

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

**SPREYLEME YÖNTEMİ İLE YIKAMA İŞLEMİNDE MEKANİK ETKİNİN
DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

MERT PATKAVAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. ÖZDEN AĞRA**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SPREYLEME YÖNTEMİ İLE YIKAMA İŞLEMİNDE MEKANİK ETKİNİN
DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Mert PATKAVAK tarafından hazırlanan tez çalışması 22.06.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Özden AĞRA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Özden AĞRA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail TEKE
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Seyhan ONBAŞIOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamda yol gösteren, eleştirileri ve önerileri ile tezimi tamamlamamı sağlamanın yanında kariyer anlamında da birçok konuda yardım eden, değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Özden AĞRA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

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

Stajyer olarak başladığım günden yüksek lisans bitirme tezini noktaladığım zamana dek desteğini hiç eksik etmeyen, her türlü imkanı sunan, bilgi ve becerileriyle her zaman yol gösteren değerli abim Sayın Yusuf KOÇ'a saygı, minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin önemli bir parçasını oluşturan, yaptığım çalışmaları deney düzeneği haline getirmemde yardımcı olan Sayın Çetin LALE, Sayın Erkan BAŞTAN ve Sayın İlyas AYDIN, Sayın Mehmet KAYA, Sayın Murat Elgün ve Sayın Coşkun SARIKÜLÇE'ye teşekkür ederim.

Varlıklarıyla her zaman bana güç veren, her şeyi yapabileceğime beni inandıran, eğitim hayatım boyunca maddi manevi her türlü desteği sağlayan ve bana bir kere olsun hayır demeyen biricik aileme sonsuz teşekkür ediyorum.

Hayata daha kararlı devam etmemi sağlayan, tüm zorlukları benimle paylaşan, bugüne kadar tanıdığım en özel insana, Sayın Gözde EROL'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Beş yılımı geçirdiğim üniversitemde, birçok maceralar yaşadığım, aklımdan hiçbir zaman çıkmayacak hatıralar bırakan o eşsiz dostlarıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca, yüksek lisansım boyunca beni maddi açıdan destekleyen, ülkemizde bilimin destekçisi olan TÜBİTAK' a teşekkürü borç bilirim.

Haziran, 2015

Mert PATKAVAK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Genel Bilgiler	4
2.1.1 Temizleme İşlemi	4
2.1.1.1 Temizleme İşleminde Yer Alan Faktör ve Mekanizmaların Açıklanması	6
2.1.2 Su Jeti ve Oluşumu.....	11
2.1.2.1 Su Jetinin Yapısı	12
2.1.3 Nozullar.....	13
2.1.3.1 Nozul Seçim Kriterleri.....	14
2.1.4 Püskürtme Çeşitleri	15
2.1.4.1 İçi Boş Koni Dirsekli Tip Püskürtme	15
2.1.4.2 İçi Boş Koni Şaşırtmalı Tip Püskürtme	15
2.1.4.3 İçi Boş Koni Spiral Tip Püskürtme	16
2.1.4.4 İçi Dolu Koni Tip Püskürtme	16

2.1.4.5	İçi Dolu Koni Spiral Tip Püskürtme	17	
2.1.4.6	Yassı Oval Tip Püskürtme	17	
2.1.4.7	Yassı Eşit Bitişli Tip Püskürtme	17	
2.1.4.8	Yassı Şaşırtmalı Tip Püskürtme.....	18	
2.1.4.9	Noktasal Tip Püskürtme	18	
2.1.4.10	Atomize Tip Püskürtme	19	
2.1.4.11	Hava Parçalamalı ve Hava Destekli Tip Püskürtme.....	19	
2.1.5	Yıkayıcılar	19	
2.1.5.1	Yıkayıcının Temel Bölümleri	20	
2.1.5.2	Yıkayıcıların Çalışma Prensibi	22	
2.1.6	Deney Tasarımı.....	23	
2.2	Makale Araştırması	28	
2.3	Patent Araştırması	43	
BÖLÜM 3			
TEORİK ÇALIŞMALAR.....			54
3.1	Lineer Momentum İlkesi	54	
3.2	Yüzeyle Etkiyen JetKuvvetinin Hesaplanması	56	
BÖLÜM 4			
DENEYSEL ÇALIŞMALAR			57
4.1	Deney Düzeneginin Tanımı.....	57	
4.2	Deney Düzeneginin Kurulması	59	
4.2.1	Nozul Tasarımı	59	
4.2.2	Gövde Tasarımı	60	
4.2.3	Su Tankının Tasarımı.....	62	
4.2.4	Üst Kapağın ve Etki Yüzeyinin Tasarımı	64	
4.2.5	Kuvvet Ölçüm Cihazının Belirlenmesi	65	
4.2.6	Pompanın Seçilmesi.....	65	
4.3	Ölçüm Belirsizliği Analizleri ve Deney Planı	66	
4.3.1	Ölçüm Belirsizliği Analizleri.....	67	
4.3.2	Deney Planı	71	
BÖLÜM 5			
SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER.....			74
5.1	Sonuçlar	74	
5.2	Değerlendirmeler	80	
KAYNAKLAR.....			82
ÖZGEÇMİŞ.....			86

SİMGE LİSTESİ

A	Kesit alanı
a	İvme
F	Kuvvet
K_p	Açı bağımlılık faktörü
m	Kütle
T	Sıcaklık
t	Süre
\dot{V}	Hacimsel debi
v	Hız
γ_{SB}	Yüzey ile çözelti arasındaki ara yüzey gerilimi
γ_{SO}	Yüzey ile sıvı kir arasındaki ara yüzey gerilimi
γ_{OB}	Sıvı kir ile çözelti arasındaki ara yüzey gerilimi
α	Etki yüzeyi açısı
ρ	Yoğunluk

KISALTMA LİSTESİ

AFM	Atomic Force Measurement
DOE	Design of Experiment
HPR	High Pressure Rinsing
PC	Polycarbonate
SLS	Selective Laser Sintering

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Bulaşık makinesinde yıkama performansını etkileyen faktörler	4
Şekil 2. 2 Elektrostatik çekimin gösterilişi	5
Şekil 2. 3 Yüzeydeki kirin gösterilişi	5
Şekil 2. 4 Kirin yüzeye geçmesi	5
Şekil 2. 5 Yıkama prosesinde yer alan faktörler	6
Şekil 2. 6 Kir uzaklaştırma mekanizmaları	8
Şekil 2. 7 Formlarına göre kirlerin çıkarılma mekanizmalarının sınıflandırılması	8
Şekil 2. 8 Sıvı kir ve yüzey arasındaki temas açısı gösterimi	9
Şekil 2. 9 $\theta > 90^\circ$ durumunda kirin yüzeyden tamamen uzaklaştırılması	10
Şekil 2. 10 $\theta < 90^\circ$ durumunda kirin yüzeyden koparılarak kısmen uzaklaştırılması	10
Şekil 2. 11 Orifisten akan bir jet kesitindeki dinamik basınç dağılımı	12
Şekil 2. 12 Su jetinin yapısı	12
Şekil 2. 13 Kesitleri farklı borudaki akış	14
Şekil 2. 14 İçi boş koni (dirsekli) tip püskürtme türü	15
Şekil 2. 15 İçi boş koni (şaşırtmalı tip) püskürtme türü	16
Şekil 2. 16 İçi boş koni (spiral tip) püskürtme türü	16
Şekil 2. 17 İçi dolu koni püskürtme türü	16
Şekil 2. 18 İçi dolu koni (spiral tip) püskürtme türü	17
Şekil 2. 19 Yassı püskürtme (oval tip) türü	17
Şekil 2. 20 Yassı püskürtme (eşit bitişli) türü	18
Şekil 2. 21 Yassı püskürtme (şaşırtmalı tip) türü	18
Şekil 2. 22 Noktasal püskürtme türü	18
Şekil 2. 23 Atomize püskürtme türü	19
Şekil 2. 24 Hava parçalı ve hava destekli püskürtme türü	19
Şekil 2. 25 Yıkayıcı	20
Şekil 2. 26 Yıkayıcının bölüm ve aksamaları	20
Şekil 2. 27 Yıkayıcının yıkama grubu	21
Şekil 2. 28 Yıkayıcılarda pervanenin konumu	22
Şekil 2. 29 Yıkayıcının hidrolik şeması	23
Şekil 2. 30 Mikromanipülatör sistemi	28
Şekil 2. 31 Yatay ekseninde probun çekilmesi	29
Şekil 2. 32 Yumurta akının fırınlanma süresiyle, adhesif dayanım arasındaki ilişki.....	29
Şekil 2. 33 Domates salçasının hidrasyon süresiyle, çekme dayanımı arasındaki ilişki ..	30

Şekil 2. 34 Domates salçasının farklı sıcaklık ve debide akışkana maruz bırakılması sonucu zamana bağlı %kir çıkarma grafiği	30
Şekil 2. 35 Domates salçasının hidrasyon süresiyle, kısmi çekme enerji ve toplam çekme enerjisi değişimi.....	31
Şekil 2. 36 Yumurta akının ısıtma süresiyle, kısmi çekme enerjisi ve toplam çekme enerjisi değişimi.....	32
Şekil 2. 37 Yüzey enerjisi ve adhesif dayanım grafiği.....	33
Şekil 2. 38 pH derecesi ve yüzey pürüzlülüğünün yüzey kir çıkarma kuvvetiyle olan ilişkisi	34
Şekil 2. 39 Su jeti test düzeneği	35
Şekil 2. 40 Farklı uzaklıklarda çekilen görüntüler.....	36
Şekil 2. 41 HPR jetleme sistemi etki yüzeyleri	37
Şekil 2. 42 “B” durumundaki kuvvet aç grafiği.....	37
Şekil 2. 43 Yüzey temizleme performansının jetleme açısıyla olan ilişkisi.....	38
Şekil 2. 44 Çeşitli jet hızlarında frekans-temizleme performansı ilişkisi.....	39
Şekil 2. 45 Mach sayısı-basınç grafiği.....	40
Şekil 2. 46 Mach sayısına bağlı olarak damlacığın yüzeyde oluşturduğu merkez ve kenar basınçlarının karşılaştırılması	40
Şekil 2. 47 Kullanılan test düzeneği.....	41
Şekil 2. 48 Film kalınlığı ölçüm test düzeneği	42
Şekil 2. 49 Jet geliş açısına bağlı olarak yüzeye çarpan suyun hareketi.....	43
Şekil 2. 50 Patent ve başvurularının firmalara göre dağılımı	44
Şekil 2. 51 İncelenen patent ve başvurularının yıllara göre dağılımı	44
Şekil 2. 52 KR100258615 (B1) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi	45
Şekil 2. 53 KR100267927 (B1) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi	46
Şekil 2. 54 JP2004000654 (A) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi.....	46
Şekil 2. 55 KR20130033811 (A) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi	47
Şekil 2. 56 EP2721989 (A1) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi	47
Şekil 2. 57 CN102858222 (A) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi.....	48
Şekil 2. 58 EP2601878 (A2) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi	48
Şekil 2. 59 CN203369879 (U) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi	49
Şekil 2. 60 US5655556 (A) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi.....	49
Şekil 2. 61 JP2005296107 (A) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi.....	50
Şekil 2. 62 DE102010043021 (A1) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi.....	50
Şekil 2. 63 NL1004462 (C1) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi	51
Şekil 2. 64 JP2005000511 (A) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi.....	51
Şekil 2. 65 US2014069469 (A1) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi.....	52
Şekil 2. 66 CN103462574 (A)nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi	52
Şekil 2. 67 US2014130833 (A1) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi.....	53

Şekil 3. 1 Yüzeyle etkiyen kuvvet	56
Şekil 4. 1 Su jeti kuvveti ölçüm test düzeneği.....	58
Şekil 4. 2 Yıkayıcı pervanesi katı modeli.....	59
Şekil 4. 3 Yıkayıcı alt pervane	59
Şekil 4. 4 Tasarlanan nozul tipi.....	60
Şekil 4. 5 Üretilen nozullar	60
Şekil 4. 6 Malzemenin kesilmesi ve birleştirilmesi.....	61
Şekil 4. 7 Tasarlanan kasa geometrisi	61
Şekil 4. 8 Üretilen kasa	62
Şekil 4. 9 Hazırlanan su tankı	63
Şekil 4. 10 Pompa ve küresel vananın montajı	63
Şekil 4. 11 Etki yüzeyi	64
Şekil 4. 12 Küresel mafsal monte edilmiş etki yüzeyi	64
Şekil 4. 13 Dijital dinamometre.....	65
Şekil 4. 14 Seçilen santrifüj pompa	66
Şekil 4. 15 Su jeti deney düzeneği.....	67
Şekil 4. 16 Ölçüm belirsizliği analizi-parça ve operatör irdelenmesi	68
Şekil 4. 17 Ölçüm yeterliliği analiz sonuçları	69
Şekil 4. 18 Ölçüm belirsizliği analiz sonuçları-tekrarlanabilirlik, parça yeniden üretilirlik ve operatörlerin irdelenmesi	70
Şekil 4. 19 Faktöriyel deney tasarımı-Minitab Programı	71
Şekil 4. 20 Tam faktöriyel deney tasarımı	72
Şekil 5. 1 Su jetinin etki yüzeyine çarpması.....	74
Şekil 5. 2 Kuvvet üzerine etki eden parametrelerin analiz sonuçları.....	75
Şekil 5. 3 Kuvvet üzerine etki eden parametrelerin sadeleştirilmiş analiz sonuçları.....	75
Şekil 5. 4 Kuvvet ölçümlerinin olasılık grafiği	76
Şekil 5. 5 Çoklu değişken grafiği.....	76
Şekil 5. 6 Parametrelerin jet kuvveti üzerindeki ana etki grafiği	77
Şekil 5. 7 Kuvvet üzerinde etkili olan parametrelerin % grafiği	78
Şekil 5. 8 Çeşitli deney koşullarında teorik ve deneysel kuvvetlerinin karşılaştırılması .	79

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Yuvarlanma mekanizmasına bağlı yüzey gerilim değerleri değişimi	9
Çizelge 4. 1 Deney planı	71
Çizelge 4. 2 Kuvvet ölçümü deney planı	72

SPREYLEME YÖNTEMİ İLE YIKAMA İŞLEMİNDE MEKANİK ETKİNİN DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Mert PATKAVAK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özden AĞRA

Yıkama prosesi, yüzey üzerinde kalan kirlerin su ve deterjan yardımıyla yüzeyden uzaklaştırılması işlemidir. Yüzeyden kir çıkarma performansını etkileyen temel faktörler mekanik etki, kimyasal etki, su sıcaklığı ve yıkama süresidir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında yıkama işleminde kir çıkarma performansını etkileyen bu faktörlerin literatür araştırması gerçekleştirilmiş olup, mekanik etki deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

Çalışma kapsamında kurulan su jeti deney düzeneğinde, nozul sisteminden çıkacak suyun etki yüzeyinde oluşturacağı su jeti kuvvetinin; debi, etki yüzeyi ile nozul arasındaki mesafe, etki yüzeyi açısı ve nozul çıkış kesit alanına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Deneysel ölçülen kuvvetler 0.09 ve 0.49 N aralığında değişmektedir. Aynı çıkış kesit alanına sahip nozulda debi arttıkça, suyun yüzeyde oluşturacağı jet kuvveti artmaktadır. Nozul çıkış kesit alanı arttıkça su jetinin uyguladığı kuvvet azalmaktadır. Benzer deney şartları için, etki yüzeyinin açısı arttıkça, yüzeye etkiyen su jeti kuvveti artmaktadır ve 90°'de maksimum değerine ulaşmaktadır. Kuvvet üzerindeki baskın değişkenler incelendiğinde debi, nozul çıkış kesit alanı ve etki yüzeyi açısının yüzeye uygulanan su jeti kuvvetine etkileri sırasıyla %58,9, %21,3 ve %14,7 olduğu belirlenmiştir. Kalan kısımları ikili ve üçlü etkileşimler oluşturmaktadır. Etki yüzeyi ile nozul arasındaki mesafenin kuvvet üzerindeki etkisi ise sınırlıdır. Momentumun korunumu ilkesine göre teorik hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen veriler, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Temizleme işlemi, mekanik etki, su jeti, jet kuvveti, lineer momentum, nozul

**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF MECHANICAL EFFECT IN
CLEANING PROCESS BY SPRAYING METHOD**

Mert PATKAVAK

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Özden AĞRA

Cleaning is the process of using water and detergent to remove soil, rust stains or other deposits from surfaces. The main parameters that influence the cleaning performance are chemicals, water temperature, cleaning time and mechanical impact on the surfaces. This thesis is related with literature survey of these factors, and experimental and theoretical study of mechanical impact of cleaning processes.

A water jet test apparatus was used to measure the force, generated by a jet of water as it strikes the surface under various experimental conditions. Measured values were between 0.09 and 0.49 N, these were a function of flow rates, angle of impact surface, distance from nozzle to impact surface and cross-sectional area of nozzle. The results showed that the higher flow rate provides a greater impact force with the same nozzle. If the cross-sectional areas of nozzles increase, the water jet impact forces decrease on similar flow rate values. For same experimental conditions, the jet impact force increases with angle of impact surfaces, reaches a maximum value on 90°. The most effective parameter on force was impact of flow rate. As a result of tests, effectiveness of impact of flow rates were 58,9%, effectiveness of cross-sectional areas of nozzles were 21,3% and effectiveness of angle of impact surfaces were 14,7%. The remaining effectiveness of impacts was double and triple interactions. The impact of distance from nozzle to surface had limited effect on the jet force. Theoretical calculations were

done according to the principle of conservation of linear momentum and they were compared with the experimental results.

Keywords: Cleaning process, mechanical impact, water jet, jet force, linear momentum, nozzle

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde doğal kaynakların kısıtlı hale gelmesi ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte endüstriyel uygulamalar ve akademik araştırmaların çoğunda olduğu gibi yıkayıcılara yönelik yapılan çalışmalar da enerjinin verimli kullanımına ve performansının artırılmasına yoğunlaşmıştır. Enerji ve su tüketimini arttırmadan yıkama performansını arttırmaya odaklanan bu çalışmaların bir sonucu olarak, yıkama ve kurutma performansı ile enerji tüketiminin standart bir yöntem ile değerlendirilmesi gereksinimi oluşmuştur. Yıkama prosesi, kullanım sonunda mutfak araçları üzerinde kalan kirlerin uzaklaştırılması amacıyla gerçekleştirilmekte olup, sıcaklığın, mekanik hareketin ve sulu deterjan çözeltisinin bir arada kullanımını temel almaktadır. Temizleme işleminde kir çıkarma performansını etkileyen dört ana faktör bulunmaktadır. Bunlar: mekanik etki, kimyasal etki, sıcaklık etkisi ve zaman etkisidir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı; yıkama işlemine etki eden parametrelerden biri olan mekanik etkininin, teorik ve deneysel çalışmalar ile incelenmesidir. Çalışma kapsamında kurulan deney düzeneğinde, bir nozul sisteminden çıkacak suyun etki yüzeyine çarpması sırasında oluşturacağı su jeti kuvveti; değişen debi, etki yüzeyi ile nozul arasındaki mesafe, etki yüzeyi açısı ve nozul çıkış kesit alanına bağlı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar, teorik hesaplarla karşılaştırılmıştır.

1.3 Hipotez

Su jeti deney düzeneğinde, nozul sisteminden çıkacak suyun etki yüzeyinde oluşturacağı su jeti kuvvetinin; debi, etki yüzeyi ile nozul arasındaki mesafe, etki yüzeyi açısı ve nozul çıkış kesit alanına bağlı olarak değişimi incelenerek, temizleme işlemi üzerinde genel bir mekanik etki modellenmesi yapılmıştır.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Aşağıda belirtilen konulardaki çalışmalar, yapılan literatür araştırması kapsamında incelenmiştir:

- Genel bilgiler
 - Temizleme işlemi
 - Su jeti ve oluşumu
 - Nozullar
 - Yıkayıcılar
 - Deney tasarımı
- Makale araştırması
- Patent araştırması

Çalışma konularından anlaşılacağı üzere, genel olarak temizleme işlemi, temizleme işlemine etki eden parametreler ve kullanılan ekipmanlar hakkında detaylı bir inceleme yapılmıştır.

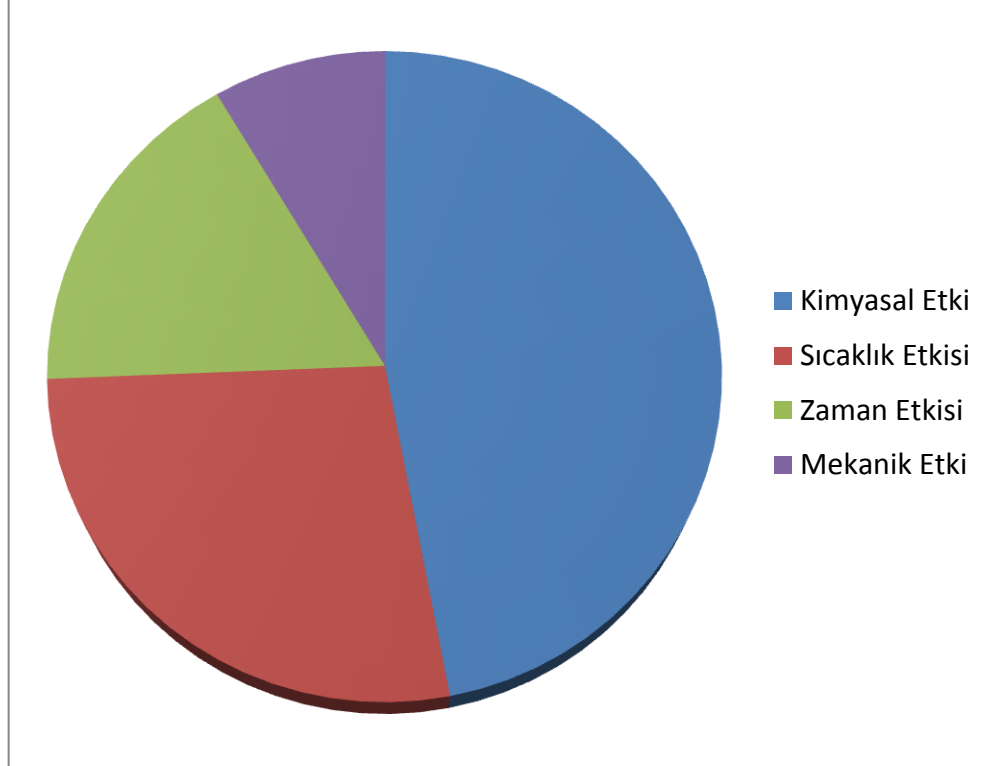
2.1 Genel Bilgiler

2.1.1 Temizleme İşlemi

Temizleme işleminde amaç, kir ile yüzey arasında oluşan bağı koparmaktır. Temizleme işleminde kir çıkarma performansını etkileyen dört ana faktör bulunmaktadır. Bunlar: mekanik etki, kimyasal etki, sıcaklık etkisi ve zaman etkisidir.

Tsouknidas ve Zhang'ın [1] 2010 yılında yayınladığı çalışmasında, kir çıkarma performansına etkileyen faktörler incelenmiştir. Kimyasal etki, yıkanacak cisim üzerindeki kir ile yıkama sıvısı arasındaki etkileşimi ilgilendirirken, sıcaklık etkisi, yıkama sıvısının, kir çıkarma işlemindeki performansını değiştirmektedir. Zaman etkisi ise kir üzerine uygulanacak kuvvetin etki süresiyle ilgili olup tüm parametreleri etkileyen faktördür.

Mekanik etki ise kimyasal etki, sıcaklık ve zamandan bağımsız olmamakla birlikte, sıvının kirli yüzey ile mekanik etkileşiminde etkilidir. Mekanik etkinin alt kollarında ise sıvının momentumu, geliş açısı ve sıvı partikülün geometrisi bulunmaktadır.

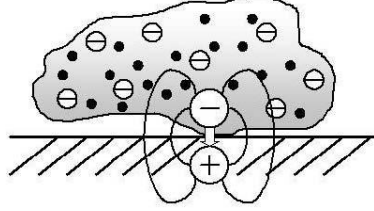


Şekil 2. 1 Bulaşık makinesinde yıkama performansını etkileyen faktörler [1]

Kir, nesnelere üzerinde üç farklı şekilde oluşabilir:

- **Elektrostatik çekim:**

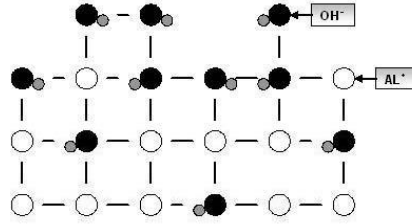
Bir yüzey kirden farklı bir yüke sahip olduğunda, bu karşılıklı yük sonucunda nesne kiri çeker ve üzerinde kir oluşur.



Şekil 2. 2 Elektrostatik çekimin gösterilişi [2]

- **Kimyasal malzeme dönüşümü:**

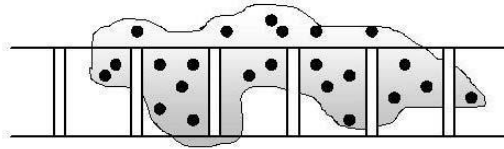
Malzeme dönüşümü sonucunda yüzey değişir ve kirli görünür.



Şekil 2. 3 Yüzeydeki kirin gösterilişi [2]

- **Birbirine geçme:**

Kir, pürüzlü bir yüzeye takılır ve ikisi birbirlerine geçer.



