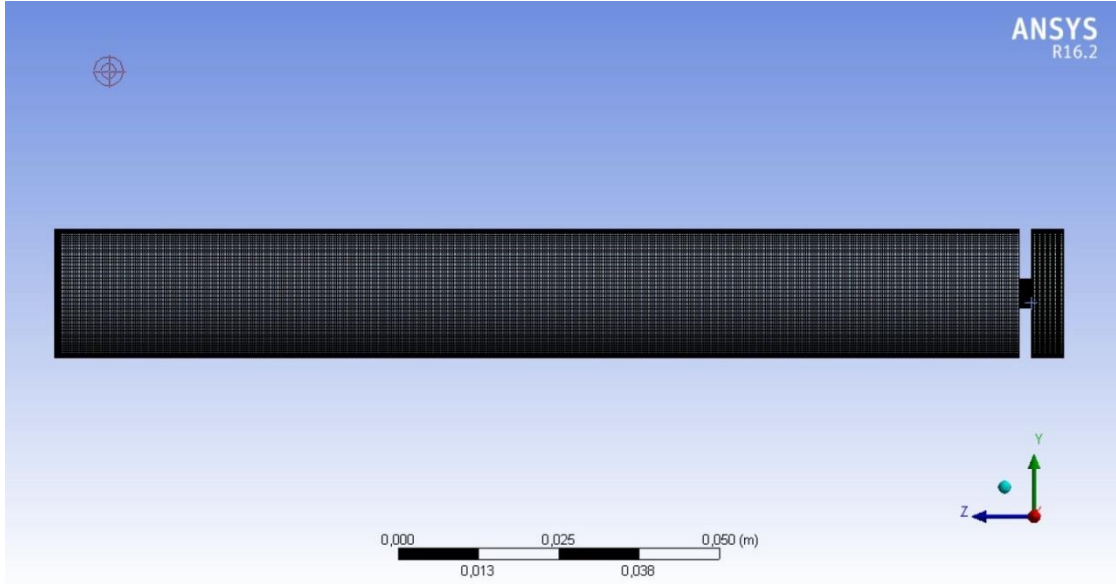
Çizelge 5. 7 2 numaralı model ölçülen kuvvet

2 numaralı model etki yüzeyinde teorik olarak hesaplanan kuvvet	0,25 N
Sayısal olarak ölçülen toplam kuvvet	0,27 N

5.3.3 3 numaralı model



Şekil 5. 17 3 numaralı model geometrik özellikleri



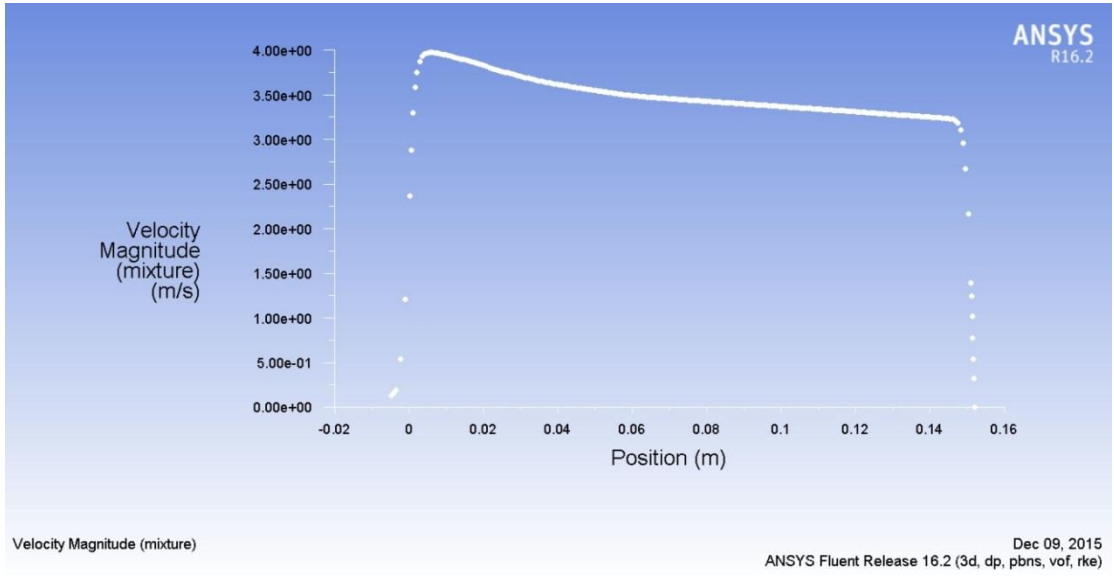
Şekil 5. 18 3 numaralı model ağ yapısı

Çizelge 5. 8 3 numaralı modelin ağ yapısı özellikleri

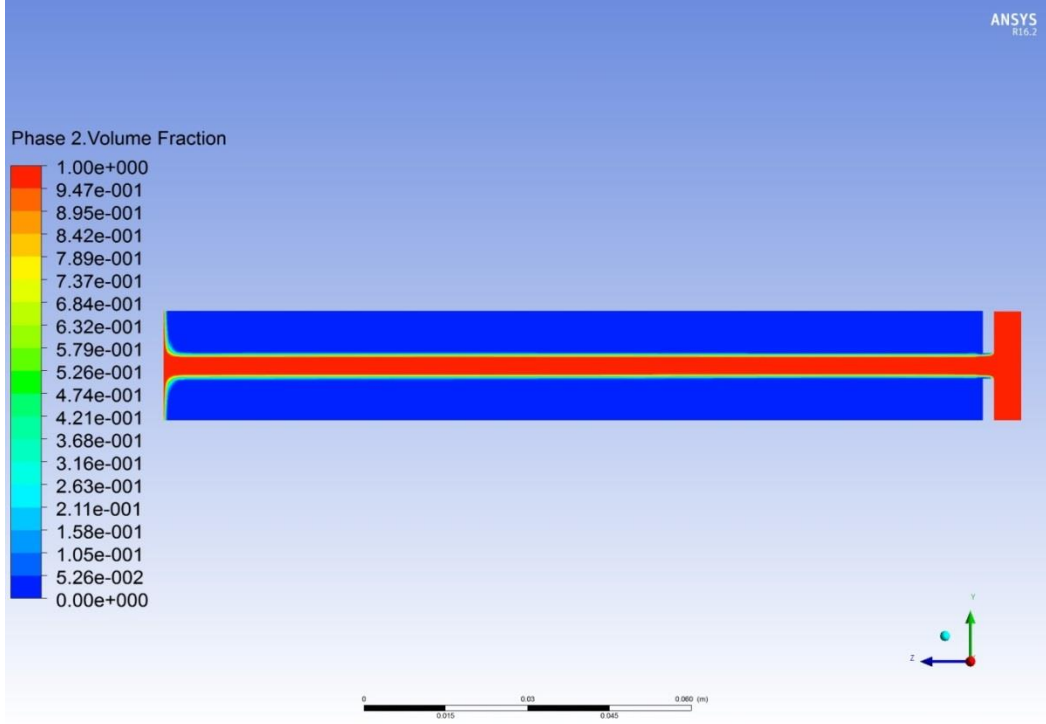
Ağ elemanı sayısı	1024490
Ağ elemanı düğüm sayısı	1045901
Birim hacimde bulunan ağ elemanı sayısı [ağ eleman sayısı / mm ³]	21
maksimum y^+	13,8

Çizelge 5. 9 3 numaralı modelin sınır koşulları

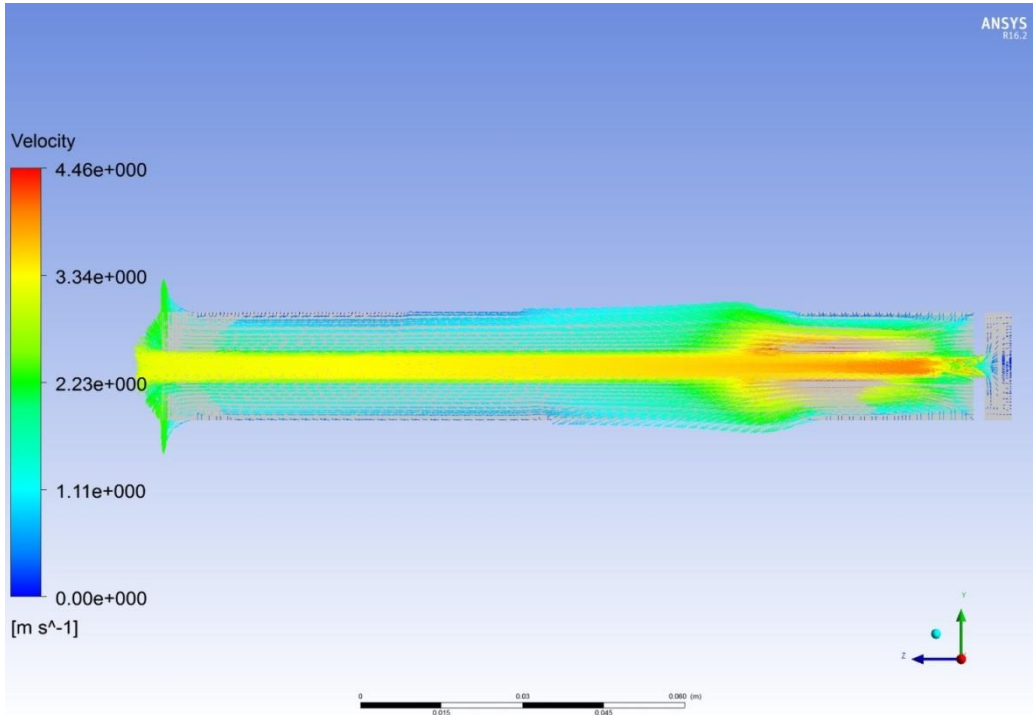
Hız girişi sınır koşulu	Hız girişi	0.13262 [m/s]
	Basınç girişi	7685 [Pa]
	Türbülans yoğunluğu	15 [%]
	Hidrolik çap	0.02 [m]
	Hacim kesri	Su=1, Hava=0
Basınç çıkış koşulu	Dış basınç	0 [Pa]
Nozul duvarları	Duvar sınır şartı	
Etki yüzeyi	Duvar sınır şartı	



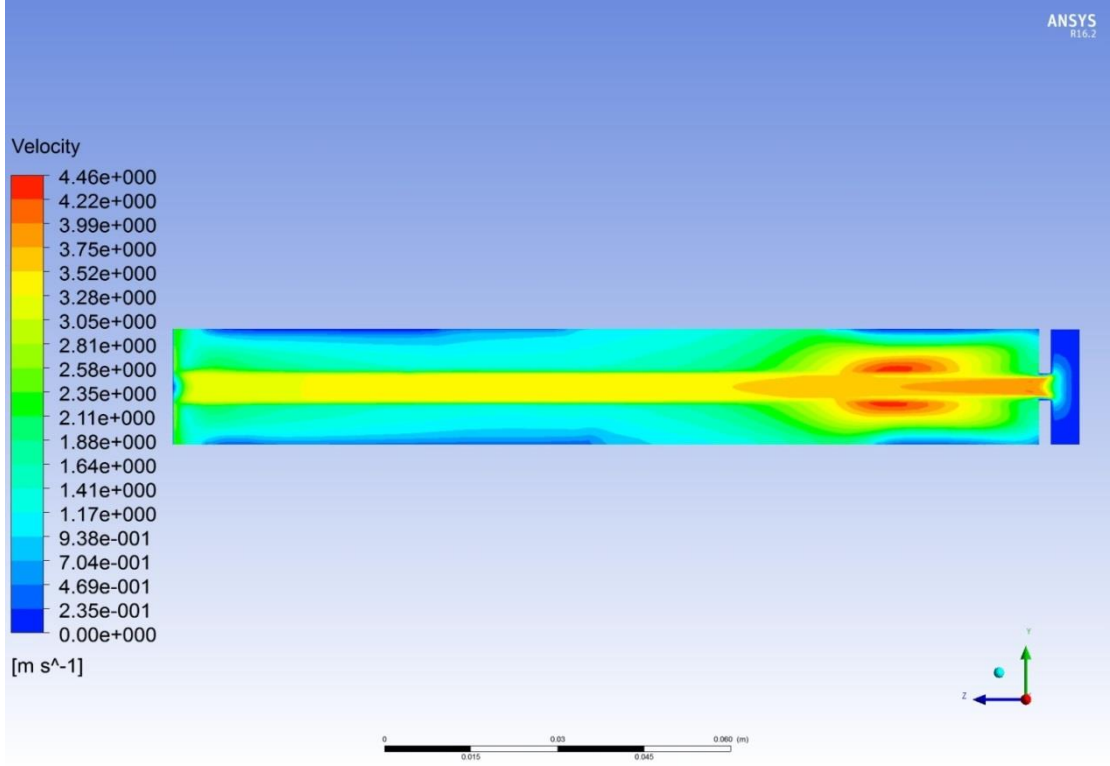
Şekil 5. 19 3 numaralı model merkez çizgisi boyunca hız değişimi



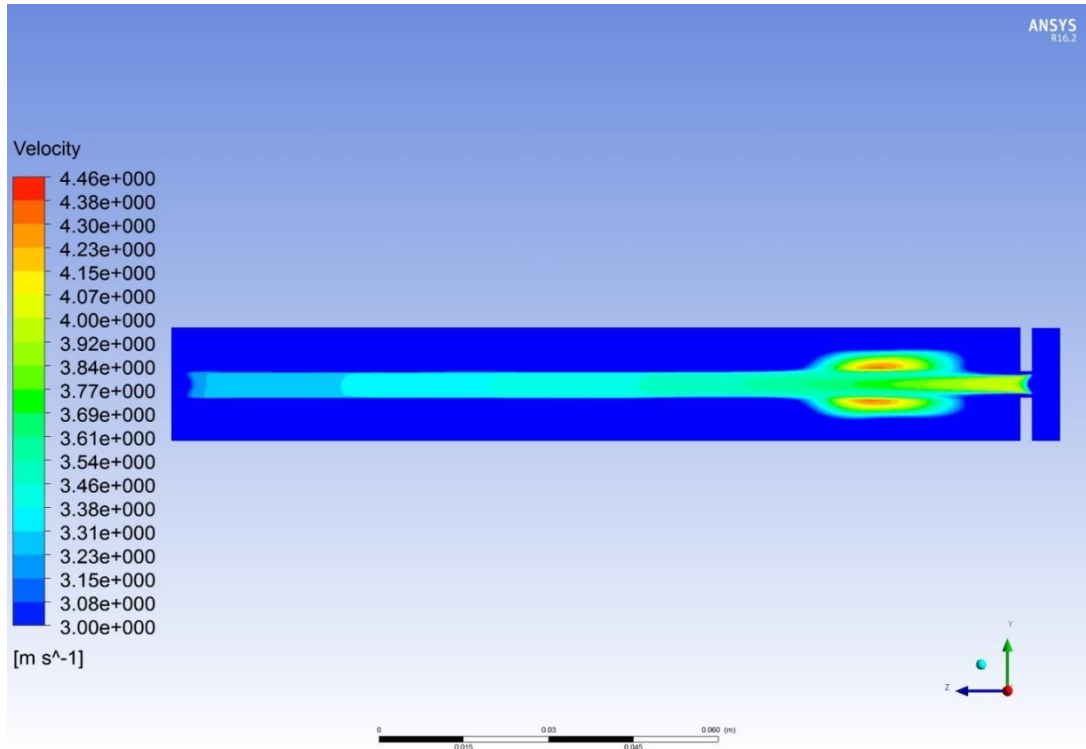
Şekil 5. 20 3 numaralı modelin su hacim kesrinin merkez düzlemdeki değışimi (y-z düzlemi x=0)



Şekil 5. 21 3 numaralı modelin hız vektörlerinin merkez düzlemdeki değışimi



Şekil 5. 22 3 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değişimi

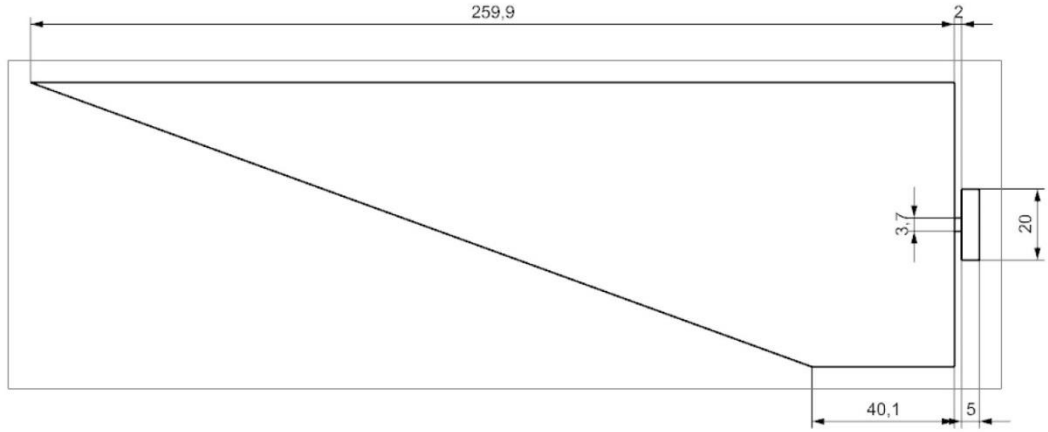


Şekil 5. 23 3 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değişimi (3 m/s'den daha yüksek hızlar için)

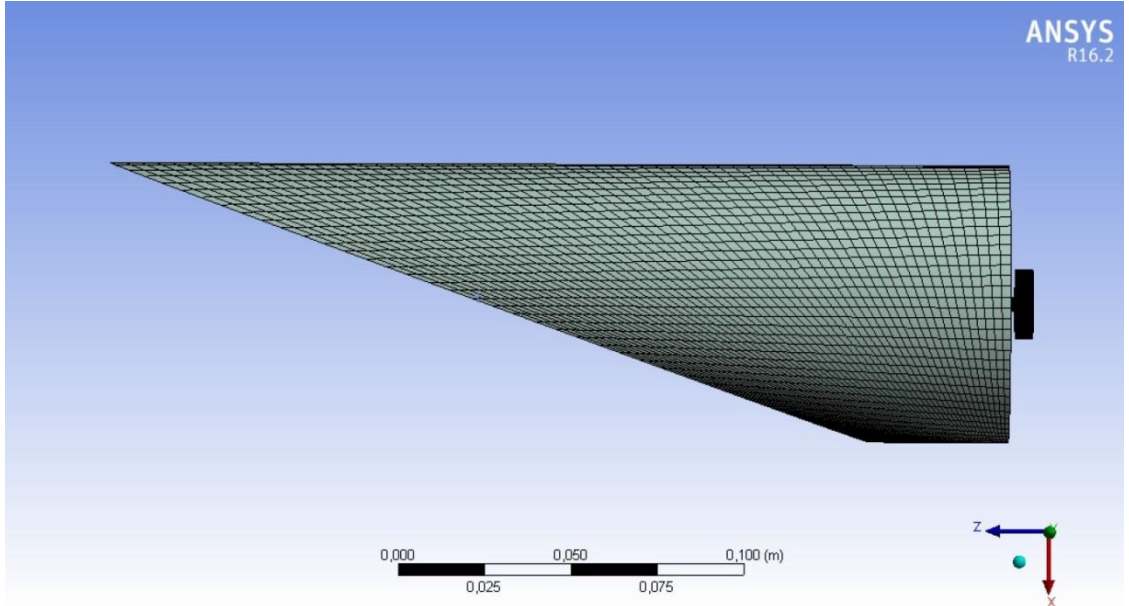
Çizelge 5. 10 3 numaralı model ölçülen kuvvet

3 numaralı model etki yüzeyinde teorik olarak hesaplanan toplam kuvvet	0,15 N
Sayısal olarak ölçülen toplam kuvvet	0,14 N

5.3.4 4 Numaralı model



Şekil 5. 24 4 numaralı model geometrik özellikleri



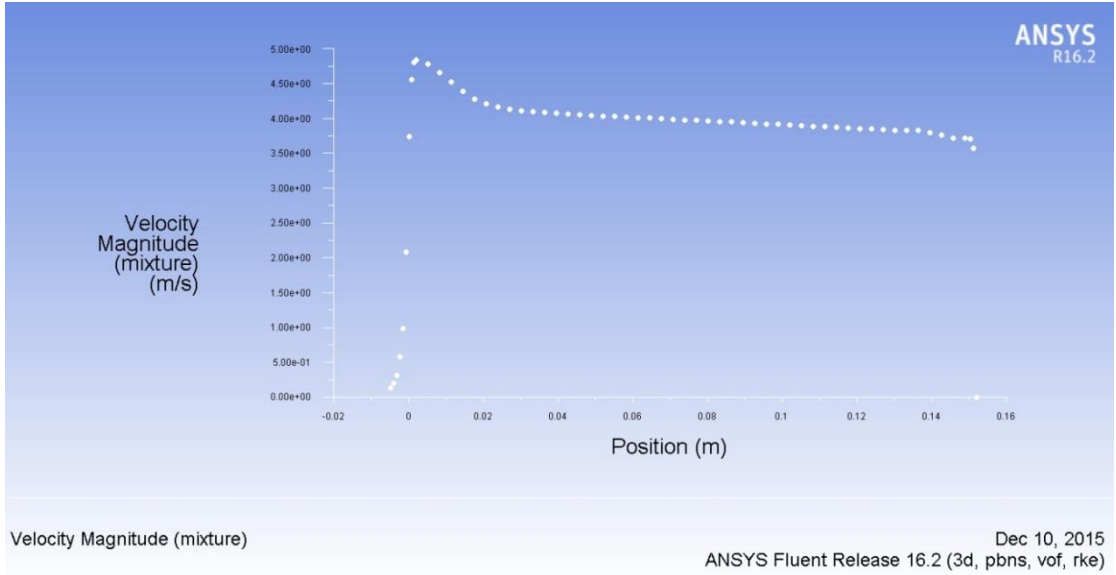
Şekil 5. 25 4 numaralı model ağ yapısı

Çizelge 5. 11 4 numaralı modelin ağ yapısı özellikleri

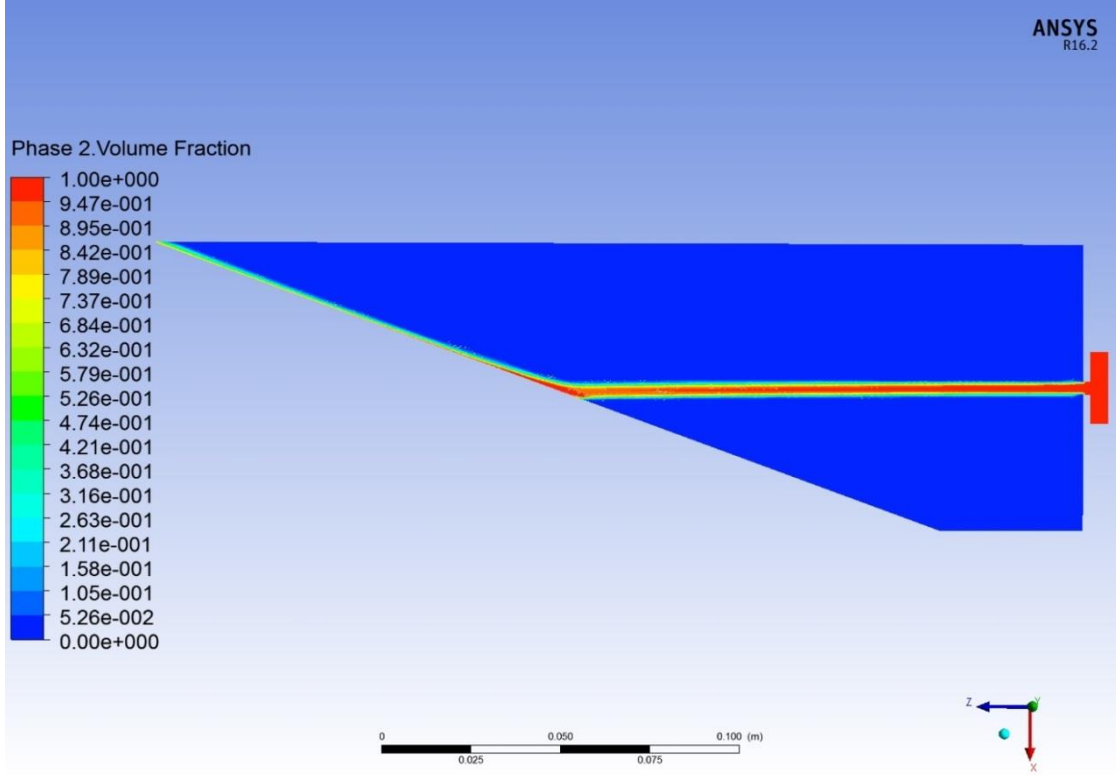
Ağ elemanı sayısı	2017520
Ağ elemanı düğüm sayısı	2065158
Birim hacimde bulunan ağ elemanı sayısı [ağ eleman sayısı / mm ³]	2,6
maksimum y^+	18,6

Çizelge 5. 12 4 numaralı modelin sınır koşulları

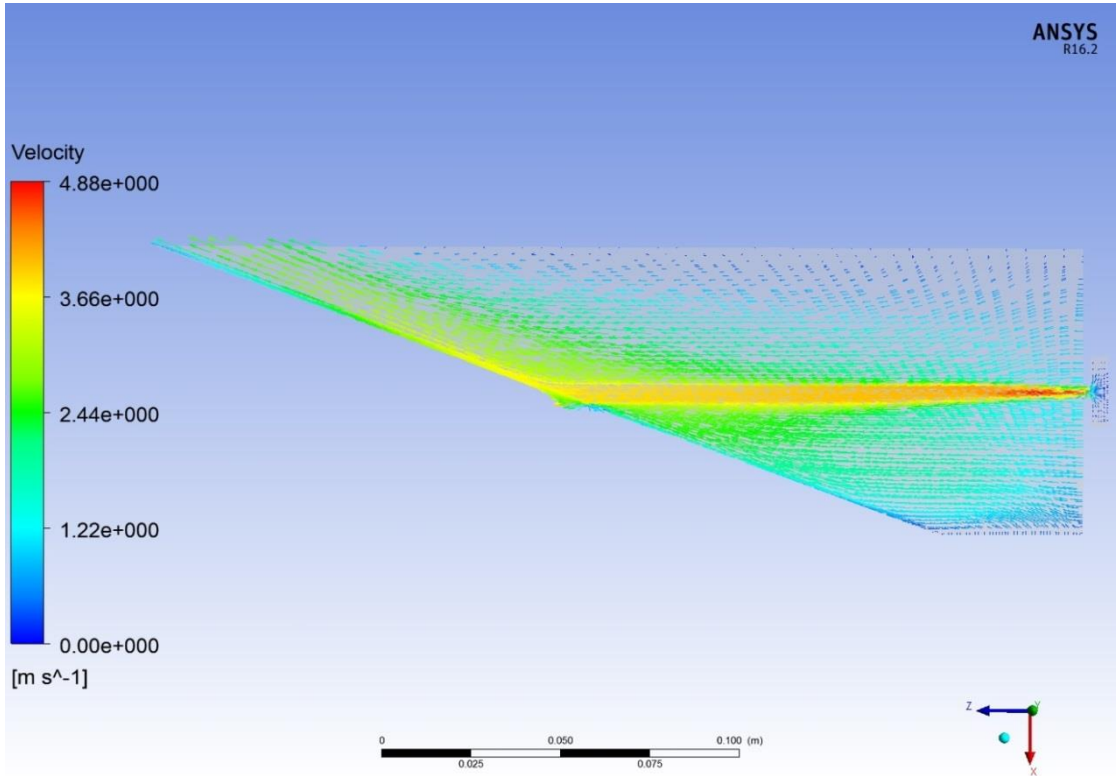
Hız girişi sınır koşulu	Hız girişi	0.13262 [m/s]
	Basınç girişi	13333[Pa]
	Türbülans yoğunluğu	11.6 [%]
	Hidrolik çap	0.02 [m]
	Hacim kesri	Su=1, Hava=0
Basınç çıkış koşulu	Dış basınç	0 [Pa]
Nozul duvarları	Duvar sınır şartı	
Etki yüzeyi	Duvar sınır şartı	



