T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAMAŞIR MAKİNESİNDEN TAHLİYE EDİLEN ATIK SUYUN TEKRARLI KULLANIMI İLE DETERJAN DOZAJININ VE SUYUN OPTİMİZASYONU

MİNE ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. BELMA ÖZBEK

İSTANBUL, 2018

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAMAŞIR MAKİNESİNDEN TAHLİYE EDİLEN ATIK SUYUN TEKRARLI KULLANIMI İLE DETERJAN DOZAJININ VE SUYUN OPTİMİZASYONU

Mine ÇELİK tarafından hazırlanan tez çalışması 19.12.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Belma ÖZBEK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Belma ÖZBEK

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Dilek KAZAN

Marmara Üniversitesi _____

Doç. Dr. Elçin YILMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Bu çalışma, ARÇELİK Merkez ARGE Direktörlüğü’nün projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamı tecrübeleri, görüş ve eleştirileri ile destekleyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Belma ÖZBEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmalarımın yürütülmesi için imkân sağlayan, Arçelik A.Ş Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, Sayın Nihat BAYIZ ve Sayın Dr. Emre OĞUZ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her aşamasında bana destek olan ve deneyimlerini paylaşarak beni yönlendiren Sayın Yük. Müh. Zehra ÜLGER ve Sayın Yük. Müh. Ekin DALAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm deneysel çalışmalarda tecrübe ve yardımlarıyla çalışmamı kolaylaştıran, birlikte çalışmaktan son derece keyif aldığım Sayın Emine BİRCİ ve Sayın Özcan HATİPOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince destek olan ve yardımlarını esirgemeyen başta Sayın Dr. Osman KAHRAMAN ve Sayın Yük. Müh. Tuğçenaz ÖFKELİ ŞAN olmak üzere tüm Arçelik Temel Bilimler Teknoloji Ailesi'ne çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, sevgisini ve desteğini esirgemeyerek bugünlere gelmemi sağlayan hayattaki en kıymetli varlığım olan aileme tüm kalbimle sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık, 2018

Mine ÇELİK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

ÇİZELGE LİSTESİ xiv

ÖZET xvi

ABSTRACT xviii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 1
1.3 Hipotez 2

BÖLÜM 2

ÇAMAŞIR DETERJANLARI 4

2.1 Çamaşır Deterjan Bileşenleri 7
2.1.1 Yüzey Aktif Maddeler 7
2.1.2 Yapıcı Maddeler 14
2.1.3 Ağartıcılar 15
2.1.4 Enzimler 24
2.1.5 Diğer Katkı Maddeleri 26
2.2 Çamaşır Deterjan Formları 28
2.2.1 Toz Deterjanlar 29
2.2.2 Sıvı Deterjanlar 31

BÖLÜM 3

KİR VE LEKELER 34

3.1 Kir ve Leke Kaynakları 34

3.2 Kir ve Lekelerin Temizlenme İşlemi 36

BÖLÜM 4

ÇAMAŞIR MAKİNELERİ 38

4.1 Makine Parçaları ve Yıkama Sistemi 39
4.2 Çamaşır Makinesi Yıkama Algoritması 43

BÖLÜM 5

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 47

5.1 Makaleler 47
5.2 Patentler 55

BÖLÜM 6

MATERYAL VE YÖNTEM 62

6.1 Kullanılan Materyaller 62
6.2 Kullanılan Cihazlar 64
6.3 Analiz Cihazları 67
6.4 Yıkama Deneylerinin Yapılışı 70
6.5 Yıkama Performans İndeksinin Hesaplanması 72
6.6 Analiz Yöntemleri 73
6.7 EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı 75