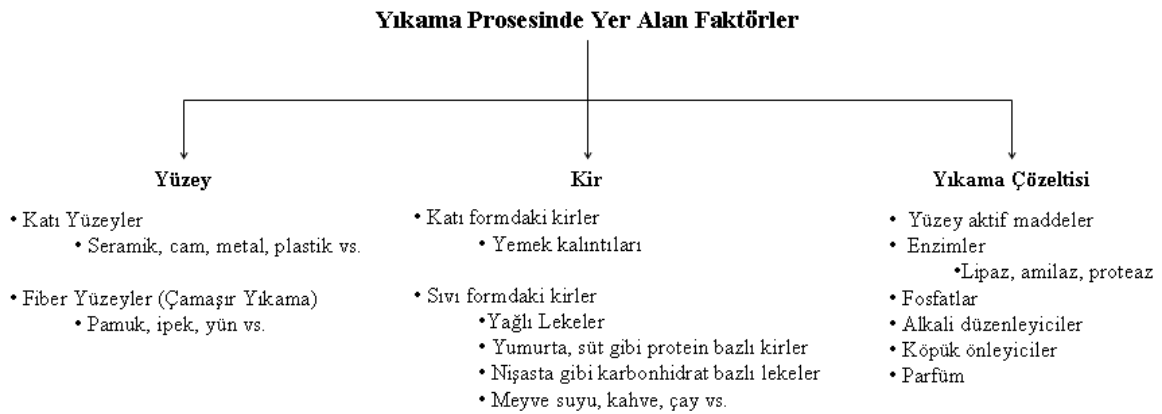
Şekil 2. 4 Kirin yüzeye geçmesi [2]

Farklı iki madde arasında var olan ve bu iki maddenin birbirine yapışmasını sağlayan çekim kuvvetine adhezyon, 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. Bu olgu sonucunda sıvılardaki yüzey gerilimi adı verilen olgu meydana gelir [3].

2.1.1.1 Temizleme İşleminde Yer Alan Faktör ve Mekanizmaların Açıklanması

Yıkama prosesi, kullanım sonunda yüzey üzerinde kalan kirlerin uzaklaştırılması amacıyla gerçekleştirilmekte olup, sıcaklığın, mekanik hareketin ve sulu deterjan çözeltisinin bir arada kullanımını temel almaktadır. Temizleme proseslerinin tamamında etkili olan faktörler *yüzey*, *kir* ve *yıkama çözeltisi* olarak tanımlanmaktadır [4].



Şekil 2. 5 Yıkama prosesinde yer alan faktörler [4]

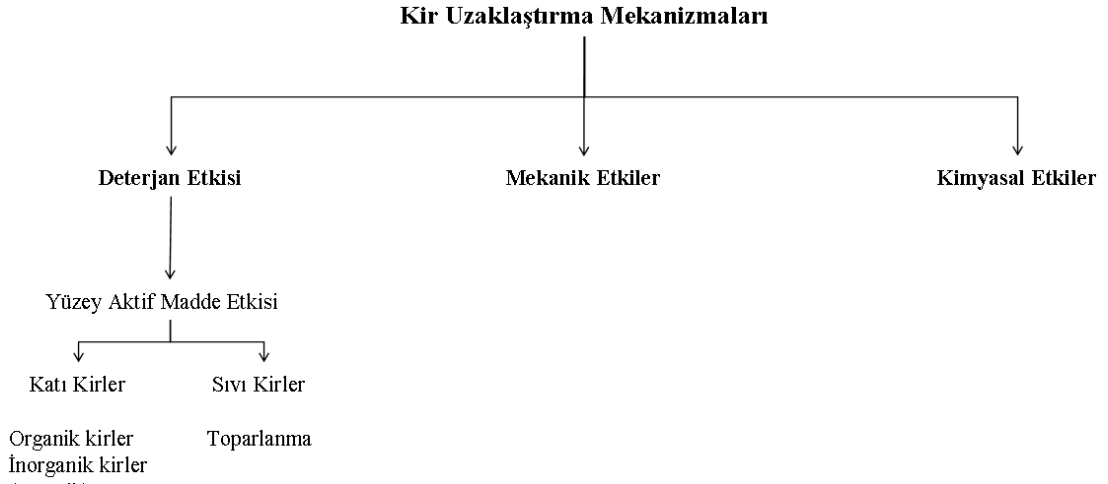
Yüzey, temizleme işlemlerinin tamamında, kirin uzaklaştırılacağı, mekanik bir etkinin uygulanacağı yer olarak tanımlanmaktadır. Yüzeyin porozitesi, yüzey alanı ve yüzeydeki yük miktarı yıkamaya etki eden önemli yüzey özelliklerinin başında gelmektedir. Temizleme işleminde yüzeyler, katı ve fiber yüzeyler olmak üzere iki kategoride incelenmektedir. Katı yüzeyler, seramik, cam, metal, plastik vs. gibi malzemelerden oluşmakta olup, bulaşık yıkama prosesinde kullanılmaktadır. Fiber yüzeyler ise; pamuk, ipek, yün gibi malzemeleri içermekle birlikte, çamaşır yıkama işleminde kullanılan yüzeylerdir [4].

Kir, temizleme işleminde yüzeyden uzaklaştırılacak katı veya sıvı formdaki, yüzeyde istenmeyen maddelerdir. Yemek kalıntıları, yağlı lekeler, süt ve yumurta gibi protein bazlı kirler, nişasta gibi karbonhidrat bazlı lekeler, meyve suyu, çay, kahve vs. gibi lekeler günlük hayatta sıkça rastladığımız kir türleridir [4].

Yıkama çözeltisi ise; temizleme işlemlerinde kirin yüzeyden uzaklaştırılması amacıyla kullanılan, deterjan ve yardımcı kimyasallardan oluşan diğer bir önemli faktördür. Deterjanlar temel olarak yüzey aktif maddeler, enzimler, köpük önleyiciler, alkali maddeler, sertlik düzenleyiciler ve parfüm gibi çok sayıda farklı bileşenden oluşmaktadır. Yüzey aktif maddeler, sıvının gerilimini düşürerek, çözeltilerin kire daha fazla nüfuz etmesini ve yüzeyden daha kolay uzaklaştırılmasında görev almaktadır. Enzimler, karbonhidrat, yağ ve protein gibi temel organik bileşenlerle etkileşimde bulunmaktadır. Diğer bileşenler ise; bu mekanizmaya yardım eden, yıkama performansını arttıran yardımcı maddelerdir [4].

Şekil 2.5’de gösterilen, yıkama prosesinde yer alan faktörler 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 2.6’da görüldüğü gibi üç temel prensibe dayanmaktadır. 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. Çözücü bir madde yardımı ile kirin parçalanması kimyasal etki ile açıklanırken; bunlardan farklı olarak deterjan etkisi ile yüzey-aktif madde (*surfactant*) aracılığı ile kirin yüzeyden uzaklaştırılması sağlanmaktadır [5].

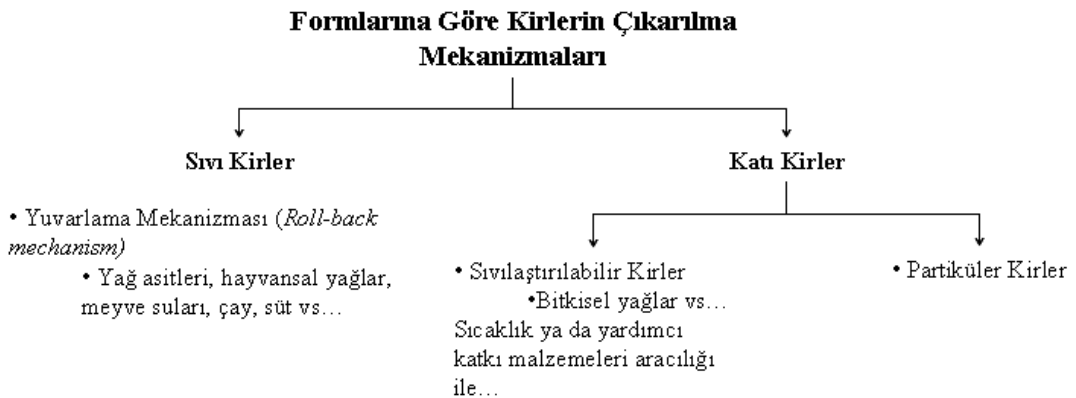


Şekil 2. 6 Kir uzaklaştırma mekanizmaları [4]

Kir taneciklerinin yüzeye tutunmasında farklı yüzeyel etkileşimler rol oynamakta ve buna bağlı olarak kirlerin yüzeyden uzaklaştırılmasında da farklı mekanizmalar etkili olmaktadır [4].

Van der Waals gibi zayıf fiziksel adsorbsiyon ya da elektrostatik etkileşimler ile yüzeye tutunan kirlerin uzaklaştırılmasında; yüzey-aktif maddelerin kir üzerine adsorplanması ve yüzey ile kir arasındaki yüzey gerilimini ve/veya elektriksel potansiyelini değiştirmesi etkili olmaktadır [4].

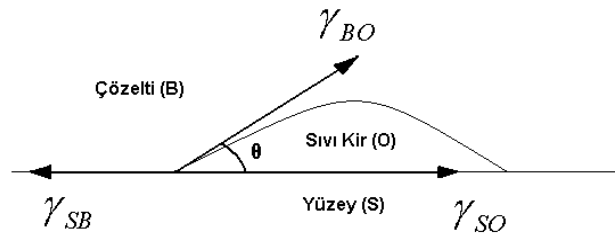
Kir türlerinin formlarına bağlı olarak, yüzey aktif maddeler ile uzaklaştırılma mekanizmaları Şekil 2.7’de özetlendiği gibi sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2. 7 Formlarına göre kirlerin çıkarılma mekanizmalarının sınıflandırılması [4]

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 2.8'deki gibidir [4].



Şekil 2. 8 Sıvı kir ve yüzey arasındaki temas açısı gösterimi [4]

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.

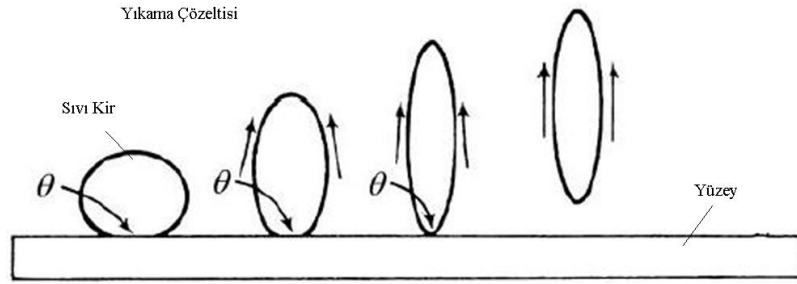
Sıvı kirlerin katı yüzeyden uzaklaştırılmasında etkili olan yuvarlanma mekanizmasında yüzey aktif madde adsorbsiyonuyla, çeşitli ara yüzeylerdeki ara yüzey gerilim değerlerinin değişimi Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2. 1 Yuvarlanma mekanizmasına bağlı yüzey gerilim değerleri değişimi [6]

Zaman	θ	$\cos(\theta)$	γ_{ij}
$t = 0$	$0 < \theta < 90^\circ$	$1 > \cos(\theta) > 0$	$\gamma_{SB} > \gamma_{SO}$ $\gamma_{SB} - \gamma_{SO} < \gamma_{OB}$
$t = t_1$	$\theta = 90^\circ$	$\cos(\theta) = 0$	$\gamma_{SB} = \gamma_{SO}$ $\gamma_{OB} \neq 0$
$t = t_2$	$90^\circ < \theta < 180^\circ$	$0 > \cos(\theta) > -1$	$\gamma_{SB} < \gamma_{SO}$ $ \gamma_{SB} - \gamma_{SO} < \gamma_{OB}$

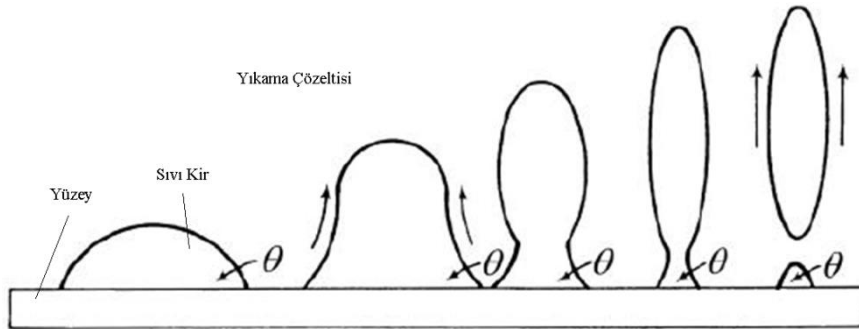
Sıvı kirlerin yüzey-aktif madde ile uzaklaştırılmasında; yüzey-aktif maddenin yüzey-kir arasındaki temas açısını arttırmadaki başarısı etkili olmaktadır. Temas açısının 90° 'nin

üstünde olması durumunda hidrolik hareket ile sıvı kirin yüzeyden uzaklaştırılması Şekil 2.9'da gösterildiği gibi gerçekleşmektedir.



Şekil 2. 9 $\theta > 90^\circ$ durumunda kirin yüzeyden tamamen uzaklaştırılması [4]

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 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2. 10 $\theta < 90^\circ$ durumunda kirin yüzeyden koparılabilir olarak kısmen uzaklaştırılması [4]

Yüzey ile sıvı kir arasındaki temas açısının 180° olduğu özel durumlarda ise kir, sulu ortam etkisi ile yüzeyden kendiliğinden uzaklaşmaktadır [4].

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 [4].

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 [4].

2.1.2 Su Jeti ve Oluşumu

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

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

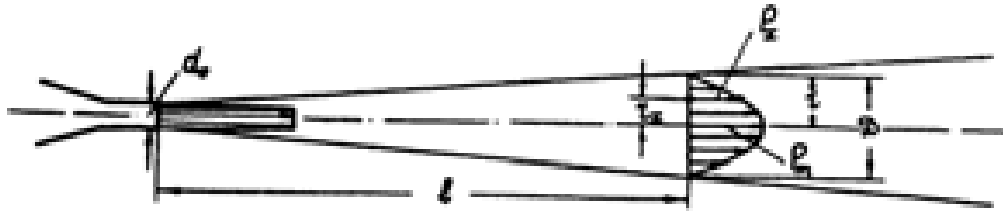
Su jetininin temizlik amacıyla kullanıldığı alanlar:

- Boru hattı temizliği
- Eşanjör temizliği
- Kazan Temizliği
- Metal ve beton yüzey temizliği
- Reaktör temizliği
- Tank iç ve dış yüzey temizliği
- Zift temizliği gibi işlemlerde kullanılmaktadır [7].

Suya küçük bir nozuldan yol verilmesi halinde, oldukça yüksek hıza sahip jetler elde edilebilmektedir. Boru içerisindeki hızı, saniyede bir kaç metre olan su nozula ulaştığında, oldukça yüksek bir ivme ile dışarı akmaya zorlanır. Sonuçta nozul çapına bağlı olarak, yüksek hızlara sahip jetler elde edilir. Basıncı su nozula ulaştığında,

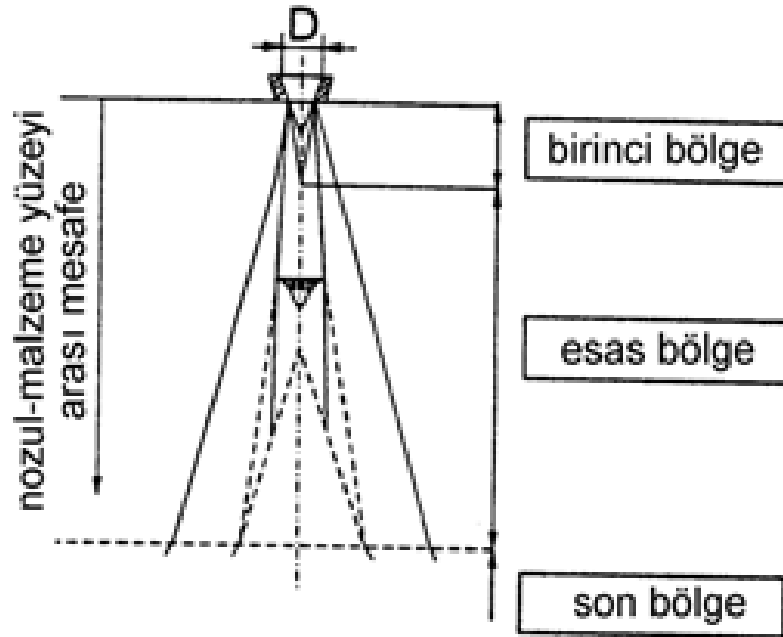
sıvıdaki basıncın değerinde atmosferik basınç düzeyine kadar bir düşüş meydana gelecektir. Sistemdeki enerji sabit olduğundan, sudaki hidrostatik enerji kinetik enerjiye dönüşür ve yüksek hıza sahip su jeti elde edilir [8].

Suyun nozulu 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 2.11’de görüldüğü gibi çana benzer bir basınç profili meydana gelecektir. Farklı basınç profiline sahip bir jet, sabit basınç profiline sahip jetlerle karşılaştırıldığında, basınç farkı nedeniyle, yüzeyden daha fazla kir uzaklaştırırlar [8].



Şekil 2. 11 Orifisten akan bir jet kesitindeki dinamik basınç dağılımı [8]

2.1.2.1 Su Jetinin Yapısı



Şekil 2. 12 Su jetinin yapısı [8]

Su jeti üç ana yapıdan oluşmaktadır.

Birinci Bölge: Nozuldan hemen sonra gelen ilk bölgede jet, sürekli akış özelliğinde ve aksiyal dinamik basınca sahiptir. Bu bölge suyun hızı, nozuldan çıkan suyun hızına eşit olarak kabul edilmektedir. Bu alanda sudan havaya olan kütle ve momentum aktarımı düzensizdir [9].

Esas Bölge: Esas olarak su jetiyle işin yapıldığı bölge burasıdır. Bu bölgede su jeti damlacıklara dönüşmektedir. Bu bölgedeki damlacıkların yüzeye çarpmasıyla oluşan pikler halindeki yükler, birinci bölgenin sağlayacağı yüklerden oldukça yüksektir. Su jeti ilerledikçe hava ile olan momentum transferi sonucunda damlacık çapı küçülür ve hızı yavaşlar. Giderek etrafa yayılan bir hareket sergiler. Bu kısım; iki ayrı bölgeden oluşmaktadır.

Esas bölgenin dış kısmı; suyun momentinin büyük bir kısmının havaya iletildiği kısımdır. Damlacık boyutları çok küçüktür ve bu bölgede damlacık hızları ihmal edilmektedir.

Esas bölgenin iç kısmı ise; su jetinin esas karakteristiğinin korunduğu bölgedir. Hız değerleri yüksek mertebelere sahiptir. Bu kısımda suyun momentinden etkin olarak yararlanılabilir [9].

Son Bölge: Esas bölgeden hemen sonra jet difüzyonun (yayılma) meydana geldiği son bölge yer alır. Damlacıklar bu bölgeye ulaştıklarında, oldukça küçüktürler. Suyun momentinin tamamını havaya ilettiği, küçük damlacıklardan oluşan, hızın ihmal edildiği bölge olarak tanımlanmaktadır [9].

2.1.3 Nozullar

Bir akışkanın hızını arttırmaya yarayan akış elemanına nozul denir. 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.

Nozullar, süreklilik denklemi esasına göre çalışan, akışkanın sabit debi altında hızlandırılmasını sağlayan araçlardır.



Şekil 2. 13 Kesitleri farklı borudaki akış

Bir akım borusu içerisinde sıkışabilir bir akışkanın kararlı akımını göz önüne alalım ve (1) kesitinde; kesit alanı A_1 , ortalama hızı v_1 , akışkanın ortalama özkütlesi ρ_1 ve kütleli debisi m_1 , (2) kesitinde kesit alanı A_2 , ortalama hızı v_2 , akışkanın ortalama özkütlesi ρ_2 ve kütleli debisi m_2 , olsun. Kütle korunduğu ve akışkan kararlı olduğu için, Δt süresi içinde A_1 kesitinden geçen kütle aynı süre içinde A_2 kesitinden geçen kütleyle eşit olur.

$$\Delta m_1 = \Delta m_2 \quad (2.2)$$

veya

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2 \quad (2.3)$$

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

$$\rho_1 = \rho_2 = \text{sabit} \quad (2.4)$$

süreklilik denklemi;

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = \dot{V} \text{ sabit} \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki \dot{V} sembolüne hacimsel debi veya kısaca debi denir. Debi; birim zamanda sistemden geçen akışkan hacmi anlamına gelir. İşte nozulların çalışma mantığı da bu süreklilik denkleminde anlaşılmaktadır [10].

2.1.3.1 Nozul Seçim Kriterleri

- Debi
- Basınç
- Püskürtme açısı

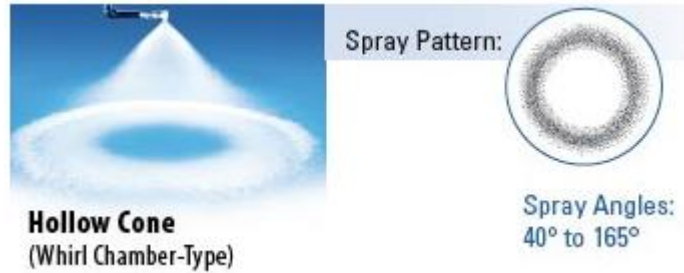
- Akışın dağılımı
- Çarpma etkisi
- Damlacık boyutu

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

2.1.4 Püskürtme Çeşitleri

2.1.4.1 İçi Boş Koni Dirsekli Tip Püskürtme:

Çeşitli kapasitelerde ve damlacık çaplarında çeşitleri vardır. Hava ve damlacığın birbirine iyi temas etmesini sağlar. Çeşitli kapasitede ve damlacık çapında seçeneklerinin olması, küçük damlacık çapı ve düşük kapasitenin bir arada gerektiği çokça uygulamada içi boş koni püskürten nozulların kullanılabilmesini sağlar. Püskürtme açıları 40° - 165° arasındadır [11].



Şekil 2. 14 İçi boş koni (dirsekli) tip püskürtme türü [11]

2.1.4.2 İçi Boş Koni Şaşırtmalı Tip Püskürtme:

Şemsiye şekline benzer bir içi boş koni şekli elde edebilmek üzere yön saptırıcı parça kullanılır. Kanalların ve boruların iç yüzeyleri ile küçük tankların, yüksek kapasitelerle temizlenmesinde kullanılır. Püskürtme açıları 100° - 180° arasındadır [11].



Şekil 2. 15 İçi boş koni (şaşırtmalı tip) püskürtme türü [11]

2.1.4.3 İçi Boş Koni Spiral Tip Püskürtme:

Diğer içi boş koni nozullara nispetle daha kalın damlacıklara sahiptir. Yüksek debilerde çalışır. Tek parça tasarımı, belirli boru ölçüsü için maksimum püskürtme sağlar. Püskürtme açıları 50° - 180° arasındadır [11].



Şekil 2. 16 İçi boş koni (spiral tip) püskürtme türü [11]

2.1.4.4 İçi Dolu Koni Tip Püskürtme:

Orta/büyük damlacık çaplı, homojen, içi dolu koni şeklinde püskürtebilmek için dahili kanat bulunmaktadır. Çalışma debisi orta/büyük debilerdir. Bazı kanatsız ve içi dolu oval püskürtme şekilli modelleri de mevcuttur. Püskürtme açıları 15° - 125° arasındadır [11].



Şekil 2. 17 İçi dolu koni püskürtme türü [11]

2.1.4.5 İçi Dolu Koni Spiral Tip Püskürtme:

Minimum tıkanma ihtimali ile diğerlerine nispeten daha kalın damlacıklı içi dolu koni şekli oluşturur. Kaplama genişliği, standart kanatlı nozullar kadar homojen değildir. Yüksek debilerde çalışır. Püskürtme açıları 50° - 170° arasındadır [11].



Şekil 2. 18 İçi dolu koni (spiral tip) püskürtme türü [11]

2.1.4.6 Yassı Oval Tip Püskürtme:

Oval köşeli yassı şeklinde püskürten nozullar genellikle, üst üste bindirmeli dağılımın bir sonucu olarak, tüm alan boyunca homojen kaplama yapabilmek üzere kullanılır. Homojen kaplama yapmak için, püskürtme manifoldu veya başlığı üzerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Püskürtme açıları 15° - 110° arasındadır [11].



Şekil 2. 19 Yassı püskürtme (oval tip) türü [11]

2.1.4.7 Yassı Eşit Bitişli Tip Püskürtme:

Tüm yassı püskürtme boyunca eşit dağılımlı püskürtme sağlar. Orta büyüklükte damlacık üretir. Yüksek ve homojen çarpma etkisi gerektiğinde idealdir. Kalın diktörgegen şekliyle homojen kaplama sağlar. Manifoldlarda, nozullar birinin bittiği yerden başlayacak şekilde dikkatlice dizilir. Esas olarak, yüksek çarpma etkili uygulamalar için tasarlanmıştır. Püskürtme açıları 25° - 65° arasındadır [11].



Şekil 2. 20 Yassı püskürtme (eşit bitişli) türü [11]

2.1.4.8 Yassı Şaşırtmalı Tip Püskürtme:

Göreceli olarak eşit bitişli orta büyüklükte damlacıklı püskürtme yapar. Püskürtme şekli, püskürtülen sıvının yuvarlak bir delikte açılı bir yüzeye doğru akıp devam etmesiyle oluşur. Geniş delikli tasarımı sayesinde tıkanma azalır. Dar püskürtme açıları ile yüksek çarpma etkisi, geniş püskürtme açıları ile düşük çarpma etkisi sağlanır. Püskürtme açıları 14° - 153° arasındadır [11].



Şekil 2. 21 Yassı püskürtme (şaşırtmalı tip) türü [11]

2.1.4.9 Noktasal Tip Püskürtme:

Noktasal püskürten nozullar birim alan başına en yüksek çarpma etkisini sağlayan nozullardır. Yüksek çarpma etkisi gerektiren her uygulama için idealdir. Püskürtme açıları 0° 'dir. Deney düzeneğinde kullanılan püskürtme türüdür [11].