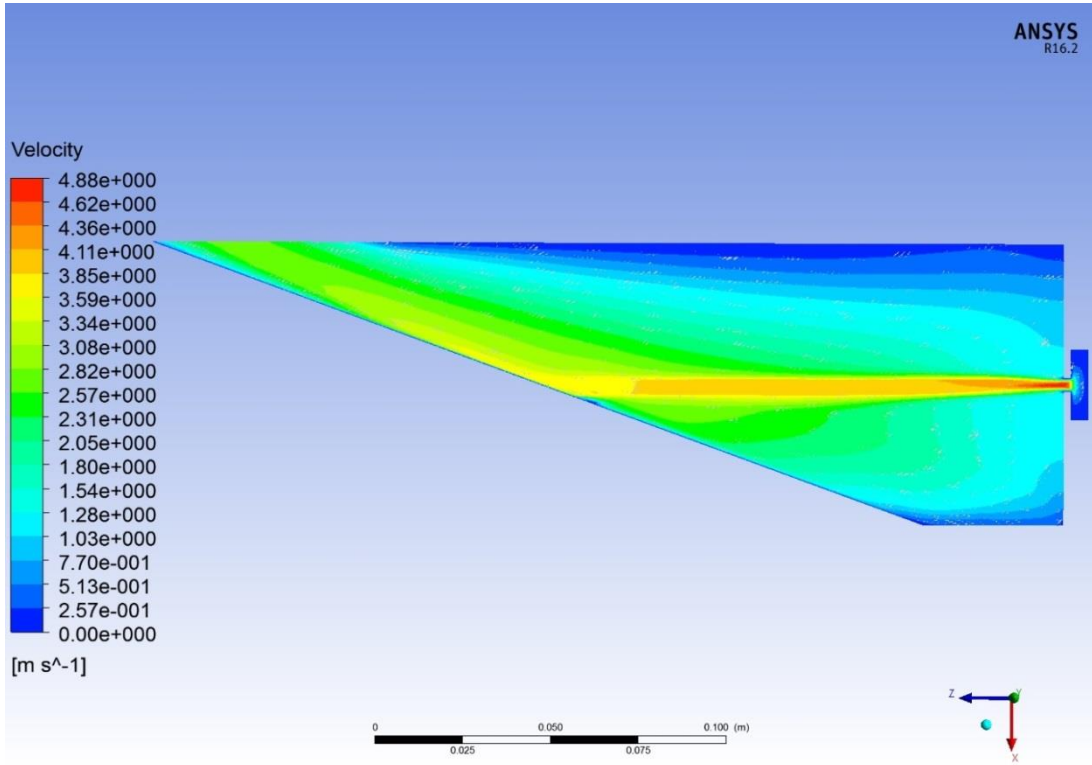
Şekil 5. 26 4 numaralı model merkez çizgisi boyunca hız değişimi



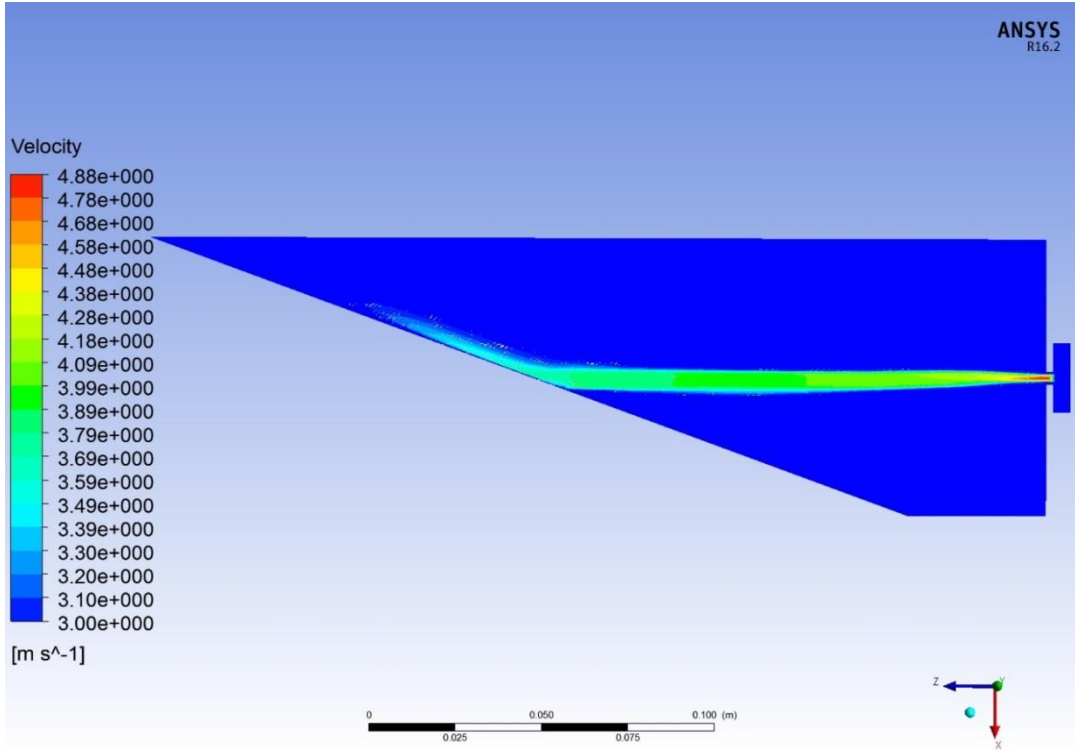
Şekil 5. 27 4 numaralı modelin su hacim kesrinin merkez düzlemdeki değişimi (y-z düzlemi x=0)



Şekil 5. 28 4 numaralı modelin hız vektörlerinin merkez düzlemdeki değişimi



Şekil 5. 29 4 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değışimi



Şekil 5. 30 4 numaralı modelin hız kontörlerinin merkez düzlemdeki değışimi (3 m/s'den daha yüksek hızlar için)

Çizelge 5. 13 4 numaralı model ölçülen kuvvet

4 numaralı model etki yüzeyinde teorik olarak hesaplanan toplam kuvvet	0,14 N
Sayısal olarak ölçülen toplam kuvvet	0,16N

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Deneyin Amacı

Çalışma kapsamında, düz bir yüzeye çarpan su jetinin, oluşturduğu kuvvet ve kir çıkarma performansı incelenmiştir.

Kuvvet ölçümü çalışmalarında, nozuldan çıkan su jetinin düz bir yüzeye çarptırılmasıyla elde edilen hidrodinamik kuvvetin, değişen su debisine, nozul çapına, etki yüzeyi ile nozul arasındaki mesafeye ve etki yüzeyi çarpma açısına göre değişimi incelenmiştir.

Kir çıkarma çalışmaları kapsamında, kir plakasına çarptırılan su jetinin kir çıkarma performansının debiye, nozul kesit alanına, çarpma açısına, su sıcaklığına ve suyun içerdiği deterjan miktarına göre değişimi incelenmiştir.

6.2 Deney Düzeneginin Tarifi

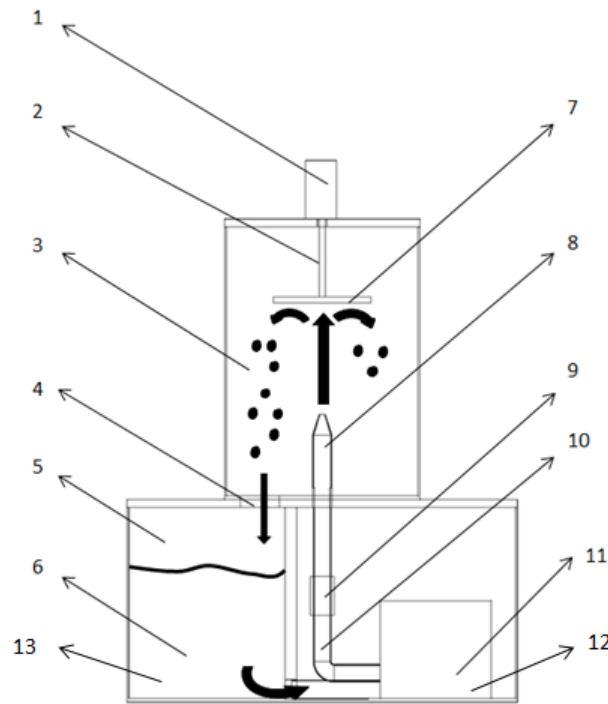
Hazırlanan deney düzeneği, Şekil 6.1’de görüldüğü gibi 400 x 400 x 500 mm boyutlarında PC (Polikarbonat) malzemeden yapılmış şeffaf gövdeden ve 410 x 150 x 150 mm boyutlarında yine aynı malzemeden yapılmış su tankından oluşmaktadır. Su tankının üzerinde, suyun etki yüzeyine çarptıktan sonra, tekrar su tankına dönebilmesi için bir delik bulunmaktadır. Bu sayede suyun sürekliliği sağlanabilmektedir.

Nozullar SLA (Stereolithography) malzemeden üretilmiştir. Kuvvet ölçümü testlerinde kullanılan nozullar, su çıkış kesit alanları 11, 14 ve 17 mm² ve boyları 150, 200 ve 250 mm olacak şekilde toplamda 9 adettir.

Etki yüzeyi; su jetinin tam merkez eksenini üzerinde, 150 mm çapında PC malzemeden üretilmiştir. Etki yüzeyi ile ara bağlantı elemanı küresel mafsalla yüzeye bağlanmıştır.

Böylece etki yüzeyi 0-90° açı aralığında üç boyutlu olarak hareket edebilme yeteneğine sahiptir. Pompadan basınçlandırılarak gelen su jetinin etki yüzeyinde oluşturacağı kuvveti ölçmek için dinamometre kullanılmıştır.

Suyun basınçlandırılma işlemi, su tankının dışında konumlandırılmış bir santrifüj pompa ile sağlanmaktadır. Pompanın basma debisi maksimum 60 L/d'dir. Pompa debisinin ayarlanması bir küresel vana yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, basınçlandırılan suyun debisinin gözlemlenebilmesi için sisteme bir debimetre eklenmiştir.



Şekil 6.1 Su jeti kuvveti ölçüm test düzeneği

1. Dinamometre, 2. Ara bağlantı elemanı, 3. Gövde, 4. Sirkülasyon deliği, 5. Su tankı, 6. Su, 7. Etki yüzeyi, 8. Nozul, 9. Debimetre, 10. Bağlantı boruları, 11. Pompa, 12. Isıtıcı, 13. Isılçift

Su tankından pompa yardımıyla basınçlandırılan su, debimetreden geçerek nozula ulaşmaktadır. Su, burada hızlandırılarak ilerlemekte ve su jeti halinde etki yüzeyine çarpmaktadır. Suyun momentumunu bu yüzeye aktarmasıyla yüzeyde bir tepki kuvveti oluşmaktadır. Bu jet kuvveti dijital dinamometre yardımıyla ölçülmektedir. Etki

yüzeyine çarparak geri dönen su, sirkülasyon deliğinden geçerek tekrar su tankına ulaşmaktadır. Böylece kapalı bir çevrim oluşturulmuştur.

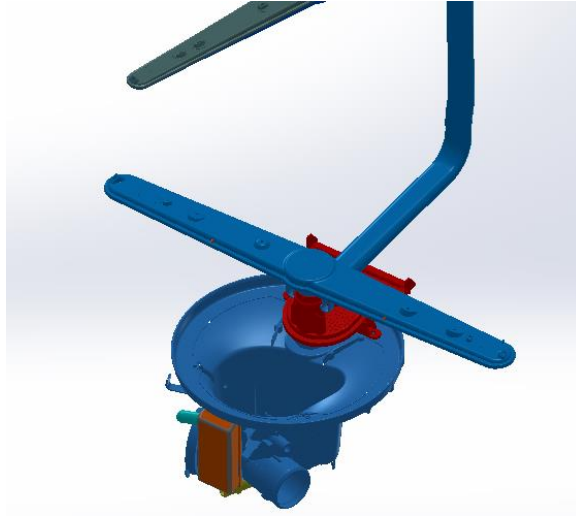
Kir çıkarma testlerinde, etki yüzeyine standart kir plakası takılmış ve yüzeyden çıkan kir miktarı, yüzeyin deney öncesi ve sonrasında analiz edilmesiyle tespit edilmiştir.

Şekil 6.1’de 11 ve 12 numara ile gösterilen bölümde, üzerinde ısıtıcı bulunduran bir pompa bulunmaktadır. Su, bu ısıtıcı yardımıyla şartlandırılmaktadır. Su sıcaklığı sisteme yerleştirilen bir ısıçift (13) ile ölçülmektedir.

6.3 Deney Düzeneğinin Kurulması

6.3.1 Nozul Tasarımı

Çalışmada, ev tipi yıkayıcılar referans alınmış ve çalışma bunun üzerine kurgulanmıştır (Şekil 6.2). Deney düzeneğinde kullanılacak nozullar tasarlanırken; pervanedeki suyun çıktığı deliklerin ölçüleri referans alınmıştır.



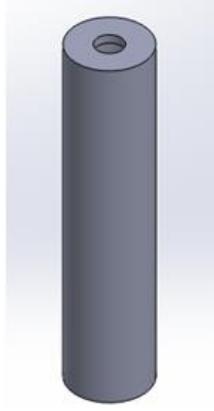
Şekil 6. 2 Yıkayıcı pervanesi katı modeli

Pervane üzerindeki delikler numaralandırılıp, ölçülen değerler kaydedilmiştir (Şekil 6.3).



Şekil 6. 3 Yıkayıcı alt pervane

Bu değerler baz alınarak, bir ev tipi yıkayıcıdaki delik çaplarını kapsayacak şekilde nozul tasarımları yapılmıştır. Bu parçalar SLS prototipleme ile üretilmiştir (Şekil 6.4).



Şekil 6. 4 Tasarlanan nozul tipi

Kir çıkarma ve kuvvet ölçümü çalışmaları için farklı çaplarda nozullar üretilmiştir (Şekil 6.5).



Şekil 6. 5 Üretilen nozullar

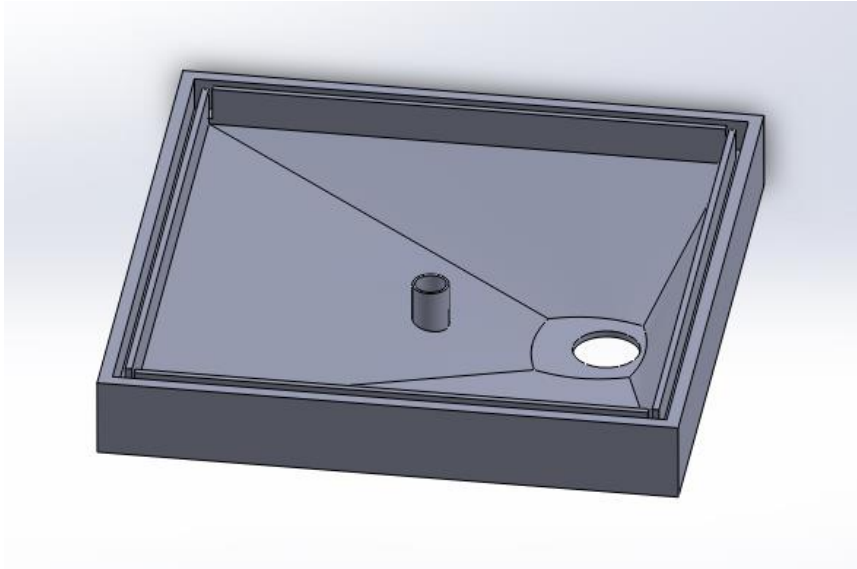
6.3.2 Gövde Tasarımı

Şekil4.6'da görüldüğü gibi, polikarbonat (PC) malzeme istenilen ölülerde kesildikten sonra, yapıştırılarak birleştirilmiştir (Şekil 6.6). Polikarbonat malzeme seçiminin başlıca nedenleri, malzemenin, şeffaf olması sayesinde iç ortamı gözlemeleme fırsatı vermesi, ısı direncinin yüksek olması ve bu sayede sıcak su ile çalışma imkânı sunmasıdır.



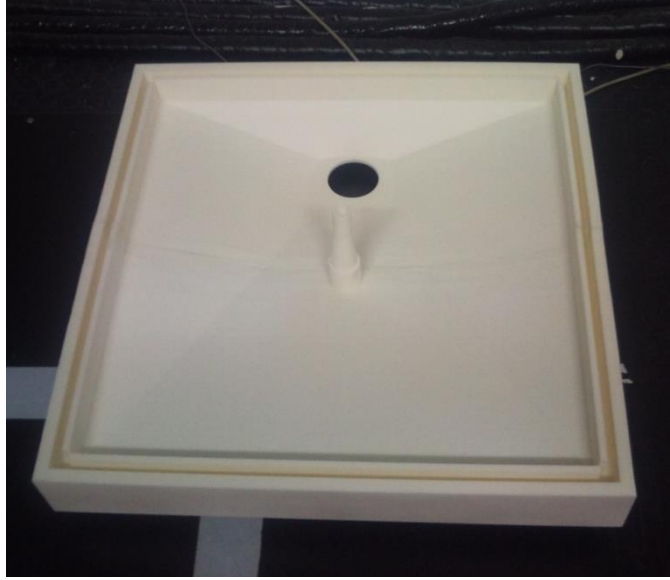
Şekil 6. 6 Malzemenin kesilmesi ve birleştirilmesi

zerine gövde kısmı gelecek olan kasayı tasarlamak için yıkayıcının genel yapısı göz önüne alınmıştır. Su dolaşımının kolay sağlanması ve gelen suyun pompaya tekrar kolayca dönebilmesi için kasanın içi eğimli olarak modellenmiştir (Şekil 6.7). Bu sayede suyun sürekliliğİ sağlanmıştır. Modellenen parçalar SLS malzemeden prototiplenmiştir.



Şekil 6. 7 Tasarlanan kasa geometrisi

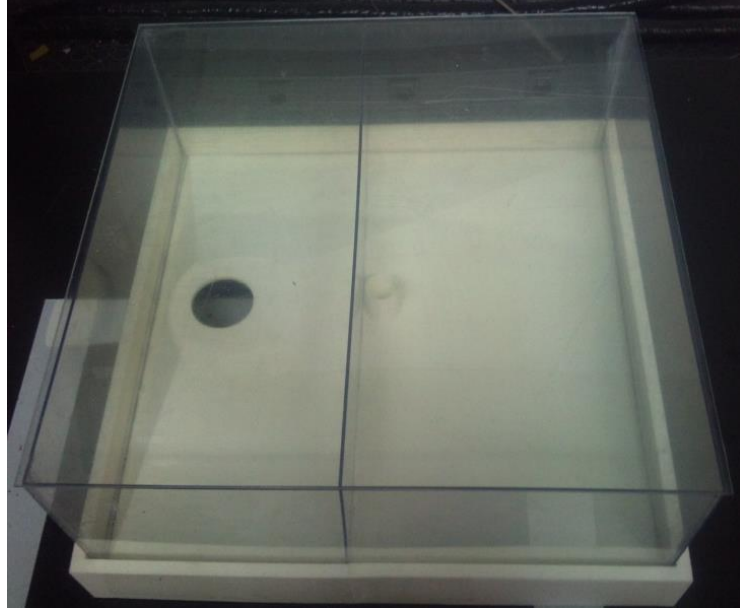
Kasa SLS prototipleme teknolojisiyle üretilmiştir (Şekil 6.8). SLS, plastik prototip üretimde yaygın olarak kullanılan hızlı prototipleme tekniklerinden biridir. SLS teknolojisiyle, epoksi reçine malzemelerden üretilen parçalar yüksek yüzey kalitesi ve yüksek hassasiyet değerlerine sahiptir. Aynı zamanda neme karşı oldukça dayanıklıdır [29].



Şekil 6. 8 Üretilen kasa

6.3.3 Su Tankının Tasarımı

Su tankının boyutlarının belirlenirken, pompanın, su dolaşımı sırasında susuz çalışmaması koşulu ön planda tutulmuştur. Aksi halde pompa boşa çalışarak hem zarar görebilmekte, hem de farklı bir çalışma noktasına kayabilmektedir. Tankın boyutları 410 x 150 x 150 mm olarak kararlaştırılmıştır. Ardından PC malzeme uygun ölçülerde kesilerek birleştirilmiştir. Şekil 6.9’da görüldüğü gibi kasanın altına yapılan su tankı, sirkülasyon deliğinin bulunduğu kısımdadır. Diğer kısma ise son montaj aşamasında pompa ve borular yerleştirilmiştir.



Şekil 6. 9 Hazırlanan su tankı (Alttan görüşünüş)

Birleştirilen malzemeler silikon uygulamasıyla daha sağlam hale getirilmiştir ve sızdırmazlık sağlanmıştır. Sistem üzerine, pompa ve ara bağlantı elemanlarının montajı yapılmıştır. Ayrıca içerideki suyun sistemden kolaylıkla tahliye edilebilmesi için Şekil 6.10'da görüldüğü gibi küresel vana yerleştirilmiştir.



Şekil 6. 10 Pompa ve küresel vananın montajı

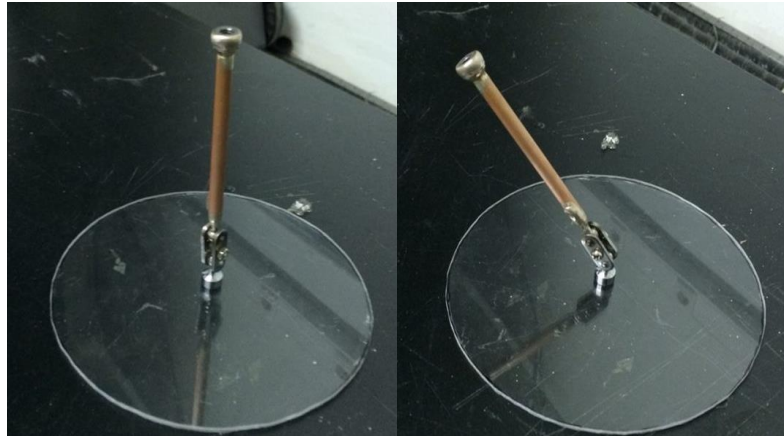
6.3.4 Üst Kapağın ve Etki Yüzeyinin Tasarımı

Su jetinin etkiyeceği yüzey; günlük hayatta kullandığımız tabaklara yakın ve basit bir formda düşünülmüştür. Bunun neticesinde, 15 mm çapında PC malzemedan dairesel bir plaka hazırlanmıştır (Şekil 6.11 ve Şekil 6.12).



Şekil 6. 11 Etki yüzeyi

Şekil 6.12’de görüldüğü gibi kesilen yüzeye küresel mafsallı aracılığıyla ince bir mil bağlanılmıştır. Böylece etki yüzeyi istenilen açığa kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Kir plakası ile çalışıldığı durumlarda, bu yüzeyin üzerine plaka yapıştırılmıştır ve açı değişimleri yine aynı şekilde gerçekleştirilmiştir.

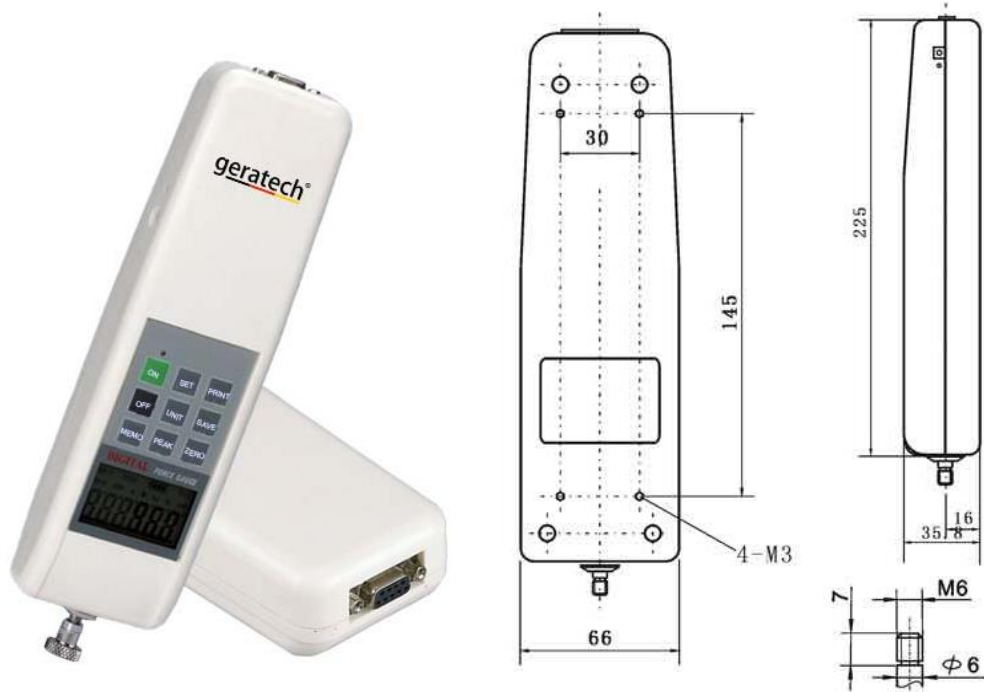


Şekil 6. 12 Küresel mafsallı monte edilmiş etki yüzeyi

6.3.5 Kuvvet Ölçüm Cihazının Belirlenmesi

Deneylerde kullanılan kuvvet ölçüm cihazı elektronik dinamometredir (Şekil 6.13). Deney düzeneğinde kullanılan dinamometrenin özellikleri şu şekildedir:

- 20 Newton kapasitelidir.
- 0.01 Newton çözünürlüğe sahiptir.
- Ölçülecek birimi seçebilmektedir (N, kgf, lbf). [46].



Şekil 6. 13 Dijital dinamometre [30]

6.3.6 3.3.7 Pompanın Seçilmesi

Çalışma noktası debisi ve basıncı göz önünde bulundurularak, sistem için uygun pompa seçimi yapılmıştır.

Deney düzeneği için santrifüj (radyal) pompa kullanılmıştır (Şekil 6.14).