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMA 77

7.1 Tekrarlı Yıkamalar Sonunda Çamaşır Makinesinden Tahliye Edilen Atık Sulardaki Toz ve Sıvı Deterjan Miktarının Belirlenmesi 77
7.1.1 Tekrarlı Yıkamalar Sonunda Çamaşır Makinesinden Tahliye Edilen Atık Sulardaki Toz Deterjan Miktarının Belirlenmesi 77
7.1.2 Tekrarlı Yıkamalar Sonunda Çamaşır Makinesinden Tahliye Edilen Atık Sulardaki Sıvı Deterjan Miktarının Belirlenmesi 84
7.2 Renkli Çamaşırların Tekrarlı Yıkamalarda Kullanılabilirliğinin İncelenmesi 90
7.2.1 Toz Deterjan ile Yıkanan Renkli Çamaşırların Tekrarlı Yıkamalarda Kullanılabilirliğinin İncelenmesi 90
7.2.2 Sıvı Deterjan ile Yıkanan Renkli Çamaşırların Tekrarlı Yıkamalarda Kullanılabilirliğinin İncelenmesi 93
7.2.3 Sıvı Deterjan ile Yapılan Yıkama Deneyleri Sonunda Çamaşır Makinesinden Tahliye Edilen Atık Sularının Beyaz Bezdeki Renk Değişimlerinin İncelenmesi 97
7.3 Tekrarlı Yıkama Deneyleri Sonunda Deterjan Bileşenlerinin Aktivitelerinin İncelenmesi 99
7.3.1 Tekrarlı Yıkama Deneyleri Sonunda Toz Deterjan Bileşenlerinin Aktivitelerinin İncelenmesi 99

7.3.2 Tekrarlı Yıkama Deneyleri Sonunda Sıvı Deterjan Bileşenlerinin Aktivitelerinin İncelenmesi 102
7.4 Tekrarlı Yıkama Deneyleri Sonunda Deterjan Dozaj Miktarının Belirlenmesi 105
7.4.1 Tekrarlı Yıkama Deneyleri Sonunda Toz Deterjan Dozaj Miktarının Belirlenmesi 106
7.4.2 Tekrarlı Yıkama Deneyleri Sonunda Sıvı Deterjan Dozaj Miktarının Belirlenmesi 112
7.5 Tekrarlı Yıkamalara ait Doğrulama Çalışmaları 118

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER 128

KAYNAKLAR 132

ÖZGEÇMİŞ 138

SİMGE LİSTESİ

°C	Santigrat derece
dk	Dakika
g	Gram
kg	Kilogram
kWh	Kilowatt-saat
L	Litre
mg	Miligram
mmol	Milimol
µS	Mikrosimens