Şekil 2. 22 Noktasal püskürtme türü [11]

2.1.4.10 Atomize Tip Püskürtme:

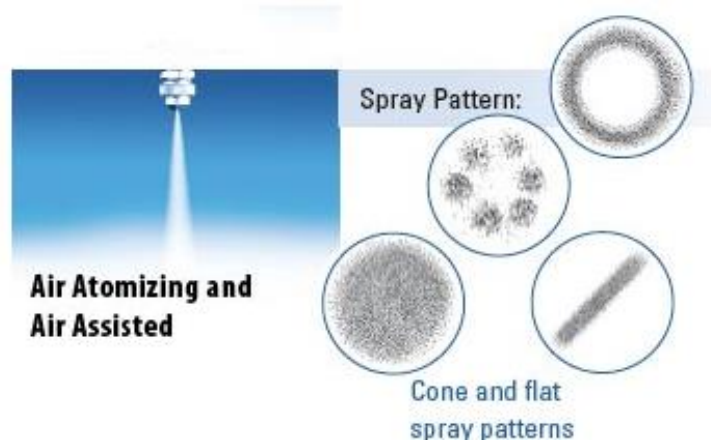
Hidrolik, ince atomize, düşük kapasiteli, içi boş koni şeklinde püskürtme sağlanır. Kompresör havası istenmediği zaman, ince püskürtme sağlamak için kullanılır. Püskürtme açıları 35° - 165° arasındadır [11].



Şekil 2. 23 Atomize püskürtme türü [11]

2.1.4.11 Hava Parçalı ve Hava Destekli Tip Püskürtme:

Hava ve sıvı basınçlarının birleşiminden atomizasyon sağlanır. Hava destekli nozullarda, ince tanecik oluşumu için dahili çarpışma olur. Geniş kapasite seçeneklerine sahip, ince püskürtme yapan ürün gruplarından, en çok tercih edilen nozul grubudur [11].



Şekil 2. 24 Hava parçalı ve hava destekli püskürtme türü [11]

2.1.5 Yıkayıcılar

Günümüzde mutfak gereçlerini yıkama işlemini yıkayıcılar yapmaktadır. İlk mekanik yıkama sistemine ait patent 1850 yılında alınmış olup, suyun mutfak gereçlerine iletilmesi için otomatik bir sisteme sahip değildi. Otomatik sürekli su püskürtme sistemine sahip ilk yıkayıcı modelleri ise 1900'lü yıllarda ortaya çıkmış ve sepet,

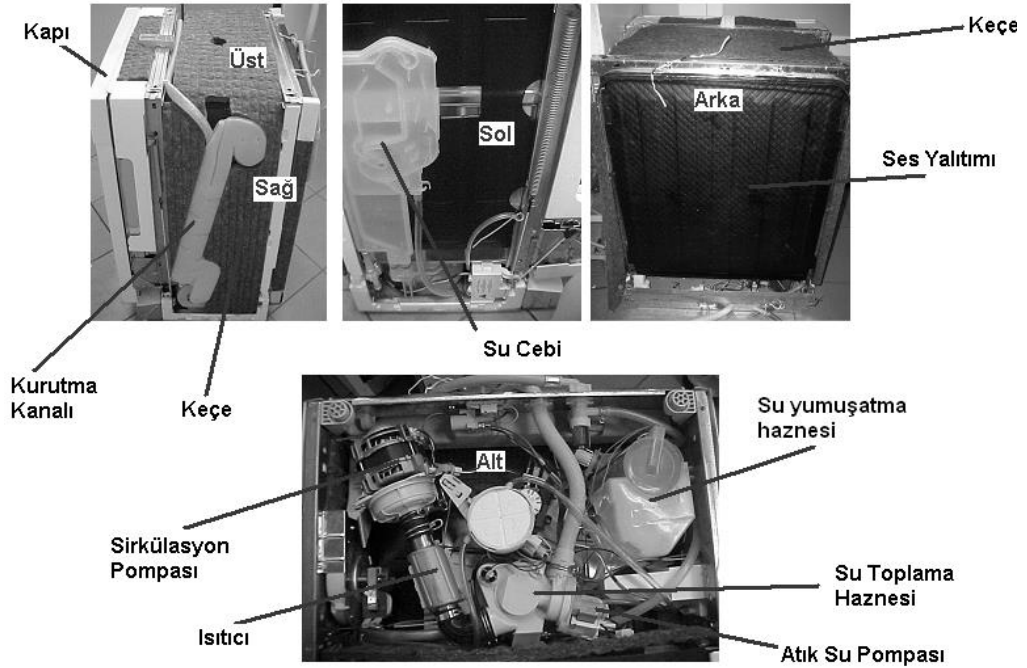
pervane, deterjan gözü gibi ek parçalar ve yıkama, durulama kurutma adımlarının optimizasyonu ile geliştirilmiştir [12].



Şekil 2. 25 Yıkayıcı [13]

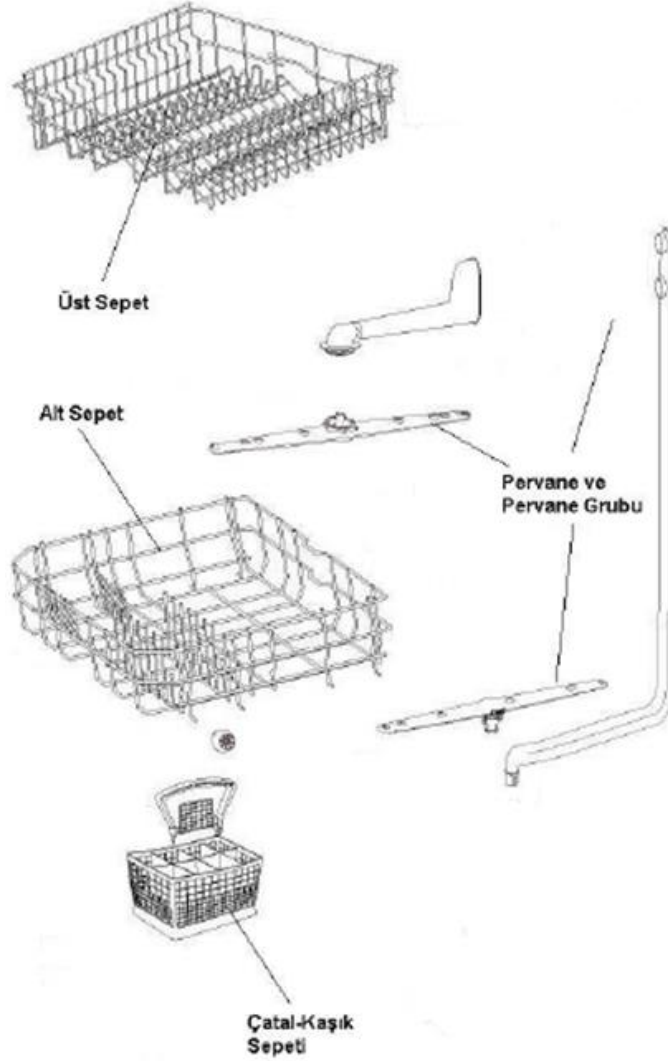
2.1.5.1 Yıkayıcının Temel Bölümleri

Yıkayıcılar temel olarak; ön panel, yıkama grubu, kapı ve kazan grubu olmak üzere toplam 4 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler ve aksamaları Şekil 2.26'da gösterilmektedir



Şekil 2. 26 Yıkayıcının bölüm ve aksamaları [12]

Yıkayıcının temel bölümlerinden biri olan yıkama grubu; yıkanacak mutfak gereçlerinin yerleştirildiği alt ve üst sepet bileşenleri, çatal-kaşık sepeti, pervaneler ve filtreleri içeren yıkamanın gerçekleştiği bölümdür. Yıkama grubunda yer alan alt ve üst sepetler, çatal-kaşık sepeti ile pervaneler plastik malzemeler olup, filtre grubunda metal malzemeler kullanılmaktadır. Pervane, sepetler ve filtreleri içeren yıkama grubunun şematik gösterimi Şekil 2.27'deki gibidir [12].



Şekil 2. 27 Yıkayıcının yıkama grubu [12]

Sepete bağlı olan üst pervane ve kazan alt bölgesine bağlı olan alt pervane, üzerinde bulunan delikler aracılığı ile suyun makina içerisine iletimini sağlamaktadır. Pervane üstündeki delikler ve yerleşimleri, yıkama performansının artırılmasına yönelik olarak tasarlanmaktadır. Genellikle günümüz yıkayıcılarında bu pervaneler suyun açılal

momentumu ile dönmekte olup, enerji tasarrufu açısından harici bir motor kullanmaktan kaçınılmaktadır.

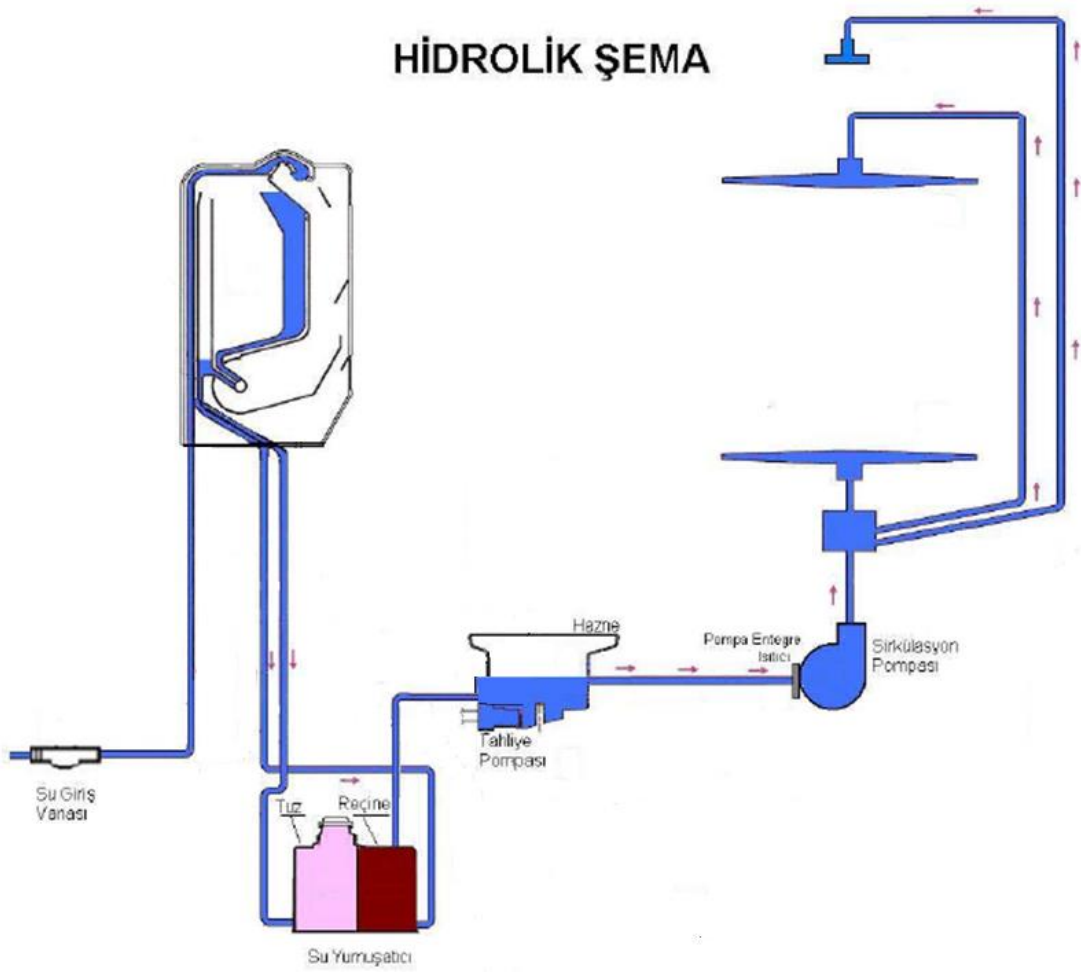


Şekil 2. 28 Yıkayıcılarda pervanenin konumu [14]

2.1.5.2 Yıkayıcıların Çalışma Prensibi

Yıkayıcıların 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 bol su ile yıkanmaktadır. Soğuk ve sıcak yıkamanın ardından deterjanın uzaklaştırılması için durulama adımı ve son olarak mutfak gereçlerinin kurutulması adımı gerçekleşmektedir. Her yıkama adımının başında şebekeden gelen soğuk su makinaya alınmakta ve yıkama adımına bağlı olarak belli bir sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Adım boyunca kullanılan su, makinadan uzaklaştırılırken sıcaklığı bir miktar düşmekte ve mutfak gereçleri üzerindeki kiri taşımaktadır [15].

Yıkayıcının çalışmasını gösteren hidrolik şema Şekil 2.29'da gösterilmiştir.



Şekil 2. 29 Yıkayıcının hidrolik şeması [16]

2.1.6 Deney Tasarımı

Hem endüstriyel çalışmalarda hem de akademik çalışmalarda ekonomik kaynakların kısıtlı olması ve kısa sürede sonuca ulaşmak 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 [17].

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

- 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 [17].

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)”, eř 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 [17].

Endüstride deney tasarımı çalışmaları ürün kalitesini yükseltmek için sistematik Şekilde retim aşamasındaki proseslere ve ürünlere uygulanmaktadır. rn kalitesine etki eden proses aşamasını ve ürün komponentlerini belirledikten sonra, ürünün retilirliği, güvenilirliği ve performansına yönelik iyileştirme çalışmaları doğrudan yapılabilmektedir. Örneğin, kaplama çeşidinin ve fırın sıcaklığının elik çubuk üzerindeki korozyon direncine etkisinin incelenmesi aşamasında, deney tasarımı ile kaplama ve sıcaklık parametrelerinin farklı değerlerinde elde edilecek korozyon direncinin ölçülmesi ve sonunda istenilen korozyon direnci değerine uygun kaplama çeşidi ve sıcaklık değerlerinin tespit edilmesi sağlanmaktadır [18].

Limitlerin sınırlı olmasından dolayı, yapılan her deneyden sonra en fazla bilginin toplanabilmesi çok önemlidir. İyi tasarlanmış deney tasarımlarında organize olmamış ve planlanmamış deneylerin sayısı oldukça az olmasından dolayı göreceli olarak çok daha fazla bilgi toplanabilmektedir. Ek olarak, iyi tasarlanmış deney tasarımlarında, önemli olduğu belirlenmiş etkiler birlikte değerlendirilebilmektedir. Örneğin, iki girdi değişkenin 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.

Deney tasarımı; planlama, perdeleme, optimizasyon ve doğrulama olmak üzere 4 aşamada gerçekleştirilmektedir. Bu aşamalar aşağıda kısaca anlatılmaktadır [17, 18].

- **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. Örneğin, sigara içmenin kanser üzerine etkisi ile ilgili bir çalışmada, seçilen kişilere günde belirli sayıda sigara verilmesi ve sonuçlarının gözlenmesi etik açıdan kabul edilemeyecek bir durumdur. Böyle bir çalışma ancak denek olarak seçilen ve kendilerini az, orta ve çok tiryaki olarak tanımlayan kişilerin gözlenmesi ile mümkün olmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma sigara içen kişileri denek olarak kullanmadan sadece onları gözlemlemeye dayalı bir çalışma olmasından dolayı deneysel değil, gözlemsel bir çalışmadır.

- 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:** Ürün geliştirme ve üretim uygulamalarında sonuç üzerinde olası etkili değişkenlerin sayısı çok fazladır. Perdeleme, ürün kalitesi üzerinde etkili olabilecek önemli değişkenleri belirleyerek, etkili olabilecek değişkenlerin sayısını azaltmaktadır. Böylece proses 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. Bunun ardından optimizasyon metotları ile en iyi koşulların sağlanmasına ve eğer sistemde eğrisellik varsa, eğriselliğin doğasının anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

Perdeleme için kullanılacak metotlar; endüstride fazlaca kullanılan iki düzeyli tam faktöriyel veya kesirli faktöriyel deney tasarımları, düşük çözünürlüğe sahip fakat bazı perdeleme yöntemlerinde kullanışlı olan ve kaba testlerde oldukça fazla kullanılan Plackett-Burman tasarımları ve iki düzeyden fazla tasarımlarda kullanılan genel tam faktöriyel tasarımlardır.

- **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 ürünlerdeki değişkenliğin azaltılması verilebilir. Optimizasyon için kullanılacak başlıca metotlar; faktöriyel tasarımlar, cevap yüzey tasarımları, karışım tasarımları, cevap optimizasyonları ve son olarak Taguchi tasarımlardır.

- **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.

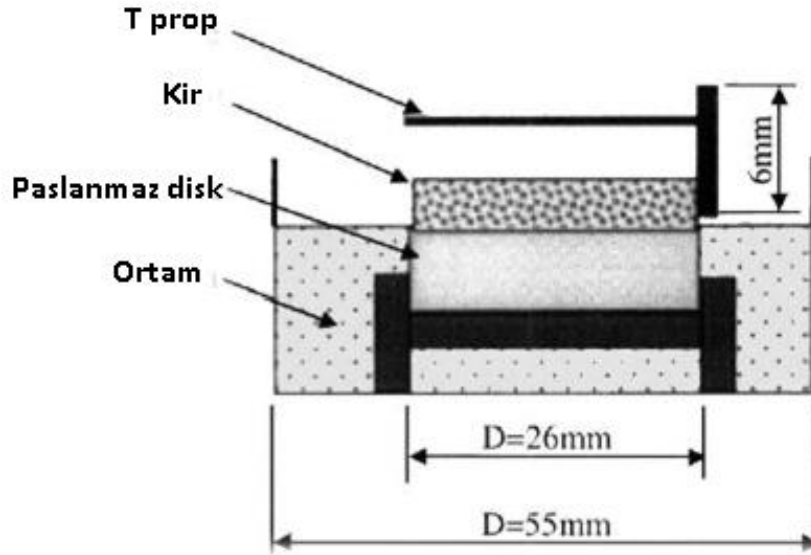
Tam faktöriyel deney tasarımları kullanılarak oluşturulan modellerin endüstride yaygınlaşması ile ürün kalitelerinde artış ve maliyetlerde düşüş sağlanabilmiştir. Deney tasarımları ile kurulan modeller aracılığı ile bağımlı çıktı bağımsız girdiler cinsinden ifade edilebilmektedir. Tam faktöriyel testlerde, 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 [19].

Tez çalışmasında yıkama performansına etki eden parametrelerden mekanik etki; suyun debisi, etki yüzeyinin açısı, nozul çıkış kesit alanı ve nozul ile etki yüzeyi arasındaki mesafe faktörleri, bulaşık makinesindeki pervanenin çalışma şartlarına göre belli değer aralıklarında nümerik olarak belirlenip, tam faktöriyel, orta noktalı ve çift tekrarlı deney tasarımı ile incelenmiştir.

2.2 Makale Araştırması

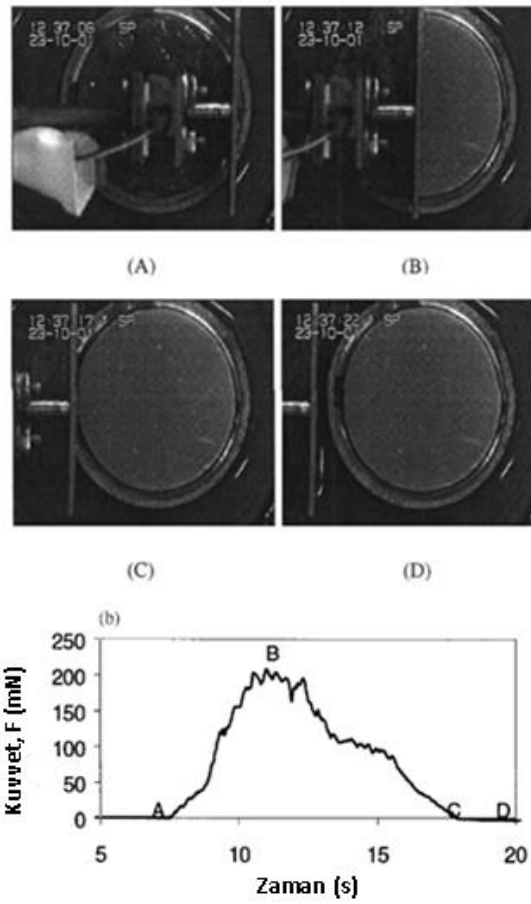
Liu ve Christian tarafından [20] 2002 yılında gerçekleştirilen çalışmada, domates salçasının fırınlanmış olarak paslanmaz çelik üzerinde; değişen fırınlama süresi, hidrasyon süresi ve çalışma sıcaklığında davranışı incelenmiştir.

Domates salçasının bileşenleri: %67 su, %12,9 karbonhidrat, %12,6 şeker, %4,5 protein, %2,8 lif ve %0,2 yağdır. Bu salçanın 0,8 gramı 26 mm çapında disk yüzeyine sürülmüş ve ardından fırınlanmıştır (100 °C, 1 saat). Ardından disk oda sıcaklığında soğutulmuş ve petri kabına koyulmuştur. Salçanın yüzeyine saf su dökülerek hidrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Önceden belirlenen hidrasyon süresince bekletilip ardından kuvvet ölçümleri yapılmıştır.



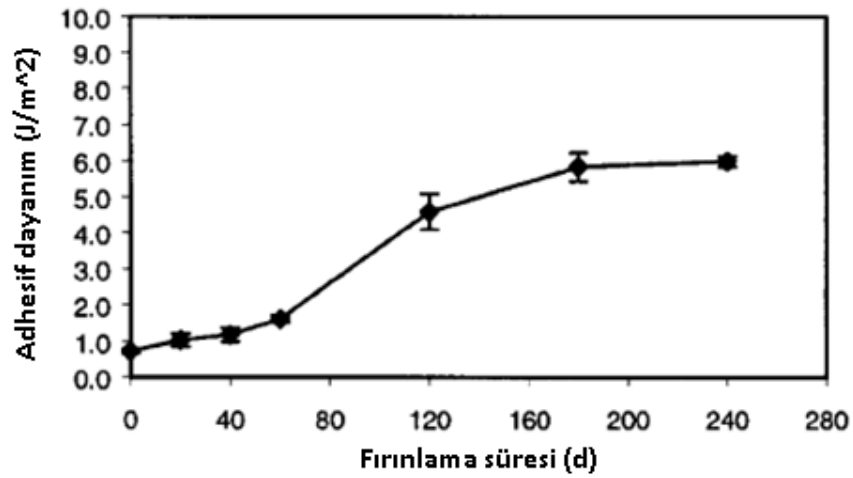
Şekil 2.30 Mikromanipülatör sistemi [20]

Kuvvet ölçümlerinde Şekil 2.30'da görüldüğü üzere T şeklindeki prop kullanılmıştır. T şeklindeki probun ucuna yüzeydeki kir filmi parçalayabilmek için gerekli olan kuvveti belirleyebilmek ve yüzeydeki kir kalınlığını ölçebilmek için kuvvet transdüseri yerleştirilmiştir.



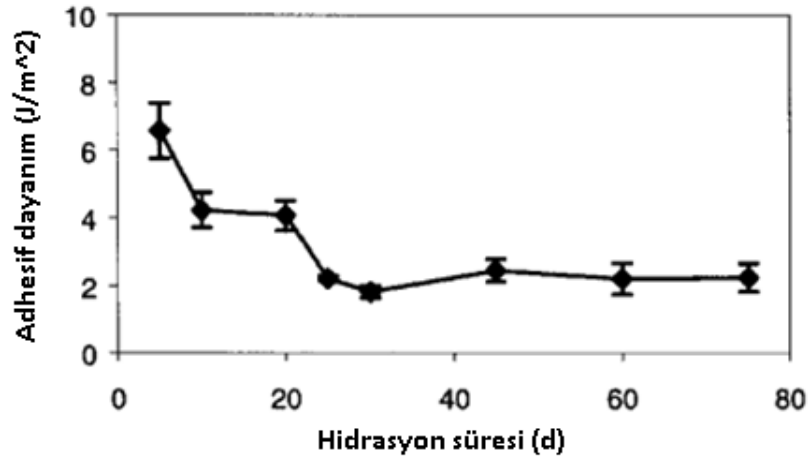
Şekil 2. 31 Yatay eksen de probun çekilmesi a) T şeklindeki probun çekilmesi (sırasıyla A,B,C,D) b) Çekilme boyunca kuvvet zaman değişimi [20]

Şekil 2.31'deki gibi prop yatay eksen boyunca 2,6 mm/s hızla kirle birlikte çekilerek ölçülen kuvvetler kaydedilmiştir ve video analizleri yapılmıştır. Ölçümlerde kuvvetin maksimum olduğu yerdeki değer alınmıştır.