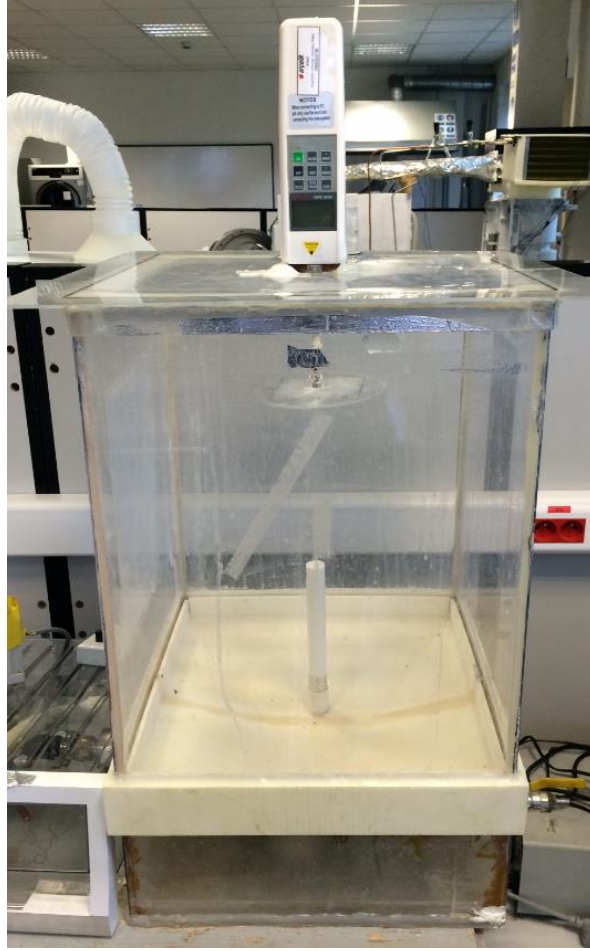


Şekil 6. 14 Seçilen santrifüj pompa

Bir radyal pompada çarkın emiş tarafında meydana gelen vakum nedeniyle sıvı, çarkın kanatları arasına girer. Çark kanatları arasından geçen sıvı, çarkın dönüş hareketleriyle büyük teğetsel bir hız kazanır. Çark kanatları ile çarkın ön ve arka profili tarafından sınırlanan kanallar arasında sıvı, çarkın çıkış tarafına doğru dönme hareketi esnasında meydana gelen santrifüj kuvvetler etkisiyle itilir. Bu şekilde oluşan hareket, sıvının devamlı akışını ve pompanın emme tarafındaki emişini sağlar.

6.4 Ölçüm Belirsizliği Analizleri, Kuvvet Ölçümü ve Kir Çıkarma Deneyleri

Deney düzeneğindeki tüm parçalar montajlanarak sistem son halini almıştır (Şekil 6.15).



Şekil 6. 15 Su jeti deney düzeneği

Deneyler gerçekleştirilmeden önce, kurulan test düzeneği için belirsizlik analizi yapılmıştır. Ölçülen verilerin tekrarlı olup olmadığı, ölçülecek parametrelerin sonuçlar üzerinde anlamlı etkide olup olmadığı, ölçüm yapacak operatörlerin kendini tekrar edip etmediği ve birden fazla operatör olması durumunda ölçüm sonuçlarının birbirine göre anlamlı olup olmadığı incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda sabit bir debide, etki yüzeyinin açısı 20-90° açı aralığında ve üç farklı nozul çıkış kesit alanına sahip nozullar için iki farklı operatör tarafından deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan öncül testler ve ölçüm belirsizliği analizi sonucunda test sonuçlarının kendini tekrarlayabildiği ve incelenen parametre değişimlerinin, sonuçlar üzerinde etkisinin olduğu görülmüştür.

6.4.1 Ölçüm Belirsizliği Analizleri

Çalışmada, akış geliş açısı, nozul çapı, debi ve mesafe gibi parametrelerin incelenmesi amaçlanmıştır. Deney düzeneğinin bu parametreleri anlamlı bir şekilde ölçüp

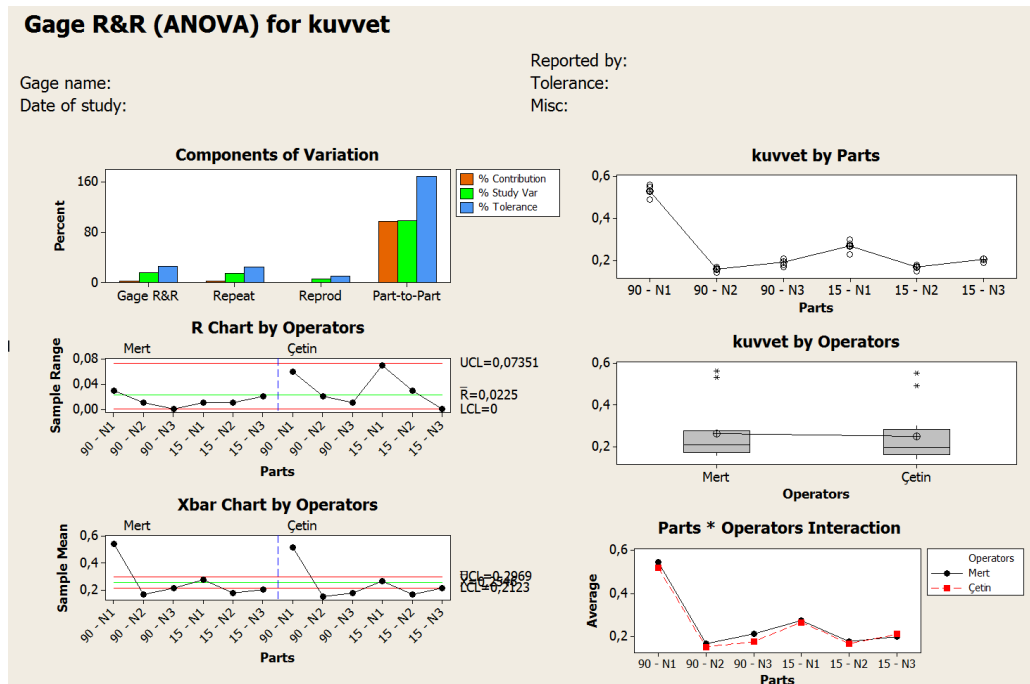
ölçemeyeceği irdelenmiştir. Parametrelerin mertebelerinin seçiminde, mevcut yıkayıcıların çalışma noktasını kapsayacak biçimde mertebe seçilmiştir.

Bir önceliklendirme matrisi oluşturulmuş ve literatür de incelenerek nozul çapı, debi, açı ve mesafe diğer parametrelere göre öncelikli olarak değerlendirilmiştir. Plaka malzemesi, plaka boyutu ve ortam sıcaklığı, ortam nemi gibi parametrelerin sonuç üzerindeki etkisinin düşük olacağı kabul edilmiş ve değerlendirmeye alınmamıştır.

Ölçüm belirsizliği testleri iki operatör ve dört parametre için gerçekleştirilmiştir.

Analiz sonucunda, ekte gösterilen tablo elde edilmiştir. Analizde Pvalue değerleri incelenmiştir. Parts değerinin Pvalue değeri 0,000 çıkmıştır. Bu değer parçadan gelen değişkenlikleri temsil etmektedir. Değerin 0,05'ten küçük olması sebebiyle değişkenlerin yani parametrelerin birbirinden farklı olduğu söylenebilir. Operatörlerin değerlendirmesinde de %7 risk ile operatörlerin birbiriyle benzer ölçümler aldıkları ve birbirleri arasında fark olmadığı söylenebilmektedir. Çalışmada tek operatör ile ilerlenmiştir. Bu çalışma ileride çift operatör ile çalışılması ihtimali üzerine yapılmıştır.

Ölçüm yeterliliği analizi için toplam Gage R&R değerine bakılmaktadır. Toplam ölçüm yeterliliği %26,11 çıkmıştır. Endüstriyel çalışmalarda %30'un altında çıkması durumunda ölçüm yeterliliği vardır kabul edilmektedir.



Şekil 6. 16 Deney sistemi için ölçüm belirsizliği inceleme / değerlendirme tablosu

Şekil 6.16'da sol üstteki grafik değişkenlikleri göstermektedir. Ölçüm değişkenliklerinin ağırlıklı olarak parçadan gelmesi istenen bir durumdur. Bu, değişkenliğe sebep olan parametrenin parçalar olduğunu göstermektedir. Yani ölçülecek parçaların birbirinden farklı olduğu ve bu farkların ayırt edilebildiği görülmektedir. Tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik bölümlerinin yüzdesi oldukça düşüktür, bu durumda tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik konularında değişkenlik olmadığı söylenebilmektedir.

Sağ üstteki grafik, birbirine benzer parçaların sonuçlarını göstermektedir. Birbirine benzer parçaların değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

Sol ortadaki grafikte operatörlerin ölçüm sonuçları gösterilmiştir. İki operatör de alt ve üst kontrol limitinin içinde ölçüm yapmıştır.

Sağ ortadaki grafikte iki operatörün ölçüm ortalamaları gösterilmiştir. İki kutuyu birbirine bağlayan çizgi ortalamaları temsil etmektedir. Bu çizginin paralele yakın olması ölçümlerin birbirine yakın olduğunu göstermektedir.

Sol alttaki grafik parçaların değişkenliğini göstermektedir. Bu grafikte parçaların mümkün olduğunca alt ve üst kontrol limitinin dışında seyretmesi beklenmektedir. Grafikte de parçalar ağırlıklı olarak alt ve üst kontrol limitinin dışında çıkmıştır. Bu durumda, parçaların birbirinden farklı seçildiği söylenebilir.

Sağ alttaki grafik operatörlerin ölçümlerini göstermektedir. Operatörlerin ölçümlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

6.4.2 Kuvvet Ölçümü Deneyleri

Deneyisel çalışma için bir deney tasarımı oluşturulmuş ve parametrelerin sonuç üzerindeki etkileri kontrollü bir biçimde ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında tam faktöriyel bir deney tasarımı oluşturmuştur. Test parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri, günümüz ev tipi yıkayıcıların normal çalışma programlarındaki değerleri göz önünde alınarak belirlenmiştir. Ayrıca minimum ve maksimum değerlerin yanı sıra, bu değerler arasındaki değişim hakkında da fikir sahibi olmak için orta noktalar da incelenmiştir.

Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi; debi 2,5-3,5 L/d aralığında, etki yüzeyi açısı 20-90° aralığında, etki yüzeyi ile nozul arası mesafe 15-25 cm aralığında ve nozul çıkış kesit alanı 11-17 mm² aralığında olacak şekilde kuvvet ölçümleri tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6. 1 Kuvvet ölçümü için deney tasarım planı

Parametre	Minimum	Maksimum
Debi (L/d)	2,5	3,5
Kesit alanı (mm ²)	11	17
Açı (°)	20	90
Mesafe (cm)	15	25

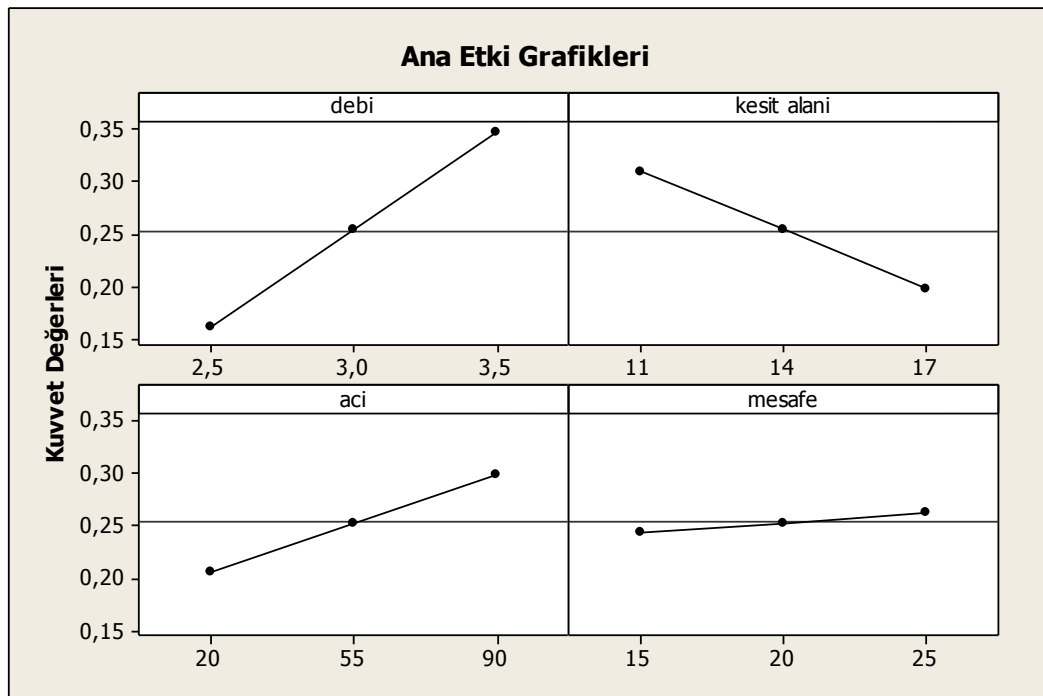
StdOrder	RunOrder	debi	kesit alanı	aci	mesafe
1	1	2,5	11	20	15
2	2	3,5	11	20	15
3	3	2,5	17	20	15
4	4	3,5	17	20	15
5	5	2,5	11	90	15
6	6	3,5	11	90	15
7	7	2,5	17	90	15
8	8	3,5	17	90	15
9	9	2,5	11	20	25
10	10	3,5	11	20	25
11	11	2,5	17	20	25
12	12	3,5	17	20	25
13	13	2,5	11	90	25
14	14	3,5	11	90	25
15	15	2,5	17	90	25
16	16	3,5	17	90	25
17	17	2,5	11	20	15
18	18	3,5	11	20	15
19	19	2,5	17	20	15
20	20	3,5	17	20	15
21	21	2,5	11	90	15
22	22	3,5	11	90	15
23	23	2,5	17	90	15
24	24	3,5	17	90	15
25	25	2,5	11	20	25
26	26	3,5	11	20	25
27	27	2,5	17	20	25
28	28	3,5	17	20	25
29	29	2,5	11	90	25
30	30	3,5	11	90	25
31	31	2,5	17	90	25
32	32	3,5	17	90	25
33	33	3	14	55	20
34	34	3	14	55	20
35	35	3	14	55	20
36	36	3	14	55	20

Deney tasarımında kontrollü bir biçimde, tüm parametreler birbiriyle çarpıştırılarak test edilmiş ve sonuçlar işlenmiştir. Tabloda parametrelerin birbiriyle çarpıştırılması gösterilmiştir. Ayrıca son dört testte minimum maksimum arasında kalan parametreler de test edilmiştir.

Pvalue değeri 0,05'ten büyük olan değerlerin sonuç üzerindeki etkisi düşük kabul edilmektedir. Örneğin Pvalue değeri 0,740 çıkan debi*mesafe değerinin kuvvet üzerinde etkili olduğunu söylemek için %74 risk almak gerekmektedir. Bu çalışmada risk seviyesi %5 olarak belirlenmiş ve riskin %5'ten fazla olacağı değerler sonuca dâhil edilmemiştir.

Etkili olmayan parametreler çıkarılarak sonuçlar ortaya konmuştur.

Analizle etkisi düşük parametreler çıkarılmış ve etkili parametreler ortaya konmuştur. Bu durumda R-Sq(adj) değerine bakılarak kuvvet üzerinde etkili parametrelerin %99,27'sini açıklayan bir model elde edilmiştir.



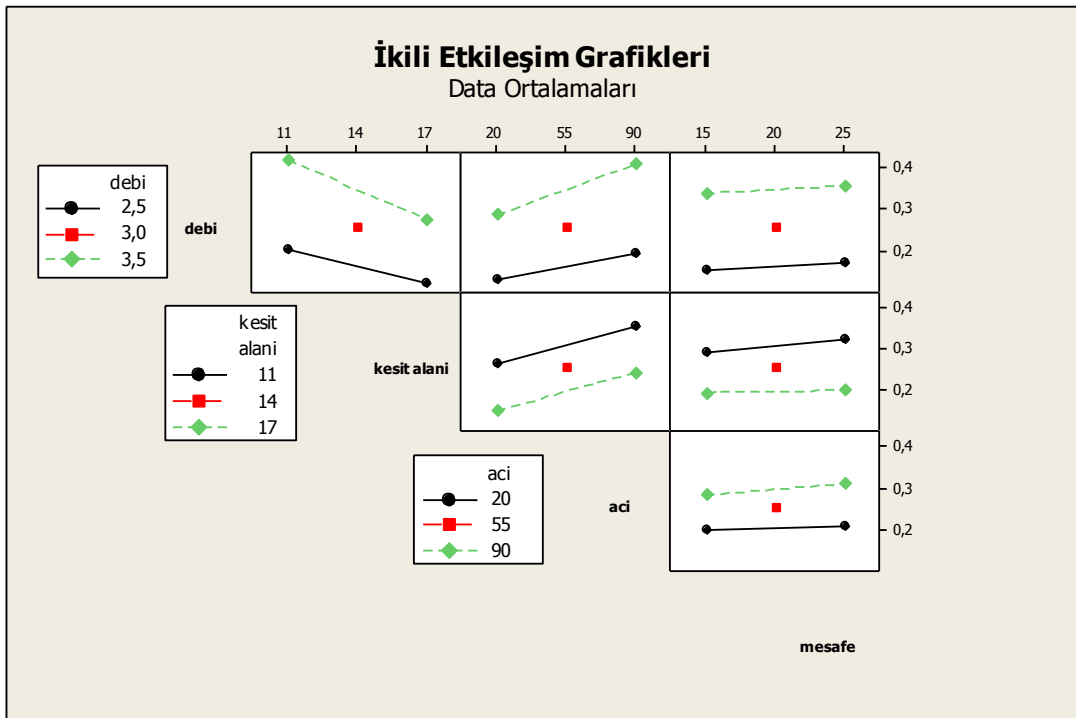
Şekil 6. 17 Kuvvete etki eden parametrelerin ortalama değerleri için ana etki grafiği

Ana etki grafiğine bakılarak parametrelerin değişiminin kuvveti nasıl değiştirdiği incelenebilmektedir. Buna göre; debinin artışı kuvveti artırmaktadır; kesit alanının artışı

kuvveti düşürmektedir; açının artışı kuvveti artırmaktadır ve mesafe artışı az da olsa kuvveti artırmaktadır. Burada, eğrilerin eğimi kuvvet üzerindeki etkinin yoğunluğunu göstermektedir (Şekil 6.17).

Bu grafiklere göre; debi ve kesit alanı su jetinin hızını etkilemektedir ve kuvveti keskin biçimde değiştirmektedir. Açının da kuvvet üzerinde etkili olduğu söylenebilir, açının 20°'den 90°'ye çıkması kuvveti artırmaktadır. Bu da beklenen bir çıktıdır. Mesafe ise kuvvet üzerinde düşük oranda etkilidir. Nozul ile plaka arasındaki mesafenin artması kuvveti az da olsa artırmaktadır. Bu artış, akışın önündeki direncin kaldırılmasından kaynaklanmaktadır. İleride anlatılacak kir çıkarma çalışmasında mesafe parametresi incelenmemiştir, çünkü etkisinin diğer parametrelere göre oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir.

Analizde orta noktaların sonuç üzerinde etkili olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda ölçülen minimum ve maksimum değerler arasında bir minimum ve maksimum değer olmadığı söylenebilmektedir.



Şekil 6. 18 Kuvvete etki eden parametreler için etkileşim grafikleri

Etkileşim grafikleri, parametrelerin birbirinin durumuna göre değişim eğrilerini vermektedir. Örneğin debinin 3,5 L/d olması, 2,5 L/d olması durumuna göre kesit

alanından daha fazla etkilenmektedir. Benzer şekilde, 3,5 L/d debi değeri, 2,5 L/d debi değerine göre açıdan da daha fazla etkilenmektedir (Şekil 6.18).

6.4.3 Teorik, nümerik ve deneysel sonuç kıyaslamaları

Kuvvet ölçümü için değişen parametreler analitik olarak hesaplanmış, nümerik çalışmalarla bir kuvvet sonucu elde edilmiş ve son olarak yapılan deneylerle kuvvet ölçülmüştür. Bu bölümde bu üç çalışmanın sonuçları kıyaslanacaktır.

Çizelge 6. 2 Kuvvet ölçümü için teorik, nümerik ve deneysel sonuçlar kıyaslama tablosu

KOŞUL	TEORİK (N)	NÜMERİK (N)	DENEYSEL (N)
2,5 L/d - 11 mm ² - 15 cm - 90°	0,20	0,20	0,23
2,5 L/d - 11 mm ² - 25 cm - 90°	0,25	0,27	0,26
2,5 L/d - 17 mm ² - 15 cm - 90°	0,15	0,14	0,13
2,5 L/d - 11 mm ² - 15 cm - 20°	0,14	0,16	0,15

4 farklı koşulda her birinde bir parametre değiştirilerek nozül çapının, mesafenin ve açının kuvvet üzerine değişimi incelenmiştir.

Suyun nozülden çıkış sınır koşulları dikkate alınarak yüzeye çarptığı bölgedeki hızı ve sonrasında çarpma hızı hesaplanmıştır. Ardından Fluent programı kullanılarak nümerik olarak sonuçlar elde edilmiş ve son olarak kuvvet ölçümü deneyleri yapılarak deneysel sonuçlar ölçülmüştür.

Parametre değişimi durumunda her üç yöntemde de, kuvvet anlamlı bir şekilde değişim göstermektedir. Her üç yöntemde de sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır. Deneysel sonuçlar sadece o koşulun sonucunu yansıtmamakta, tüm deney tasarımı sonucu elde edilen eğriyi yansıtmaktadır.

6.4.4 Kir Çıkarma Deneyleri

Tez çalışmaları kapsamında, kir çıkarma işlemi üzerine etkili olan mekanik etki dışındaki parametrelerin de ortaya konması amaçlanmıştır. Bu sayede geleneksel bir yıkayıcıda, mekanik etkinin kir çıkarma üzerindeki etki yüzdesinin ortaya konması amaçlanmıştır. Ayrıca mekanik etki kendi içinde de alt kırımlarına ayrılmış ve her bir parametrenin etkisi ayrıca değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, kir çıkarma üzerinde, mekanik etkinin alt kırımlarıyla beraber etkisi incelenmiştir.

6.4.4.1 İmaj Görselleme ve İşleme Çalışmaları

Kir çıkarma çalışmaları kapsamında, kirin sürekli aynı özellikleri göstermesi için standart bir kir üzerinde çalışılmıştır. Bunun için standart kir plakası temin edilmiş ve testlerde bu plaka kullanılmıştır. Ürün standart kir plakaları üreten CFT (Center for Testmaterials) B.V. firmasından alınmıştır. Firmanın ürettiği DM 60 kodlu, bulaşık yıkama testleri için ispanak isimli üründen alınmıştır (Şekil 6.19).

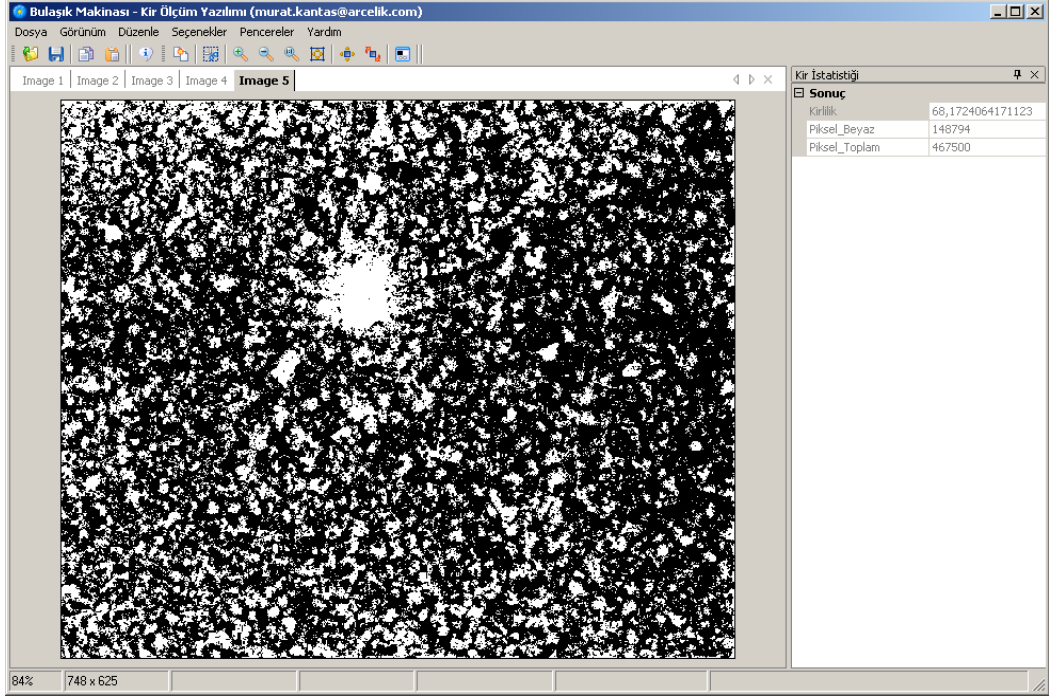
Kir olarak ispanak seçilmiştir. Ispanak kiri ile sıcaklık, deterjan etkisi ve mekanik etki parametrelerinin tamamının incelenmesi mümkün olmaktadır. Öte yandan ispanak kiri Avrupa standartları içinde kullanılan kirlerden biridir. Plakanın boyutları 6*10 cm'dir.



Şekil 6. 19 Deneysel çalışmalarda kullanılan standart kir plakası

İşlem gören plakaların yüzeyinden uzaklaştırılan kirin yüzdesel miktarını ölçmek için bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımda işlem görmüş ve işlem görmemiş plakalar

üzerindeki kir miktarları karşılaştırılarak, plakanın ne kadar temizlendiğine sayısal bir sonuç olarak ulaşılabilmektedir.



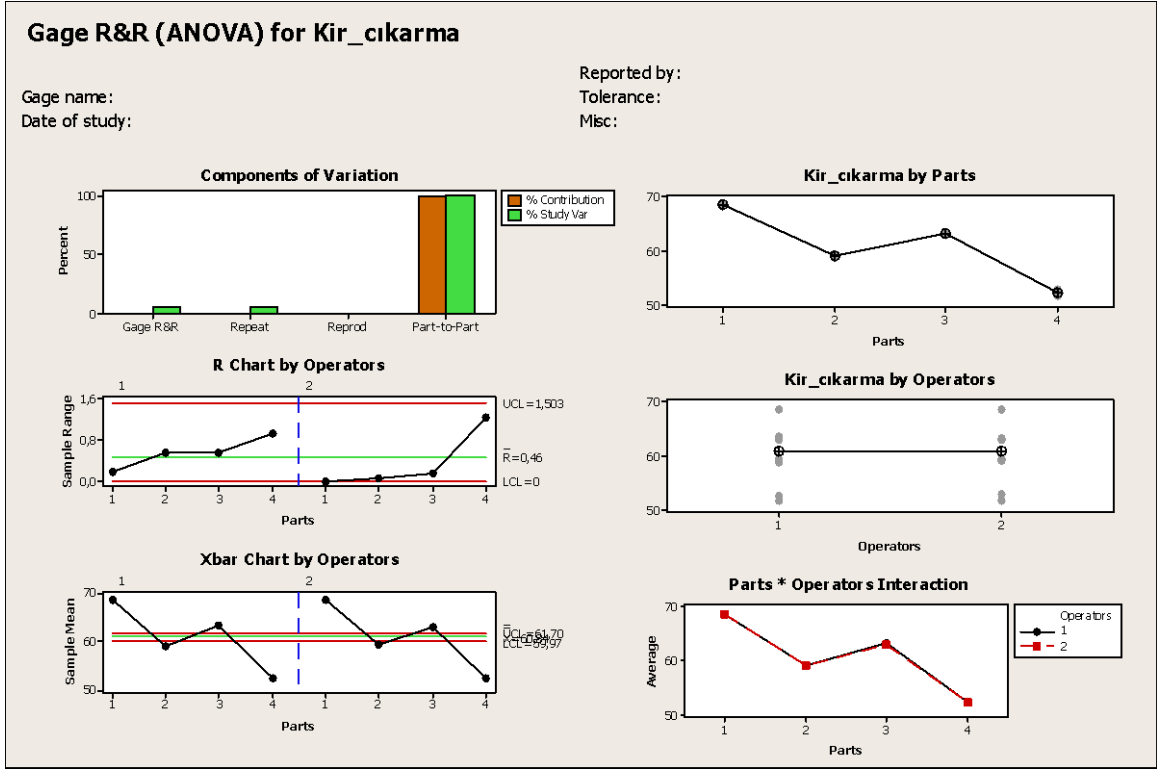
Şekil 6. 20 Kir plakasının imaj görselleme çalışmaları ana ekranı

Plakalardaki kir miktarı imaj işleme ve görselleme yöntemiyle belirlenmektedir. Plakanın kirli hali (orijinal hali) ve sonrasında temizlenmiş hali karşılaştırılmakta ve her bir deney grubu için kir çıkarma oranına bakılmaktadır. Kir çıkarma oranı sonuç çıktısı olarak deney tablosuna işlenmektedir (Şekil 6.20).