KISALTMA LİSTESİ

Ca	Kalsiyum
CIE	International Commission on Illumination
CMC	Colour Measurement Committee
KMK	Kritik Misel Konsantrasyonu
LAS	Lineer Alkilbenzen Sülfonat
LOBS	Lauriloksibenzen Sülfonat
Mg	Magnezyum
Na	Sodyum
NOBS	Sodyum p-nonanol Oksibenzensülfonat
NTA	Nitriloasetik Asit
PAA	Perasetik Asit
P&G	Procter & Gamble
TAED	Tetraasetiletilen Diamin
UV	Ultraviyole, Morötesi
YPİ	Yıkama Performans İndeksi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 a) Normal durum, b) Deterjanların oluşturduğu köpük sebebiyle oksijen ve ışığın geçişinin engellenmesi durumu [8] 5
Şekil 2.2 Çamaşır deterjanlarının çevresel yaşam döngüsü [9] 6
Şekil 2.3 Yüzey aktif maddelerin suyun yüzey gerilimini düşürmesi [12] 12
Şekil 2.4 Yüzey aktif maddelerin misel oluşturarak kir tabakasını yüzeyden uzaklaştırması [12] 13
Şekil 2.5 Yüzey aktif madde konsantrasyonu-yüzey gerilim grafiği ve kritik misel konsantrasyonu [13] 13
Şekil 2.6 Perhidroksil anyonu ile ağarma işlemi [19] 17
Şekil 2.7 TAED ile hidrojen peroksit arasındaki reaksiyon [22] 18
Şekil 2.8 Perasit anyonu ile ağarma işlemi [24] 18
Şekil 2.9 a) Teaflavin'in kimyasal yapısı [25], b) Antosiyanin'in kimyasal yapısı [26] 19
Şekil 2.10 Antosiyanin ile hidrojen peroksit reaksiyonu [29] 19
Şekil 2.11 Alizarin molekülünün ağartılma mekanizması [30] 21
Şekil 2.12 Domateste bulunan likopen, havuçtaki β-karoten ve köri sosundaki kurkuminin kimyasal yapısı [25] 22
Şekil 2.13 Krosetin molekülünün ağartılma mekanizması [30] 23
Şekil 2.14 Proteinlerin proteaz enzimi ile hidrolizi [31] 24
Şekil 2.15 Laktozun karbohidraz enzimi yardımıyla parçalanma reaksiyonu [32] 25
Şekil 2.16 Lipaz enziminin trigliserid hidroliz reaksiyonu [33] 25
Şekil 2.17 Yağ molekülünün lipaz enzimi ile hidrolizi [34] 25
Şekil 2.18 Karboksimetil selüloz polimerinin kirin kumaşa yapışmasını engelleme mekanizması [12] 26
Şekil 2.19 Tekstilin beyaz görünmesine neden olan optik beyazlatıcı moleküller [12] 27
Şekil 3.1 Kir ve leke kaynakları [18] 36
Şekil 4.1 a) Üstten yüklemeli çamaşır makinesi ve aldığı su seviye şeması, b) Önden yüklemeli makine ve aldığı su seviye şeması [42] 39
Şekil 4.2 Otomatik çamaşır makinesinin şematik çizimi [45] 40
Şekil 4.3 Deterjan çekmecesinde su alma sistemi [47] 41
Şekil 4.4 Kazan ve tambur [46] 42
Şekil 4.5 Çamaşır makinesindeki sistemlerin tümü [35] 43
Şekil 4.6 Çamaşır makinesi algoritması örneği 44
Şekil 4.7 Çamaşır makinesine alınan su miktarının zamana göre değişimi 44
Şekil 4.8 Su sıcaklığının zamana göre değişimi 45
Şekil 4.9 Tüketilen toplam enerji miktarı 46

Şekil 4.10 Çamaşır makinesinin harcadığı toplam güç 46
Şekil 5.1 1998-2018 yılları arasında deterjansız yıkama, deterjan azaltma ve deterjan-su tasarrufu ile ilgili yapılan 233 adet patent başvurusuna ait yıllara göre dağılım 55
Şekil 5.2 1998-2018 yılları arasında deterjansız yıkama, deterjan azaltma ve deterjan-su tasarrufu ile ilgili yapılan 233 adet patent başvurusuna ait konulara göre dağılım 56
Şekil 5.3 1998-2018 yılları arasında deterjansız yıkama ile ilgili yapılan patent başvurularında uygulanan yöntemlere ait dağılım 57
Şekil 5.4 JP5097577 (B2) patentinin sistem tasarımı [64] 58
Şekil 5.5 1998-2018 yılları arasında deterjan azaltma ile ilgili yapılan patent başvurularında uygulanan yöntemlere ait dağılım 59
Şekil 5.6 US6306303 (B1) patentinin akış diyagramı [66] 60
Şekil 6.1 A) Ticari toz deterjan, B) Ticari sıvı deterjan 64
Şekil 6.2 Arçelik marka 8 kg kapasiteli 8143 CMK A+++ (-%40) enerji performanslı, sıvı dozajlı çamaşır makinesi 65
Şekil 6.3 Elektrolux firmasının ürettiği FOM71 CLS model Wascator 66
Şekil 6.4 Copley marka Tergotometre cihazı 67
Şekil 6.5 DataColor-600 model renk spektrofotometre cihazı 68
Şekil 6.6 İletkenlik ölçümü için kullanılan Hach marka HQ40d model multimetre cihazı 69
Şekil 6.7 Perkin Elmer Lambda 35 model UV-Vis Spektrofotometre cihazı 69
Şekil 6.8 Renk ölçümleri için hazırlanan renk sensörlü düzenek, A) Önden görünüş, B) Yandan görünüş 70
Şekil 7.1 İletkenlik ölçümlerine göre hesaplanan toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama sistemi 78
Şekil 7.2 Toz deterjan konsantrasyonlarına karşılık elde edilen iletkenlik değerlerine ait kalibrasyon eğrisi 80
Şekil 7.3 Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesine eklenen toz deterjan miktarları 82
Şekil 7.4 Toz deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda beyaz bezlerin yansıma değerleri değişimi 83
Şekil 7.5 Absorbans ölçümlerine göre hesaplanan sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama sistemi 84
Şekil 7.6 Sıvı deterjan konsantrasyonlarına karşılık elde edilen UV-Absorbans değerlerine ait kalibrasyon eğrisi 86
Şekil 7.7 Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesine eklenen sıvı deterjan miktarları 88
Şekil 7.8 Sıvı deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda beyaz bezlerin yansıma değerleri değişimi 89
Şekil 7.9 Renkli çamaşır ile yapılan yıkama deneylerinde kullanılan çamaşır yükü .. 90
Şekil 7.10 Renk ölçümlerinde kullanılan toz deterjan referans atık su 91
Şekil 7.11 Renkli çamaşırların toz deterjan ile yıkanması sonucunda çamaşır makinesinden tahliye edilen renkli atık sular 91
Şekil 7.12 Toz deterjan ile yapılan yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen referans ve renkli atık suların renk ölçüm değerleri 93
Şekil 7.13 a) Renk ölçümlerinde kullanılan sıvı deterjan referans atık suyu, b) Renkli çamaşırlara özel olarak kullanılan sıvı deterjan referans atık suyu 94