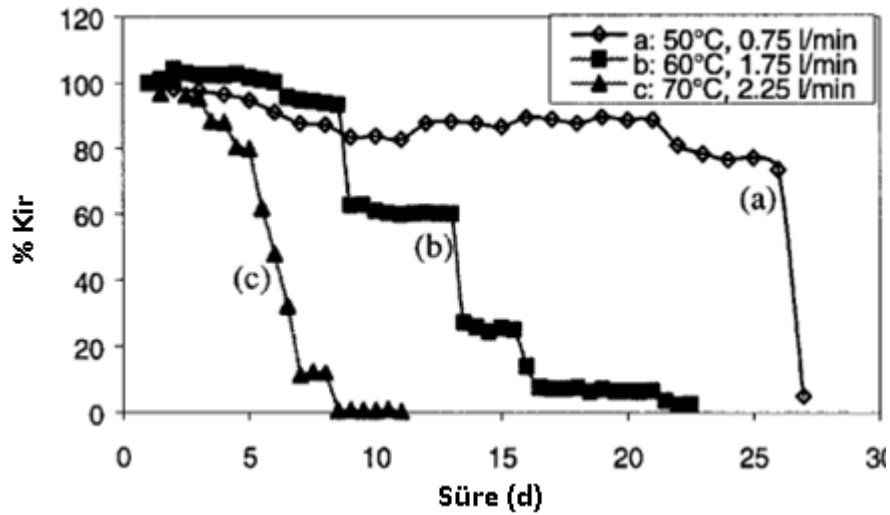
Şekil 2. 32 Yumurta akının fırınlanma süresiyle, adhesif dayanım arasındaki ilişki [20]

0,8 g domates salçası kiri, plakaya sürülerek 30 dk hidrasyona maruz bırakılmıştır. Ardından yapılan deneyler sonucunda Şekil 2.32’de görüldüğü gibi numunenin fırınlama süresinin arttırılmasının adhesif kuvvetin artmasını sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Fakat bu artış 3 saatten sonra önemsiz bir hale gelmiştir.



Şekil 2. 33 Domates salçasının hidrasyon süresiyle, çekme dayanımı arasındaki ilişki [20]

0,8 g salça kiri yüzeye sürülmüş ve 1 saat kurutulmuştur. Ardından farklı hidrasyon zamanlarında suya maruz bırakılarak adhesif dayanımları ölçülmüştür. Hidrasyon süresinin arttırılması belli bir yere kadar adhesif kuvveti sürekli azaltmaktadır.



Şekil 2. 34 Domates salçasının farklı sıcaklık ve debide akışkana maruz bırakılması sonucu zamana bağlı %kir çıkarma grafiği [20]

Şekil 2.34’de görüldüğü üzere, gerçekleştirilen deneylerde kirin akış halinde farklı sıcaklık ve debide suya maruz bırakılmasının % kir çıkarma performansı üzerine olan

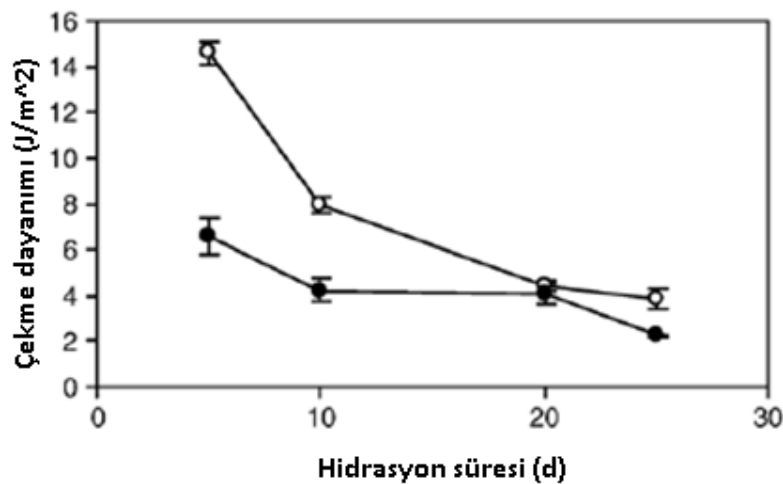
etkisi incelenmiştir. Buna göre yüksek debi ve yüksek sıcaklık değerleri kir çıkarmayı iyileştirmektedir.

Sonuç olarak; fırınlama süresi, kirin kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğünün artması adhesif dayanımı arttırırken, hidrasyon süresi ve hidrasyon sıcaklığının artması adhesif dayanımı düşürmektedir. Ayrıca, deneydeki besin maddesi için kohesif dayanım adhesif dayanımdan daha yüksek çıkmıştır.

Liu, Fryer ve arkadaşları tarafından [21] 2006 yılında gerçekleştirilen çalışmada, çeşitli kirlerin yüzeyden temizlenmesi için gereken adhesif ve kohesif kuvvetler ölçülerek, kirlerin karakteristiğinin belirlenmesi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Mikromanipülatör sistemi yardımıyla domates salçası, ekmek hamuru, yumurta akı ve peynir altı suyu proteini üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir.

Yüzey ve kir arasındaki adhezyon kuvveti, van der Waals kuvvetleri, elektrostatik kuvvetler ve temas yüzeyinin etkisinden oluşmaktadır. Yüzey büyüdükçe, toplam çekim kuvveti artmaktadır. Yüzey ve kir arasındaki kuvvetler, yüzey malzemesinin ve kirin cinsine bağlıdır.

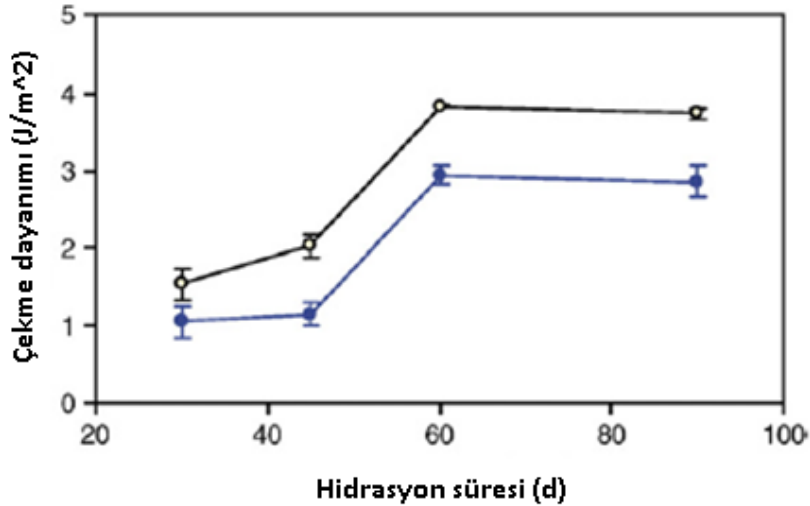
Adhesif ve kohesif kuvvetlerin tespiti için mikromanipülatör sistemiyle deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. 35 Domates salçasının hidrasyon süresiyle, kısmi çekme enerjisi (kohesif enerji-çember) ve toplam çekme enerjisi (adhesif enerji-daire) değişimi [21]

Plaka üzerinde 0,9 mm kalınlığında bulunan domates salçasının üzerine çeşitli sürelerde hidrasyon uygulanarak, adhesif ve kohesif enerjilerindeki değişim

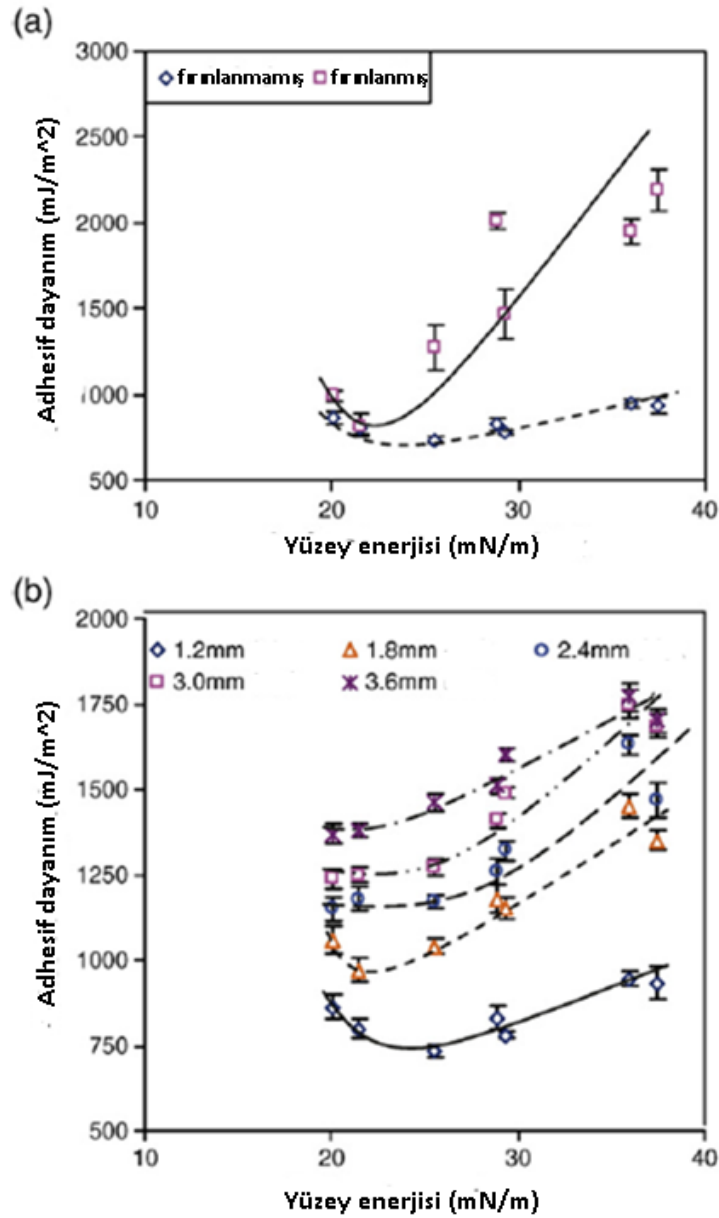
incelenmiştir. Şekil 2.35’de görüldüğü üzere; domates salçası kir partikülleri arasındaki kohesif enerji, yüzey ile kir molekülleri arasındaki adhesif enerjiden daha yüksektir. Hidrasyon süresi arttıkça kohesif kuvvetlerde daha keskin bir düşüş vardır.



Şekil 2. 36 Yumurta akının ısıtma süresiyle, kısmi çekme enerjisi (kohesif enerji-çember) ve toplam çekme enerjisi (adhesif enerji-daire) değişimi [21]

Yüzeyde 2.2 mm kalınlığında bulunan yumurta akı besin maddesi ısıtılarak, kirin yüzeyden çıkarılması zorlaştırılmıştır. Bu ısıtma süresiyle yüzey dayanımı arasındaki ilişki Şekil 2.36’da verilmiştir. Isıtma zamanı arttıkça kir katılaşmaktadır. Bunun sonucunda kir daha zor yüzeyden uzaklaşmaktadır. Ayrıca oluşan kohesif dayanım, adhesif dayanımından daha yüksek olmaktadır. Yani keri keserek yüzeyden plakadan uzaklaştırmak, keri yüzeyden tamamen çıkarmaktan daha zordur.

Yüzeyin bu kuvvetler üzerine olan etkisinin incelenmesi için; deneylerde domates salçasının fırınlanmış ve fırınlanmamış haldeki durumu için paslanmaz yüzey olan diskin yüzeyi çeşitli kalınlıklarda Ni-p-PTFE ile kaplanmıştır. Yüzeylerdeki adhesif dayanım ve yüzey enerjileri arasındaki ilişki incelenmiştir. Modifiyeli yüzeylerin yüzey enerjileri 15 - 40 mN/m arasında değişmektedir.



Şekil 2. 37 Yüzey enerjisi ve adhesif dayanım grafiği a) Domates salçasının fırınlanmış ve fırınlanmamış hali, b) Fırınlanmış domates salçası kirinin modifiye kalınlığına göre [21]

Elde edilen verilere göre besinin fırınlanmış ve fırınlanmamış durumunda da yüzey enerjisi 20-25 mN/m olduğu aralıkta adhesif dayanım minimum çıkmıştır. Yüzey enerjisi arttıkça adhesif dayanım artmaktadır ve kiri yüzeyden koparmak zorlaşmaktadır.

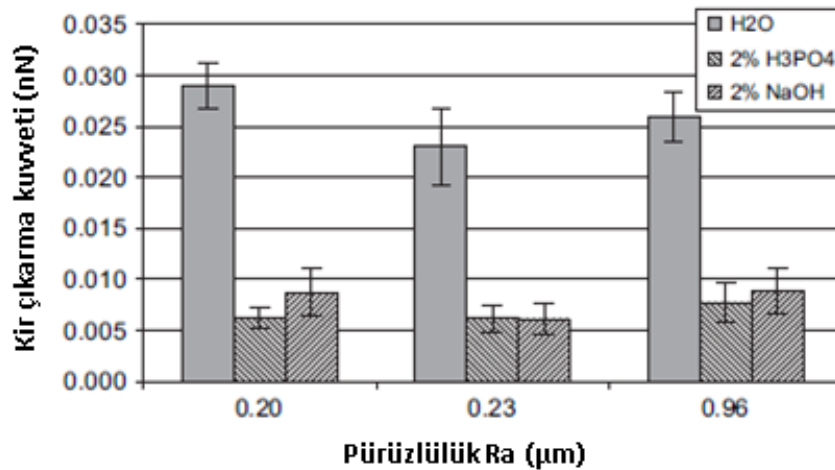
Sonuç olarak; yapılan çalışmalarda kirlerin yüzeyden temizlenmesi için gereken adhesif ve kohesif kuvvetler ölçülmüştür. Bu dayanımların, hidrasyon süresi, ısıtma süresi, fırınlanma durumu ve modifiye kalınlığına göre değişimi incelenmiştir. Domates salçası, ekmek hamuru ve yumurta akının adhesif dayanımı kohesif

dayanımından daha düşük, peynir altı suyu proteininde ise kohesif dayanımı adhesif dayanımından daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Bobe, Hofmann ve arkadaşları tarafından [22] 2007 yılında yayımlanan çalışmada temizlemeyi etkileyen faktörler adhezyon kuvveti ölçülerek incelenmiştir. Bunlar yüzey malzemesi (pürüzlülük R_a , yüzey enerjisi), yüzeye yapışan maddeler (çap d, malzeme cinsi) ve yıkama sıvısıdır (pH, sıcaklık, yüzey aktif maddeler). Yüzeylerde kir maddesi olarak parçacık çapı 5.45 μm olan maya hücresi ve fluorescent polystren malzemeler kullanılmaktadır. Yüzey olarak PTFE, paslanmaz çelik ve emaye kullanılmaktadır. Bu çalışmada yüzey enerjisinin etkisini görmek için yüzeyler SiO_2 ve CH ile kaplanmıştır. Yüzeyin pürüzlülüğünü ölçmek için pertometre kullanılmıştır.

Akış kanalında partiküller iki dakika boyunca hidrodinamik kuvvete maruz kalmışlardır. Yapılan çalışmada, yüzey pürüzlülüğü $0,15\mu\text{m} < R_a < 2\mu\text{m}$ malzemeler talaşlı imalatla elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ve kaplanmış yüzeyler için çalışılan aralıkta yüzey pürüzlülüğünün temizleme performansı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını belirlenmiştir.

Kimyasal etki diğer parametrelere göre daha etkindir. Sıcaklık ve pH'ın artması ile adhezyon kuvveti azalmaktadır. Deterjanın kullanılması da bağlayıcı kuvvetlerde azalma meydana getirmektedir.



Şekil 2. 38 pH derecesi ve yüzey pürüzlülüğünün yüzey kir çıkarma kuvvetiyle olan ilişkisi (%2 H_3PO_4 pH=1.3, %2 NaOH pH=12.8) [22]

Sonuç olarak; düşük enerjili yüzeylerin temizlenme kabiliyeti daha yüksektir. Yani temizleme performansını, katı yüzeyin malzemesini değiştirerek arttırılabilmektedir. Yıkama sıvısında değişen parametrelerin tamamı yıkama performansı üzerinde büyük rol oynamaktadır.

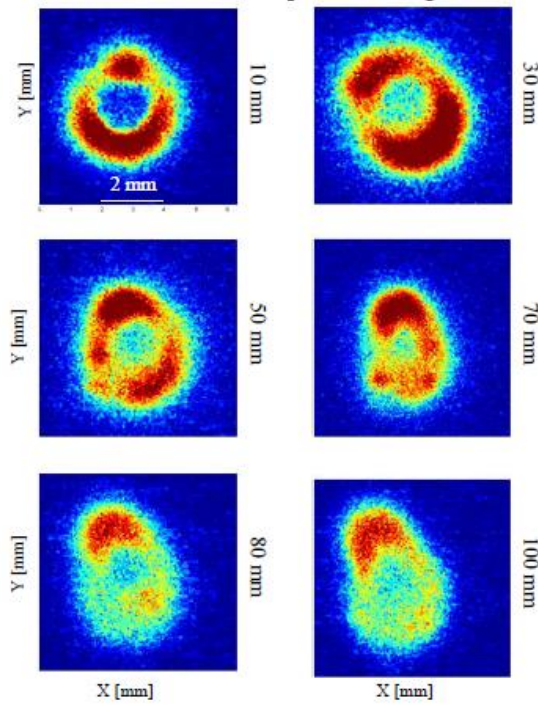
Sertore, Fusetti ve arkadaşları tarafından [23] 2006 yılında yayımlanan çalışmada su jetinin etki yüzeyinde oluşturduğu etkinin uzaklıkla değişimi incelenmiştir. Nozuldan çıkan su jeti ilerledikçe yerçekimi ivmesi ve hava direnci nedeniyle hızında ve ivmesinde düşüşler görülmektedir.

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



Şekil 2. 39 Su jeti test düzeneği [23]

Su jetinin etki yüzeyine çarpması sırasında meydana gelen görüntüler 40 μm piksel mertebesinde kamera ile kaydedilmiştir. Şekil 2.40'da 10mm uzaklığında su jetinin çekirdek bölgesi açıkça görülmektedir. Merkezden, çevreye doğru türbülanslar oluşmaktadır. Nozul ile su jeti arasındaki mesafe arttırıldıkça çekirdek bölgesi de görünürlüğüne kaybedip türbülansın içine dâhil olmaktadır. Ayrıca su jetinin sınırları da genişlemektedir. Yani taradığı alan artmaktadır.

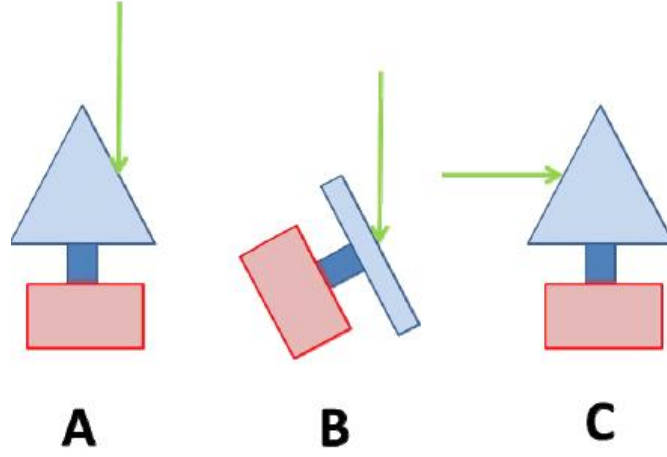


Şekil 2. 40 Farklı uzaklıklarda çekilen görüntüler [23]

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.

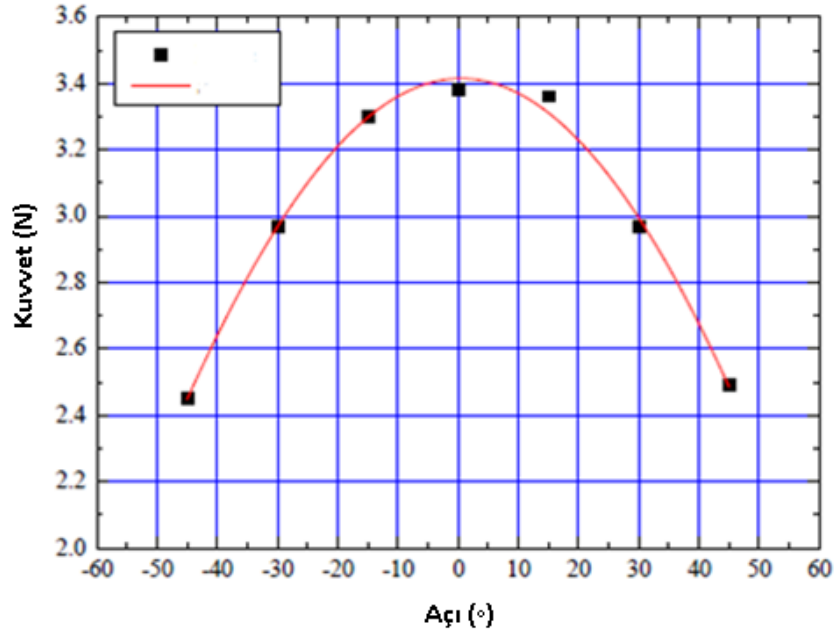
Makalede su jetinin oluşturduğu kuvvet ve basınç etki alanı uzaklığa bağlı olarak incelenmiştir. Tez çalışmasında da jetin oluşturduğu kuvvet ve bu kuvvet üzerinde etkili olan parametreler incelenmiştir.

Sertore, Fusetti ve arkadaşları tarafından [24] gerçekleştirilen bir diğer çalışmada; HPR sisteminde (yüksek basınçlı jetleme sistemi) etki yüzeyi açısı ile kuvvet arasındaki ilişki incelenmiştir.



Şekil 2. 41 HPR jetleme sistemi etki yüzeyleri [24]

Şekil 2.41’de görülen üç farklı etki yüzeyinin çeşitli açılardaki durumu için su jetinin 100 bar basıncında ve nozul ile etki yüzeyi arası mesafe 90 mm olarak gönderildiği durumda kuvvet sensörüyle su jeti kuvvetleri ölçülmüştür. “B” durumundaki etki yüzeyi için açı ile kuvvet ilişkisi tanımlanmıştır.



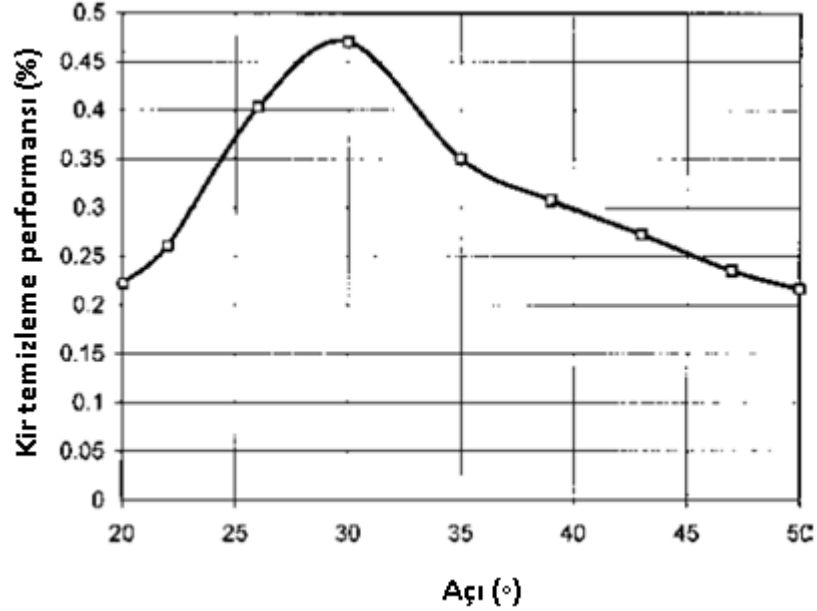
Şekil 2. 42 “B” durumundaki kuvvet açı grafiği [24]

Şekil 2.42’de 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.

Bu çalışmada jetleme açısının su jeti kuvveti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tez çalışmasındaki parametrelerden biri de açıdır ve açının kuvvet üzerindeki etkisinin yanı sıra debi miktarı, mesafe ve nozul tipi gibi parametreler de incelenmiştir.

Ziskind, Yarin ve arkadaşları tarafından [25] 2002 yılında gerçekleştirilen çalışmada; hava jetinin çeşitli parametrelere bağlı olarak yüzeyden partikül çıkarma performansı incelenmiştir.

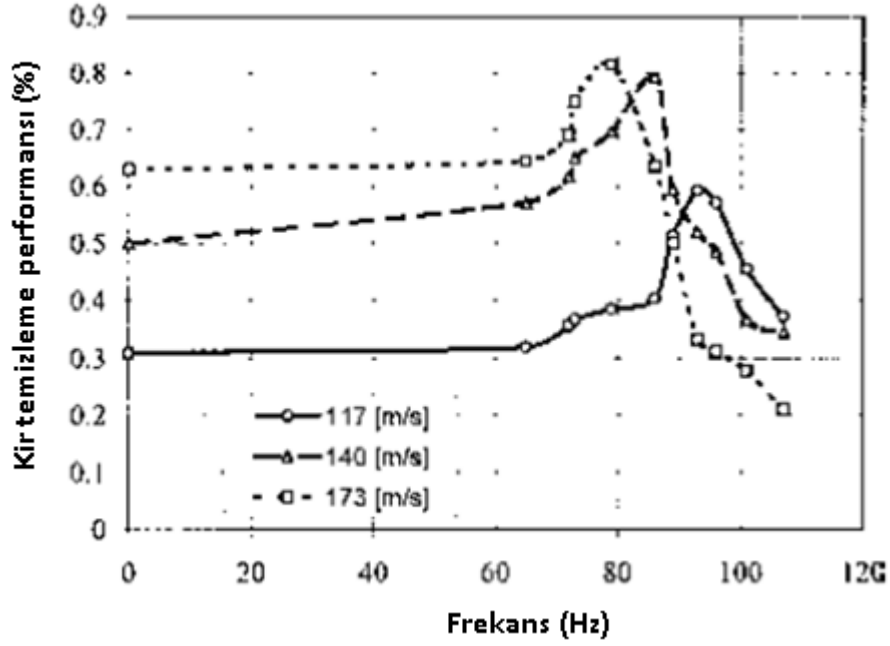
Jetleme açısının yüzeyden kir çıkarma üzerine olan etkisi incelemek için boyutu 2-5 µm mertebelerinde olan divinylbenzene ve polystren latex parçacıkları yüzeye konularak, 1,5 mm nozul çapında, etki yüzeyi ile nozul arası mesafe 30 mm uzaklığında ve havanın jetten çıkış hızı 194 m/s olduğu durumda testler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. 43 Yüzey temizleme performansının jetleme açısıyla olan ilişkisi [25]

Şekil 2.43'deki grafikte görüldüğü üzere belli bir jetleme açısına kadar temizleme performansı artmaktadır. Jetleme açısının 30° olduğu durumda temizleme performansı maximum olmaktadır. Bu değerden sonra ise düşmektedir.