6.4.4.2 Kir Çıkarma Ölçüm Belirsizliği Analizi

Deney düzeneği için bir ölçüm belirsizliği analizi yapılmıştı. Benzer bir analiz de kir plakası için yapılmıştır. Bu çalışmada, deneyde değiştirilen parametrelerin kir çıkarma üzerinde anlamlı etkisinin olup olmadığı belirlenmiştir. Bir başka ifade ile, bu deney mantığı ve bu kir plakası, görmek istediğimiz parametrelerin değişimlerinde bize anlamlı sonuç veriyor mu sorusuna cevap aranmıştır.

İki operatörlü, 4 farklı kir plakası kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Kir plakaları operatörler tarafından ikiye kez ölçülmüştür. Bu sayede operatörlerin kendi içindeki tutarlılıkları da test edilmiştir.



Şekil 6. 21 Kir ölçümüm sistemi için ölçüm belirsizliği inceleme / değerlendirme tablosu

Şekil 6.21'de Gage R&R ölçüm ekranı görünmektedir. Sonuç ekranına göre, Toplam Gage R&R değeri %5,58 çıkmıştır. %30'un altında olması durumunda işlemin endüstriyel olarak kabul edilebilir olduğu söylenebilmektedir. Grafiklere göre;

Sol üstteki grafik incelendiğinde değişkenliğin parçadan geldiği görünmektedir. Bu istenen bir durumdur, tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik değerlerinin değişkenliğe etkisi düşüktür. Parçanın değişkenliği görülebilmektedir.

Sağ üstteki grafiğe göre parçaların kir seviyelerinin birbirinden farklı olduğu söylenebilmektedir.

Sol ortadaki grafiğe göre; operatörlerin ölçümleri alt ve üst kritik limitlerin arasındadır.

Sağ ortadaki grafik, operatörlerin birbirine göre ölçümlerini göstermektedir. İki operatörün ölçümleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Bu da ölçüm sisteminin ya da yönteminin operatörden bağımsız olduğunu göstermektedir.

Sol alttaki grafik parçaların limitlerini göstermektedir. Parçalar rassal seçilmiştir, bu sebeple kontrol limitlerinin dışında çıkmıştır. Bu istenen bir durumdur.

Sağ alttaki grafik ise operatörlerin parça ölçümlerini göstermektedir. İki operatör de benzer parçayı benzer seviyede ölçmüştür. İkisi de parçaların farklarını birbirinden ayırt etmiştir.

6.4.4.3 Kir Çıkarma Deney Tasarımı

Kir çıkarma çalışmaları kapsamında debi, nozul kesit alanı, açı, sıcaklık, zaman ve deterjan miktarı parametreleri ile bir deney tasarımı oluşturulmuştur. Kuvvet ölçümü çalışmalarının yapıldığı deney düzeneğinde kir çıkarma çalışmaları yapılmıştır. Kir çıkarma işleminin yanı sıra kuvvet ölçümü de yapılmış ve bilgi olarak tutulmuştur.

6 faktörü içeren, tek tekrarlı, yarım faktöriyel bir test planı oluşturulmuştur (Çizelge 6.2). İşlem anlık bir ölçüm olmadığı için tek tekrar yapmak yeterli bulunmuştur. Deney tasarımına iki adet de orta nokta atılmıştır. Bu sayede seçilen minimum maksimum noktaların arasında, kir çıkarma sonucunu minimize ya da maksimize eden bir nokta varsa bu orta noktalar ortaya çıkaracaktır.

Çizelge 6. 3 Kir çıkarma ölçümü için deney tasarım planı

Debi (l/s)	Kesit Alanı (mm ²)	Açı (°)	Sıcaklık (°C)	Zaman (d)	Deterjan Miktarı (g)	Kir çıkarma (%)	Kuvvet (N)
3	12	20	20	10	0		
5	12	20	20	10	10		
3	20	20	20	10	10		
5	20	20	20	10	0		
3	12	90	20	10	10		
5	12	90	20	10	0		
3	20	90	20	10	0		
5	20	90	20	10	10		
3	12	20	50	10	10		
5	12	20	50	10	0		
3	20	20	50	10	0		
5	20	20	50	10	10		
3	12	90	50	10	0		
5	12	90	50	10	10		
3	20	90	50	10	10		
5	20	90	50	10	0		
3	12	20	20	20	10		

Çizelge 6. 4 Kir çıkarma ölçümü için deney tasarım planı (devamı)

5	12	20	20	20	0		
3	20	20	20	20	0		
5	20	20	20	20	10		
3	12	90	20	20	0		
5	12	90	20	20	10		
3	20	90	20	20	10		
5	20	90	20	20	0		
3	12	20	50	20	0		
5	12	20	50	20	10		
3	20	20	50	20	10		
5	20	20	50	20	0		
3	12	90	50	20	10		
5	12	90	50	20	0		
3	20	90	50	20	0		
5	20	90	50	20	10		
4	16	55	35	15	5		
4	16	55	35	15	5		

Önceden belirlenen ve kir çıkarma üzerinde etkili olduğu saptanan altı parametre ile bir deney tasarımı hazırlanmıştır. Bu parametrelerin üç tanesi mekanik etkinin alt kırınımindan çıkmıştır. Diğer parametreler sıcaklık ve deterjan gibi yıkama üzerinde etkili olduğu bilinen iki parametre ve geri kalan beş parametre ile ilişki halinde olan zaman parametresidir.

Debi değeri olarak 3 l/s ile 5 l/s değerleri alınmıştır ve bu aralık incelenmiştir. Nozul kesit alanı minimum 12 mm, maksimum 20 mm alınmıştır. Plakaya, suyun gelme açısı minimum 20°, maksimum 90°'dir. Sıcaklık minimum 20°C ve maksimum 50°C'dir. Zaman 10 ve 20 dakika olarak alınmıştır. Deterjan miktarı 0 ve 10 gram olarak belirlenmiştir. Bu değerler alınırken konvansiyonel yıkayıcılar göz önünde bulundurulmuştur. Kir çıkarma sonuçları yüzde olarak değerlendirilmektedir. Plakanın başlangıç kir seviyesi yüzde olarak değerlendirilmiş ve test sonrası kir seviyesi yine yüzde biçiminde ölçülmüştür. Aradaki fark kir çıkarma değeri olarak alınmıştır. Kuvvet dinamometre yardımıyla ölçülmüştür.

6.4.4.4 Kir Çıkarma Deney Sonuçları

Deneyel çalışma, istatistiksel yöntemlerden regresyon ile analiz edilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir (Çizelge 6.3).

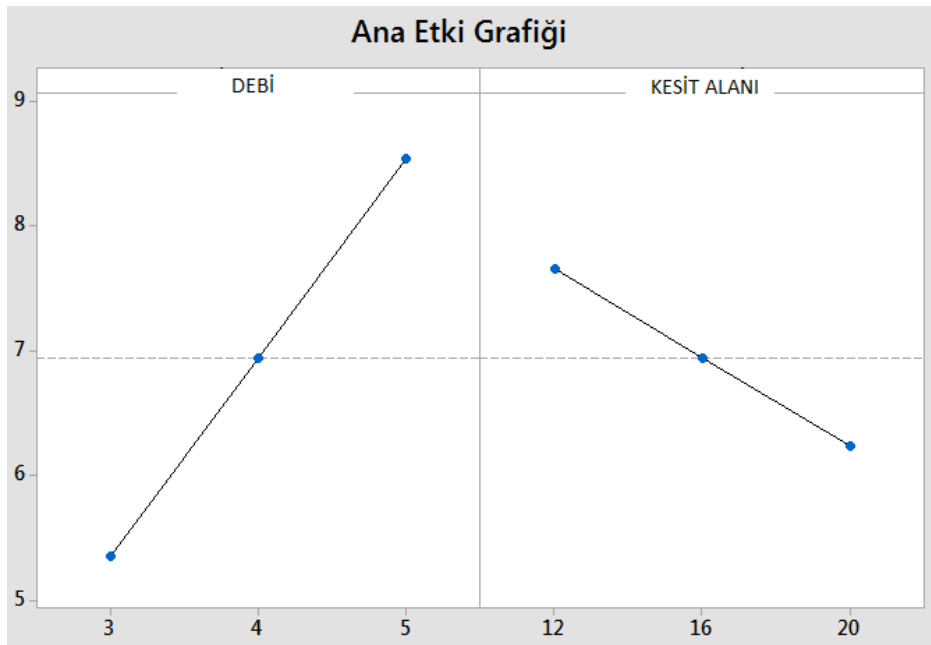
Çizelge 6. 5 Kir çıkarma ölçümü için deney tasarım planı ve sonuçları

Debi (l/s)	Kesit Alanı (mm ²)	Açı (°)	Sıcaklık (°C)	Zaman (d)	Deterjan Miktarı (g)	Kir çıkarma (%)	Kuvvet (N)
3	12	20	20	10	0	3,33	0,2
5	12	20	20	10	10	8,33	0,63
3	20	20	20	10	10	4,2	0,08
5	20	20	20	10	0	2,38	0,32
3	12	90	20	10	10	4,05	0,23
5	12	90	20	10	0	2,52	0,71
3	20	90	20	10	0	1,14	0,08
5	20	90	20	10	10	5,08	0,33
3	12	20	50	10	10	7,45	0,18
5	12	20	50	10	0	7,01	0,58
3	20	20	50	10	0	3,34	0,08
5	20	20	50	10	10	10,52	0,3
3	12	90	50	10	0	7,5	0,22
5	12	90	50	10	10	21,73	0,65
3	20	90	50	10	10	9,96	0,05
5	20	90	50	10	0	6,63	0,38
3	12	20	20	20	10	5,42	0,2
5	12	20	20	20	0	3,65	0,63
3	20	20	20	20	0	3,37	0,08
5	20	20	20	20	10	4,87	0,32
3	12	90	20	20	0	0,23	0,23
5	12	90	20	20	10	3,8	0,71
3	20	90	20	20	10	6,06	0,08
5	20	90	20	20	0	2,14	0,33
3	12	20	50	20	0	6,18	0,18
5	12	20	50	20	10	27,46	0,58
3	20	20	50	20	10	7,57	0,08
5	20	20	50	20	0	7,37	0,3
3	12	90	50	20	10	8	0,22
5	12	90	50	20	0	11,37	0,65
3	20	90	50	20	0	4,13	0,05
5	20	90	50	20	10	15,38	0,38
4	16	55	35	15	5	7,63	0,38
4	16	55	35	15	5	5,23	0,37

Model oluşturulurken öncelikle incelenen tüm parametreler ortaya konmuştur. Bu parametrelerin Pvalue değerlerine bakılarak etkisinin düşük olduğu görülen parametreler sırayla çıkarılmıştır. Model sadeleştirilmiştir.

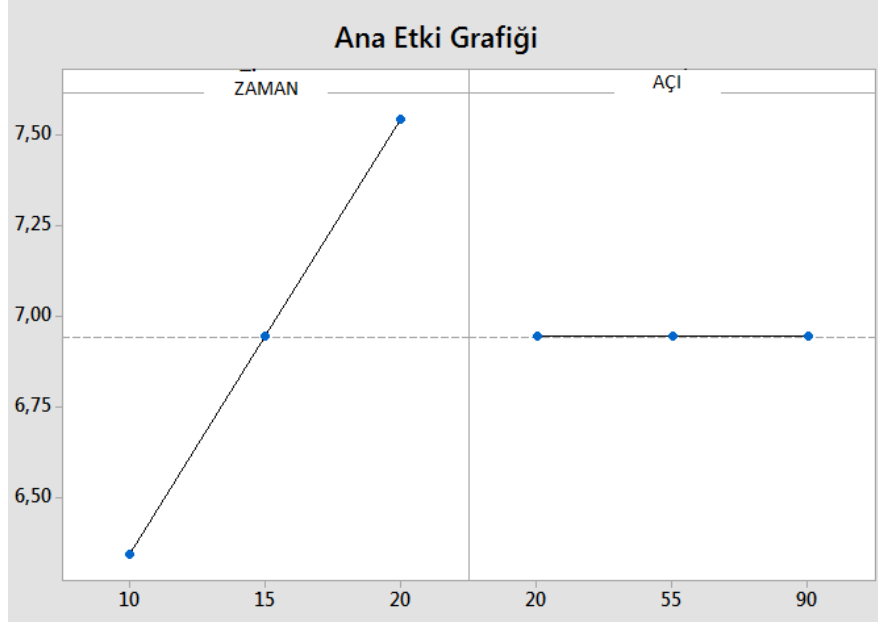
Bu modele göre; sonuç üzerinde etkili tüm parametreler sıralanmıştır. Bu parametrelerin etkili olduğunu söylerken en fazla %5 risk alınmaktadır. Modelin R-Sq(adj) değeri 88,85 çıkmıştır. Buna göre; sonucu % 88,85 oranında açıklayan bir model oluşturulabilmektedir.

Elde edilen bu formül ile Matlab tabanlı bir program yazılmış ve ıspanak kiri için kir çıkarma işlemi modellenmiştir. Kir çıkarma üzerinde etkili olan mekanik parametreler debi ve nozul kesit alanı olarak görülmektedir.



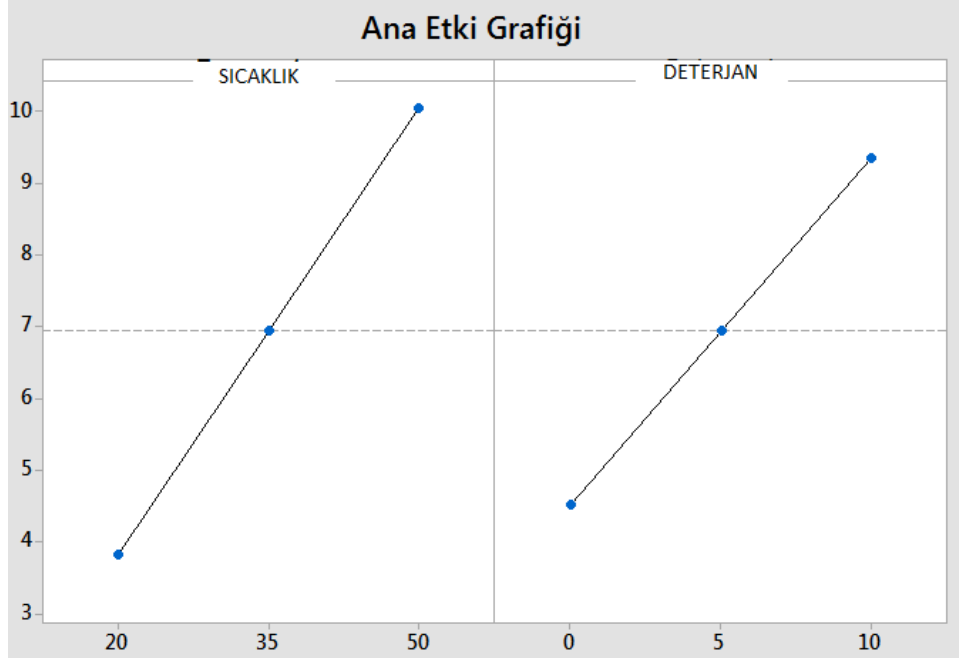
Şekil 6. 22 Kir çıkarma analizi için ortalama değerlerin ana etki grafiği (debi ve kesit alanı için)

Ana etki grafiği incelenmiştir. Buna göre; debi kir çıkarma üzerinde pozitif yönde etkilidir. Debinin artışı, kir çıkarma performansını iyileştirmektedir. Kesit alanının artışı hızı düşürdüğü için kir çıkarma performansını düşürmektedir (Şekil 6.22).



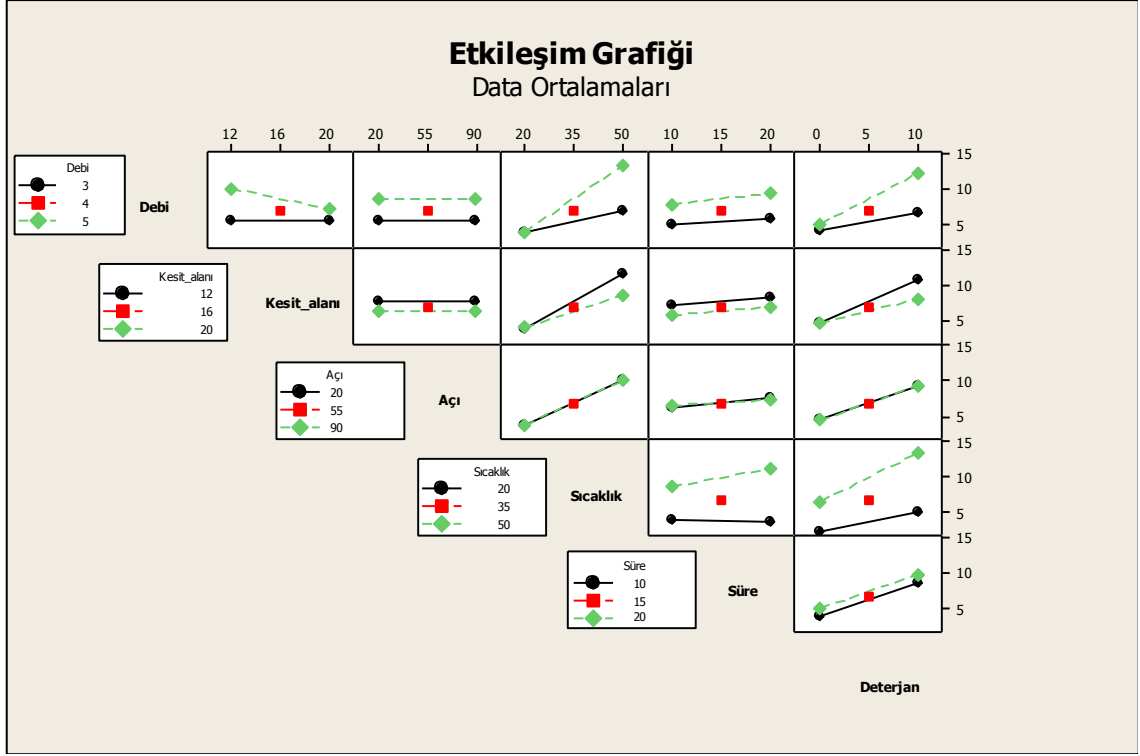
Şekil 6. 23 Kir çıkarma analizi için ortalama değerlerin ana etki grafiği (zaman ve açı için)

Bir diğer mekanik etki olan açının kir çıkarma üzerindeki etkisi diğer parametrelerin yanında ihmal edilebilecek seviyededir. Açının 90° olması durumunda kuvvet yüksek olduğu için kir çıkarma iyileşirken, açı 20° olduğunda kuvvetin düşmesine rağmen, sıyırma etkisi artmakta ve yüzeyden daha çok parça koparma mümkün olmaktadır. Zaman da kir çıkarma işlemi üzerinde etkili görünmektedir. Zaman arttıkça kir çıkarma işlemi iyileşmektedir (Şekil 6.23).



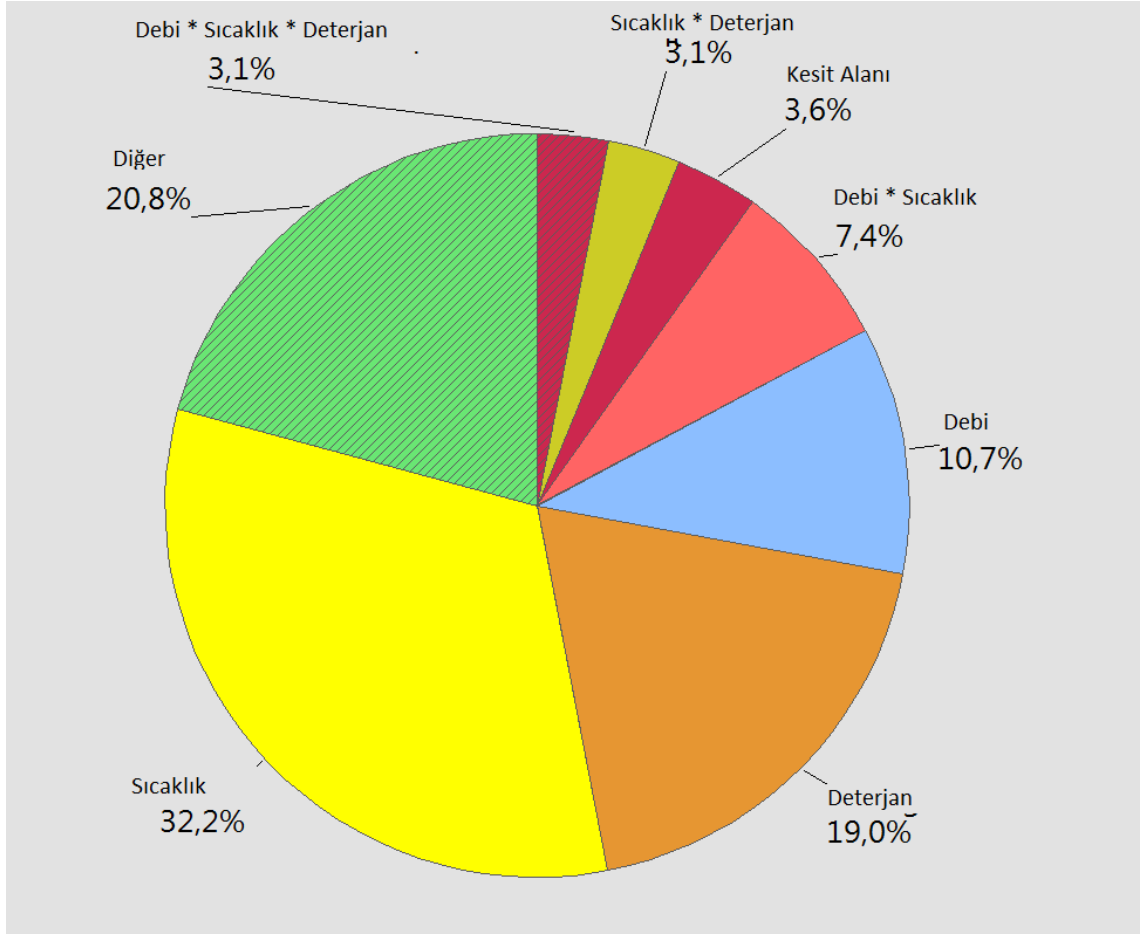
Şekil 6. 24 Kir çıkarma analizi için ortalama değerlerin ana etki grafiği (sıcaklık ve deterjan için)

Sıcaklık, kir çıkarma üzerinde en etkili parametrelerden biridir. Sıcaklığın artışı kir çıkarma performansını iyileştirmektedir. Deterjan konsantrasyonu da kir çıkarma üzerinde etkili bir diğer parametredir. Deterjan miktarının artışı, kir çıkarma işlemini olumlu etkilemektedir (Şekil 6.24).



Şekil 6. 25 Kir çıkarma üzerindeki tüm parametrelerin görüldüğü etkileşim grafikleri

Ana etki grafiğinde her bir parametrenin sonuç üzerindeki etkisi görülmektedir. Sonucu nasıl değiştirdiği, hangi oranda etkilediği incelenebilmektedir. Etkileşim grafiklerinde parametrelerin birbirine göre değişimleri incelenebilmektedir. Bu grafiğe göre; Debinin 3 L/d olduğu durumda, kesit alanının kir çıkarma üzerindeki etkisi düşüktür, ancak debi 5 L/d olduğunda kesit alanının 12 mm² olması kir çıkarmayı iyileştirmektedir. Bir başka grafiğe göre yüksek debilerde sıcaklık, kir çıkarma üzerinde daha etkili olmaktadır. Benzer şekilde, deterjan konsantrasyonu da yüksek debilerde daha etkili olmaktadır (Şekil 6.25).



Şekil 6. 26 Kir çıkarma işlemindeki etkin parametreler için pasta grafiği

Büyük resmin görülmesi açısından pasta grafiği çizilmiştir. Bu grafikte her bir parametrenin sonuç üzerindeki etkisi ortaya konmaktadır. Buna göre sıcaklık parametresinin tekil etkisi %32,2 olarak hesaplanmış, deterjan konsantrasyonunun etkisi %19'dur. Bu iki etki kir çıkarma üzerindeki en baskın parametrelerdir. Mekanik etkiler incelendiğinde debi %10,7 tekil etki ile en baskın mekanik etkidir. Kesit alanının tekil etkisi ise %3,6'dır. Bunun dışında debi*sıcaklık çarpımı da sonuç üzerinde %7,4 etkilidir. İkili etkilerden sıcaklık*deterjan konsantrasyonu %3,1 ve üçlü etkilerden debi*sıcaklık*deterjan konsantrasyonu da yine %3,1 etkilidir. Diğer adı altındaki grupta daha düşük yüzdeki ikili, üçlü ve dördü etkileşimler bulunmaktadır. Pasta grafiği gösteriminde bunlar diğer grubu içine dâhil edilse de, formülasyonda en düşük yüzdeye kadar tamamı modele dâhil edilmiştir (Şekil 6.26).

6.4.4.5 Kir Çıkarmanın Modellenmesi

Kir çıkarma işlemi için bir deney tasarımı hazırlanmış, deneyler tamamlanmış, ardından Minitab tabanlı analiz edilmiştir. Kir çıkarma girdi parametrelerine göre değerlendirilmiş ve formülize edilmiştir. Formül EKte verilmiştir. Sonrasında, MATLAB tabanlı bir program yazılmıştır. Program arayüzü Şekil 6.27’de verilmiştir.