Şekil 7.14 Renkli çamaşırların sıvı deterjan ile yıkanması sonucu çamaşır makinesinden tahliye edilen renkli atık sular 94
Şekil 7.15 Sıvı deterjan ile yapılan yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen referans ve renkli atık suların renk ölçüm değerleri 97
Şekil 7.16 Toz deterjan dozajı ile yapılan tekrarlı yıkama sistemi 100
Şekil 7.17 Toz deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri 102
Şekil 7.18 Sıvı deterjan dozajı ile yapılan tekrarlı yıkama sistemi 103
Şekil 7.19 Sıvı deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri 105
Şekil 7.20 Toz deterjan ile yapılan dozaj miktarı belirleme çalışmalarındaki tekrarlı yıkama sistemi 106
Şekil 7.21 %15, %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda % yıkama performans indeksi değişimleri 107
Şekil 7.22 Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda %15 toz deterjan dozajının beyaz bezlerin yansıma değerlerine etkisi 107
Şekil 7.23 %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen sebum kirinin yansıma değerleri 109
Şekil 7.24 %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen çay lekesinin yansıma değerleri 109
Şekil 7.25 %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen spagetti sosu lekesinin yansıma değerleri 110
Şekil 7.26 %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen domates lekesinin yansıma değerleri 110
Şekil 7.27 %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen salata sosu lekesinin yansıma değerleri 111
Şekil 7.28 Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda %25 toz deterjan dozajının beyaz bezlerin yansıma değerlerine etkisi 111
Şekil 7.29 Sıvı deterjan ile yapılan dozaj miktarı belirleme çalışmalarındaki tekrarlı yıkama sistemi 112
Şekil 7.30 %10, %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda % yıkama performans indeksi değişimleri 113
Şekil 7.31 Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda %10 sıvı deterjan dozajının beyaz bezlerin yansıma değerlerine etkisi 114
Şekil 7.32 %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen sebum kirinin yansıma değerleri 114
Şekil 7.33 %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen çay lekesinin yansıma değerleri 115
Şekil 7.34 %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen spagetti sosu lekesinin yansıma değerleri 116
Şekil 7.35 %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen domates lekesinin yansıma değerleri 116
Şekil 7.36 %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen salata sosu lekesinin yansıma değerleri 117
Şekil 7.37 Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda %20 sıvı deterjan dozajının beyaz bezlerin yansıma değerlerine etkisi 117
Şekil 7.38 İlk yıkamanın toz deterjan, 2. yıkamanın sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda hesaplanan yıkama performans indeksleri 119