Deneylerin ikinci kısmında titreşim frekansının temizlemeye olan etkisi incelenmiştir. Nozul çapı 1,5 mm, 300mm nozul ile etki yüzeyi ara mesafesi, 100-200 m/s havanın nozuldan çıkış hızı ve Reynold sayısı $1-2 \times 10^4$ aralığında olacak şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir.



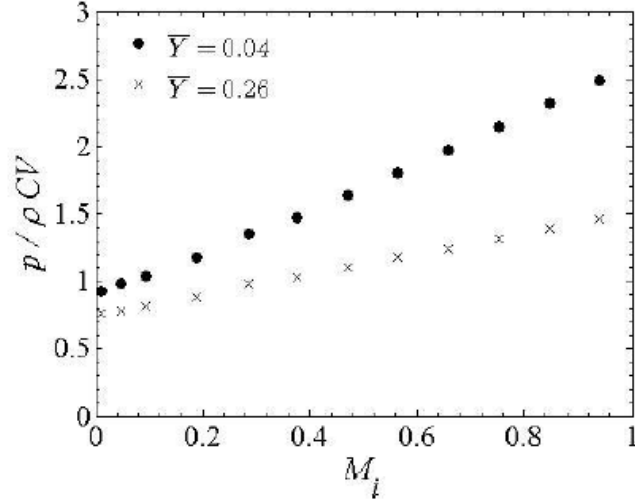
Şekil 2. 44 Çeşitli jet hızlarında frekans-temizleme performansı ilişkisi [25]

Şekil 2.44'de görüldüğü gibi, 60 Hz jet frekansına kadar temizleme performansı sabit kalmaktadır. 80 Hz mertebelerinde ise 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 partiküllerin yüzeyden uzaklaştırılması kolaylaştırılmaktadır.

Bu çalışmada seçilen bir kir tipi için jetleme açısı ve frekansı kir çıkarma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tez çalışmasında açının yanı sıra debi, mesafe ve nozul çıkış kesit alanının jet kuvveti üzerindeki değişimi incelenmiştir.

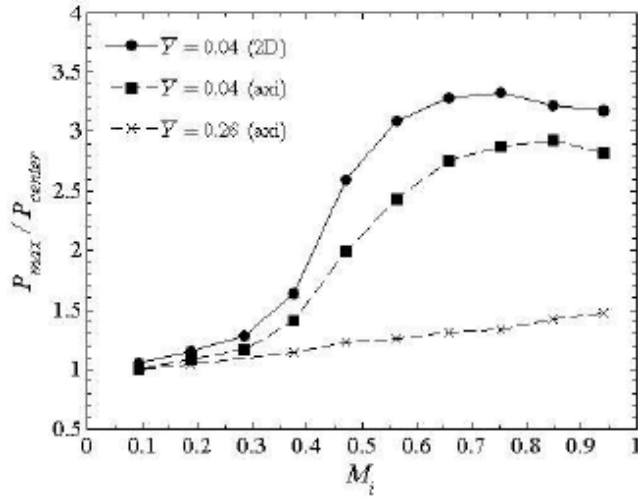
Sanado, Ando ve Colonius tarafından [26] 2012 yılında gerçekleştirilen çalışmada; yüksek hıza sahip su damlacığının çarpma mekanizması nümerik olarak incelenmiştir. Bu kapsamda su jetinin belli bir yüzeyiyle oluşan basınç, basınç dağılımı, şok hızları araştırılmıştır.

Mach sayısının 0,05-1 aralığında olduğu durumda su jetiyle yapılan analizler sonucunda; Şekil 2.45'de görüldüğü gibi mach sayısı yükseldikçe, yani akışkan hızı arttıkça oluşan basınç değeri artmaktadır.



Şekil 2. 45 Mach sayısı-basınç grafiği [26]

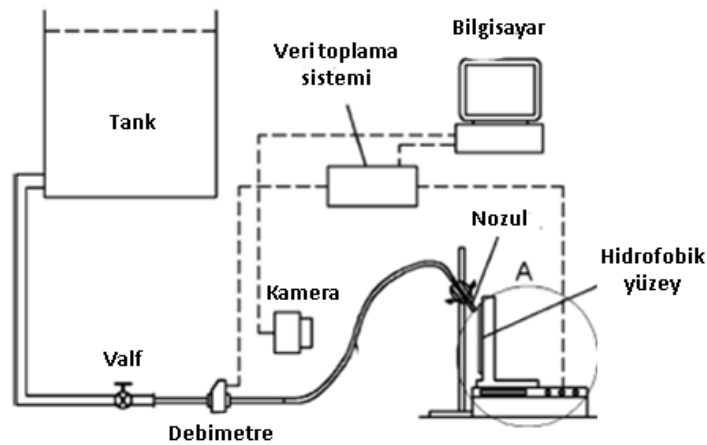
Küresel ya da silindirik damlacık etkisi sonucu yüzeyde oluşan basınç dağılımı incelendiğinde, yüzeyin kenarlarında oluşan basıncın maksimum olduğu belirtilmiştir. Yüksek Mach sayısına sahip damlacıkta kenar basıncı merkezdeki basınca göre yaklaşık 3 kat daha fazladır. Fakat Mach sayısı düştükçe kenarda oluşan basınç merkez basıncına yaklaşmaktadır. Bu sonuç; yüksek hızlı akışkanlarda yüzey deformasyonu için önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 2. 46 Mach sayısına bağlı olarak damlacığın yüzeyde oluşturduğu merkez ve kenar basınçlarının karşılaştırılması [26]

Bu çalışmada, yüksek hızlarda hız değişiminin basınç üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tez çalışmasında daha düşük hızlar incelenmekle beraber, hız değişiminin yanında açı, mesafe ve debi gibi parametreler de incelenmiştir.

Kibar, Karabay ve arkadaşları tarafından [27] 2010 yılında yayımlanan bu çalışmada; hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeye çarpan eğimli su jeti, hidrolik sıçrama deneysel olarak incelenmiştir. Su jetinin 15-45° eğim açısındaki durumları için 5 farklı polimer malzemeden yapılmış hidrofobik yüzeyde deneyler gerçekleştirilmiştir. Su jeti çapı 1,75 ve 4 mm olan nozullarla sisteme yollanmıştır. Su jetinin hızı 0,5 – 4,5 m/s aralığında değişmektedir. Weber sayısı 5-650 ve Reynold sayısı 500-8000 aralığında değişmektedir.



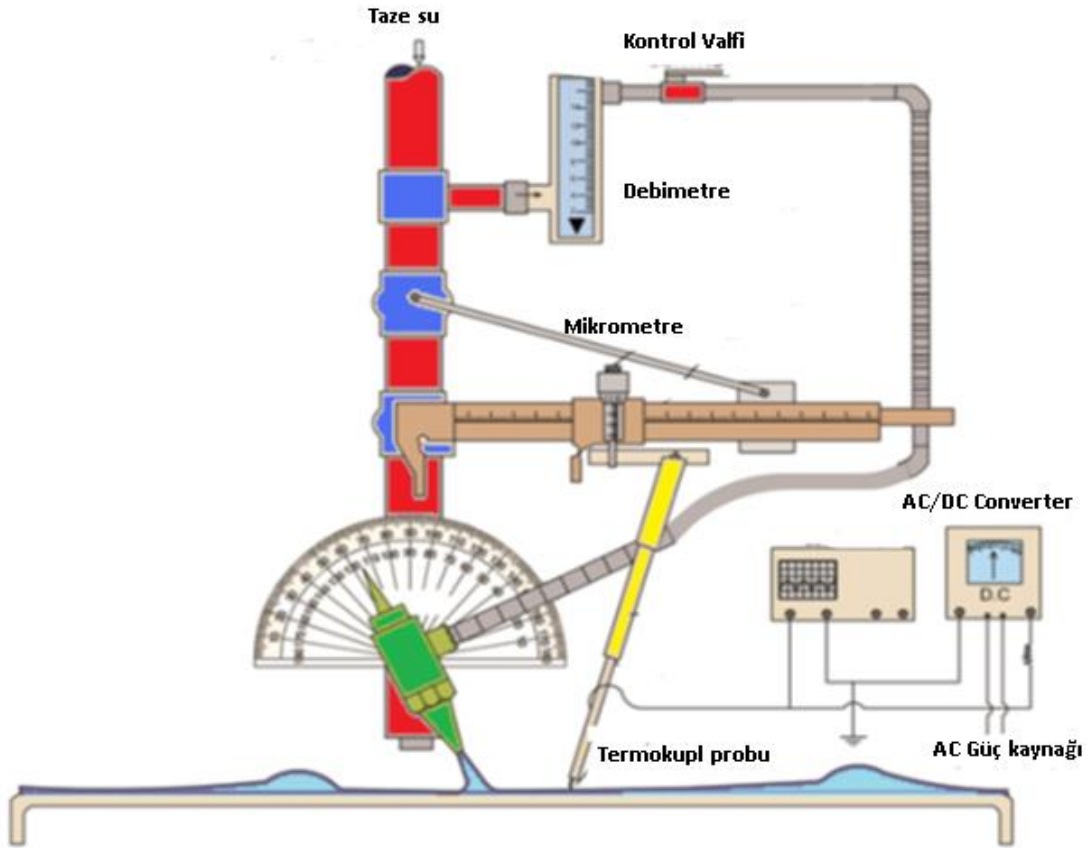
Şekil 2. 47 Kullanılan test düzeneği [27]

Hidrofobik yüzeyler suyu, jetin geliş açısı, Weber sayısı ve temas açısına bağlı olarak geri döndürmektedir. Maksimum yansıtma açısı için Weber sayısı, belli jet geliş açıları için bulunmuştur. Maksimum yansıtma açısı, yaklaşık olarak jetin geliş açısının yarısı kadardır.

Viskoz sürtünmeler azaldığında, suyun hidrofobik yüzeyle temas açısı artmaktadır. Süperhidrofobik yüzeylerde viskoz kuvvetler azalmaktadır. Temas açısının 145° ve 167° olduğu durumlarda yüzeyin kesme kuvvetindeki azalma yaklaşık %40 mertebelerinde olmaktadır. Jetin geliş açısı arttıkça, suyun yüzeyde yayılan tabaka uzunluğu azalmaktadır ve temas açısı artmaktadır. Bu durumda Weber ve Reynolds sayıları azalmaktadır. Suyun bu yüzeylerdeki temas açısı, 112°, 113°, 145° ve 167° olarak ölçülmüştür.

Bu çalışmada hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeye çarpan eğimli su jetinin hidrolik sıçraması deneysel olarak incelenmiştir. Tez çalışmasında yüzey sabit tutulmuş, tüm çalışma aynı yüzey üzerinde yapılmıştır.

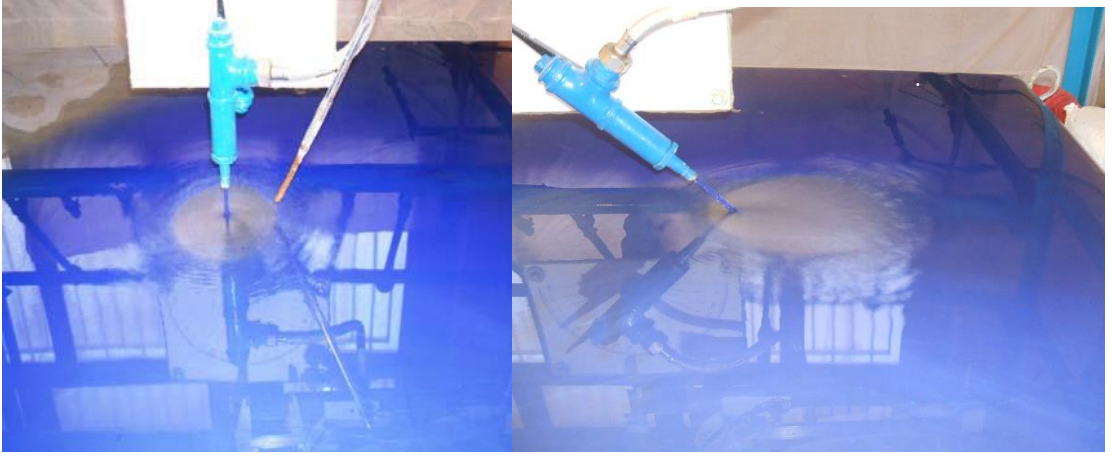
Teamah, İbrahim ve arkadaşları [28] tarafından yapılan çalışmada; düz bir yüzeye çarpan su jetinin geliş açısına göre davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Suyun geliş açısı $30-90^\circ$ ve suyun debisi 2-5 L/d aralığında değişmektedir. Nozul ile etki yüzeyi arasındaki mesafe sabit olup 30 mm'dir. Deneysel çalışmada kullanılan nozul tipi dairesel kesit alana sahip olup 5,5 mm çapındadır.



Şekil 2. 48 Film kalınlığı ölçüm test düzeneği [28]

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; radyal yönde yayılan film kalınlığı hidrolik sıçrama noktasına kadar azalmakta ve bu noktadan sonra tekrardan artmaktadır. Film kalınlığı azimuthal yönde uniform olmayan bir dağılıma sahiptir.

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.



Şekil 2. 49 Jet geliş açısına bağlı olarak yüzeye çarpan suyun hareketi [28]

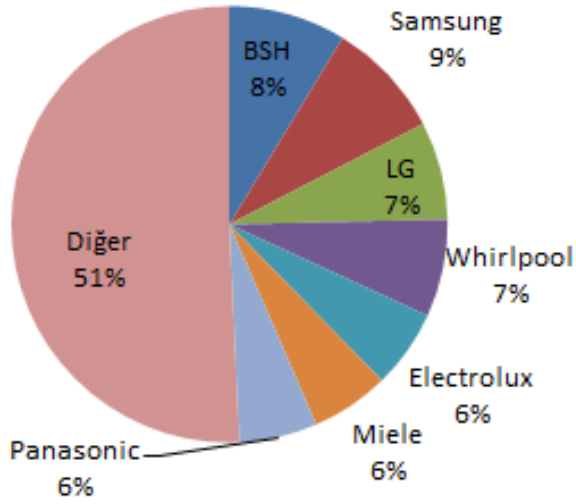
Düz bir yüzeye çarpan su jetinin geliş açısına göre davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Tez çalışmasında, yüzeye gelen jetin çeşitli parametrelere bağlı olarak kuvvet üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2.3 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. İncelenen patentlerden önemli olanlar aşağıda aktarılmıştır. Patentlerin içeriği göre ilgili konuları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

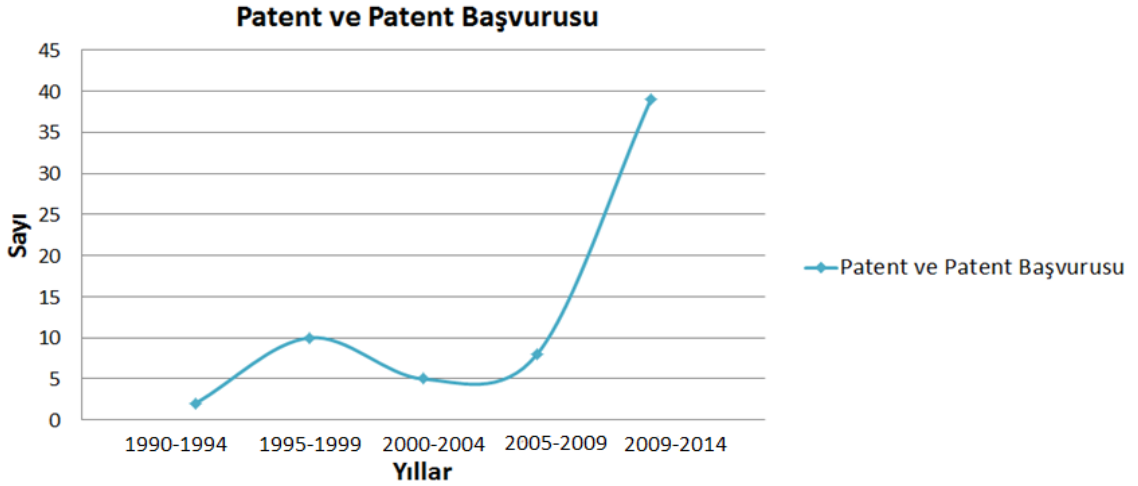
- Pervane geometrisi
- Çift taraflı dönebilen pervane tasarımı
- Pervane tarama alanları
- Pervane üstüne ek aparat
- Su jetiyle birlikte havanın gönderildiği nozul sistemleri
- Alternatif spreyleme / jetleme sistemleri

Firmalara Göre Dağılım



Şekil 2. 50 Patent ve başvurularının firmalara göre dağılımı

Bu patent ve başvurularından 6'sar tanesi BSH ve Samsung, 5'er tanesi LG ve Whirlpool, 4'er tanesi Electrolux, Miele ve Panasonic, 2'ser tanesi General Electric, Mitsubishi, Toshiba, Gold Star ve DaewooElectronics şirketlerine aittir.

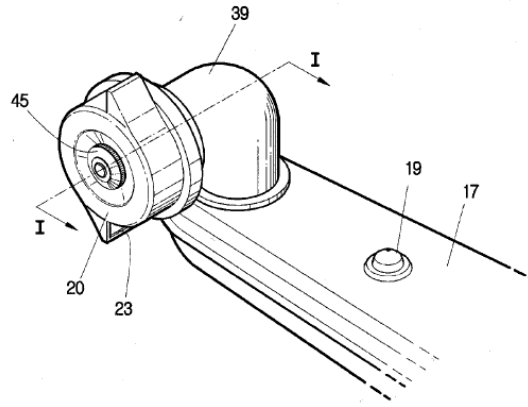


Şekil 2. 51 İncelenen patent ve başvurularının yıllara göre dağılımı

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

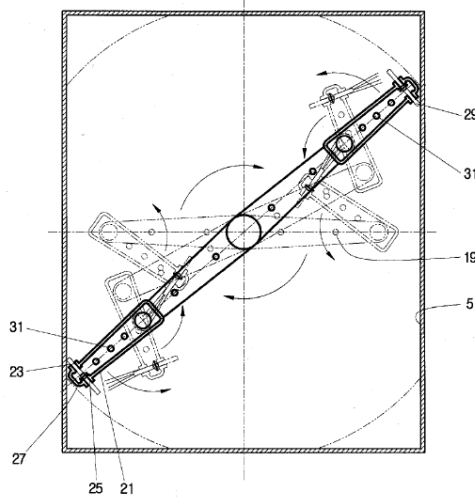
Alınan patent ve yapılan patent başvurularında, pervaneden yıkama ünitesine doğru çıkan su jetinin makine içerisinde taradığı alanın artırılmasına yönelik çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu kapsamda; pervane üzerindeki delik sayıları veya konumları değiştirilmiş, pervane üzerine yardımcı bir pervane ya da ek bir aparat yerleştirilmiştir.

Samsung firmasına ait [29] bir patentte; ana pervane üzerinde dönen yardımcı bir çark eklenmiştir. Bu çark sistemiyle su jetinin yıkama ünitesi içerisinde ulaşamayan ölü bölgelere de ulaşacağından bahsedilmiştir. Bununla birlikte pervanenin daha fazla alan tarayıp, daha etkin yıkamanın sağlanabildiği iddia edilmiştir.



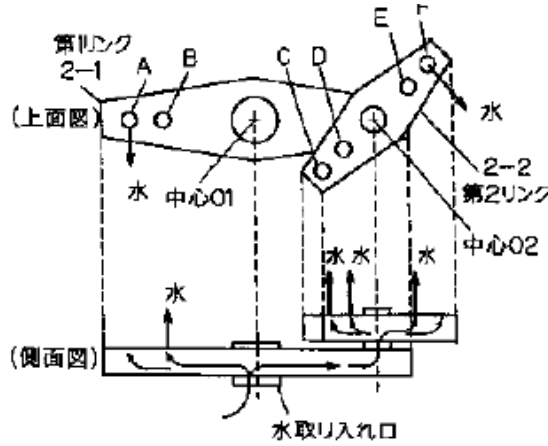
Şekil 2. 52 KR100258615 (B1) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi [29]

Samsung firmasına ait [30] diğer bir patentte; ana pervane üzerine dönen yardımcı bir pervane eklenmiştir. Bu yardımcı pervane deliklerden geçen suyun basıncıyla ve kayan mekanizma sayesinde dışarıdan bir müdahale olmaksızın suyun pervane içerisinde oluşturacağı etki kuvvetiyle hareket edebilmektedir. Pervanenin üstüne yerleştirilen bu yapının, yıkama ünitesi içerisinde taranılan alanın artmasında etkin bir rol oynadığı iddia edilmektedir.



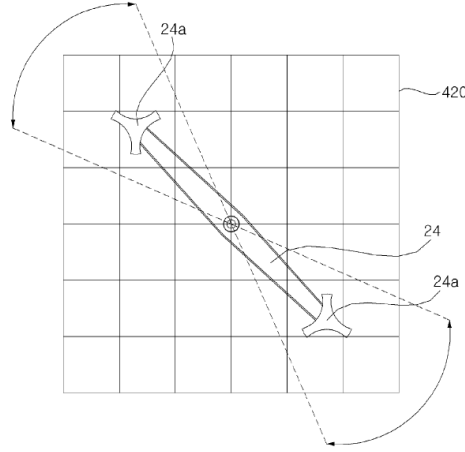
Şekil 2. 53 KR100267927 (B1) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi [30]

Matsushita Electric firmasına ait [31] bir patent başvurusunda; iki katlı pervane tasarımından bahsedilmiştir. Ana pervanenin ekseninde olmayan yardımcı pervane bağlantısı sökölüp-takılabilir bir sistemle sağlanmıştır. Pervaneler, suyun pervane içerisinden ilerleyip açılı deliklerden çıkışı sırasında oluşan momentum sonucunda dönmektedir. Yıkama ünitesine aktarılan suyun daha uniform olarak dağıldığı iddia edilmiştir.



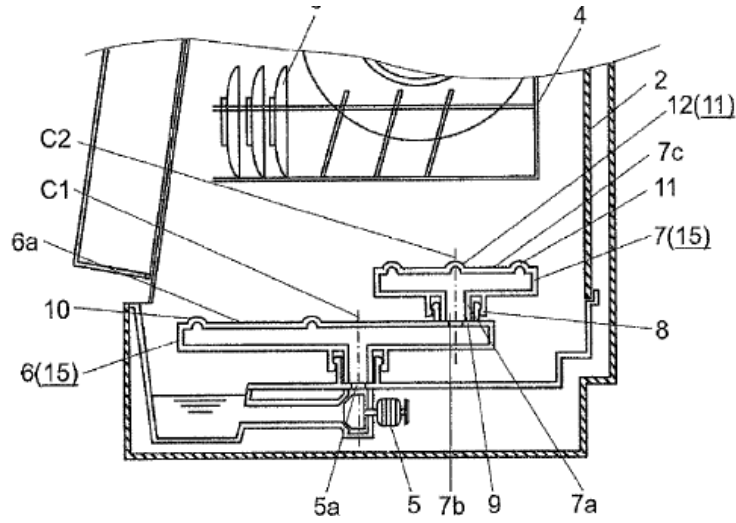
Şekil 2. 54 JP2004000654 (A) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi [31]

Lg Electronics firmasına ait [32] bir patent başvurusunda; kullanılan spreyleme modülü ile birlikte bulaşık makinesinde yıkama kapasitesinin arttırıldığı iddia edilmektedir. Bu spreyleme modülü kendi merkezinde dönebilen bir yapıdadır. Bu modül pervanenin üzerine monte edilerek belli bir spesifik bölgenin daha iyi yıkanmasını sağladığı iddia edilmektedir.



Şekil 2. 55 KR20130033811 (A) nolu patente bahsedilen spreyleme sistemi [32]

Panasonic firmasına ait [33] bir patent başvurusunda; iki katlı pervane tasarımından bahsedilmiştir. Ana pervanenin ekseninde olmayan yardımcı pervane bağlantısı sökülüp-takılabilir sistemle sağlanmıştır. Yıkama kabini içerisindeki ölü bölgeler daha etkin olarak yıkandığı iddia edilmektedir.

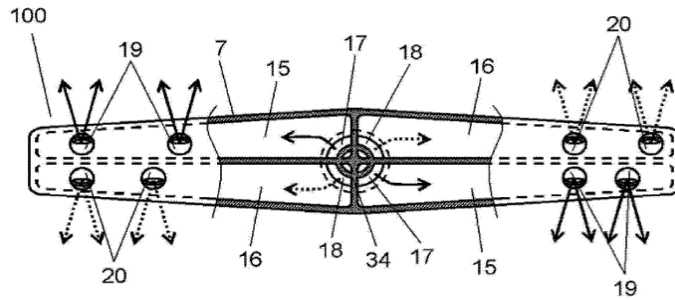


Şekil 2. 56 EP2721989 (A1) nolu patente bahsedilen spreyleme sistemi [33]

Pervanenin çift yönlü dönmesiyle bulaşıkların tüm yüzeylerine suyun ulaşmasını sağlayan çeşitli tasarımlar bulunmaktadır.