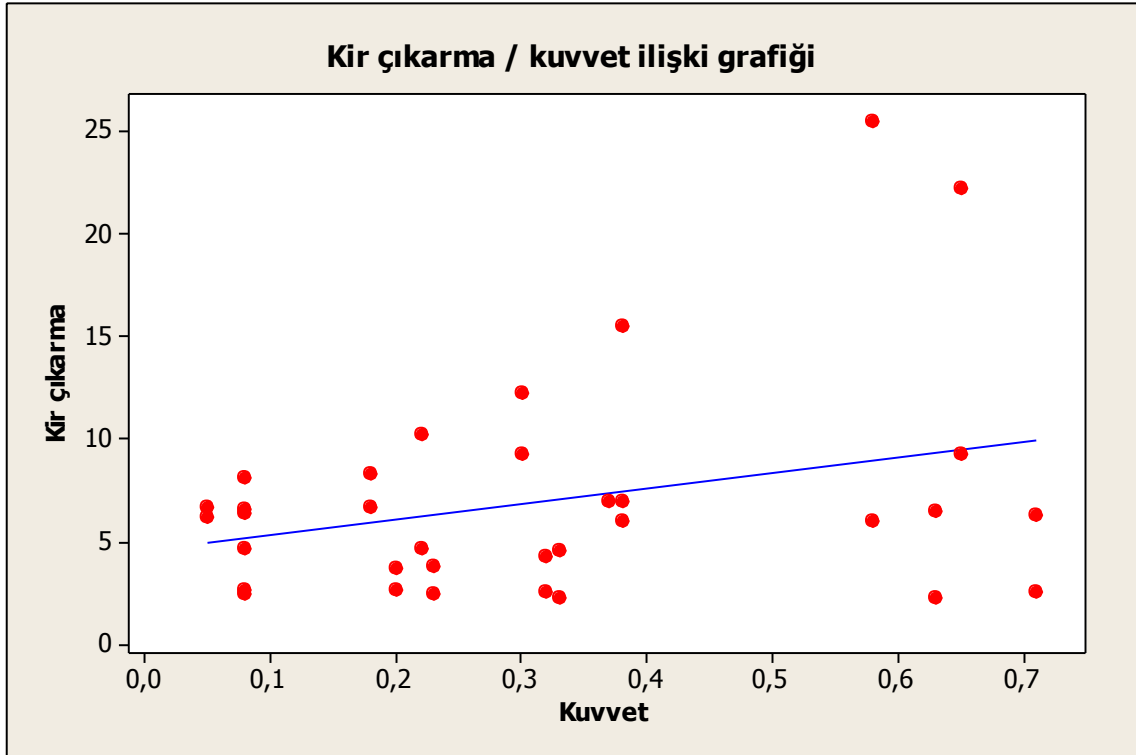


Şekil 6. 27 Program arayüzü

6.4.4.6 Kir Çıkarma İle Kuvvet Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

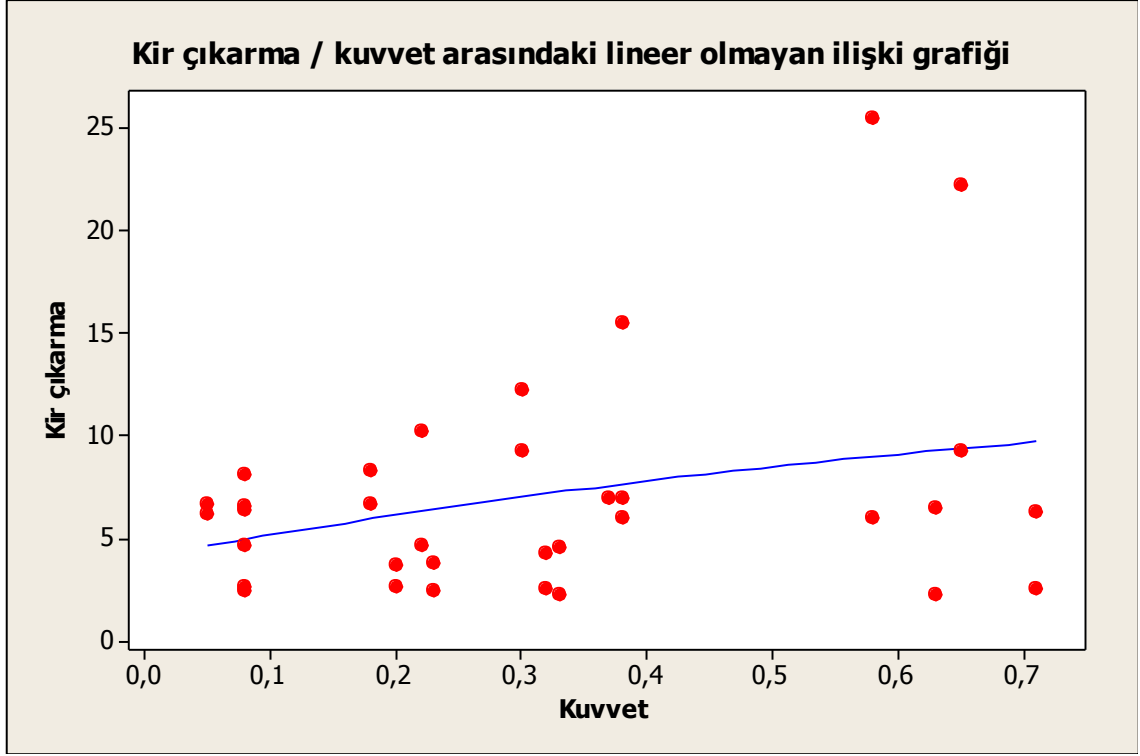
Kir çıkarma işleminde etkili olan parametreler ortaya konmuştur. Kimyasal ve termal etkinin yanı sıra mekanik etki de kir çıkarma üzerinde etkilidir. Mekanik etkiyi oluşturan parametrelerden ikisi doğrudan kuvvet ile alakalıdır. Bunlar: debi ve nozul kesit alanı. Bir diğer parametre olan açı da, kuvveti etkilemektedir. Kir çıkarma işlemi ile kuvvet arasındaki ilişki olup olmadığı incelenmiştir. Öncelikli olarak bu iki değer arasında

doğrusal bir ilişki olup olmadığı incelenmiştir. Bunun için iki değer arasında korelasyon olup olmadığına bakılmıştır.



Şekil 6. 28 Kir çıkarma ile kuvvet arasındaki lineer ilişki grafiği

Ekte verilen tabloya göre; Pvalue değeri 0,039 çıkmıştır. Buna göre %3,9 risk ile kuvvet ile kir çıkarma arasında doğrusal bir ilişki var diyebiliriz ancak aralarındaki korelasyon katsayısının 0,356 olması sebebiyle bu ilişkinin zayıf olduğunu söyleyebiliriz (Şekil 6.28).



Şekil 6. 29 Kir çıkarma ile kuvvet arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği

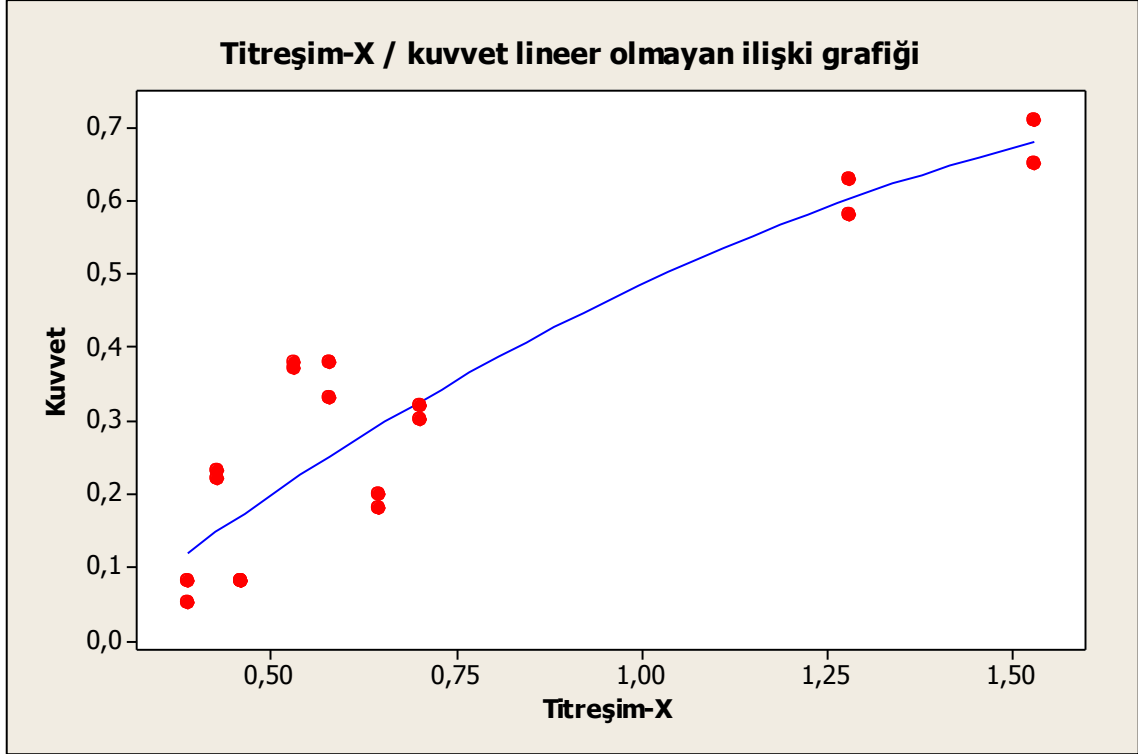
Ekte İki değer arasında lineer olmayan bir ilişki olup olmadığı da incelenmiştir. Yine Pvalue değerine göre (0,039) bir ilişki olduğu söylenebilmektedir ancak yine kuvvetli olmayan bir ilişki olduğu görülmektedir. R-sq (adj)= %9,95 çıkmıştır (Şekil 6.29).

6.4.4.7 Kuvvet İle Titreşim Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Kir çıkarma testlerinde kuvvet ölçümünün yanı sıra, titreşim de ölçülmüştür. Bu bölümde, kuvvet ile titreşim arasındaki ilişki sorgulanmaktadır. Teoriye bakıldığında, kuvvet ile titreşim arasında kuvvetli bir ilişki olması beklenmektedir. Titreşim ölçümlerinde ivmelenme değeri ölçülmüş ve bu değer de kuvvet ile doğrudan ilişkilidir.

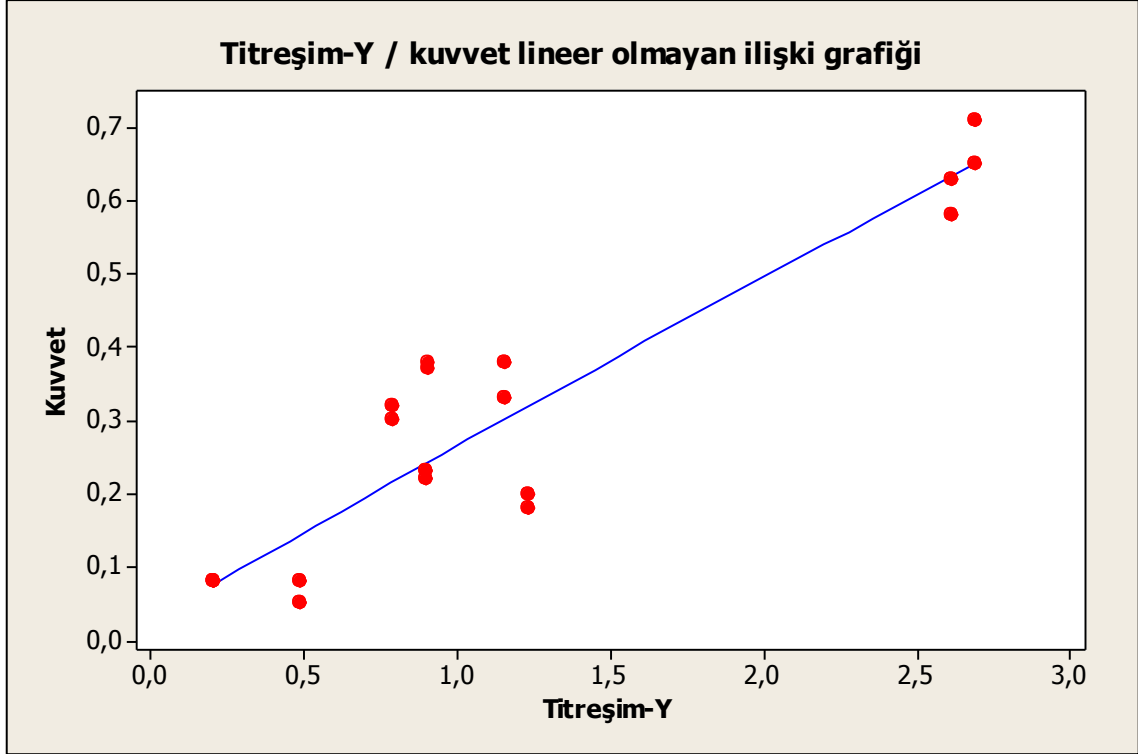
Titreşim ölçümleri X,Y,Z eksenleri için ayrı ayrı yapılmıştır.

Ekteki sonuç çıktı ekranına göre X yönündeki titreşimin (Akışa dik olan ve açının değiştirildiği eksen) kuvvet ile kuvvetli ilişkide olduğu söylenebilir. P-value 0 ve R-sq(adj) değeri % 84,02 çıkmıştır. Bu kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir (Şekil 6.30).



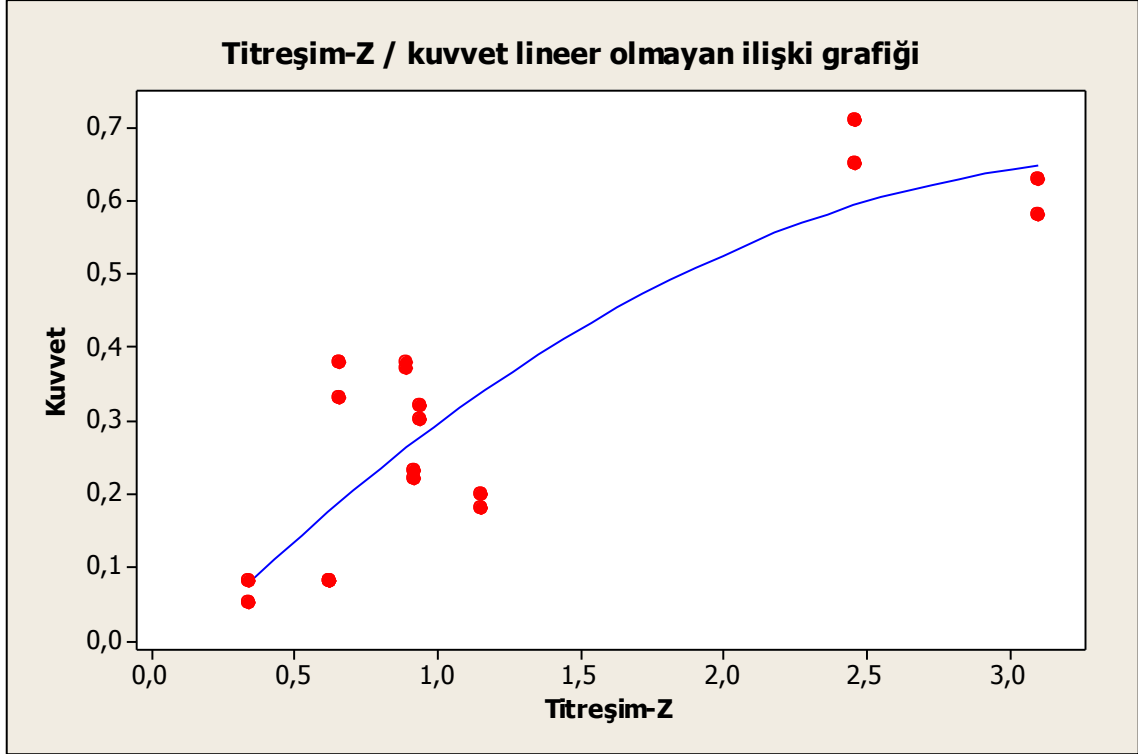
Şekil 6. 30 X eksenindeki titreşim ile kuvvet arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği

EKteki sonuç çıktı ekranına göre; Y yönündeki titreşimin (Akışın geldiği yöndeki titreşim) kuvvet ile olan ilişkisi için de Y yönünde ölçülen titreşim ile kuvvet arasındaki regresyon incelenmiştir. P-value 0 ve R-sq(adj) değeri % 86,42 çıkmıştır. Bu kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir (Şekil 6.31).



Şekil 6. 31 Y eksenindeki titreşim ile kuvvet arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği

Ekteki sonuç çıktı ekranına göre; Z yönündeki titreşimin kuvvet ile olan ilişkisini belirlemek için, X ve Y yönlerine benzer bir metotla ölçüm alınmış ve P-value değeri 0 çıkmıştır. R-sq(adj) değeri ise % 74,67 çıkmıştır. Bu durumda çok kuvvetli olmayan bir ilişki olduğu söylenebilmektedir(Şekil 6.32).

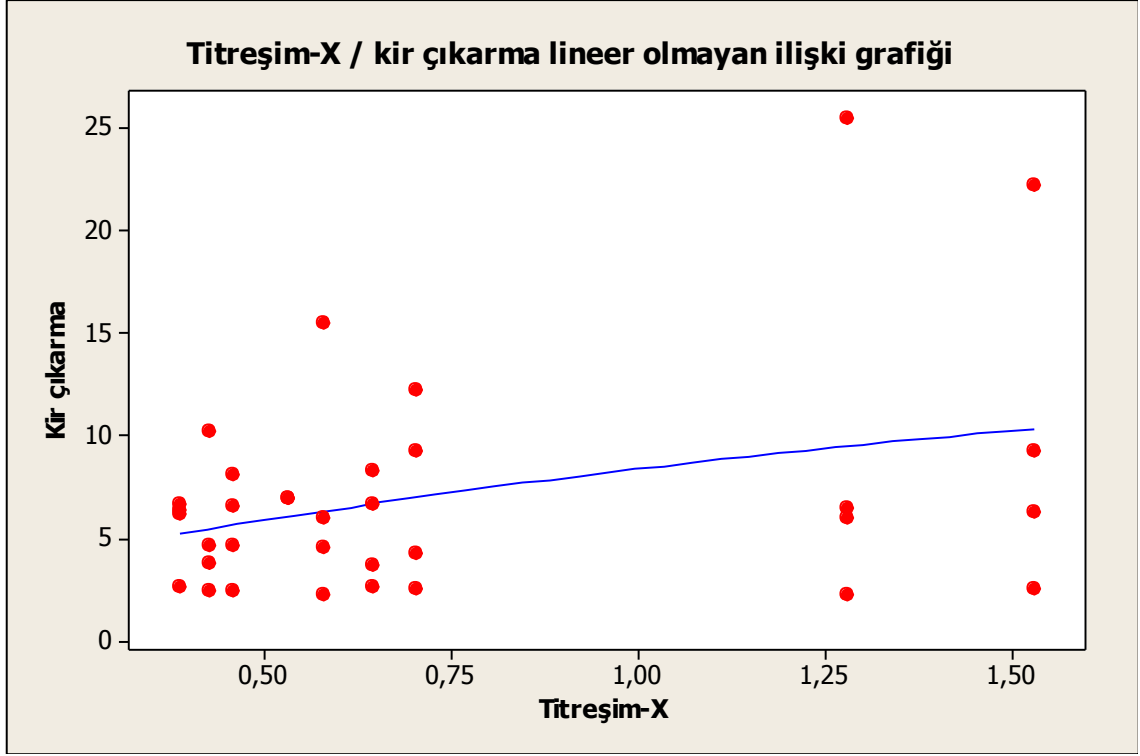


Şekil 6. 32 Z eksenindeki titreşim ile kuvvet arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği

6.4.4.8 Kir Çıkarma İle Titreşim Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

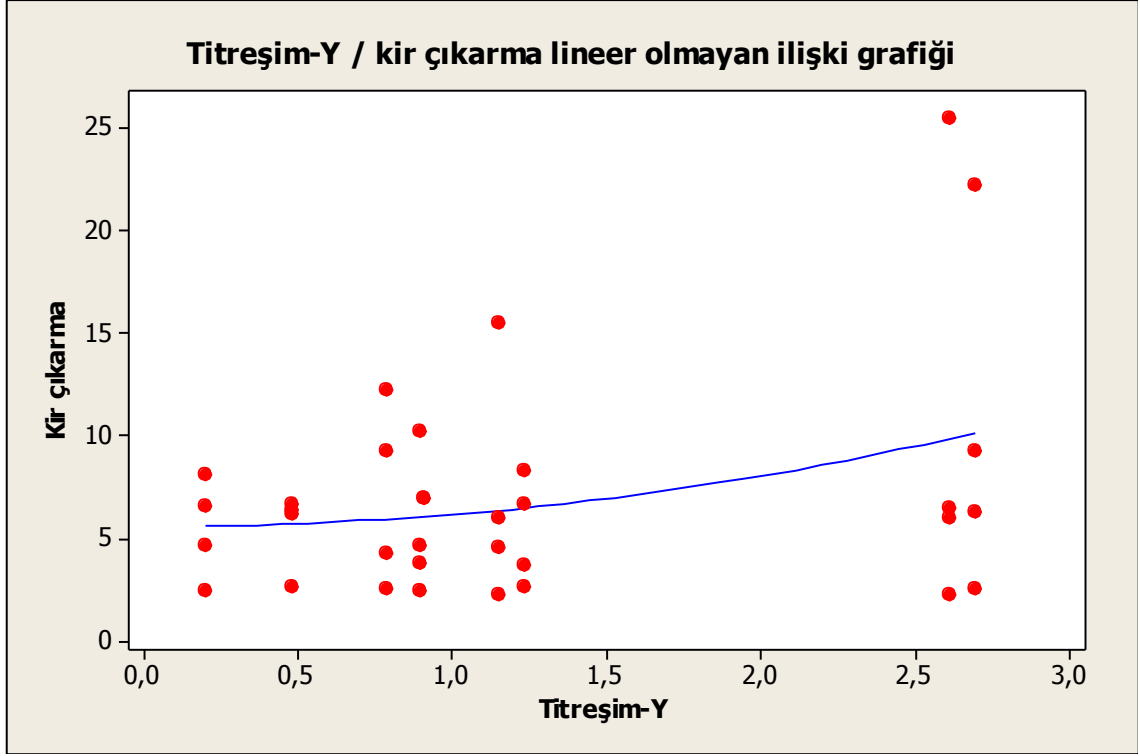
Bir önceki bölümlerde kuvvet ile kir çıkarma ve kuvvet ile titreşim arasında bir ilişki olduğu görülmüştü. Kuvvet ile kir çıkarma arasında güçlü olmayan, kuvvet ile titreşim arasında güçlü bir ilişki görülmektedir. Bu bölümde, kir çıkarma ile titreşim arasındaki ilişkiden bahsedilmektedir.

EKteki çıktı sonuç ekranına göre; Diğer bölümlerde olduğu gibi titreşim X, Y ve Z yönleri için ayrı ayrı incelenmektedir. X yönündeki titreşim ile kir çıkarma arasında bir ilişki vardır (P-value 0,026) ancak ilişki kuvvetli görünmemektedir. R-sq (adj) değeri %11,97 çıkmıştır (Şekil 6.33).



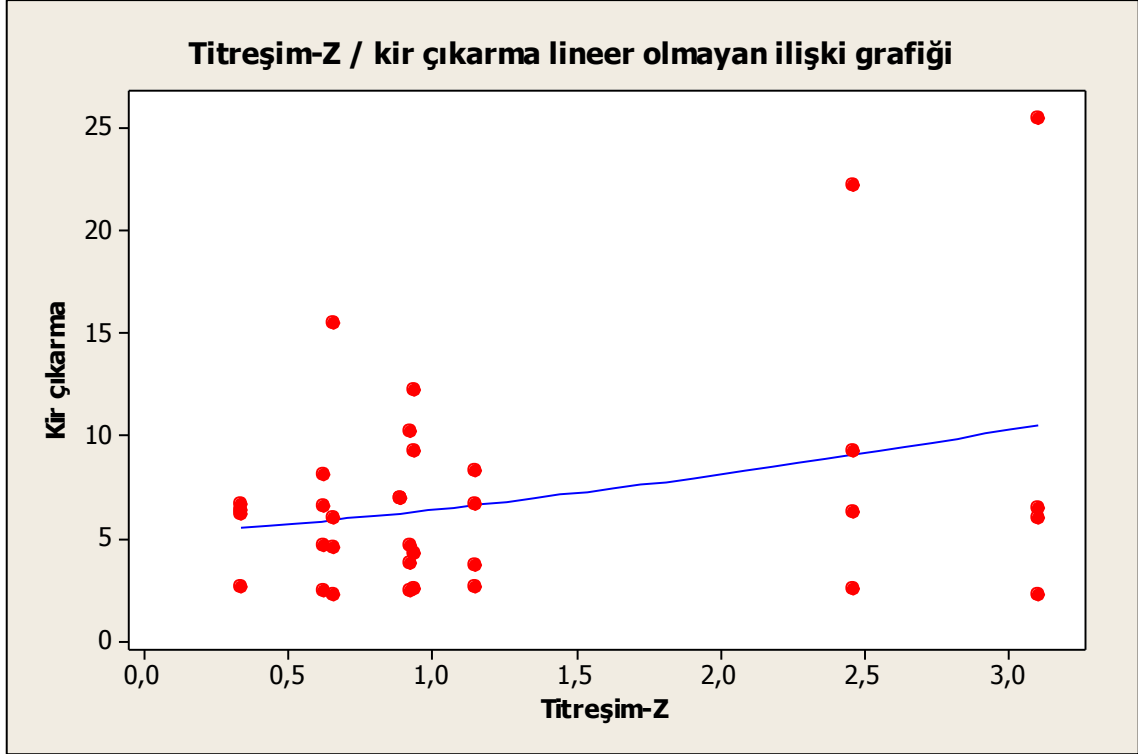
Şekil 6. 33 X eksenindeki titreşim ile Kir çıkarma arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği

EK1teki çıktı sonuç ekranına göre; Y yönündeki titreşim ile kir çıkarma arasındaki ilişki de irdelenmiştir. P-value değeri 0,021 çıkmıştır. Bu durumda bir ilişkiden bahsedilebilmektedir ancak R-sq (adj) değeri %12,99 çıkmıştır ve ilişkinin kuvvetli olduğu söylenememektedir(Şekil 6.34).



Şekil 6. 34 Y eksenindeki titreşim ile Kir çıkarma arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği

EKteki çıktı sonuç ekranına göre; Z yönündeki titreşimin kir çıkarma ile ilişkisi incelenmiştir. P-value değeri 0,023 çıkmıştır. Buna göre iki değişken arasında bir ilişki bulunmaktadır ancak R-sq (adj) %12,52 çıkmıştır ve bu sebeple ilişkinin kuvvetli olduğu söylenememektedir(Şekil 6.35).

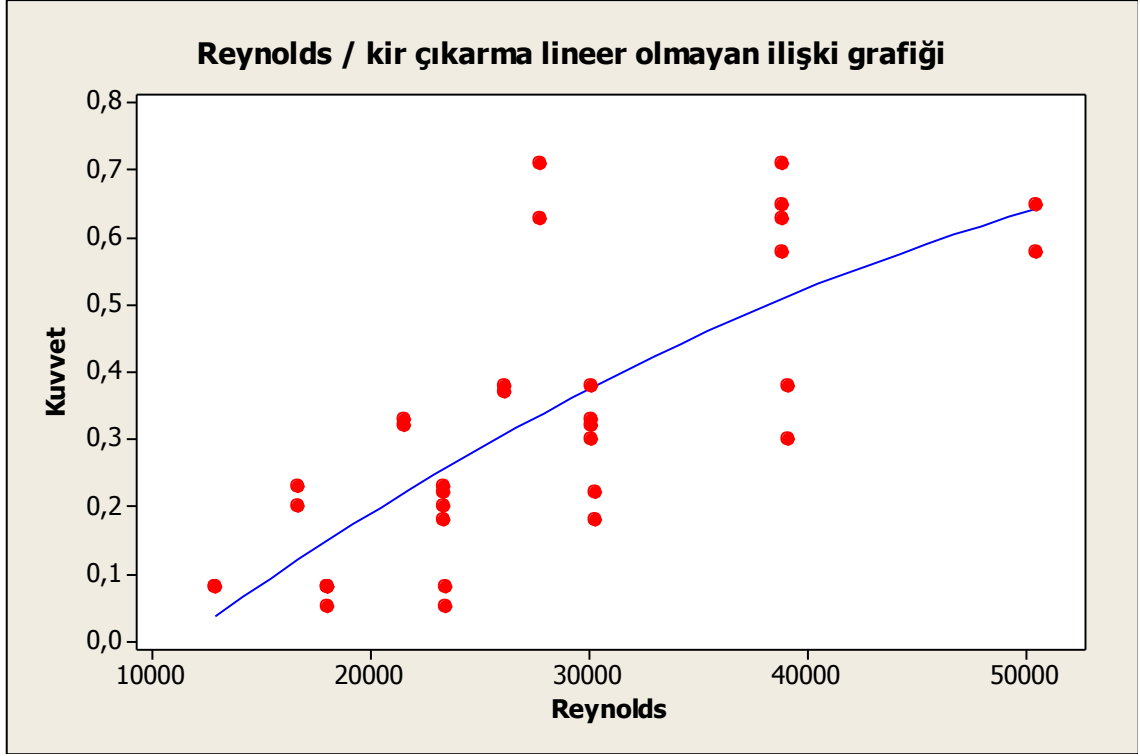


Şekil 6. 35 Z eksenindeki titreşim ile Kir çıkarma arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği

6.4.4.9 Kuvvet ile Reynolds Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Reynolds formülünden her bir koşul için Reynolds değerleri hesaplanmıştır. Kuvvet ile Reynolds ifadesi arasında bir ilişki olup olmadığı incelenmiştir.