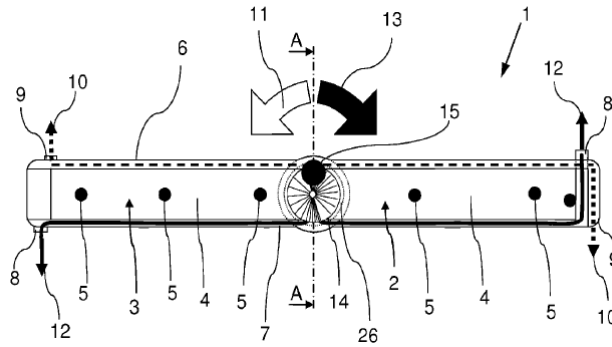
Panasonic firmasına ait [34] patent başvurusunda; suyun sirkülasyonu, kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmektedir. Valf kontrolüyle; birinci yıkama kanalı açık iken su birinci nozullardan, ikinci yıkama kanalı açık iken su ikinci nozullardan yıkama ünitesine girmektedir. Pervanenin çift taraflı olarak dönmesiyle, su jeti bulaşıkların tüm

yüzeylerine ulaşabildiği ve daha iyi yıkama performansı sağlanabildiği iddia edilmektedir.



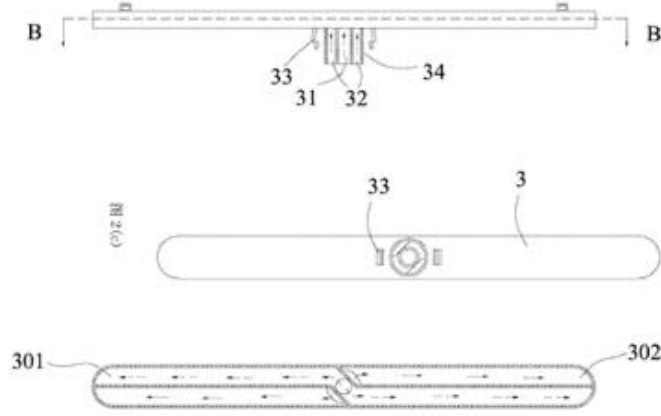
Şekil 2. 57 CN102858222 (A) nolu patente bahsedilen spreyleme sistemi [34]

Miele firmasına ait [35] patent başvurusunda; pervanenin dönme hareketi, yönlendirici nozullar sayesinde suyun açısal momentumu sonucu gerçekleşmektedir. Pervanenin içerisine yerleştirilen bilye manyetik olarak hareket ederek, pervanenin hem sağ hem de sol tarafa hareket etmesini sağlamaktadır. Pervanenin çift taraflı olarak dönmesiyle, su jeti bulaşıkların tüm yüzeylerine ulaşabildiği ve daha iyi yıkama performansı sağlanabildiği iddia edilmektedir.



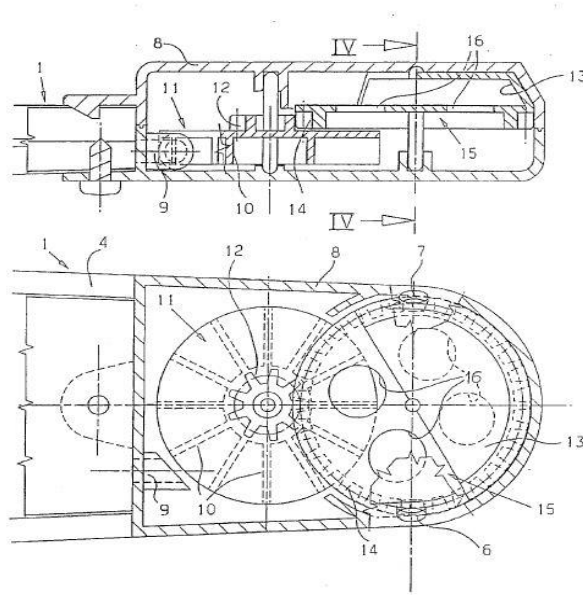
Şekil 2. 58 EP2601878 (A2) nolu patente bahsedilen spreyleme sistemi [35]

Midea Group firmasına ait [36] bir patente; su hattında yapılan tasarımla, pervanenin çift yönlü olarak dönebilmesinden bahsedilmiştir. Suyun bulaşıklar üzerine daha iyi yayıldığı iddia edilmiştir.



Şekil 2. 59 CN203369879 (U) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi [36]

Electrolux firmasına ait [37] patent başvurusunda; ; nozullar ile her iki yöne de dönebilen pervane tasarımından bahsedilmiştir. Bu nozullara, redüksiyon dişlileri ile dönebilen kapak benzeri bir parça ile yıkama suyu ulaşmaktadır. Bu tasarımda, pervane bir engelle karşılaştığı zaman bile yıkamanın etkili olduğu iddia edilmektedir.

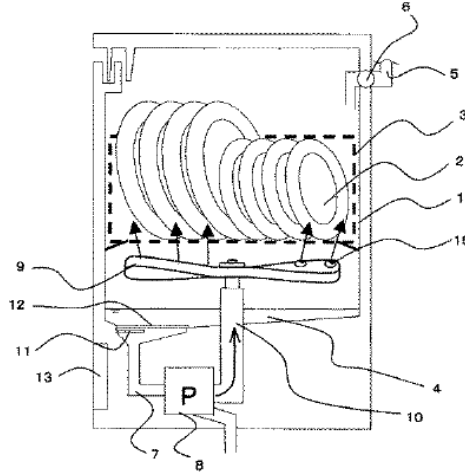


Şekil 2. 60 US5655556 (A) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi [37]

Pervanenin titreşmesini sağlayıp, yıkama alanının arttırılmasına yönelik patent ve patent başvuruları bulunmaktadır.

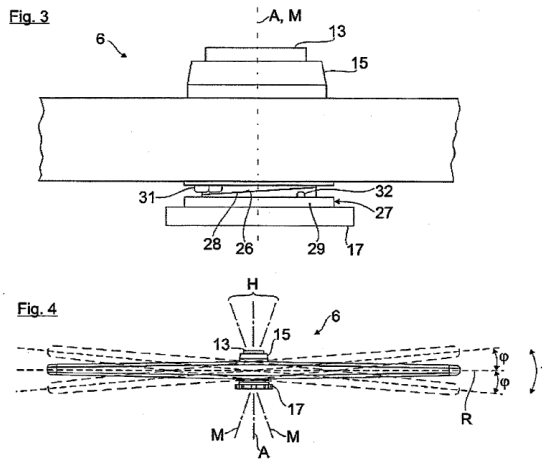
Mitsubishi firmasına ait [38] bu patent başvurusunda; dönerken aynı zamanda burulmaya uğrayan bir pervane tasarımından bahsedilmiştir. Pervane 5-30° arasında burulmaya uğrayabilmektedir. Böylece pervanenin farklı açılarda su jeti oluşturacağı

belirtilmiştir. Yıkama ünitesi içerisinde bulunan bulaşıkların farklı yüzeylerine de yıkama çözeltisi ulaşabilmektedir. Bunun sonucunda yıkama performansının artacağı iddia edilmiştir.



Şekil 2. 61 JP2005296107 (A) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi [38]

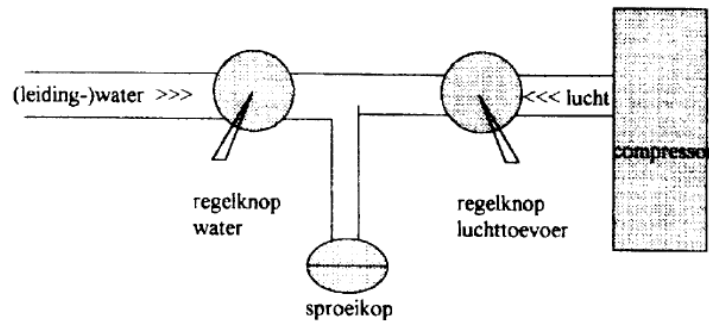
BSH firmasına ait [39] patent başvurusunda; pervanenin yataklama tasarımı bir yenilik getirilmiştir. Pervanenin yatağına hareket edebilir destekleyici elemanlar yerleştirilmiştir. Bu sayede yatak hareket edebilme kabiliyetine sahip olmaktadır. Böylece pervane değişken eğim açılarında dönerek, farklı açı ve alanları tarayabilmektedir. Bunun sonucunda bulaşıkların tüm yüzeylerine kadar yıkama çözeltisi ulaşabilmekte ve yıkama performansı artmaktadır.



Şekil 2. 62 DE102010043021 (A1) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi [39]

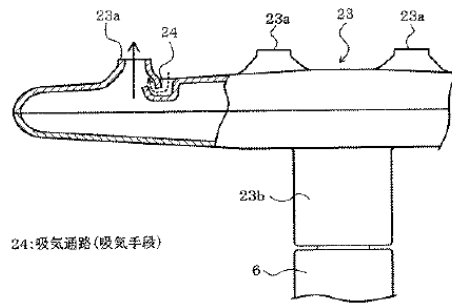
Pervaneden çıkan su jetinin daha yüksek jet etkisi yaratmasına yönelik patentler de bulunmaktadır. Bu doğrultuda spreyleme sisteminde yapılan tasarımla, yıkama ünitesine su ile birlikte havanın basınçlı bir şekilde gönderilmesi sağlanmaktadır.

H T Research'e ait [40] patentte; bu patentte; su ile kompresörde basınçlandırılıp karışım ünitesine yollanan havayla birlikte yıkama ünitesine gönderilen su-hava karışımının yıkama performansını arttırdığı iddia edilmiştir. Yıkama ünitesine doğrudan giden su jetinin hava ile karışması sonucu yaratacağı etki kuvvetinin artacağı belirtilmiştir. Böylece kirlerin yüzeyden daha iyi oranda uzaklaştırılacağından bahsedilmiştir. Ayrıca çeşitli kirlerin ve meyve-sebzelerin yıkatabileceğinden bahsedilmiştir.



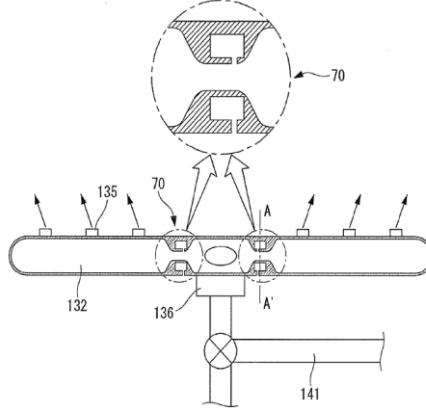
Şekil 2. 63 NL1004462 (C1) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi [40]

Toshiba firmasına ait [41] patent başvurusunda; çeşitli yerlerde yapılan tasarımlarla, suyun içerisine düzensiz hava kabarcıklarının da dahil olmasını sağlayarak daha etkin yıkamanın gerçekleşeceğinden bahsedilmiştir. Bu yapılar pervanede ya da su sistemi hattı üzerinde çeşitli yerlerde konumlandırılabilir. Su jetinin içerisine karışan hava ile birlikte oluşan karışımla gerçekleştirilen temizleme işleminin yıkama performansını arttıracığı iddia edilmiştir.



Şekil 2. 64 JP2005000511 (A) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi [41]

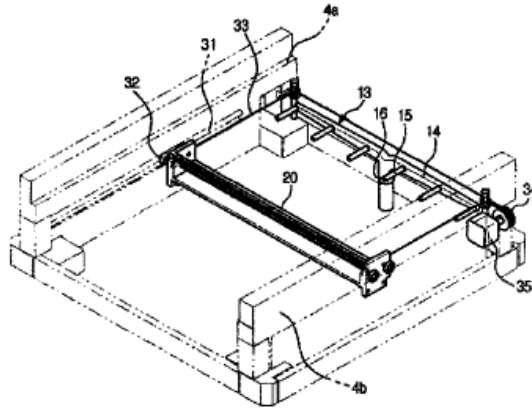
Choi Yongjin, Kim Daegy, Lee Taehee Ve Kim Seonghwan'a ait [42] patent başvurusunda; kullanılan su miktarını arttırmadan yıkama performansının artırılmasından bahsedilmiştir. Pervaneye nozul girişinden önce hava üniteleri yerleştirilmiştir. Bu sayede; nozullardan yıkama ünitesine su ve hava birlikte püskürtülmekte, daha yüksek jet kuvvetleri elde edilmektedir.



Şekil 2. 65 US2014069469 (A1) nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi [42]

Samsung ve Whirlpool gibi firmalar ise konvansiyonel pervane sistemlerinin dışına çıkarak, yıkama performansını arttıran alternatif spreyleme sistemleri konusunda patent başvuruları yapmışlardır.

Samsung firmasına ait [43] patent başvurusunda; kızak sistemiyle bulaşıkların yıkanmasından bahsedilmiştir. Kızak sistemi hareketini kayış-kasnak sistemiyle sağlamaktadır. Samsung'un kullandığı bu yıkama sistemiyle, temizleme performansının artırıldığı iddia edilmektedir.



Şekil 2. 66 CN103462574 (A)nolu patentte bahsedilen spreyleme sistemi [43]

TEORİK ÇALIŞMALAR

3.1 Lineer Momentum İlkesi

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

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

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;

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{\text{sistem}} \vec{v} \rho dV \quad (3.2)$$

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 Teoremine* göre düzenlersek;

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

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;

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

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;

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

olarak düzenlenmektedir.

Kütleli debi;

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

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;

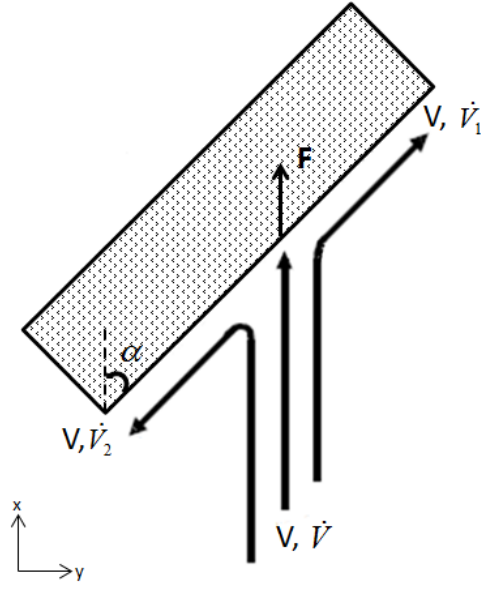
$$\int_{A_c} \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA_c = \rho v_m A_c \vec{v}_m = \dot{m} \vec{v}_m \quad (3.7)$$

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

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

olarak ifade edilmektedir.

3.2 Yüzeğe Etkiyen Jet Kuvvetinin Hesaplanması



Şekil 3. 1 Yüzeğe etkiyen kuvvet

Momentumun değişiminden dolayı kaynaklanan, yüzeyde x yönünde oluşan F jet kuvveti;

$$F = \rho v \dot{V} - (\rho v \dot{V}_1 \cos \alpha - \rho v \dot{V}_2 \cos \alpha) \quad (3.9)$$

Toplam hacimsel debi, yüzeyden iki yana giden debilerin toplamına eşit olduğundan,

$$\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 \quad (3.10)$$

eşitliğiyle,

$$F = \rho v \dot{V} \left(1 + \frac{(\dot{V}_2 - \dot{V}_1)}{(\dot{V}_1 + \dot{V}_2)} \cos \alpha\right) \quad (3.11)$$

K_p ifadesini, yüzeye etkiyen kuvvetin açı bağımlılık faktörü olarak tanımlarız.

$$K_p = \left(1 + \frac{(\dot{V}_2 - \dot{V}_1)}{(\dot{V}_1 + \dot{V}_2)} \cos \alpha\right) \quad (3.12)$$

Açının 90° olduğu yani su jetinin etki yüzeyine dik olarak geldiği durumda bu değer

$$K_p = 1 \text{ dir.}$$

Tüm bu eşitliklere göre,

$$F = K_p \rho v \dot{V} \quad (3.13)$$

Teorik jet kuvveti, lineer momentum prensibine göre (3.13) numaralı eşitlikle ifade edilmektedir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında yüzeye çarpan su jetinin oluşturduğu kuvvet ve bu kuvveti etkileyen parametreler incelenmiştir. Kuvvet ölçümü kapsamında, nozuldan çıkan su jetinin düz bir yüzeye çarptırılmasıyla elde edilen hidrodinamik kuvvetin değişen su debisi, nozul geometrisi, etki yüzeyi ile nozul arasındaki mesafeye ve etki yüzeyi açısına göre değişimi incelenmiştir.

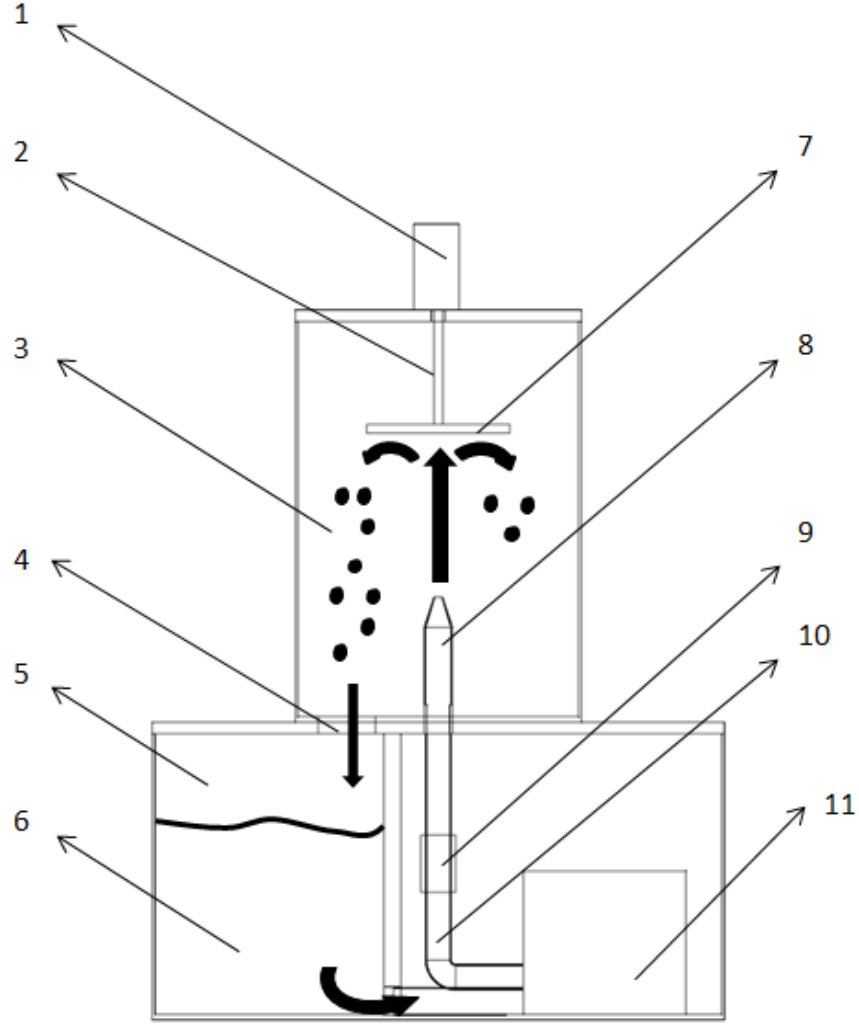
4.1 Deney Düzeneginin Tarifi

Hazırlanan deney düzenegi, Şekil 4.1'de görüldüğü gibi 400x400x500 mm boyutlarında PC (Polikarbonat) malzemedan yapılmış şeffaf gövdeden ve 410x150x150 mm boyutlarında yine aynı malzemedan yapılmış olan su tankından oluşmaktadır. Su tankının üst kısmında, suyun etki yüzeyine çarptıktan sonra tekrardan su tankına dönebilmesi için gereken sirkülasyon deliği bulunmaktadır. Bu sayede süreklilik sağlanabilmektedir.

Nozullar, SLS (Selective Laser Sintering) malzemedan üretilmiştir. Testlerde 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 olacak şekilde PC malzemedan yapılmıştır. 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 kapasitesi; 60 L/d'dır. Pompa debisinin ayarlanması küresel bir vana yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, basınçlandırılan suyun debisinin gözlemlenmesi için sisteme debimetre eklenmiştir.



Şekil 4. 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. Borular, 11. Pompa)

Su tankından pompa yardımıyla basınçlandırılan su, debimetreten 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

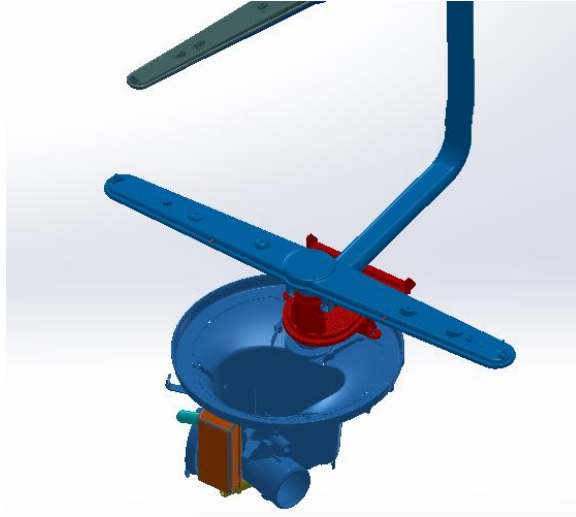
yüzeyine çarparak geri dönen su, sirkülasyon deliğinden geçerek tekrardan su tankına ulaşmaktadır. Böylece kapalı bir çevrim oluşturulmuştur.

4.2 Deney Düzeneğinin Kurulması

Bu kısımda, deney düzeneğinin kurulumu açıklanmıştır.

4.2.1 Nozul Tasarımı

Çalışmada, ev tipi yıkayıcılar referans alınmış ve çalışma bunun üzerine kurgulanmıştır. Deney düzeneğinde kullanılacak nozulu tasarlamak için; öncelikle yıkayıcının katı modelinden, pervanedeki suyun çıktığı deliklerin ölçüleri belirlenmiştir.



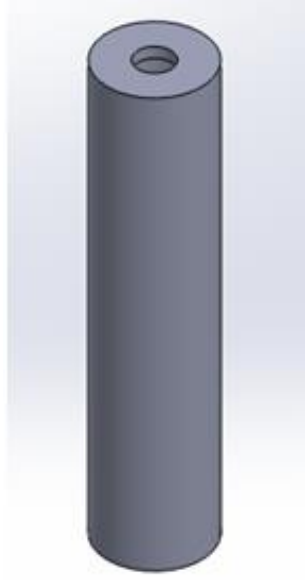
Şekil 4. 2 Yıkayıcı pervanesi katı modeli

Pervane üzerindeki delikler numaralandırılıp ölçülen değerler kaydedilmiştir.



Şekil 4. 3 Yıkayıcı alt pervane

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



Şekil 4. 4 Tasarlanan nozul tipi

Her birinden 3 adet olmak üzere toplamda 9 tane nozul üretilmiştir.



Şekil 4. 5 Üretilen nozullar

4.2.2 Gövde Tasarımı

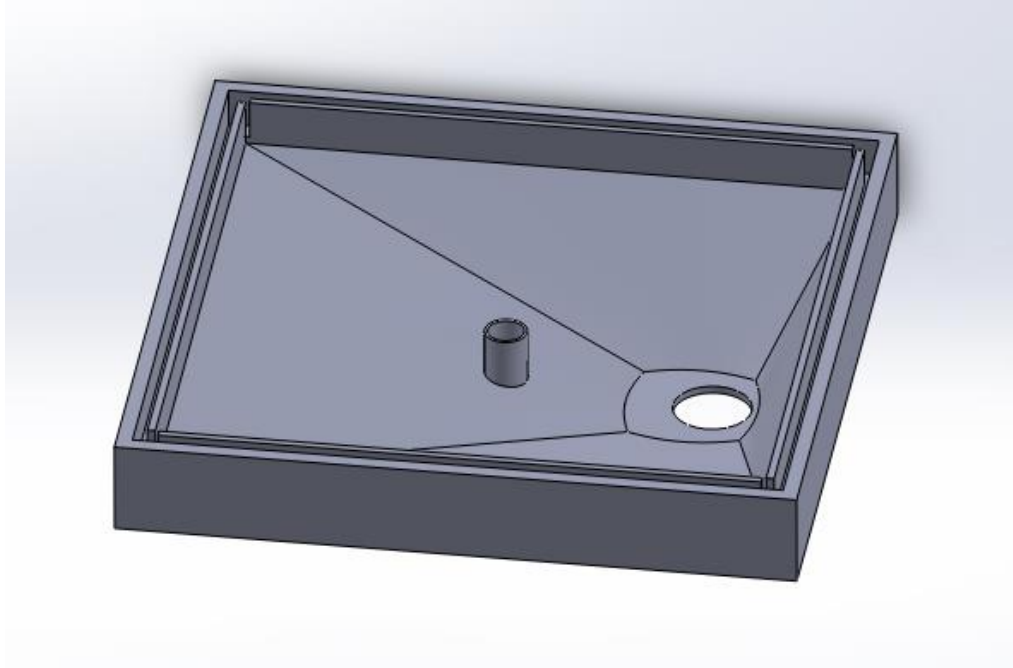
Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, Polikarbonat (PC) malzeme istenilen ölçülerde kesildikten sonra, yapıştırılarak birleştirilmiştir. Polikarbonat malzemesinin seçilmesinin başlıca

nedenleri, malzemenin şeffaf olması ve iç ortamı gözlemlene fırsatı vermesi, ısı direncinin olması ve sıcak su ile çalışma imkanı sunmasıdır.



Şekil 4. 6 Malzemenin kesilmesi ve birleştirilmesi

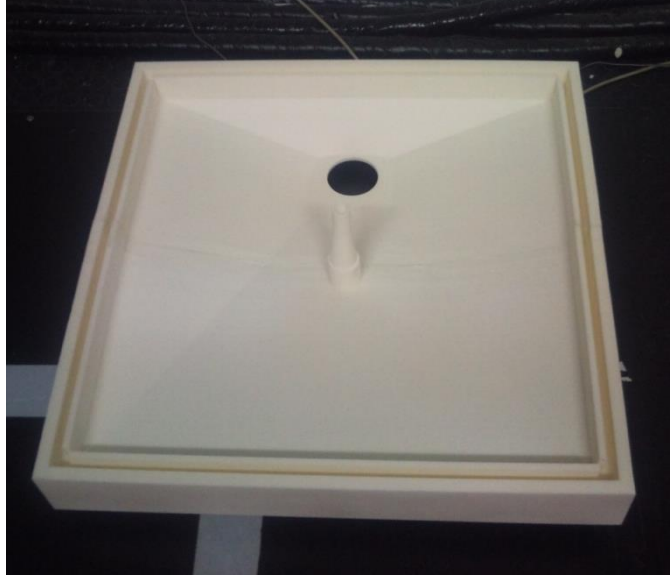
Üzerine gövde kısmı gelecek olan kasayı tasarlamak için yıkayıcının genel yapısı göz önüne alınmıştır. Su sirkülasyonunun kolay sağlanması ve gelen suyun pompaya tekrar kolayca dönebilmesi için kasanın içi eğimli olarak tasarlanmıştır. Bu sayede suyun sürekliliği sağlanmıştır. Modellenen parçalar SLS malzemedan prototiplenmiştir.



Şekil 4. 7 Tasarlanan kasa geometrisi

Prototip merkezinde üretilen parçaların montaj hali Şekil 4.8'deki gibidir. Kasa SLS prototipleme teknolojisiyle üretilmiştir. SLS, plastik prototip üretimde yaygın olarak

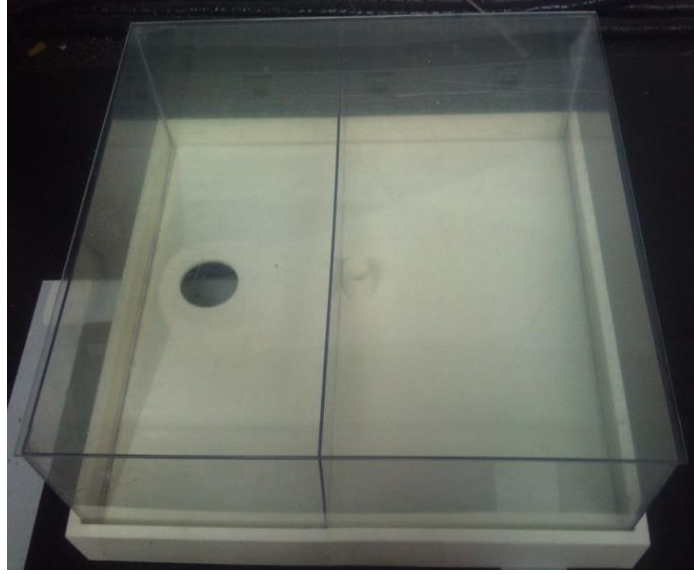
kullanılan hızlı prototipoleme tekniklerinden biridir. Bu teknolojiyle, epoksi reçine malzemelerden üretilen parçalar, yüksek yüzey kalitesi ve yüksek hassasiyet değerlerine sahiptir. Aynı zamanda neme karşı oldukça dayanıklıdırlar [45].



Şekil 4. 8 Üretilen kasa

4.2.3 Su Tankının Tasarımı

Su tankının boyutlarının belirlenmesinde, pompanın sistem durgun haldeyken ilk sirkülasyonun sağlayacağı su yollarının hacmi baz alınmıştır. Aksi halde pompa boşa çalışarak zarar görecektir. Bunun sonucunda tankın boyutları 410x150x150 mm olarak hesaplanmıştır. Ardından PC malzeme uygun ölçülerde kesilerek birleştirilmiştir. Şekil 4.9’da görüldüğü gibi kasanın altına yapılan su tankı sirkülasyon deliğinin bulunduğu kısımdadır. Diğer kısma ise son montaj aşamasında pompa ve borular yerleştirilecektir.



Şekil 4. 9 Hazırlanan su tankı

Birleştirilen malzemeler silikon uygulamasıyla daha sağlam hale getirilmiştir ve sızdırmazlık sağlanmıştır. Sistem üzerinde pompa ve ara bağlantı elemanlarının montajı yapılmıştır. Ayrıca içerideki suyun sistemden kolaylıkla tahliye edilebilmesi için şekil 4.10'da görüldüğü gibi küresel vana yerleştirilmiştir.



Şekil 4. 10 Pompa ve küresel vananın montajı

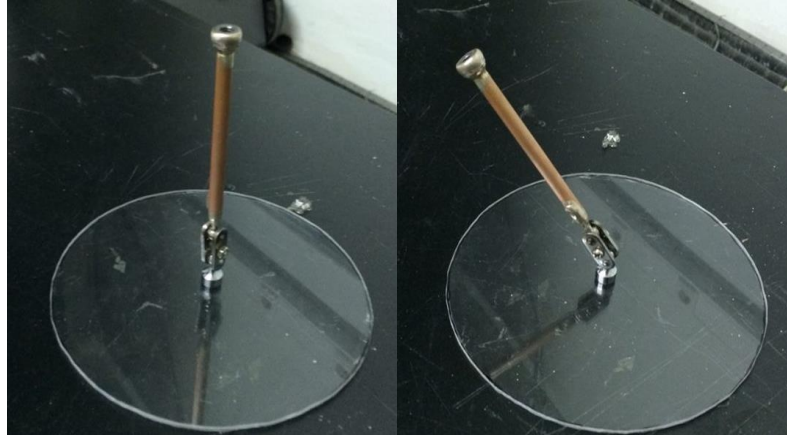
4.2.4 Üst Kapağın ve Etki Yüzeyinin Tasarımı

Su jetinin etkiyeceği yüzey; gündelik hayatta kullandığımız tabaklara yakın ve basit bir formda düşünülmüştür. Bunun neticesinde, 15 cm çapında PC malzemedен dairesel bir parça kesilmiştir. Kenarları zımparalanmıştır.



Şekil 4. 11 Etki yüzeyi

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi kesilen yüzeye küresel mafsallı aracılığıyla ince bir mil bağlanmıştır. Böylece etki yüzeyi, ev tipi yıkayıcıların sepetinde bulunan tabakları simüle edecek şekilde, istenilen açı aralığında kolaylıkla ayarlanabilmektedir.



Şekil 4. 12 Küresel mafsallı monte edilmiş etki yüzeyi

4.2.5 Kuvvet Ölçüm Cihazının Belirlenmesi

Deneylerde kullanılan kuvvet ölçüm cihazı elektronik dinamometredir. Deney düzeneğinde kullanılan dinamometrenin özellikleri şu şekildedir:

- 20 Newton kapasitelidir.
- 0,01 N hassasiyete sahiptir.
- Birim değiştirme tuşu yardımı ile dinamometre ile ölçülecek birimi seçebilmektedir (N, kgf, lbf) [46].



Şekil 4. 13 Dijital dinamometre [46]

4.2.6 Pompanın Seçilmesi

Herhangi bir sisteme pompa seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterler şunlardır:

- Gerekli debi miktarı
- Çalışma basıncı
- Pompanın fiyatı
- Pompanın bakım ve onarım kolaylığı
- Pompanın dönüş hızı

- Pompa verimi
- Pompa boyutları
- Pompanın sessiz ve titreşimsiz çalışması
- Pompanın dönüş yönü
- Pompanın montaj kolaylığı
- Yedek parça bulma kolaylığı [47]

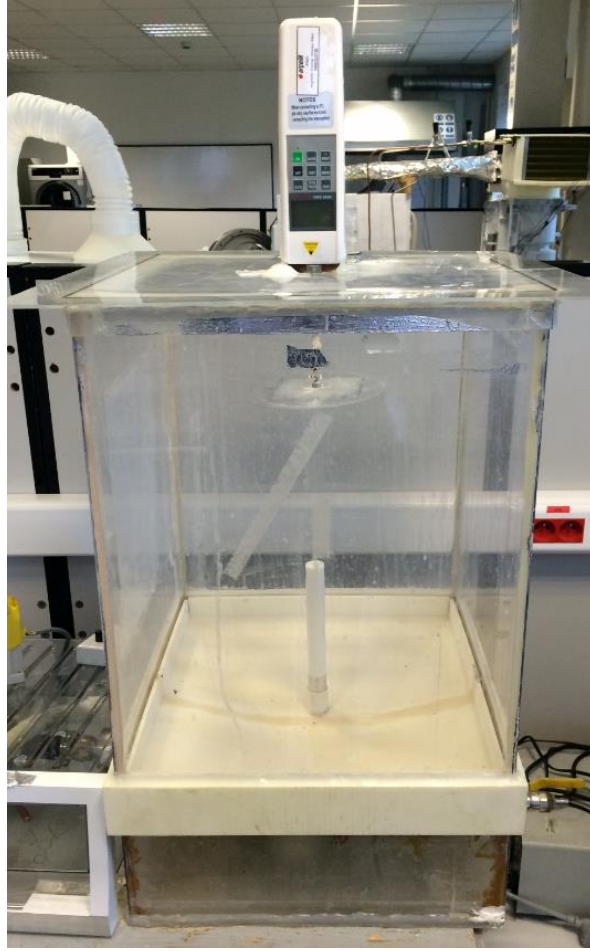
Sisteme boyutsal olarak uygunluğu, bastığı debi miktarı, çalışma basıncı, verimi ve montaj kolaylığı açısından yapılan çalışmalar sonucunda, Şekil 4.14’de görüldüğü gibi Arçelik A.Ş. yıkayıcılarında kullanılan santrifüj pompa, deney düzeneği için uygun görülmüştür.



Şekil 4. 14 Seçilen santrifüj pompa

4.3 Ölçüm Belirsizliği Analizleri ve Deney Planı

Deney düzeneğindeki tüm parçalar montajlanarak sistem son halini almıştır.



Şekil 4. 15 Su jeti deney düzeneği

Deneyler gerçekleştirilmeden önce, kurulan test düzeneği sistemi (Şekil 4.15) için belirsizlik analizi yapılmıştır. Ölçülen verilerin tekrarlı olup olmadığı, ölçülecek parametrelerin sonuçlar üzerinde anlamlı etkiye 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 (11, 14, 17 mm²) sahip nozullar için iki farklı operatör tarafından deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan öncül testler sonucunda sistem tekrarlanabilir sonucuna ulaşılmıştır.

4.3.1 Ölçüm Belirsizliği Analizleri

Ölçüm belirsizliği analizi öncesi çalışmanın tanımlanması gerekmektedir. Çalışmada hedef olarak 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 özelliklerini kapsayacak biçimde mertebe seçilmiştir.

Öncelikle 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 sonucu değiştirmeyeceği kabul edilmiştir.

Ölçüm belirsizliği testleri iki operatör ve dört parametre için gerçekleştirilmiştir.

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			

Alpha to remove interaction term = 0,25

Şekil 4. 16 Ölçüm belirsizliği analizi–parça ve operatör irdelenmesi

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi, analizde Pvalue değerleri incelenmiştir. Pvalue değerleri, analiz sonucunda her bir faktör ve etkileşimleri için elde edilen olasılık değerlerinin, önceden kabul edilen bir risk ile karşılaştırılarak incelenen faktör ve etkileşimlerinin çıktı üzerinde etkili olup olmadığına karar vermek için kullanılmaktadır. Bu risk, verilen karar ile alınacak riski belirtmekte ve çalışılan güven aralığını ifade etmektedir. Risk seviyesi, çalışılan konuya bağlı olarak belirlenmektedir. Endüstriyel alanların birçoğunda olduğu gibi, bu tez çalışmasında da risk değeri %5 olarak kabul edilmiştir.

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 irdelenmiştir. Bu çalışma ileride çift operatör ile çalışılması ihtimali üzerine yapılmıştır.

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

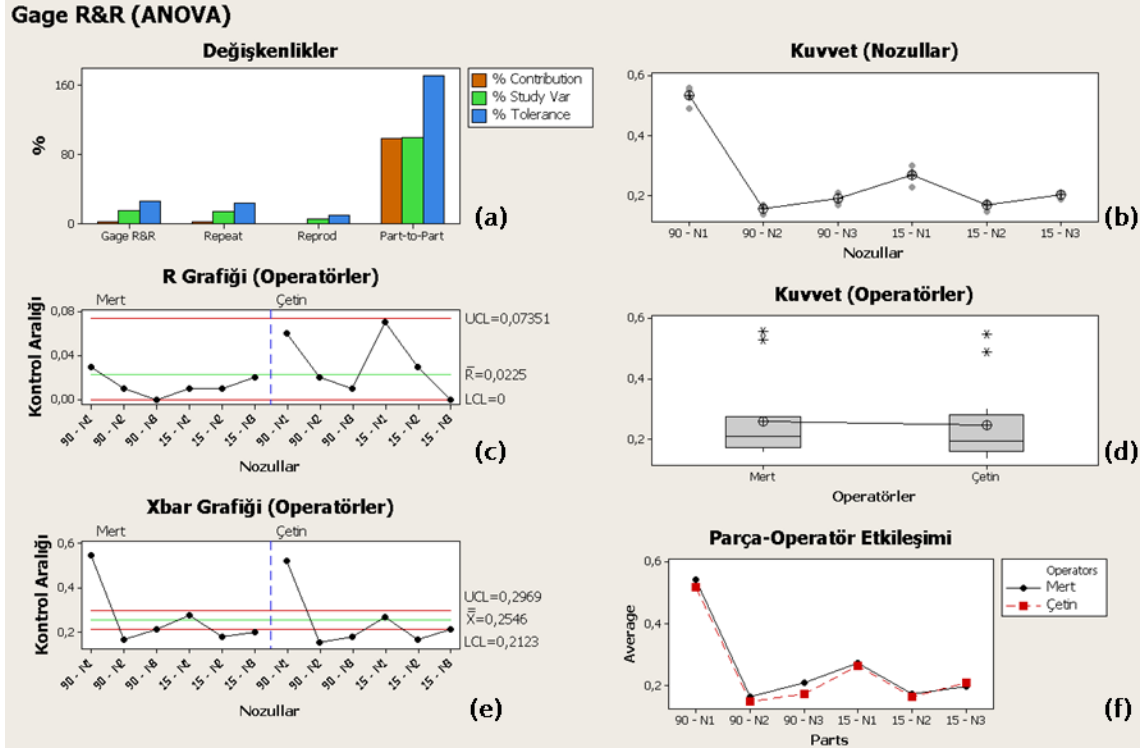
Process tolerance = 0,5

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

Şekil 4. 17 Ölçüm yeterliliği analiz sonuçları

Ölçüm yeterliliği analizi çıktısı Şekil 4.17'de verilmiştir. Bunun için toplam Gage R&R değerine bakılmaktadır. Toplam ölçüm yeterliliği %26,11 çıkmıştır. Endüstriyel çalışmalarda %30'un altında çıkması durumunda ölçüm yeterliliğinin olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 4. 18 Ölçüm belirsizliği analiz sonuçları-tekrarlanabilirlik, parça yeniden üretilebilirlik ve operatörlerin irdelenmesi

Şekil 4.18.a'daki grafik değişkenlikleri göstermektedir. Ölçüm değişkenliklerinin ağırlıklı parçadan gelmesi beklenen ve istenen bir durumdur. Bu, değişkenliğe sebep olan parametrenin parçalar olduğunu göstermektedir. Tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik bölümlerinin yüzdesi oldukça düşüktür, bu durumda tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik konularında değişkenlik olmadığı söylenebilmektedir.

Şekil 4.18.b'deki grafik, birbirine benzer parçaların sonuçlarını göstermektedir. Birbirine benzer parçaların değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

Şekil 4.18.c'deki grafikte operatörlerin ölçüm sonuçları gösterilmiştir. İki operatör de alt ve üst kontrol limitinin içinde ölçüm yapmıştır.

Şekil 4.18.d'deki grafikte iki operatörün ölçüm ortalamaları gösterilmiştir. İki kutuyu birbirine bağlayan çizgi ortalamaları temsil etmektedir. Bu çizginin paralele yakın olması ölçümlerin birbirine yakın olduğunu göstermektedir.

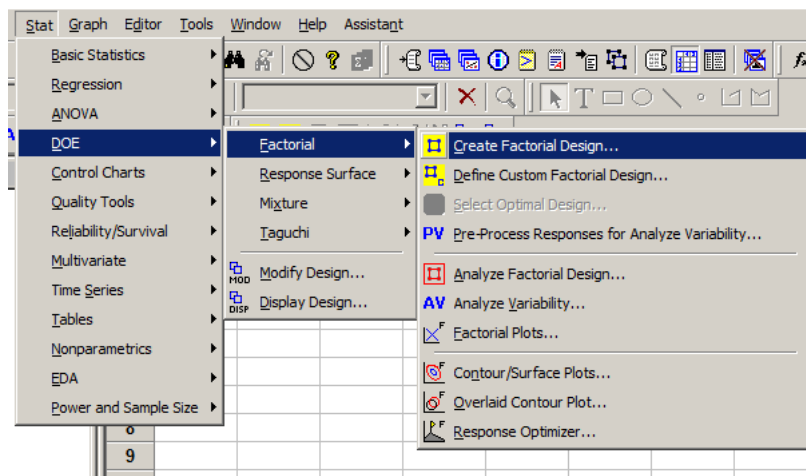
Şekil 4.18.e'deki grafik parçaların değişkenliğini göstermektedir. Bu grafikte parçaların mümkün olduğunda alt ve üst kontrol limitinin dışında seyretmesi beklenmektedir.

Grafikte de parçalar ağırlıklı olarak alt ve üst kontrol limitinin dışında çıkmıştır. Bu durumda, parçaların birbirinden farklı seçildiği söylenebilir.

Şekil 4.18.f'deki grafik operatörlerin ölçümlerini göstermektedir. Operatörlerin ölçümlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

4.3.2 Deney Planı

Deneyisel çalışma için bir deney tasarımı oluşturulmuş ve parametrelerin sonuç üzerindeki etkileri kontrollü bir biçimde ortaya konmuştur. Bu istatistiksel çalışma için Minitab Programı'nda DOE (Design of Experiment) paketi kullanılmıştır.



Şekil 4. 19 Faktöriyel deney tasarımı-Minitab Programı

Çizelge 4.1'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 deney parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 4. 1 Deney planı

Parametreler	Minimum değer	Maksimum değer
Debi (L/d)	2,5	3,5
Nozul kesit alanı (mm ²)	11	17
Etki yüzeyi açısı (°)	20	90
Mesafe (cm)	15	25

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.

Full Factorial Design

```
Factors:    4   Base Design:          4; 16
Runs:      36  Replicates:                2
Blocks:    1   Center pts (total):        4
```

All terms are free from aliasing.

Şekil 4. 20 Tam faktöriyel deney tasarımı

Şekil 4.20'de; dört farklı parametreyle, iki kez tekrarlı ve dört adet merkez noktayı içeren tam faktör bir deney tasarımının detayları verilmiştir.

Deney tasarımında kontrollü bir biçimde, tüm parametreler birbiriyle çarpıştırılarak test edilmiş ve sonuçlar işlenmiştir. Çizelge 4.2'de parametrelerin birbiriyle çarpıştırılması gösterilmiştir. Ayrıca son dört testte minimum maksimum arasında kalan parametreler de test edilmiştir.

Çizelge 4. 2 Kuvvet ölçümü deney planı

Deney No	Debi(L/d)	Kesit alanı(mm ²)	Açı(°)	Mesafe(cm)
1	2,5	11	20	15
2	3,5	11	20	15
3	2,5	17	20	15
4	3,5	17	20	15
5	2,5	11	90	15
6	3,5	11	90	15
7	2,5	17	90	15
8	3,5	17	90	15
9	2,5	11	20	25
10	3,5	11	20	25
11	2,5	17	20	25
12	3,5	17	20	25
13	2,5	11	90	25
14	3,5	11	90	25
15	2,5	17	90	25

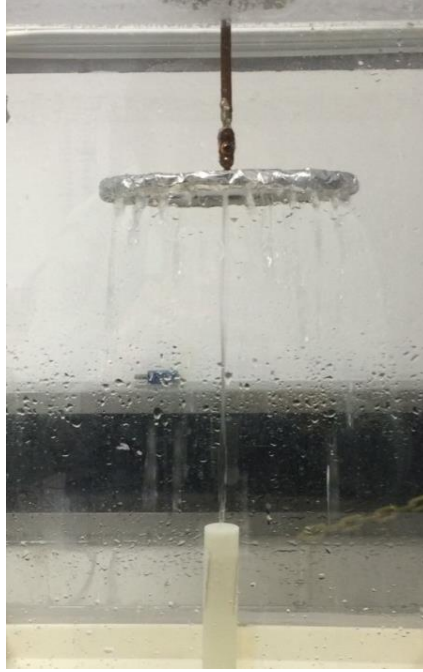
Çizelge 4. 3 Kuvvet ölçümü deney planı (devamı)

16	3,5	17	90	25
17	2,5	11	20	15
18	3,5	11	20	15
19	2,5	17	20	15
20	3,5	17	20	15
21	2,5	11	90	15
22	3,5	11	90	15
23	2,5	17	90	15
24	3,5	17	90	15
25	2,5	11	20	25
26	3,5	11	20	25
27	2,5	17	20	25
28	3,5	17	20	25
29	2,5	11	90	25
30	3,5	11	90	25
31	2,5	17	90	25
32	3,5	17	90	25
33	3	14	55	20
34	3	14	55	20
35	3	14	55	20
36	3	14	55	20

SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

5.1 Sonuçlar

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. Suyun nozuldan çıkmasıyla jet halinde çıkan suyun yüzeyde oluşturduğu etki kuvveti dinamometre ile ölçülmüştür.



Şekil 5. 1 Su jetinin etki yüzeyine çarpması (etki yüzeyinin açısı 90°'dir.)

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	-0,00062	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%

Şekil 5. 2 Kuvvet üzerine etki eden parametrelerin analiz sonuçları

İstatistiksel metotlarla yapılan çalışmada, test sonuçları Şekil 5.2'de verilmiştir. Burada 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 dahil edilmemiştir. Etkili olmayan parametreler çıkarılarak sonuçlar tekrar ortaya konmuştur.

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

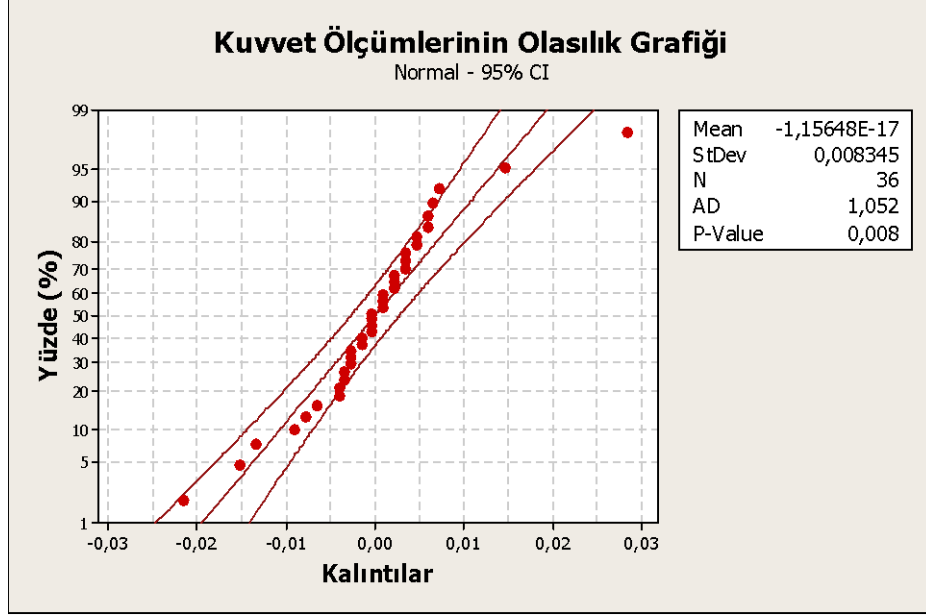
Estimated Effects and Coefficients for kuvvet (coded units)

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%

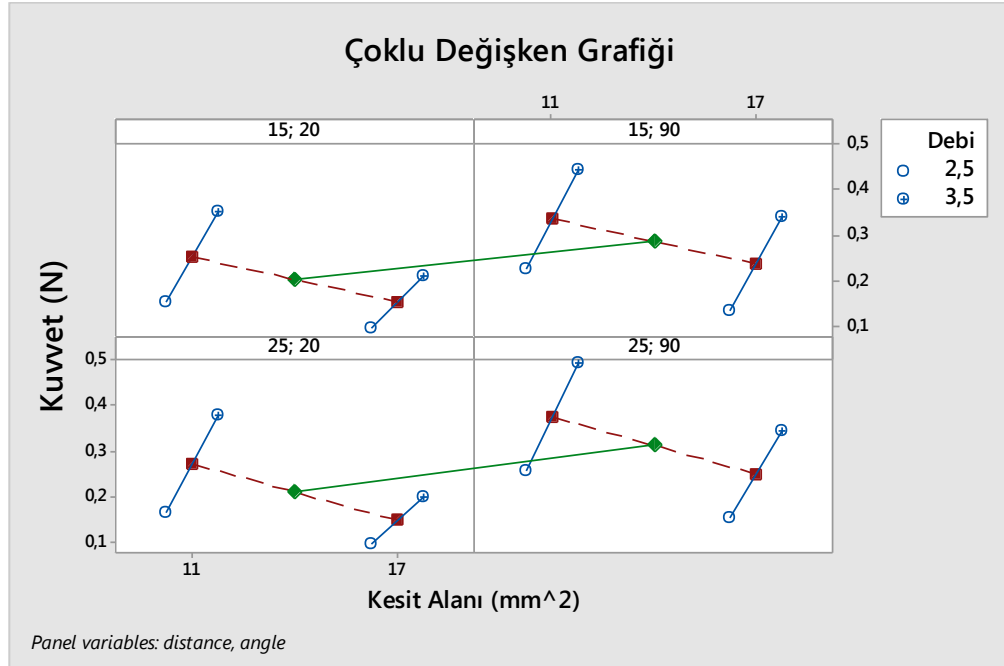
Şekil 5. 3 Kuvvet üzerine etki eden parametrelerin sadeleştirilmiş analiz sonuçları

Analizde 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 ortaya konmuştur.