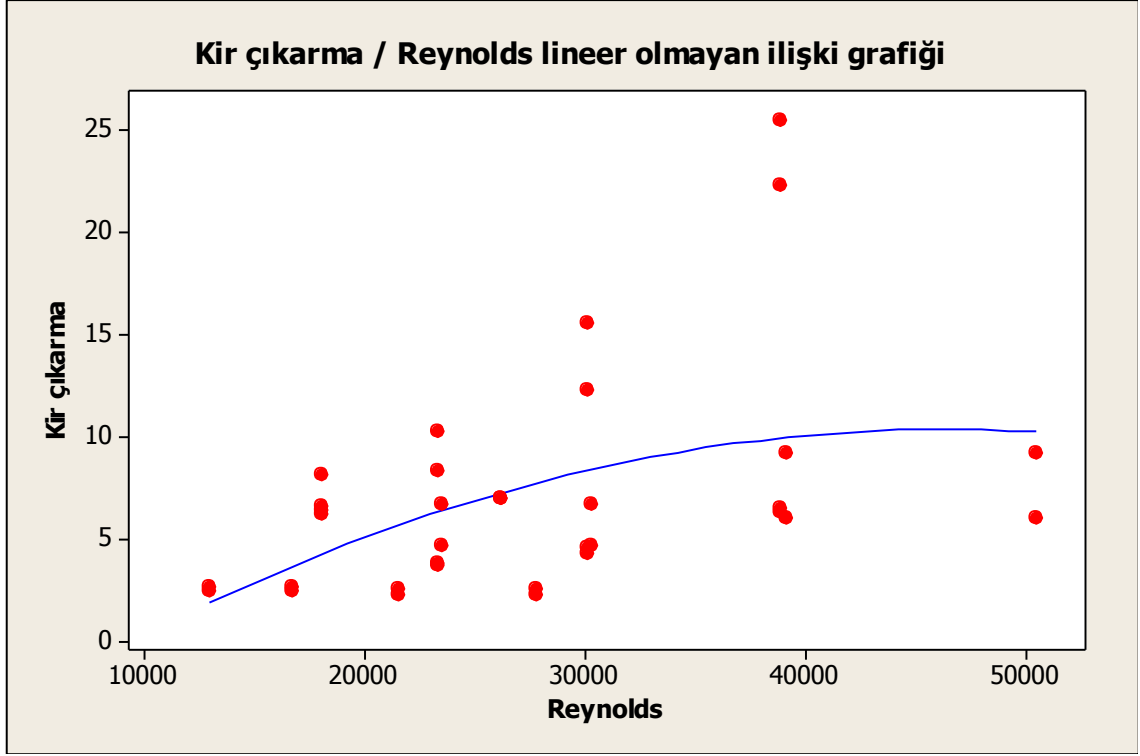
EKteki çıktı sonuç ekranına göre; Kuvvet ile Reynolds ifadesi arasında bir ilişki bulunmaktadır. İlişkinin R-Sq (adj) değeri %55,82 çıkmıştır ve bu sayede ilişkinin zayıf olmadığı söylenebilir(Şekil 6.36).



Şekil 6. 36 Reynolds sayısı ile kuvvet arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği

6.4.4.10 Kir Çıkarma ile Reynolds Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

EKteki çıktı sonuç ekranına göre Kir çıkarma ile Reynolds arasındaki ilişki de irdelenmiştir. İki değer arasında bir ilişki olduğu görülmekle beraber ilişkinin zayıf olduğu söylenebilir. R-Sq (adj) değeri %21 çıkmıştır(Şekil 6.37).



Şekil 6. 37 Reynolds sayısı ile kir çıkarma arasındaki lineer olmayan ilişki grafiği

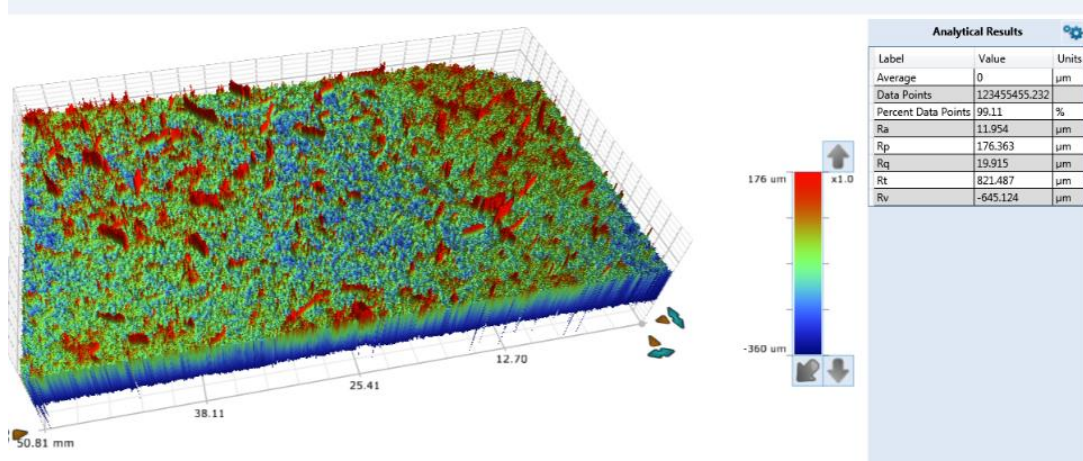
6.4.4.11 Yüzey İnceleme Çalışmaları

Debi 3 L/d, nozul çıkış kesit alanı 12 mm², temas yüzeyi açısı 90°, etki süresi 20 d, su sıcaklığı 20 °C ve deterjanın bulunmadığı durumda plakaya işlem uygulanmıştır. Kir çıkarma testi sonucuna göre; plaka yüzeyinden %1 mertebesinde kir sökülüştür. Bu işlem yapılırken, kirin tamamının çıkması referans alınmıştır.

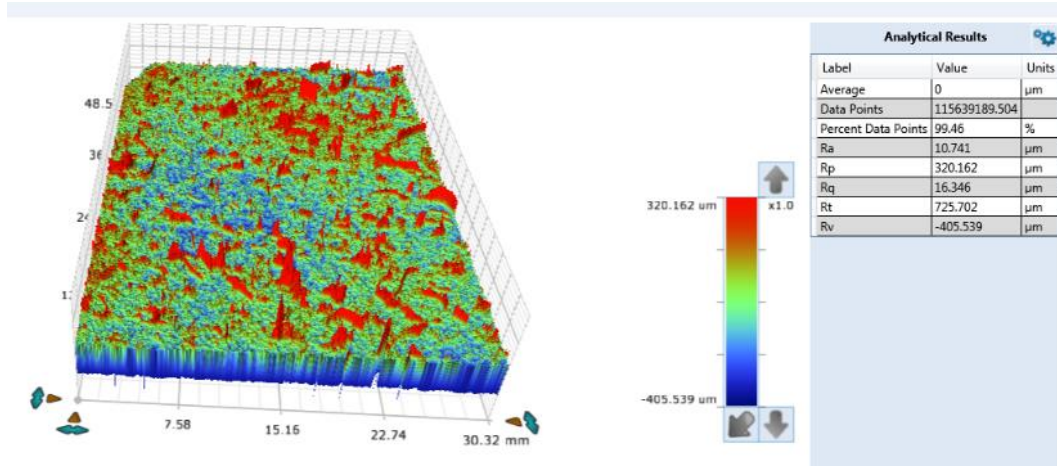


Şekil 6. 38 Yüzey incelemelerinin yapıldığı kir plakası

Ayrıca plakanın işlem görmemiş önceki ve gördükten sonraki durumu için yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Plaka işlem görmemiş yüzeyin ortalama pürüzlülük değeri 11.954 μm iken, işlem gördükten sonraki pürüzlülük değeri ise 10.741 μm çıkmıştır. Yüzeyden ortalama 1,2 μm derinliğinde kir uzaklaştırılmıştır. Bu analiz sonucuna göre; toplam kirin %10'luk bölümü yüzeyden uzaklaştırılmıştır (Şekil 6.39 ve Şekil 6.40).



Şekil 6. 39 İşlem görmemiş yüzey analiz görüntüsü



Şekil 6. 40 İşlem görmüş yüzey analiz görüntüsü

Yapılan çalışma sonucunda; uygulanan işlem yüzeydeki kirin %1'lik kısmını tamamen yüzeyden uzaklaştırıp, o bölgeyi temiz hale getirmekte ancak toplam kir miktarının %10'luk kısmını yüzeyden uzaklaştırmaktadır. Bu durum da, uygulanan jet kuvvetinin adhesif kuvvetlerin yanı sıra, hatta daha fazla miktarda kohesif kuvvetleri de yenip, kir tabakasının kalınlığını düşürdüğünü göstermektedir. Bu çalışma sadece bir koşul için gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda adeziv ve kohezif kuvvetlerin oranından ya da

büyükliğünden kesin bir dille bahsetmek mümkün olmamakla beraber, her iki kuvvetin de etkili olduğu ve bu işlemle her iki kuvvetin de yenilebildiği söylenebilmektedir (Şekil 6.29, Şekil 6.30).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yıkama performansını etkileyen parametreler dört temel başlık altında incelenebilmektedir. Bunlar yıkama sıvısı sıcaklığını ifade eden termal etkiler, yıkama sıvısındaki kimyasal madde konsantrasyonunu ifade eden kimyasal etkiler, yıkama sıvısının kirli bir yüzeye çarpmasını ifade eden mekanik etkiler ve bu işlemin süresini ifade eden zaman etkisidir. Bu dört parametre yıkama işleminin gerçekleşmesini etkilemekte ve proses boyunca birbiriyle etkileşim halinde olmaktadır. Parametrelerden herhangi birinin etkinliğinin zayıflatılması durumunda, yıkama performansının korunabilmesi için diğer üç parametreden en az birinin etkinliğinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, parametrelerden birinin etkinliğinin artırılması da, diğer üç parametreden en az birinin etkinliğinin zayıflatılması imkanı sunmaktadır.

Söz konusu parametrelerden termal etki yıkama sıvısı sıcaklığı ile ilgili olup, yıkama sıvısının sıcaklığının belirli bir mertebeye kadar ısıtılması anlamına gelmektedir ve bu ısıtma işlemi için enerji harcamak gerekmektedir. Bir diğer parametre olan kimyasal etki yıkama sıvısının içerdiği kimyasal madde miktarını ifade etmektedir. Kimyasal madde miktarının belirli bir mertebeye kadar artırılması yıkama performansını olumlu yönde etkilemektedir fakat çözeltinin içerdiği kimyasal madde miktarının artışı, yıkama prosesi ardından çevreye kimyasal atık atılması anlamına gelmektedir. Yıkama süresini ifade eden zaman parametresinin belirli bir süreye kadar artışı yıkama performansının iyileşmesi anlamına gelmektedir. Ancak bu durumda da, zaman kaybı ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, yıkama işleminde mekanik etkinin artırılması, enerji ve zaman

kaybının önüne geçebileceği gibi, daha çevreci yıkama sistemlerinin kurulması anlamına da gelebilir.

Deneysel çalışmalar için hazırlanan deney tasarımından 4 tane koşul alınmış ve bu koşullarla su çıkış nozülü çapını, nozül ile jetleme plakası arasındaki mesafenin ve jetleme plakası açısının sonuçlar üzerindeki etkisi analitik olarak hesaplanmıştır. Bu 4 koşulda su debisi sabit tutulmuş ve diğer parametre değişimleri incelenmiştir.

Nümerik çalışmalar kapsamında, deney düzeneğindeki benzer olarak, bir plakaya belirli bir mesafeden püskürtülen suyun plaka üzerinde oluşturduğu kuvvet analitik hesabı yapılan 4 koşul için hesaplanmıştır. Parametreler değiştirilerek, etkiyen kuvvetin değişimi hesaplanmış ve sonrasında teorik hesaplamalarla karşılaştırılmıştır. FLUENT programında gerçekleştirilen analizlerde Model olarak VOF (Çoklu faz modeli) kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalar kapsamında öncelikle su jetinin oluşturduğu kuvvet incelenmiştir. Bu çalışmada, jetleme işlemini sağlayan parametrelerin jetleme performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Literatür araştırmalarından faydalanılarak bir deney düzeneği kurulmuştur. Bu düzenek, jetlemeye etki edebilen nozül çapı, su debisi, nozül ile plaka arası mesafe, su jeti çarpma açısı gibi parametrelerin ölçülmesine imkan sağlamıştır. Su jetleme işlemi pompa vasıtasıyla yapılmaktadır, plaka olarak rijit, dairesel kesilmiş bir plaka tercih edilmiştir. Plaka açısı değiştirilebilmekte olup, ölçümler dinamometre ile yapılmıştır. Düzenek kapalı su çevrimine sahip olup, gözlem yapmaya imkan sağlaması açısından şeffaf olarak tasarlanmıştır. Yeni kurulan bir deney düzeneği olması sebebiyle öncelikle ölçüm belirsizliği analizi yapılmıştır. Ölçüm belirsizliği testleri iki operatör ve dört parametre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm belirsizliği analizi sonucuna göre; kurulan deney düzeneği incelenmesi planlanan ölçüm aralığı için nozül çapı, su jeti debisi, su jeti geliş açısı ve su jeti plaka arası mesafe değerlerini anlamlı bir şekilde ölçebilmektedir. Değişen parametrelere göre sonuçlar ve operatörlerin ölçümleri birbirini tekrar edebilmektedir.

Kuvvet ölçümü çalışması kapsamında 2,5 ila 3,5 L/d arası debi değerleri, 11 ila 17 mm² arası nozül kesit alanı değerleri, 20⁰ ila 90⁰ arası su jeti geliş açısı değerleri ve 15 ila 25 cm arası nozül - çarpma yüzeyi arası mesafe değerleri kullanılarak bir deney tasarımı

kurulmuştur. Alınan bu değerler ev tipi bir bulaşık makinesinin çalışma şartlarından referans alınmıştır. Testler bir deney tasarımı mekanizması altında gerçekleştirilmiş, böylece test aralığının tamamının kontrollü bir biçimde taranması sağlanmıştır. Deney sonuçları Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Programın kullanılan araçlarının çalışma mantıkları tez kapsamında anlatılmıştır. Deney sonuçlarına göre; çalışma aralığında, kuvvetin oluşumundaki en baskın parametre debi ve sonrasında kesit alanı olarak belirlenmiştir. Bu iki parametrenin ardından açı değeri de, kuvveti etkilemektedir. Debinin kuvvet üzerindeki tekil oranı %59'dur, kesit alanının etkisi %21, açının etkisi %15'tir. Geri kalan etkiler mesafe ve bu dört parametrenin ikili ve üçlü etkileşimleridir. Etkileşim grafiklerine göre; yüksek debilerde, kesit alanı değişimi kuvvet değerini daha fazla etkilemektedir. Yine yüksek debilerde açı değişimi, kuvveti daha fazla etkilemektedir. Deney tasarımı iki seviyeli kurulmuş ve eğrisellik olup olmadığının incelenebilmesi için testlerde orta noktalar da incelenmiştir. Sonuçlara göre sistemde eğrisellik yoktur, yani ölçülen iki uç değer arasında, kuvvet değerini maksimize ya da minimize eden bir değer bulunmamaktadır.

4 koşul için teorik hesaplama, nümerik analiz sonuçları ve deneysel sonuçlar Çizelge 7.1'de verilmiştir. Sonuçlar koşul değişimine karşı benzer değişim göstermekte ve birbirini tekrarlamaktadır.

Çizelge 7 1 Teorik, nümerik ve deneysel sonuç kıyaslaması

KOŞUL	TEORİK (N)	NÜMERİK (N)	DENEYSEL (N)
2,5 L/d - 11 mm ² - 15 cm - 90°	0,20	0,20	0,23
2,5 L/d - 11 mm ² - 25 cm - 90°	0,25	0,27	0,26
2,5 L/d - 17 mm ² - 15 cm - 90°	0,15	0,14	0,13
2,5 L/d - 11 mm ² - 15 cm - 20°	0,14	0,16	0,15

Deneysel çalışmaların devamında, mekanik etkinin tüm yıkama performansındaki payının belirlenebilmesi için kir çıkarma testleri yapılmıştır. Bu testler, kuvvet ölçümü test düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kuvvet ölçülen plaka üzerine, standart ıspanak kiri plakası yerleştirilmiştir. Sıcaklık, termal etki ve mekanik etkiyi gösterebilmesi sebebiyle bu kir tipi tercih edilmiştir. ıspanak aynı zamanda bulaşık makinesi Avrupa standartlarında kullanılan bir kir tipidir. Kir ölçüm işleminin sayısal bir tabana oturtulması amacıyla, imaj görselleme ve işleme çalışmaları yapılmıştır. Kir plakaları, test öncesi görsellenip işlenmekte ve orijinal durum için bir yüzde kir değeri hesaplanmaktadır. Aynı işlem test sonrası da gerçekleştirilmekte ve plaka üzerindeki kir miktarı hesaplanmaktadır. Sonuç olarak da, bu iki değer arasındaki fark alınmakta ve o deney şartının kir çıkarma performansı elde edilmektedir. Bu çalışma kapsamında, 3 ila 5 L/d aralığında debi, 12 ila 20 mm² aralığında nozül kesit alanı, 20⁰ ila 90⁰ aralığında su jeti geliş açısı, 20 ila 50°C aralığında su sıcaklığı, 10 ila 20 dakika aralığında jetleme süresi ve 0 ila 10 gram aralığında deterjan miktarı değerleri kullanılarak yarım faktöriyel, orta noktalı bir deney tasarımı oluşturulmuştur. Deney sonuçlarına göre; çalışılan sınır şartlarında kir çıkarma üzerindeki en etkili parametre %32'lik tekil etki ile su sıcaklığıdır. Ardından %19'luk tekil etki ile deterjan konsantrasyonu ve %11'lik tekil etki ile debi değeridir. Bunun dışında diğer parametrelerin de dâhil olduğu ikili ve üçlü etkileşimler de bulunmaktadır. Bu parametreleri içeren ve kir çıkarma işlemini simüle eden bir eğri uydurulmuştur. Eğriye ait formül;

$$\begin{aligned}
 \text{Kir_çıkarma} = & 2,7205 - 0,924376 \text{ Deterjan} - 0,0513181 \text{ Debi} * \text{Zaman} + \\
 & 0,122281 \text{ Kesit_alanı} * \text{Deterjan} - 0,0416966 \\
 & \text{Sıcaklık} * \text{Deterjan} - 0,0160281 \\
 & \text{Debi} * \text{Kesit_alanı} * \text{Deterjan} + 0,0245264 \\
 & \text{Debi} * \text{Sıcaklık} * \text{Deterjan} + 0,00232224 \\
 & \text{Debi} * \text{Sıcaklık} * \text{Zaman} - 0,00066772 \\
 & \text{Debi} * \text{Kesit_alanı} * \text{Sıcaklık} * \text{Deterjan}
 \end{aligned} \tag{7.1}$$

Olarak elde edilmiş, Matlab tabanlı bir program yazılmıştır.

Deneysel çalışmalar kapsamında, sonuçlarını aldığımız değerleri arasında korelasyon ya da regresyon olup olmadığı incelenmiştir. Korelasyon ile lineer ilişki, regresyon ile lineer olmayan ilişki incelenmiştir. Kir çıkarma ile kuvvet arasında bir ilişki olup olmadığı incelenmiş, bu iki değer arasında lineer (korelasyon katsayısı 0,356) ya da lineer olmayan bir ilişki olduğunu söylenebilmektedir ancak ilişkinin kuvvetli olduğunu söylenememektedir.

Ölçümler sırasında, ivmelenme değerleri de ölçülmüş ve titreşim ile kuvvet arasındaki ilişki sorgulanmıştır. Titreşim X,Y,Z eksenleri için ayrı ayrı ölçülmüştür. X yönündeki titreşim ile kuvvet arasında kuvvetli bir lineer ilişki bulunmaktadır. Y yönündeki titreşim ile kuvvet arasında yine kuvvetli bir lineer ilişki bulunmaktadır. Z yönündeki titreşim ile kuvvet arasında çok kuvvetli olmayan lineer bir ilişki bulunmaktadır. Benzer çalışmalar kir çıkarma için de yapılmıştır. Kir çıkarma ile X,Y,Z yönündeki titreşim arasında bir ilişki bulunmaktadır ancak ilişki zayıf görünmektedir.

Kuvvet ile Reynolds ifadesi arasında çok zayıf olmayan bir ilişki bulunurken, kir çıkarma ile Reynolds arasında zayıf bir ilişki bulunmaktadır.

Adezif ve kohezif kuvvetlerin ayrıklaştırılabilirliğinin gösterilmesi açısından, test edilen bir plaka için yüzey incelemesi yapılmıştır. Profilometre yardımıyla, kir plakasının yüzeyi incelenmiş ve test öncesi ve sonrası durumlar için yüzeydeki ortalama kir kalınlığı tespit edilmiştir. Plaka işlem görmeden yüzeyin ortalama pürüzlülük değeri 11.954 μm iken, işlem gördükten sonraki pürüzlülük değeri ise 10.741 μm çıkmıştır. Yüzeyden ortalama 1,2 μm derinliğinde kir uzaklaştırılmıştır. Bu analiz sonucuna göre; toplam kirin %10'luk bölümü yüzeyden uzaklaştırılmıştır. Kir çıkarma işleminde ise aynı plaka %1 kir çıkarma performansına sahiptir. Bu durum da, uygulanan jet kuvvetinin adezif kuvvetlerin yanı sıra, hatta daha fazla miktarda kohezif kuvvetleri de yenip, kir tabakasının kalınlığını düşürdüğünü göstermektedir. Bu çalışma sadece bir koşul için gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda adezif ve kohezif kuvvetlerin oranından ya da büyüklüğünden kesin bir dille bahsetmek mümkün olmamakla beraber, her iki kuvvetin de etkili olduğu ve bu işlemle her iki kuvvetin de yenilebildiği söylenebilmektedir.

Bu çalışmanın devamı olarak aşağıdaki çalışmaların yapılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir:

- Nümerik çalışmalarda, mekanik etki parametreleri incelenmiş ve bu parametrelerin sağladığı kuvvet hesaplanmıştır. Kir çıkarmanın kimyasal ve termal kısmı nümerik analizde incelenmemiştir. Kimyasal ve termal etkinin de dahil edildiği bir nümerik analiz çalışması faydalı olacaktır.

- Deneysel ve nümerik çalışmalarda kirletilmiş yüzey sabit tutulmuş ve farklı yüzeylerin kir çıkarma üzerine etkisi incelenmemiştir. Farklı yüzeylerin kir çıkarma üzerindeki etkisi incelenebilir.
- Çalışma standart ıspanak kir plakası ile gerçekleştirilmiştir. Bu plaka ile termal, kimyasal ve mekanik etki incelenebilmektedir. Bu etkilerin incelendiği başka bir kir tipi ile çalışma gerçekleştirilebilir.
- Çalışmada kir çıkarma üzerinde etkili olan mekanik etki parametresi alt kırımımıyla incelenmiştir. Termal ve kimyasal etkilerin alt kırımınımları incelenmemiştir. Termal ve kimyasal etkilerin kir çıkarma üzerinde etkileri alt kırımınımlarıyla incelenebilir.
- Çalışmada su jetlemesi sürekli ve daimi olarak gerçekleştirilmiştir. Sürekli olmayan su jetlemesinin kir çıkarma üzerindeki etkisi incelenebilir.
- Çalışmada su jetlemesi sürekli ve düz olarak gerçekleştirilmiştir. Nozülde çıkan ve aynı zamanda kendi eksenini etrafında da dönüş yapabilen su jetinin yıkama performansı üzerine etkisi incelenebilir.
- Sonuçlar bir başka yöntem (neural algorithms vb) ile analiz edilip modellenebilir.
- Çalışmada bulaşık makinesi çalışma şartları referans alınmıştır. Pervaneden çıkan su jetinin bulaşıklara ulaşması teorik ve deneysel olarak çalışılabilir.