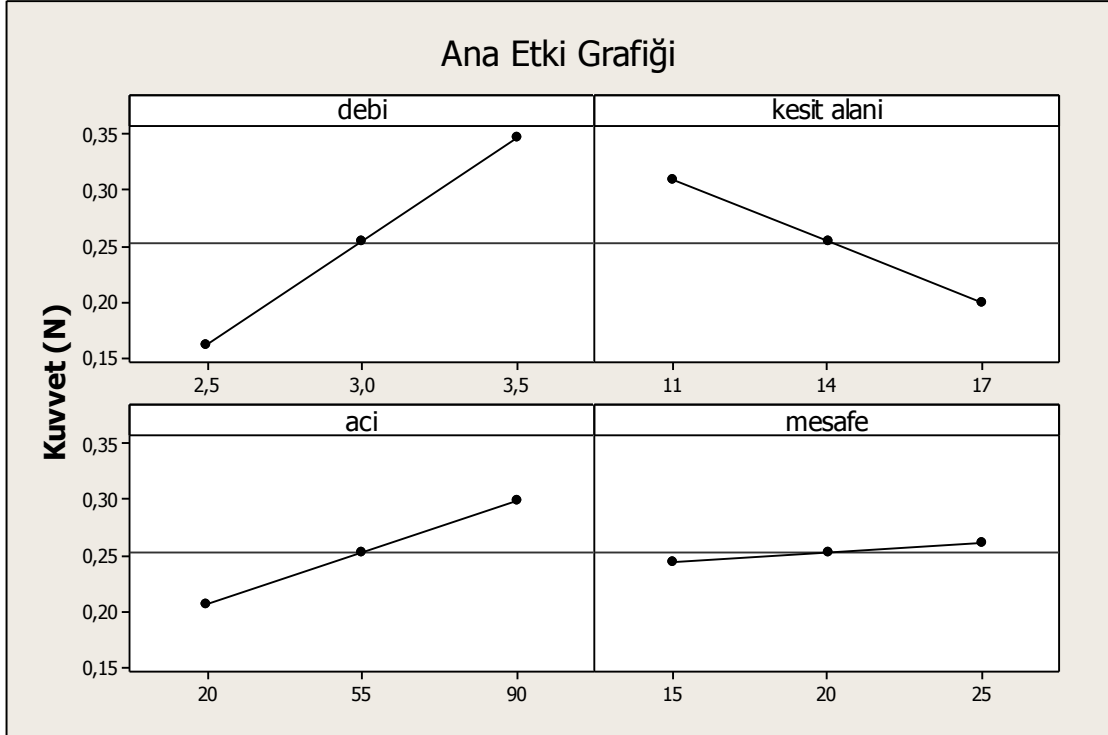
Şekil 5. 4 Kuvvet ölçümlerinin olasılık grafiği

Şekil 5.4'de görüldüğü gibi kuvvet ölçüm analizinin kalıntıları normal dağılmaktadır. sapmalar kabul edilen aralıkta bulunmaktadır.



Şekil 5. 5 Çoklu değişken grafiği

Şekil 5.5’de görüldüğü üzere, yapılan kuvvet ölçümleri sonucunda en yüksek jet kuvveti debinin 3,5 L/d, nozul çıkış kesit alanı 11 mm², etki yüzeyi açısının 90° ve mesafenin 25 cm olduğu durumda 0,49 N olarak ölçülmüştür. En düşük jet kuvveti değeri ise; debinin 2,5 L/d, nozul çıkış kesit alanı 17 mm², etki yüzeyi açısının 20° ve mesafenin 15 cm olduğu durumda 0,09 N olarak ölçülmüştür.



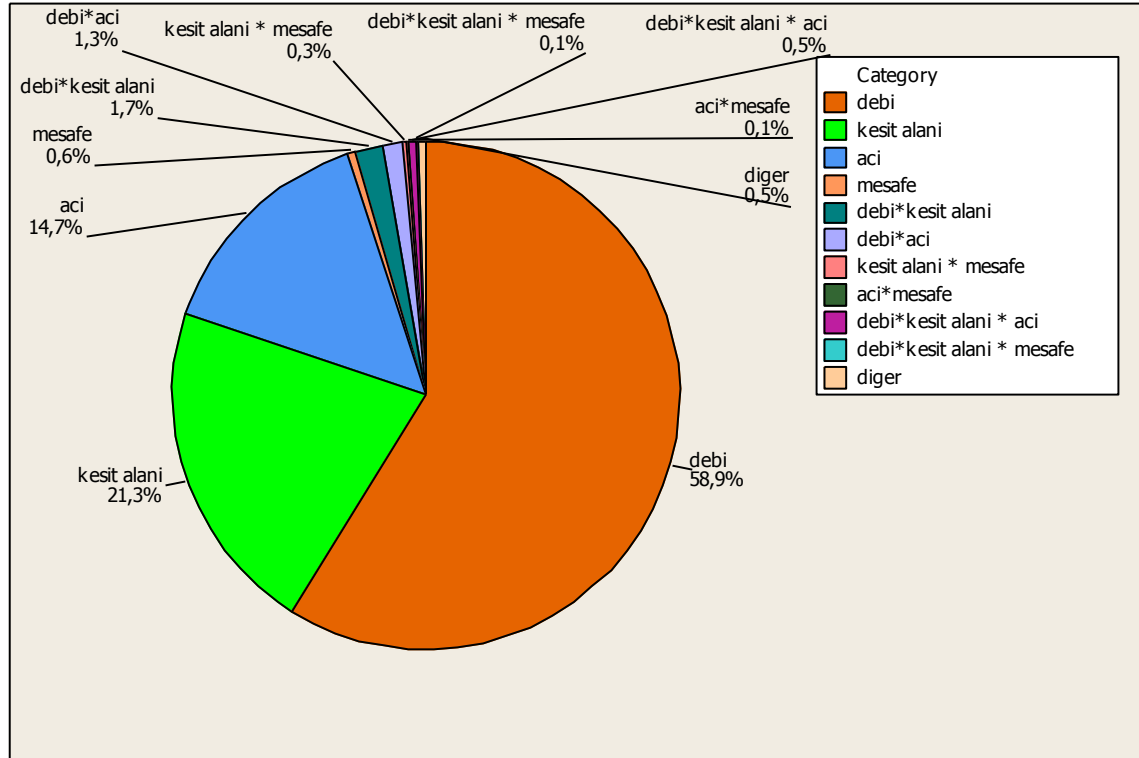
Şekil 5. 6 Parametrelerin jet kuvveti üzerindeki ana etki grafiği

Şekil 5.6’daki ana etki grafiğine bakılarak parametrelerin değişiminin kuvveti nasıl değiştirdiği incelenebilmektedir. Yatay eksen parametreleri, dikey eksen ise kuvvetleri N(Newton) cinsinden ifade etmektedir. Buna göre; aynı çıkış kesit alanına sahip nozulda debinin yükselmesiyle birlikte, suyun yüzeyde oluşturacağı jet kuvveti artmaktadır. Aynı debi değerine sahip nozullarda; nozul çıkış kesit alanı azaldıkça, su jetinin hızının artmasıyla birlikte yüzeyde oluşan etki kuvvetleri artmaktadır.

Aynı deney koşullarında; etki yüzeyi açısının artışı jet kuvvetini artırmaktadır. Nozul ile etki yüzeyi arasındaki mesafe artışı da az da olsa kuvveti artırmaktadır. Burada, eğrilerin eğimi kuvvet üzerindeki etkinin yoğunluğunu göstermektedir.

Şekil 5.6’daki grafiklere göre; debi ve kesit alanı su jetinin hızını etkilemektedir ve kuvveti keskin biçimde değiştirmektedir. Açının da kuvvet üzerinde etkili olduğu

söylenilmektedir ve açının 20°'den 90°'ye çıkması kuvveti arttırmaktadır. Bu da beklenen bir çıktır. Etki yüzeyi ile nozul arasındaki mesafe ise kuvvet üzerinde düşük oranda etkilidir. Bu mesafenin artması kuvveti az da olsa arttırmaktadır. Bu artış, suyun henüz ivmelenme aşamasında olmasından kaynaklanmaktadır.

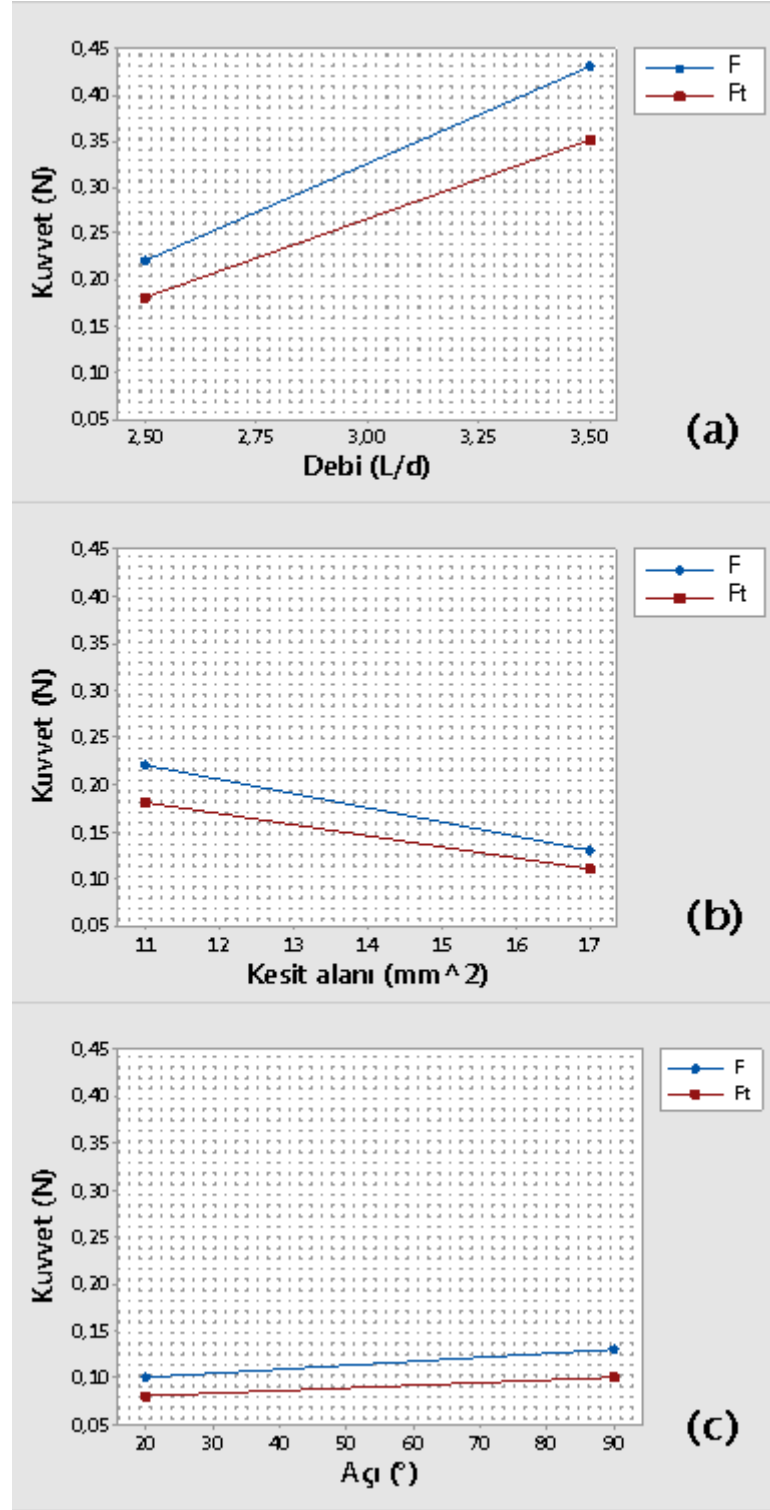


Şekil 5. 7 Kuvvet üzerinde etkili olan parametrelerin % grafiği

Şekil 5.7'deki grafikte parametrelerin sonuç üzerinde etkisi gösterilmektedir. Buna göre; debinin kuvvet üzerindeki tekil etkisi %58,9 olarak hesaplanmıştır. Kesit alanının tekil etkisi %21,3 olarak hesaplanırken, açının etkisi %14,7'dir. Bunun dışında kalan %5,1'lik dilimde de ikili ve üçlü etkileşimler bulunmaktadır.

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

Momentumun korunumu yasası gereği, teorik jet kuvvetleri, lineer momentum prensibine göre (3.13) numaralı eşitlikle hesaplanmıştır. Teorik hesaplamalarda, plaka yüzeyine uygulanan jet kuvvetleri, suyun nozuldan çıkış hızı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 5.8'de görüldüğü üzere deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. 8 Çeşitli deney koşullarında teorik ve deneysel jet kuvvetlerinin karşılaştırılması
a) Nozul çıkış kesit alanı 11 mm², etki yüzeyi açısı 90° ve nozul ile etki yüzeyi arası mesafe 15 cm
b) Debi 2,5 L/d, etki yüzeyi açısı 90° ve mesafe 15 cm
c) debi 2,5 L/d, nozul çıkış kesit alanı 17 mm² ve mesafe 15 cm

Şekil 5.8’de görüldüğü gibi; deneysel (F) ve teorik kuvvet (Ft) sonuçları birbirine oldukça yakındır. Ayrıca eğri karakteristikleri de benzerlik göstermektedir. Buna rağmen bir miktar farklılıklar bulunmaktadır.

Teorik hesaplamalar uniform ve daimi akış kabulleri ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca etki yüzeyine gelen jet kuvvetinin dinamometreye iletimi sırasında bir miktar enerji titreşim enerjisine dönüşmektedir. Bunlara ek olarak, teorik hesaplamalarda su, yüzeye çarptıktan sonra, yüzeye paralel olarak dağıldığı varsayılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Fakat gerçekte bir miktar su, yüzeye çarptıktan sonra açılı olarak sıçrayabilmektedir. Bu durum, deneysel olarak ölçülen kuvvetlerin, jet kuvvetlerinden biraz daha fazla olmasını sağlamaktadır.

5.2 Değerlendirmeler

Tez çalışmasında, yıkama performansı üzerinde etkili olan parametrelerden mekanik etki, kimyasal etki, sıcaklık etkisi ve zaman etkisi üzerine literatür araştırması yapılmıştır. Ayrıca mekanik etki parametreleri deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Bu doğrultuda, akışkan debisi, jetleme açısı, mesafe ve nozul kesit alanı gibi parametrelerin jet kuvveti üzerine etkisi incelenmiştir.

Kuvvet üzerinde etkisi en yüksek olan parametre akışkanın debisidir. Diğer bir önemli parametre ise nozul çıkış kesit alanıdır. Bu iki parametre hızı doğrudan etkilemektedir.

Düşük akışkan debilerine oranla yüksek debilerde etki yüzeyi açısı ve nozul çıkış kesit alanı değişimi kuvvet üzerinde daha baskın etki yaratmaktadır.

Etki yüzeyinin açısı arttıkça yüzeyde suyun momentumunun aktarması sonucu oluşan jet etkisi artmaktadır. Jet kuvveti 90° açı değerinde maksimum olmaktadır. Bu durum literatürle uyumludur.

Daha uzun etki yüzeyi ile nozul arasındaki mesafesi daha yüksek jet etkisinin oluşmasını sağlamaktadır. Bu durum, gerçekleştirilen bu çalışma aralığında suyun hızlanma aşamasında olduğunu göstermektedir.

Bu parametreler jet kuvvetinin yüzeyden temizlenmesini etkilemektedir. Daha yüksek kuvvet değerlerinde kirin yüzeyden daha kolay uzaklaşacağı düşünülmektedir. Fakat

mekanik etki kapsamında kir çıkarma performansına etki eden tek parametre kuvvet değildir. Aynı zamanda suyun yüzeye çarptıktan sonraki durumu, yayılması ve yüzeyin karakteristiği de temizleme performansını etkileyebilmektedir.

Gelecekte, etki yüzeyi ve bağlantı çubuğundan dolayı oluşan titreşimin, dinamometreye aktarılan su jeti kuvveti üzerindeki etkisi incelenebilir.

Yapılan çalışmalara ek olarak, kuvvet ile aynı deney koşullarındaki kir çıkarma performansı arasındaki ilişki incelenebilir. Ayrıca, dört ana etkinin bir arada bulunduğu, debi, nozul çıkış kesit alanı, etki yüzeyi açısı, deterjan konsantrasyonu, su sıcaklığı ve jetleme süresi gibi değişken parametrelerle kir çıkarma performansı incelenerek, genel bir yıkama modellemesi yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Tsouknidas P. ve Zhang X., (2010). Dishwasher Improvement at ASKO, Developing A Simplified Test Method To Determine The Influence of Spray Arm Speed and Pressure, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- [2] Kaiser Kraft, Yüksek Basıncılı Temizlik Temelleri, <http://www.kaiserkraft.com.tr/yukse-bas%C4%B1ncl%C4%B1-temizlik>, 25 Mayıs 2014.
- [3] Kinloch, A. J., (1987). Adhesion and Adhesives: Science and Technology, Chapman and Hall.
- [4] Rosen, M.J., (1989). Surfactants and Interfacial Phenomena, John Wiley&Sons, New York.
- [5] Cox, M. F., (1986). "Surfactants for Hard Surface Cleaning: Mechanisms of Solid Soil Removal", J. Am. Oil Chem. Soc., 63:559-565.
- [6] Verma, S. ve Kumart, V. V., (1998). "Relationship Between Oil-Water Interfacial Tension and Oily Soil Removal In Mixed Surfactant Systems", Journal of Colloid and Interface Science, 207:1-10.
- [7] Neptune Waterjet, Su jeti, <http://www.neptunewaterjet.com/waterjet>, 17 Ekim 2014.
- [8] Mendi F. ve Külekçi M., (1999). İmalatta Su Jeti Uygulamalarının Değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- [9] Guhaa A., Barrona M. ve Balachandar R., (2010). An Experimental and Numerical Study of Water Jet Cleaning Process, University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada.
- [10] Cengel Y. ve Cimbala J., (2004). Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications, New York: McGraw-Hill.
- [11] Spraying Systems Co., Nozul Seçim Kriterleri, http://tr.spray.com/literature/literature_all.aspx, 7 Aralık 2014.

- [12] Tutkak E., (2010). Bulaşık Makinası Enerji Tüketimi - Yıkama Performansı İlişkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [13] Arçelik A.Ş., Bulaşık Makineleri, <http://www.arcelik.com.tr/bulasik-makineleri.html>, 13 Ocak 2015.
- [14] Otomatik Yıkayıcılar, Dishwasher, <http://www.automaticwasher.org/photos>, 16 Nisan 2015.
- [15] MEGEP, (2007). Bulaşık Makineleri, Elektrik Elektronik Teknolojisi, Ankara.
- [16] Arçelik A.Ş., (2006). Ürün Detayları Dökümanı, Bulaşık Makinesi İşletmesi, Ankara.
- [17] Arçelik A.Ş., (2008). Altı Sigma Karakuşak Eğitim Notları, Çamaşır Makinesi İşletmesi, İstanbul.
- [18] Doebelin, E. O., (1995). Engineering Experimentation Planning Execution Reportin, McGraw Hill, New York.
- [19] Minitab 15, (2007). Tutorials, Yazılım programı.
- [20] W. Liu, G. K. Christian, P.J. Fryer ve Z. Zhang, (2002). "Development and Use of A Micromanipulation Technique for Measuring The Force Required to Disrupt and Remove Fouling Deposits", Centre for Formulation Engineering, Chemical Engineering, University of Birmingham, Birmingham, UK, 80:286-291.
- [21] W. Liu, P.J. Fryer, Z. Zhang, Q. Zhao ve Y. Liu, (2006). "Identification of Cohesive and Adhesive Effects in the Cleaning of Sood Fouling Deposits", Innovative Food Science and Emerging Technologies, Centre for Formulation Engineering, Chemical Engineering, University of Birmingham, Birmingham, UK, 7:263-269.
- [22] U. Bobe, J. Hofmann, K. Sommer, U. Beck ve G. Reiners, (2000). "Adhesion Where Cleaning Starts", Trends in Food Science & Technology, Münich Teknik Üniversitesi, Almanya, 18:36-39.
- [23] Sertore D., Fusetti M., Michelato P., Pagani C. ve Pierini P., (2006). "High Pressure Rinsing Water Jet Characterization", Proceedings of EPAC06, 26-30 June, Edinburgh, Scotland, 18-22.
- [24] Sertore D., Fusetti M., Michelato P. ve Pagani C., (2008). "High Pressure Rinsing Water Jet Interactions", Proceedings of EPAC08, 23-27 June, Milano, Italy, 910-912.
- [25] 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.
- [26] Toshiyuki Sanada, Keita Ando ve Tim Colonius, (2012). "Effects of Target Compliance on a High-Speed Droplet Impact", Solid State Phenomena, 187:137-140.

- [27] A. Kibar, H. Karabay, K. S. Yiğit, I. O. Uçar ve H. Y. Erbil, (2010). "Experimental Investigation of Inclined Liquid Water Jet Flow onto Vertically Located Superhydrophobic Surfaces", *Exp Fluids*, 49:1135-1145.
- [28] 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*, 83:60-75.
- [29] Samsung Electronics, Dishwasher, Patent No: KR100258615 (B1), Alındığı tarih: 01.07.2000.
- [30] Samsung Electronics, Dishwasher, Patent No: KR100267927 (B1), Alındığı tarih: 01.12.2000.
- [31] Matsushita Electric, Rotary Nozzle Device And Its Design Method, Patent No: JP2004000654 (A), Alındığı tarih: 08.01.2004.
- [32] Lg Electronics, Dishwasher, Patent No: KR20130033811 (A), Alındığı tarih: 04.04.2013.
- [33] Panasonic, Dishwasher, Patent No: EP2721989 (A1), Alındığı tarih: 04.23.2014.
- [34] Panasonic, Dishwasher, Patent No: CN102858222 (A), Alındığı tarih: 02.01.2013.
- [35] Miele, Dishwasher with Automatic Reversal of the Direction of Rotation of the Spray Arm, Patent No: EP2601878 (A2), Alındığı tarih: 12.06.2013.
- [36] Midea Group, Spraying Arm Two-Way Rotational Structure of Dish Washing Machine, Patent No: CN203369879 (U), Alındığı tarih: 01.01.2014.
- [37] Electrolux, Dishwasher with Rotating Spray Agitator, Patent No: US5655556 (A), Alındığı tarih: 02.08.1997.
- [38] Mitsubishi, Dishwasher, Patent No: JP2005296107 (A), Alındığı tarih: 27.10.2005.
- [39] BSH, Dishwasher, Patent No: DE102010043021 (A1), Alındığı tarih: 03.05.2012.
- [40] H T Research, Improved Cleaning Using Water Spray to Dislodge Dirt from Surface, Patent No: NL1004462 (C1), Alındığı tarih: 27.04.1998.
- [41] Toshiba, Dishwasher, Patent No: JP2005000511 (A), Alındığı tarih: 06.01.2005.
- [42] Choi Yongjin, Kim Daegy, Lee Taehee ve Kim Seonghwan, Dishwasher, Patent No: US2014069469 (A1), Alındığı tarih: 13.03.2014.
- [43] Samsung, DishWashing Machine, Patent No: CN103462574 (A), Alındığı tarih: 25.12.2013.
- [44] Whirlpool, Dishwasher, Patent No: US2014130833 (A1), Alındığı tarih: 15.05.2014.

- [45] Lou, A. ve Grosvenor, C., (2013). Selective Laser Sintering, Birth of an Industry, The University of Texas.
- [46] Egerate, Geratech 20N Dinamometre, <http://www.dinamometre.net/Newtonmetre.aspx?Dinamometre=946>, 11 Mart 2015.
- [47] MEGEP, (2007). Hidrolik Pompalar, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mert PATKAVAK
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.07.1992 / GÖLCÜK
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca
E-posta : mertpatkavak@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Isı-Proses (Mak. Müh)	Yıldız Teknik Ü.	2015
Lisans	Endüstri Müh.	Yıldız Teknik Ü.	Devam Ediyor
Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Ü.	2014
Lise	Fen-Matematik	Cahit Elginkan A.L.	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
03.2014-Devam Ediyor	Arçelik A.Ş. Merkez Ar-Ge	Ar-Ge Mühendisi
10.2013-01.2014	Arçelik A.Ş. Merkez Ar-Ge	Bitirme Tezi Öğrencisi
06.2013-09.2013	Arçelik A.Ş. Merkez Ar-Ge	Uzun Dönem Stajyer
07.2012-08.2012	ROKETSAN A.Ş.	Kısa Dönem Stajyer

YAYINLARI

Bildiri

1. **M. Patkavak**, Ö. Ağra, “Experimental Study of Effective Factors on Soil Removal Efficiency in Cleaning Process by Solid Stream Jet Nozzles”, International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME15), YTÜ, istanbul, pp:469-474
2. **M. Patkavak**, Y. Koç, Ö. Ağra, H. Heperkan, “Experimental and Theoretical Study of Mechanical Impact in Cleaning Process”, International Proceedings of the Energy Technologies Conference (ENTECH14),YTÜ, İstanbul, ISBN:978-605-5120-98-6 pp:571-580

ÖDÜLLERİ

1. Arçelik A.Ş. Patent Ödülü (2014)
2. Yıldız Teknik Ü. Makine Müh. (2. Öğretim) Bölüm Birincisi (2014)