KAYNAKLAR

-
- [1] Rosen, M.J., (1989). "Surfactants and interfacial phenomena", John Wiley&Sons, New York.
- [2] Cox, M. F., (1986). "Surfactants for Hard Surface Cleaning: Mechanisms of Solid Soil Removal", J. Am. Oil Chem. Soc., 63, 559-565.
- [3] Tutkak E., (2010). "Bulaşık Makinası Enerji Tüketimi – Yıkama Performansı ilişkisinin incelenmesi", İstanbul Teknik Üniversitesi FBE
- [4] Verma, S ve Kumart, V.V., (1998). "Relationship Between Oil Water Intefacial Tension And oily Soil Removal in Mixed Surfactant Systems, Journal of Colloid and Interface Science", 207, 1-10
- [5] Arçelik A.Ş., (2006). Ankara Bulaşık Makinesi İşletmesi-Ürün Geliştirme Bölümü Ürün Tanımları Dökümanı.
- [6] De Paepe, M., Theuns, E., Lenaers, S. ve Loon J.V., (2003). "Heat Recovery System for Dishwashers, Applied Thermal Engineering", 23, 743-756.
- [7] Persson, T. ve Ronnelid M., (2007). "Increasing solar gains by using hot water to heat dishwashers and washing machines". Applied Thermal Engineering, 27: 646-657.
- [8] Persson, T., (2007). "Dishwasher and washing machine heated by a hot water circulation loop", Applied Thermal Engineering, 27, 120-128.
- [9] Dean, V. ve Voss, D., (1999). "Design and analysis of experiments", pp. 8-14, Springer, New York.
- [10] Forrest W. Breyfogle III, (2003). "Implementing Six Sigma", Wiley
- [11] Peter T. Tsouknidas ve Xiang Zhang, (2010). "Developing A Simplified Test Method To Determine The Influence Of Spray Arm Speed And Pressure", Chalmers University Of Technology, Gothenburg, Sweden.
- [12] Alan Tolinson ve Joseph Carnal, (2007). "A review of key ingredients used in past and present auto dishwashing formulations and the physico-chemical processes they facilitate", Handbook for cleaning/decontamination of surfaces, Elsevier
- [13] Yüksek Basıncılı Temizlik Temelleri , www.kaiserkraft.com.tr 16 Mayıs 2014

- [14] W. Liu, P.J. Fryer, Z. Zhang, Q. Zhao ve Y. Liu, (2006) "Identification of cohesive and adhesive effects in the cleaning of food fouling deposits" Innovative Food Science&Emerging Technologies.
- [15] W. Liu, G.K. Christian, Z.Zhang ve P.J.Fryer, (2002). "Development and use of a micromanipulation technique for measuring the force required to disrupt and remove fouling deposits" University of Birmingham.
- [16] W. Liu, G.K. Christian, Z.Zhang ve P.J.Fryer, (2005). "Direct measurement of the force required to disrupt and remove fouling deposits and whey protein concentrate"International Dairy Journal.
- [17] W.Liu, N.Ab. Aziz, Z.Zhang ve P.J. Fryer, (2005) "Quantification of the cleaning of egg albumin deposits using micromanipulation and direct observation techniques" Journal of Food Engineering.
- [18] Ulrich Bobe, J. Hofmann, K.Sommer ve G.Reiners, (2006) "Adhesion-Where Cleaning Starts" Food Science&Technology
- [19] L.B.Petermann, C.Gabet ve .Baroux, (2005) "On the respective effect of the surface energy and micro-geometry in the cleaning ability of bare and coated steels" Colloids and Surfaces
- [20] A.Handojo, Y.Zhai, G.Frankel ve M.A.Pascall, (2009) "Measurement Of Adhesion Strengths Between Various Milk Products On Glass Surfaces Using Contact Angle Measurement And Atomic Force Microscopy" Journal of Food Engineering
- [21] Mendi F. ve Külekçi M., (1999). "İmalatta Su Jeti Uygulamalarının Değerlendirilmesi", Pamukkale Üniversitesi,
- [22] Guhaa A., Barrona M. ve Balachandar R., (2010). "An Experimental and Numerical Study of Water Jet Cleaning Process", University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada
- [23] "Nozul Seçim Kriterleri"
http://tr.spray.com/Hizmetlerimiz/E%C4%9Fitim_Referans/Spray_Nozzle_Selection 15 Haziran 2015
- [24] Sertore D., Fusetti M., Michelato P., Pagani C. ve Pierini P., (2006). " High Pressure Rinsing Water Jet Characterization", Edinburgh, Scotland
- [25] Sertore D., Fusetti M., Michelato P. ve Pagani C., (2008). "High Pressure Rinsing Water Jet Interactions", Milano, Italy
- [26] Ziskind G., Yarin L. P., Peles S., ve Cutfinger C., (2002). "Experimental investigation of particle removal from surfaces by pulsed air jets", Aerosol Science and Technology 36:652-659.
- [27] Teamah M. A., Ibrahim M. K., Dawood M. M. K., ve 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 ISSN 1450-216X 83 (1); 60-75

- [28] ep.espacenet.com 20 Ağustos 2015
- [29] B. Asberg, G. Blanco, P. Bose, J. Garcia-Lopez, M. Overmars, G. Toussaint, G. Wilfong ve B. Zhu, (1997). "Feasibility of design in stereolithography," *Algorithmica*, Special Issue on Computational Geometry in Manufacturing, Vol. 19, No. 1/2, Sept/Oct, 1997, pp. 61–83.
- [30] "Geratech 500N Dinamometre" <http://www.dinamometre.net> 10 Mayıs 2014
- [31] ANSYS Fluent Theory Guide, Chapter 1: Basic Fluid Flow 2.Continuity and Momentum Equations p 2
- [32] ANSYS Fluent Theory Guide, Chapter 4: Turbulence, 3.Standard, RNG and realizable k-ε models, p
- [33] 47ANSYS FLUENT 15.0 User's Guide, Chapter 28: Using the solver 11.Hybrid Initialization p 683
- [34] ANSYS Fluent Theory Guide, Chapter 20: Solver Theory 8.Hybrid Initalization p 683
- [35] P. W.Gordon, M.Schöler, H.Föste, M.Helbig, W. Augustin, Y.M.J. Chew, S.Scholl, J.P.Majschak ve D.I.Wilson, (2014). "A comparison of local phosphorescence detection and fluid dynamic auging methods for studying the removal of cohesive fouling layers: effect of layer roughness" University of Bath
- [36] Teamah M. A., Ibrahim M. K., Dawood M. M. K. ve 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*
- [37] H.Köhler, H.Stoye, M. Mauerman ve, J.P. Majschak, (2013). "Optimization approach for efficient cleaning with impinging jets- influence of nozzle diameter, pressure and nozzle distance" *International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning*
- [38] D.I.Wilson, H.Köhler, L.Cai, J.P. Majschak ve J.F.Davidson, (2014). "Cleaning of a model food soil from horizontal plaes by a moving vertical water jet" *Chemical Engineering Science*, University of Cambridge
- [39] Tao Wan, John F.Davidson ve D.Ian Wilson, (2014). "Flow patterns and cleaning behaviour of stationary horizontal liquid jets impinging on angled walls" *Department of Chemical Engineering & Biotechnology, University of Cambridge*
- [40] H.Föste, M.Schöler, J.P.Majschak, W.Augustin ve S.Scholl (2011). "Optimization of the cleaning efficiency by pulsed flow using an experimentally validated CFD model" *TU Braunschweig, TU Dresden*
- [41] İbrahim Palabıyık, (2013). "Investigation of fluid mechanical removal in the cleaning process" *School of Chemical Engineering, University of Birmingham*

MINITAB ANALİZLERİ

Deneyisel çalışmalarda kullanılan deney tasarımı çözümlenmeleri, ölçüm belirsizliği analizleri, korelasyon ve regresyon analizleri verilmiştir.

A-1 Ölçüm Belirsizliği İlişki Çizelgesi

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	5	0,401471	0,0802942	342,893	0,000
Operators	1	0,001204	0,0012042	5,142	0,073
Parts * Operators	5	0,001171	0,0002342	0,489	0,779
Repeatability	12	0,005750	0,0004792		
Total	23	0,409596			

A-2 Deney Düzenegi için Ölçüm Belirsizliği Analiz Görüntüsü

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0004735	2,32
Repeatability	0,0004071	1,99
Reproducibility	0,0000664	0,32
Operators	0,0000664	0,32
Part-To-Part	0,0199718	97,68
Total Variation	0,0204453	100,00

Process tolerance = 0,5

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,021761	0,130564	15,22	26,11

Repeatability	0,020177	0,121061	14,11	24,21
Reproducibility	0,008150	0,048900	5,70	9,78
Operators	0,008150	0,048900	5,70	9,78
Part-To-Part	0,141321	0,847929	98,84	169,59
Total Variation	0,142987	0,857922	100,00	171,58

Number of Distinct Categories = 9

A-3 Deney tasarımı test sonuçları hipotez test değerleri

Factorial Fit: kuvvet versus debi; kesit alanı; aci; mesafe

Estimated Effects and Coefficients for kuvvet (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0,25375	0,001858	136,54	0,000
debi	0,18500	0,09250	0,001858	49,77	0,000
kesit alanı	-0,11125	-0,05563	0,001858	-29,93	0,000
aci	0,09250	0,04625	0,001858	24,89	0,000
mesafe	0,01875	0,00937	0,001858	5,04	0,000
debi*kesit alanı	-0,03125	-0,01562	0,001858	-8,41	0,000
debi*aci	0,02750	0,01375	0,001858	7,40	0,000
debi*mesafe	0,00125	0,00062	0,001858	0,34	0,740
kesit alanı*aci	-0,00125	-0,00062	0,001858	-0,34	0,740
kesit alanı*mesafe	-0,01250	-0,00625	0,001858	-3,36	0,003
aci*mesafe	0,00875	0,00437	0,001858	2,35	0,029
debi*kesit alanı*aci	0,01625	0,00812	0,001858	4,37	0,000
debi*kesit alanı*mesafe	-0,00750	-0,00375	0,001858	-2,02	0,058
debi*aci*mesafe	-0,00125	-0,00063	0,001858	-0,34	0,740
kesit alanı*aci*mesafe	0,00250	0,00125	0,001858	0,67	0,509
debi*kesit alanı*aci*mesafe	-0,00500	-0,00250	0,001858	-1,35	0,194
Ct Pt		-0,00375	0,005575	-0,67	0,509

S = 0,0105131 PRESS = 0,00795556
R-Sq = 99,55% R-Sq(pred) = 98,29% R-Sq(adj) = 99,17%

A-4 Deney tasarımı test sonuçları hipotez test değerleri sadeleştirilmiş tablo

Factorial Fit: kuvvet versus debi; kesit alanı; aci; mesafe

Estimated Effects and Coefficients for kuvvet (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0,25333	0,001646	153,94	0,000
debi	0,18500	0,09250	0,001746	52,99	0,000
kesit alanı	-0,11125	-0,05563	0,001746	-31,87	0,000
aci	0,09250	0,04625	0,001746	26,50	0,000
mesafe	0,01875	0,00937	0,001746	5,37	0,000
debi*kesit alanı	-0,03125	-0,01562	0,001746	-8,95	0,000
debi*aci	0,02750	0,01375	0,001746	7,88	0,000
kesit alanı*mesafe	-0,01250	-0,00625	0,001746	-3,58	0,001
aci*mesafe	0,00875	0,00437	0,001746	2,51	0,019
debi*kesit alanı*aci	0,01625	0,00813	0,001746	4,65	0,000
debi*kesit alanı*mesafe	-0,00750	-0,00375	0,001746	-2,15	0,042

S = 0,00987421 PRESS = 0,00529742

R-Sq = 99,48% R-Sq(pred) = 98,86% R-Sq(adj) = 99,27%

A-5 Kir Plakası için Ölçüm Belirsizliği Analiz Görüntüsü

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,1467	0,31
Repeatability	0,1467	0,31
Reproducibility	0,0000	0,00
Operators	0,0000	0,00
Part-To-Part	47,0293	99,69
Total Variation	47,1759	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,38295	2,2977	5,58
Repeatability	0,38295	2,2977	5,58
Reproducibility	0,00000	0,0000	0,00
Operators	0,00000	0,0000	0,00
Part-To-Part	6,85779	41,1467	99,84
Total Variation	6,86847	41,2108	100,00

Number of Distinct Categories = 25

A-6 Kir çıkarma regresyon analizi sonuç ekranı 1

Regression Equation

Kir çıkarma = 11,4618 - 3,30474 Debi - 1,79401 Kesit alanı - 0,113804
Sıcaklık + 0,977458 Zaman - 3,2524 Deterjan + 0,48837
Debi*Kesit_alanı + 0,0990819 Debi*Sıcaklık -
0,261496 Debi*Zaman + 0,543603 Debi*Deterjan +
0,0449547 Kesit_alanı*Sıcaklık + 0,309281
Kesit_alanı*Deterjan - 0,03332 Sıcaklık*Zaman - 0,0387958
Sıcaklık*Deterjan - 0,0146409
Debi*Kesit_alanı*Sıcaklık - 0,0536732
Debi*Kesit_alanı*Deterjan + 0,00945108
Debi*Sıcaklık*Zaman + 0,0224128
Debi*Sıcaklık*Deterjan - 6,85095e-005
Kesit_alanı*Sıcaklık*Zaman - 0,000815564
Debi*Kesit_alanı*Sıcaklık*Deterjan - 0,000262552
Debi*Kesit_alanı*Zaman*Deterjan + 0,000132284
Debi*Sıcaklık*Zaman*Deterjan

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T
Constant	11,4618	32,1212	0,35683
Debi	-3,3047	7,9554	-0,41541
Kesit_alanı	-1,7940	2,0994	-0,85452
Sıcaklık	-0,1138	0,8232	-0,13824

Zaman	0,9775	0,7813	1,25101
Deterjan	-3,2524	2,2918	-1,41916
Debi*Kesit_alanı	0,4884	0,5200	0,93913
Debi*Sıcaklık	0,0991	0,1980	0,50029
Debi*Zaman	-0,2615	0,1943	-1,34616
Debi*Deterjan	0,5436	0,6296	0,86340
Kesit_alanı*Sıcaklık	0,0450	0,0535	0,83957
Kesit_alanı*Deterjan	0,3093	0,1539	2,00974
Sıcaklık*Zaman	-0,0333	0,0250	-1,33139
Sıcaklık*Deterjan	-0,0388	0,0205	-1,89074
Debi*Kesit_alanı*Sıcaklık	-0,0146	0,0128	-1,14364
Debi*Kesit_alanı*Deterjan	-0,0537	0,0439	-1,22397
Debi*Sıcaklık*Zaman	0,0095	0,0051	1,85157
Debi*Sıcaklık*Deterjan	0,0224	0,0104	2,15920
Kesit_alanı*Sıcaklık*Zaman	-0,0001	0,0010	-0,06694
Debi*Kesit_alanı*Sıcaklık*Deterjan	-0,0008	0,0006	-1,35140
Debi*Kesit_alanı*Zaman*Deterjan	-0,0003	0,0006	-0,43039
Debi*Sıcaklık*Zaman*Deterjan	0,0001	0,0002	0,58269

A-7 Kir çıkarma regresyon analiz sonuç ekranı 2

Term	P
Constant	0,729
Debi	0,687
Kesit_alanı	0,413
Sıcaklık	0,893
Zaman	0,239
Deterjan	0,186
Debi*Kesit_alanı	0,370
Debi*Sıcaklık	0,628
Debi*Zaman	0,208
Debi*Deterjan	0,408
Kesit_alanı*Sıcaklık	0,421
Kesit_alanı*Deterjan	0,072
Sıcaklık*Zaman	0,213
Sıcaklık*Deterjan	0,088
Debi*Kesit_alanı*Sıcaklık	0,279
Debi*Kesit_alanı*Deterjan	0,249
Debi*Sıcaklık*Zaman	0,094
Debi*Sıcaklık*Deterjan	0,056
Kesit_alanı*Sıcaklık*Zaman	0,948
Debi*Kesit_alanı*Sıcaklık*Deterjan	0,206
Debi*Kesit_alanı*Zaman*Deterjan	0,676
Debi*Sıcaklık*Zaman*Deterjan	0,573

Summary of Model

S = 2,11137 R-Sq = 95,51% R-Sq(adj) = 86,09%
PRESS = 424,469 R-Sq(pred) = 57,28%

A-8 Kir çıkarma sadeleştirilmiş regresyon analiz sonuç ekranı

Regression Equation

Kir_çıkarma = 2,7205 - 0,924376 Deterjan - 0,0513181 Debi*Zaman +
0,122281 Kesit_alanı*Deterjan - 0,0416966
Sıcaklık*Deterjan - 0,0160281
Debi*Kesit_alanı*Deterjan + 0,0245264

Debi*Sıcaklık*Deterjan + 0,00232224
 Debi*Sıcaklık*Zaman - 0,00066772
 Debi*Kesit_alanı*Sıcaklık*Deterjan

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T
Constant	2,72050	0,982641	2,76856
Deterjan	-0,92438	0,455894	-2,02761
Debi*Zaman	-0,05132	0,021446	-2,39286
Kesit_alanı*Deterjan	0,12228	0,033143	3,68948
Sıcaklık*Deterjan	-0,04170	0,011743	-3,55082
Debi*Kesit_alanı*Deterjan	-0,01603	0,006742	-2,37749
Debi*Sıcaklık*Zaman	0,00232	0,000459	5,06370
Debi*Sıcaklık*Deterjan	0,02453	0,003481	7,04565
Debi*Kesit_alanı*Sıcaklık*Deterjan	-0,00067	0,000173	-3,86662

Term	P
Constant	0,011
Deterjan	0,054
Debi*Zaman	0,025
Kesit_alanı*Deterjan	0,001
Sıcaklık*Deterjan	0,002
Debi*Kesit_alanı*Deterjan	0,026
Debi*Sıcaklık*Zaman	0,000
Debi*Sıcaklık*Deterjan	0,000
Debi*Kesit_alanı*Sıcaklık*Deterjan	0,001

Summary of Model

S = 1,89025 R-Sq = 91,73% R-Sq(adj) = 88,85%
 PRESS = 173,461 R-Sq(pred) = 82,54%

A-9 Kir çıkarmanın formülü

$$\begin{aligned} \text{Kir}_{\text{çıkarma}} = & 2,7205 - 0,924376 \text{ Deterjan} - 0,0513181 \text{ Debi*Zaman} + \\ & 0,122281 \text{ Kesit_alanı*Deterjan} - 0,0416966 \\ & \text{Sıcaklık*Deterjan} - 0,0160281 \\ & \text{Debi*Kesit_alanı*Deterjan} + 0,0245264 \\ & \text{Debi*Sıcaklık*Deterjan} + 0,00232224 \\ & \text{Debi*Sıcaklık*Zaman} - 0,00066772 \\ & \text{Debi*Kesit_alanı*Sıcaklık*Deterjan} \end{aligned}$$

A-10 Kir çıkarma için MATLAB kodu

```
Function varargout = temizleme(varargin)
format long;
% TEMIZLEME MATLAB code for temizleme.fig
%     TEMIZLEME, by itself, creates a new TEMIZLEME or raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = TEMIZLEME returns the handle to a new TEMIZLEME or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     TEMIZLEME('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%     function named CALLBACK in TEMIZLEME.M with the given input arguments.
```

```

%
%   TEMIZLEME('Property','Value',...) creates a new TEMIZLEME or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before temizleme_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to temizleme_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help temizleme

% Last Modified by GUIDE v2.5 09-Mar-2015 16:24:13

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @temizleme_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @temizleme_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before temizleme is made visible.
function temizleme_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
format long;
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to temizleme (see VARARGIN)

```

```

% Choose default command line output for temizleme
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes temizleme wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = temizleme_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
format long;
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
format long;
% hObject handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
format long;
% hObject handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
end

```

```

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
format long;
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
format long;
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
format long;
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
format long;
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),

```

```

get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
format long;
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
format long;
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
format long;
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
format long;
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```

%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

clc
clear all
% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
format long e;
str1=findobj(gcf,'Tag','edit1');
CS=get(str1,'String');
CS=str2num(CS);

str2=findobj(gcf,'Tag','edit2');
FR=get(str2,'String');
FR=str2num(FR);

str3=findobj(gcf,'Tag','edit3');
D=get(str3,'String');
D=str2num(D);

str4=findobj(gcf,'Tag','edit4');
T=get(str4,'String');
T=str2num(T);

str5=findobj(gcf,'Tag','edit5');
TP=get(str5,'String');
TP=str2num(TP);

s=2.7205-0.924376*D-0.0513181*FR*T+0.122281*CS*D-0.0416966*TP*D-
0.0160281*FR*CS*D+0.02453*FR*TP*D+0.00232224*FR*TP*T-0.00066772*FR*CS*TP*D
s=num2str(s);

str6=findobj(gcf,'Tag','text2');
set(str6,'String',s);
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on slider movement.
function slider1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to slider1 (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'Value') returns position of slider
%         get(hObject,'Min') and get(hObject,'Max') to determine range of slider

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function slider1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to slider1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: slider controls usually have a light gray background.
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

```

A-11 Kir çıkarma ve kuvvet arasındaki korelasyon

Correlation: Kir Çıkarma; Kuvvet

Pearson correlation of Kir Çıkarma and Kuvvet = 0,356
P-Value = 0,039

A-12 Kir çıkarma ve kuvvet arasındaki korelasyon

Regression Equation

Kir_çıkarma = 3,95908 + 9,3069 Kuvvet

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3,95908	1,63643	2,41933	0,021
Kuvvet	9,30690	4,31798	2,15538	0,039

Summary of Model

S = 5,21576 R-Sq = 12,68% R-Sq(adj) = 9,95%
PRESS = 1031,50 R-Sq(pred) = -3,47%

A-13 Kuvvet ile X yönündeki titreşim arasındaki regresyon

Regression Analysis: Kuvvet versus Titreşim-X

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	1,23294	1,23294	174,48	0,000
Titreşim-X	1	1,23294	1,23294	174,48	0,000
Error	32	0,22612	0,00707		
Lack-of-Fit	7	0,21567	0,03081	73,71	0,000
Pure Error	25	0,01045	0,00042		
Total	33	1,45906			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0840618	84,50%	84,02%	83,01%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-0,0449	0,0310	-1,45	0,157	
Titreşim-X	0,4911	0,0372	13,21	0,000	1,00

Regression Equation

$$\text{Kuvvet} = -0,0449 + 0,4911 \text{ Titreşim-X}$$

A-14 Kuvvet ile Y yönündeki titreşim arasındaki regresyon

Regression Analysis: Kuvvet versus Titreşim-Y

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	1,26696	1,26696	211,04	0,000
Titreşim-Y	1	1,26696	1,26696	211,04	0,000
Error	32	0,19210	0,00600		
Lack-of-Fit	7	0,18165	0,02595	62,08	0,000
Pure Error	25	0,01045	0,00042		
Total	33	1,45906			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0774807	86,83%	86,42%	85,67%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,0343	0,0236	1,45	0,156	
Titreşim-Y	0,2293	0,0158	14,53	0,000	1,00

Regression Equation

$$\text{Kuvvet} = 0,0343 + 0,2293 \text{ Titreşim-Y}$$

A-15 Kuvvet ile Z yönündeki titreşim arasındaki regresyon

Regression Analysis: Kuvvet versus Titreşim-Z

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	1,10065	1,10065	98,27	0,000
Titreşim-Z	1	1,10065	1,10065	98,27	0,000
Error	32	0,35841	0,01120		
Lack-of-Fit	7	0,34796	0,04971	118,92	0,000
Pure Error	25	0,01045	0,00042		
Total	33	1,45906			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,105832	75,44%	74,67%	72,20%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,0652	0,0312	2,09	0,045	
Titreşim-Z	0,2018	0,0204	9,91	0,000	1,00

Regression Equation

$$\text{Kuvvet} = 0,0652 + 0,2018 \text{ Titreşim-Z}$$

A-16 Kir çıkarma ile X yönündeki titreşim arasındaki regresyon

Regression Analysis: Kir Çıkarma versus Titreşim-X

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	145,95	145,945	5,49	0,026
Titreşim-X	1	145,95	145,945	5,49	0,026
Error	32	850,97	26,593		
Lack-of-Fit	7	33,27	4,754	0,15	0,993
Pure Error	25	817,69	32,708		
Total	33	996,91			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5,15682	14,64%	11,97%	0,00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	2,97	1,90	1,56	0,128	
Titreşim-X	5,34	2,28	2,34	0,026	1,00

Regression Equation

Kir Çıkarma = 2,97 + 5,34 Titreşim-X

A-17 Kir çıkarma ile Y yönündeki titreşim arasındaki regresyon

Regression Analysis: Kir Çıkarma versus Titreşim-Y

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	155,81	155,808	5,93	0,021
Titreşim-Y	1	155,81	155,808	5,93	0,021
Error	32	841,11	26,285		
Lack-of-Fit	7	23,41	3,345	0,10	0,998
Pure Error	25	817,69	32,708		
Total	33	996,91			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5,12685	15,63%	12,99%	0,00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	3,77	1,56	2,42	0,021	
Titreşim-Y	2,54	1,04	2,43	0,021	1,00

Regression Equation

Kir Çıkarma = 3,77 + 2,54 Titreşim-Y

A-18 Kir çıkarma ile Z yönündeki titreşim arasındaki regresyon

Regression Analysis: Kir Çıkarma versus Titreşim-Z

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	151,24	151,235	5,72	0,023
Titreşim-Z	1	151,24	151,235	5,72	0,023
Error	32	845,68	26,427		
Lack-of-Fit	7	27,98	3,998	0,12	0,996
Pure Error	25	817,69	32,708		
Total	33	996,91			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5,14077	15,17%	12,52%	0,00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	3,96	1,52	2,61	0,014	
Titreşim-Z	2,366	0,989	2,39	0,023	1,00

Regression Equation

Kir Çıkarma = 3,96 + 2,366 Titreşim-Z

A-19 Kuvvet ile Reynolds arasındaki regresyon

Regression Equation

Kuvvet = -0,136492 + 1,64761e-005 Reynolds

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,136492	0,0734820	-1,85749	0,072
Reynolds	0,000016	0,0000025	6,53367	0,000

Summary of Model

S = 0,139768 R-Sq = 57,16% R-Sq(adj) = 55,82%
PRESS = 0,690567 R-Sq(pred) = 52,67%

A-20 Kir çıkarma ile Reynolds arasındaki regresyon

Regression Equation

Kir_çıkarma = -0,676551 + 0,000275514 Reynolds

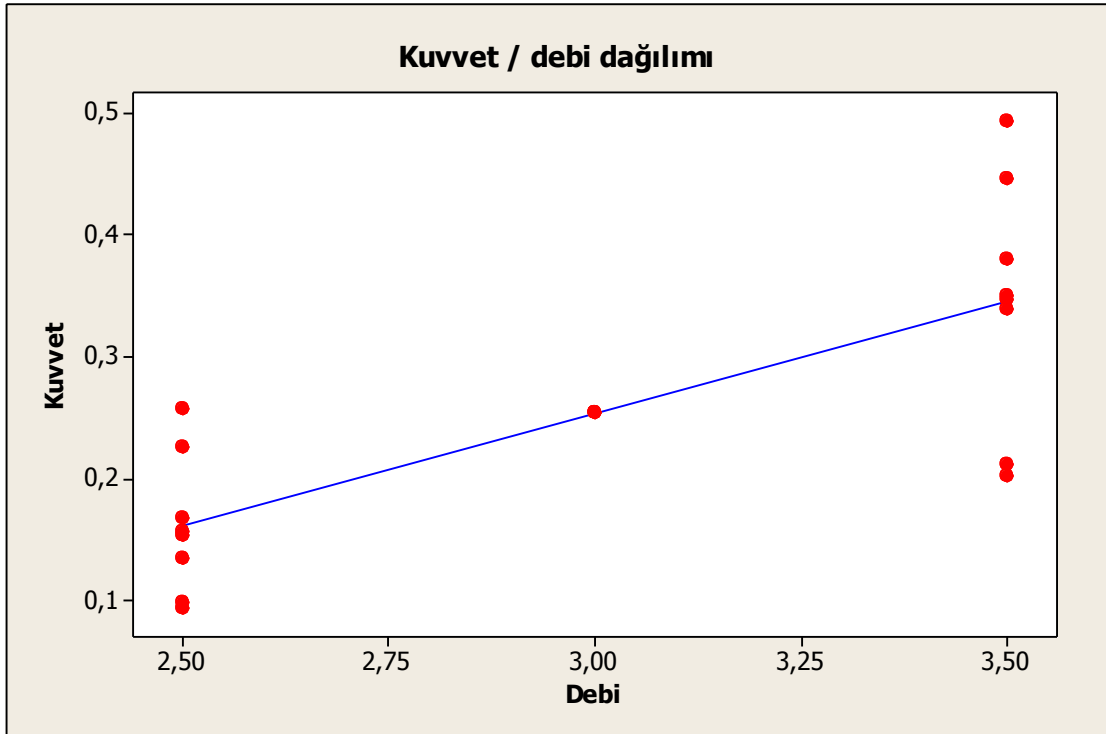
Coefficients

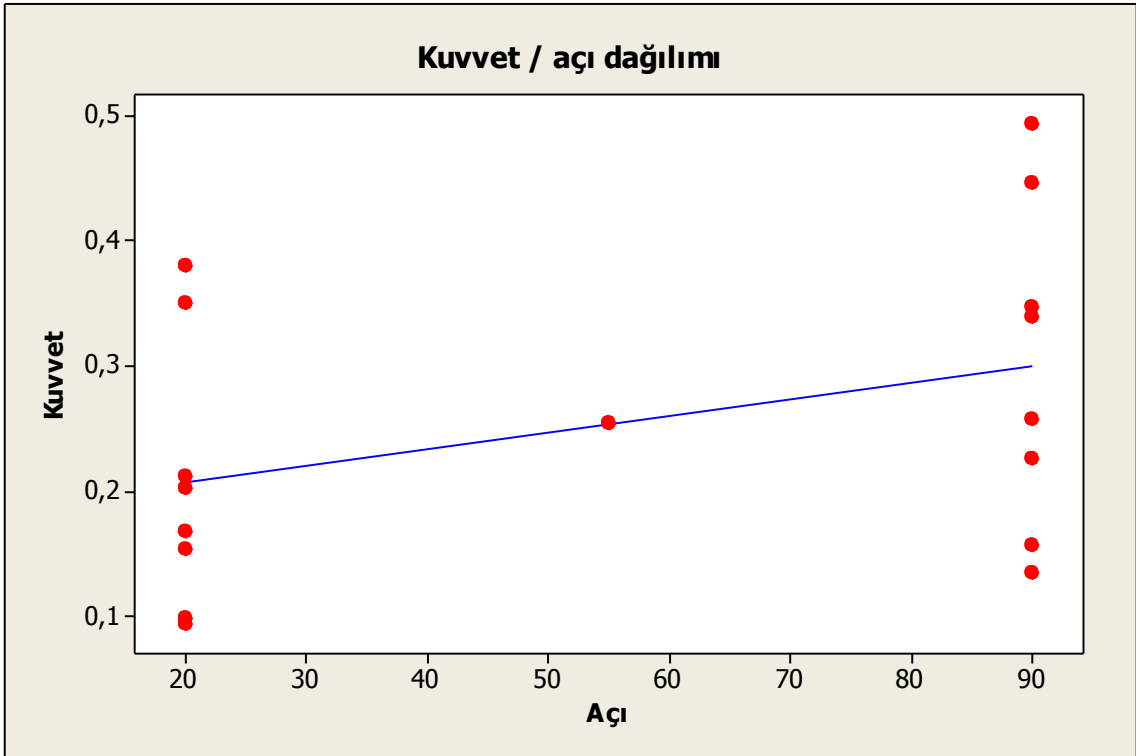
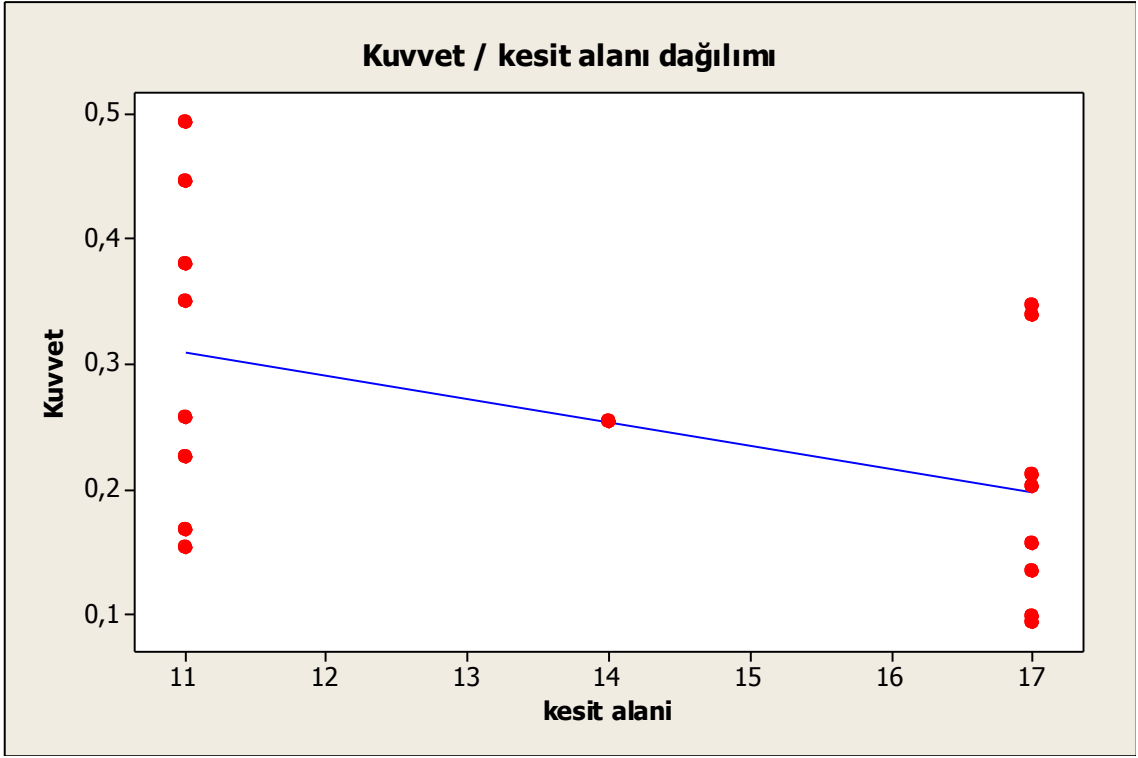
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,676551	2,56842	-0,26341	0,794
Reynolds	0,000276	0,00009	3,12580	0,004

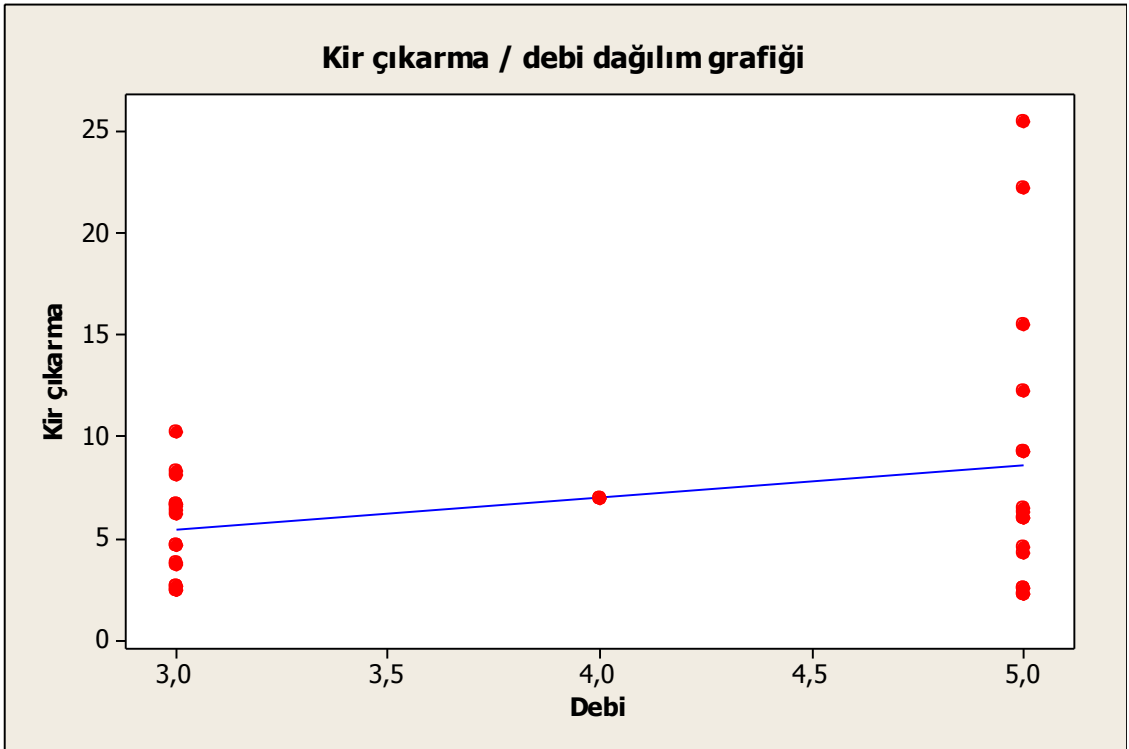
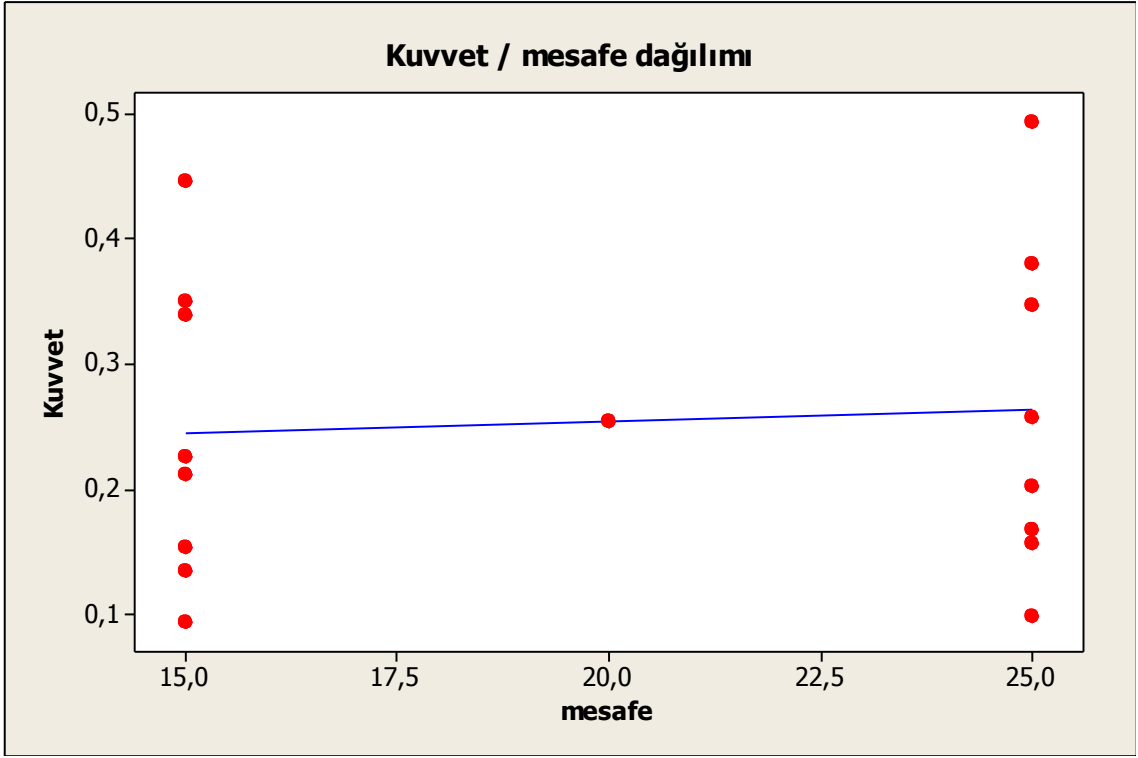
Summary of Model

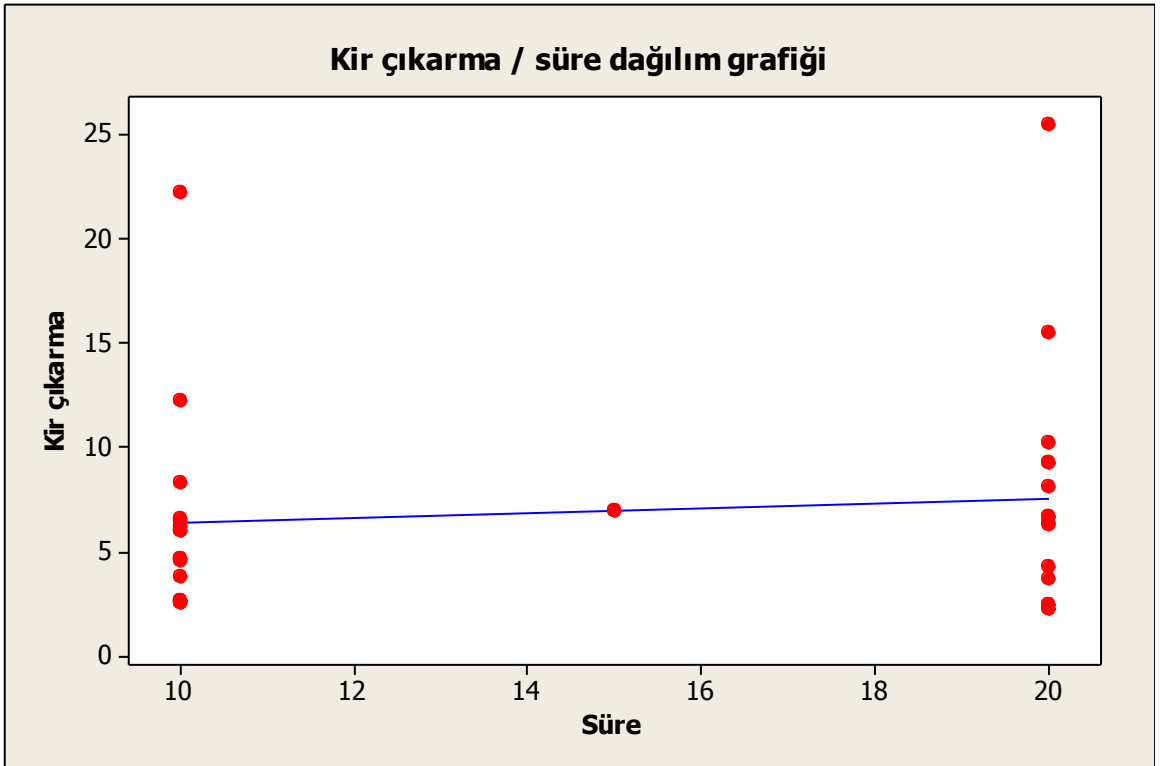
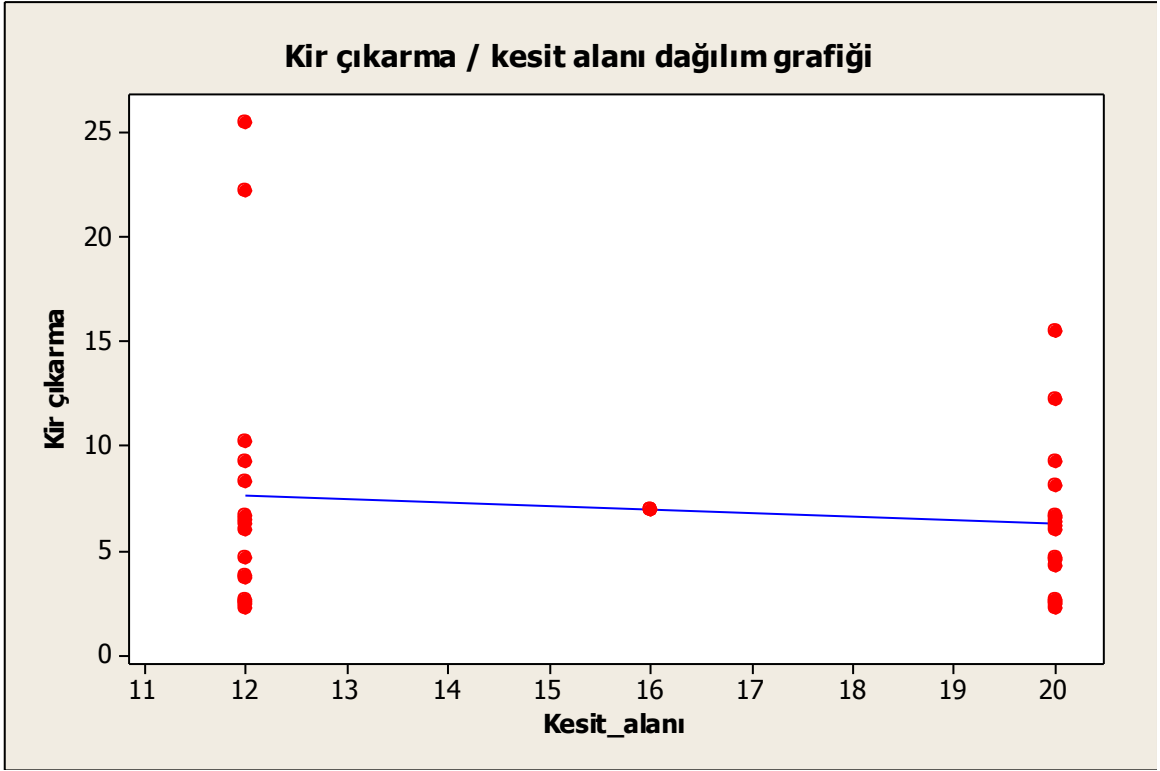
S = 4,88532 R-Sq = 23,39% R-Sq(adj) = 21,00%
PRESS = 886,071 R-Sq(pred) = 11,12%

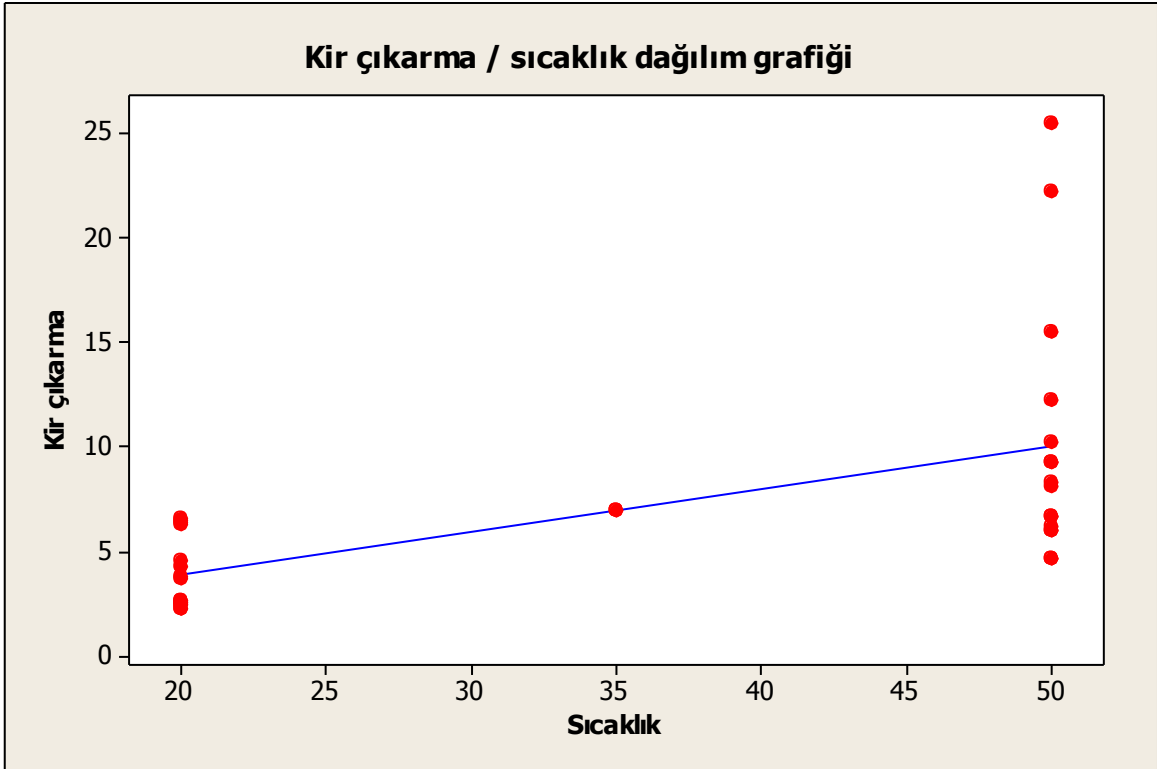
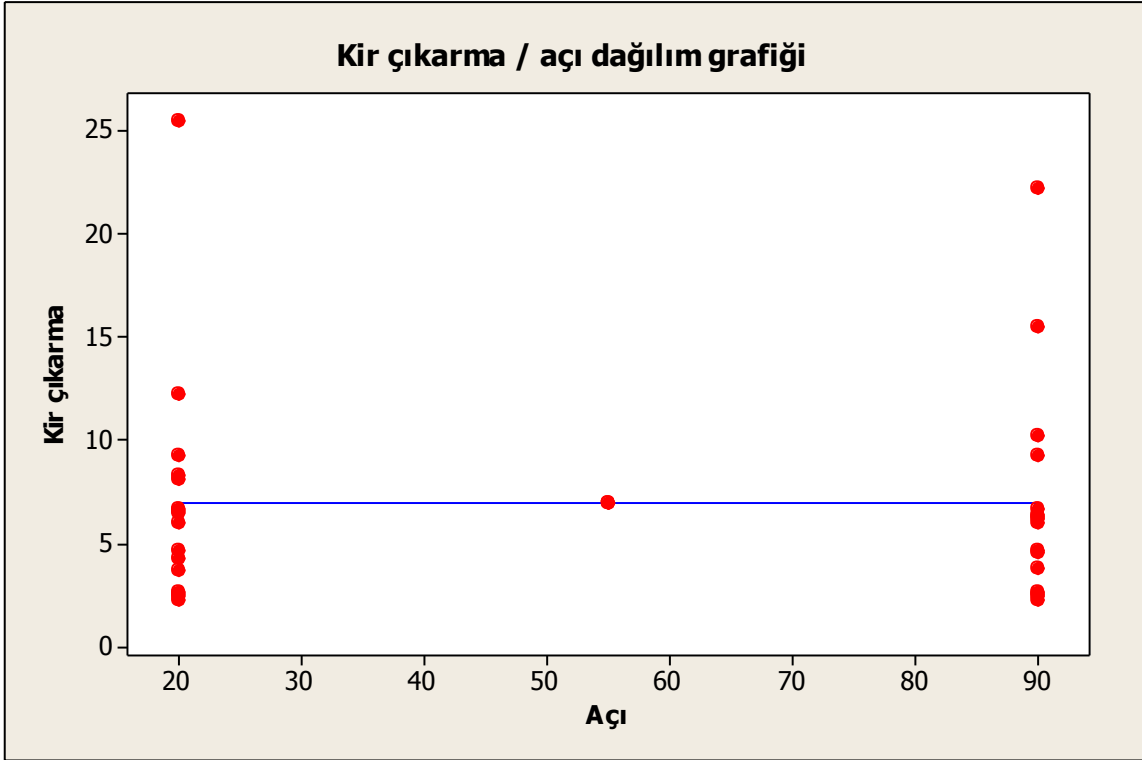
DAĞILIM GRAFİKLERİ

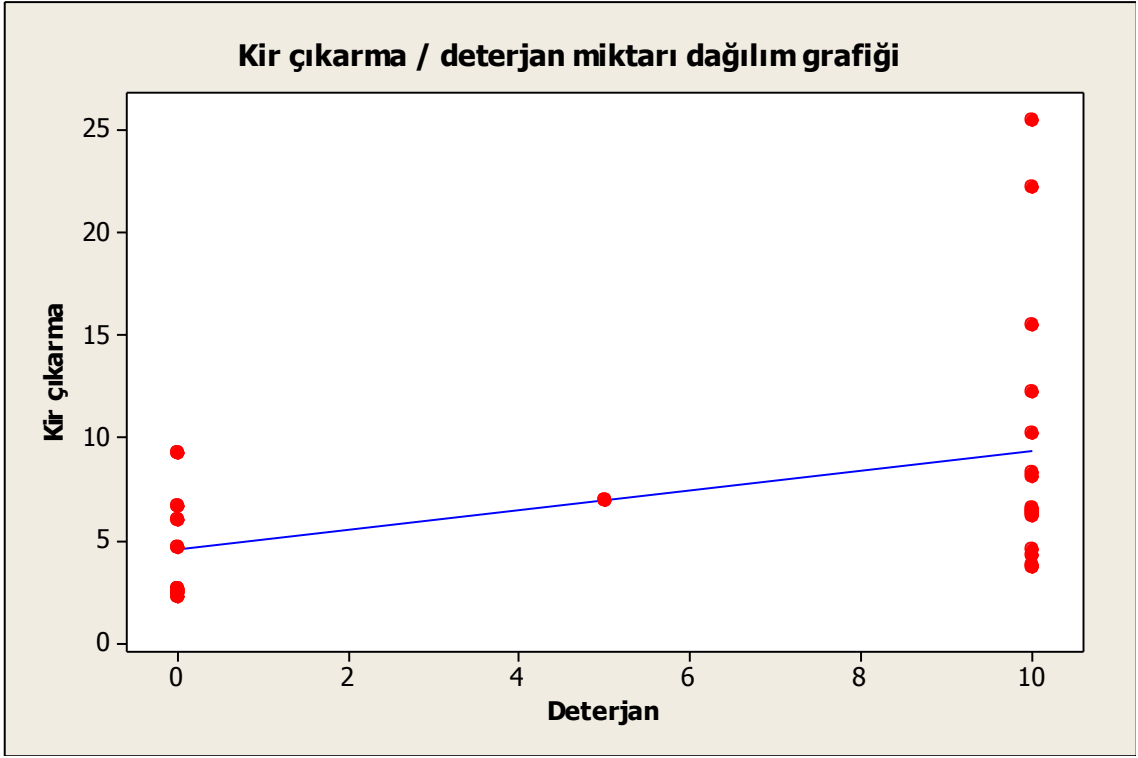












ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Yusuf KOÇ
Doğum Tarihi ve Yeri	:15.08.1985 / Ankara
Yabancı Dili	:İngilizce / Fransızca
E-posta	:yusufkoc3@gmail.com / yusuf.koc@arcelik.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lisans	Malz ve Metalürji Müh	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lisans	Makine Müh	Yıldız Teknik Üniversitesi	2007
Lise	Fen	Gaziantep Anadolu Lisesi	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2007 – Devam ediyor	Arçelik AŞ	Arge Kıdemli Uzmanı

YAYINLARI

Makale

1. AN EXPERIMENTAL STUDY OF MECHANICAL EFFECT IN CLEANING PROCESS
2. ÇİFT ÇIKIŞLI BİR SANTRİFÜJ POMPANIN HAD İLE PARAMETRİK OLARAK TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

Bildiri

- 1.Experimental and theoretical study of mechanical impact in cleaning process **ENTECH 14**
- 2.Experimental study of effective factors on soil removal efficiency in cleaning process by solid stream jet nozzles **ICAME 15**

Patent

2015Patent Number: WO2015065299 (A1) [A heat pump laundry dryer](#)

2015Patent Number: WO2015049192 (A1) [A compressor with improved effectiveness](#)

2015Patent Number: WO2015043646 (A1) [Refrigerator having circulation structure enabling an improved thermal distribution profile](#)

2015Patent Number: WO2015028071 (A1) [Heat pump laundry dryer with monitoring level of dryness](#)

2015Patent Number: WO2015003933 (A1) [A household appliance when used in the drying step](#)

2015Patent Number: WO2015003933 (A1) [A household appliance when used in the drying step](#)

2014Patent Number: WO2014187494 (A1) [Heat pump type laundry dryer drying laundry using the same](#)

2014Patent Number: WO2014053362 (A1) [Hermetic compressor with circulation](#)

2014Patent Number: WO2014056787(A1) [A household appliances wher used in the drying step](#)

2013Patent Number: WO2013030394(A3) [A laundry washing or laundry machine drum](#)

2013Patent Number: WO2013097975(A1) ['A Washer Comprising A Deh](#)

2013Patent Number: WO2013097973(A1) [A Hermetic Compressor Com Sucking Member](#)

2013Patent Number: WO2013097971(A1) [A Hermetic Compressor Com Sucking Member](#)

2013Patent Number: WO2013050541(A1) ['A Dishwasher Comprising A Unit'](#)

2013Patent Number: WO2013050468(A1) ['A Dishwasher Comprising A Unit'](#)

2012Patent Number: WO2012084488(A1) ['A Dishwasher Comprising A Unit'](#)

2012Patent Number: WO2012062886(A1) ['A Dishwasher Comprising A Unit'](#)

2012Patent Number: WO2012062666(A1) ['A Dishwasher Comprising A Unit'](#)

2012Patent Number: WO2012062663(B1) ['A Dishwasher Comprising A Unit'](#)

2010Patent Number: WO2010020630(B1) ['A Washing Machine'](#)

2008 Patent Number: WO2008119819(T1) ['A Packaging Element'](#)

2008 Patent Number: WO2008119818(T1) ['A Packaging Element'](#)

ÖDÜLLERİ

1. Arçelik AŞ Yılın Buluşçusu Ödülü **2012**
2. ALES Türkiye 52.liği **2005**
3. Arçelik AŞ Patent Ödülü **2006, 2008,2009, 2010,2011,2012,2013,2014,2015**