Şekil 7.39 İlk yıkamanın toz deterjan, 2. yıkamanın sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri 121
Şekil 7.40 İki yıkamanın da sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda hesaplanan yıkama performans indeksleri 122
Şekil 7.41 Her iki yıkamanın da sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri 124
Şekil 7.42 İki yıkamanın da toz deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda hesaplanan yıkama performans indeksleri 125
Şekil 7.43 Her iki yıkamanın da toz deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri 127

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 İyonik durumlarına göre yüzey aktif madde grupları için örnekler [7] 8
Çizelge 2.2 Deterjanlarda bulunabilen anyonik yüzey aktif maddeler ve kimyasal yapıları [11] 10
Çizelge 2.3 Deterjanlarda bulunabilen noniyonik yüzey aktif maddeler ve kimyasal yapıları [11] 11
Çizelge 2.4 Bazı hidrofilik ve hidrofobik leke kaynakları [25] 19
Çizelge 2.5 Toz ve sıvı deterjan içeriklerinin karşılaştırılması 28
Çizelge 2.6 Toz çamaşır deterjan kompozisyonları [37] 30
Çizelge 2.7 Ticari toz deterjan bileşenleri ve fonksiyonları [38] 31
Çizelge 2.8 Sıvı çamaşır deterjan kompozisyonları [35] 32
Çizelge 2.9 Ticari sıvı deterjan bileşenleri ve fonksiyonları [39] 33
Çizelge 4.1 Çamaşır makinesinin sistem ve komponentleri [46] 40
Çizelge 5.1 Deterjan ve su tasarrufu sağlanmasına yönelik literatürde yeralan çalışmalar 53
Çizelge 5.2 1998-2018 yılları arasında deterjansız ve susuz yıkama, deterjansız yıkama ve deterjan azaltma ile ilgili patent başvuruları ve uygulanan teknolojiler 61
Çizelge 6.1 Yıkama deneylerinde kullanılan sebum kiri ve etkilendiği parametreler [69] 62
Çizelge 6.2 Yıkama deneylerinde kullanılan lekeler ve etkilendikleri parametreler [70] 63
Çizelge 7.1 Toz deterjan konsantrasyonlarına karşılık elde edilen iletkenlik değerleri 79
Çizelge 7.2 Toz deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suların iletkenlik değerleri ve bir sonraki yıkamaya eklenen toz deterjan miktarları 81
Çizelge 7.3 Yıkama deneyi öncesi ve toz deterjan ile tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen beyaz bezlerin yansıma değerleri 83
Çizelge 7.4 Sıvı deterjan konsantrasyonlarına karşılık elde edilen UV-Absorbans değerleri 85
Çizelge 7.5 Sıvı deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suların UV-Absorbans değerleri ve bir sonraki yıkamaya eklenen sıvı deterjan miktarları 87
Çizelge 7.6 Yıkama deneyi öncesi ve sıvı deterjan ile tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen beyaz bezlerin yansıma değerleri 89
Çizelge 7.7 Toz deterjan ile yıkanan renkli çamaşırların çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sularının referans değere göre elde edilen renk ölçüm değerleri 92

Çizelge 7.8 Sıvı deterjan ile yıkanan renkli çamaşırların çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sularının referans değere göre elde edilen renk ölçüm değerleri 96
Çizelge 7.9 Tergotometre cihazında yapılan yıkama deneyleri öncesi ve sonrası DataColor-600 cihazı ile ölçülen beyaz bezlerin yansıma değerleri..... 98
Çizelge 7.10 Tergotometre cihazında yapılan yıkama deneyleri öncesi ve sonrası DataColor-600 cihazı ile ölçülen beyaz bezlerin CMC değerleri 98
Çizelge 7.11 Toz deterjan ile yapılan tekrarlı yıkamalar sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri 100
Çizelge 7.12 Sıvı deterjan ile yapılan tekrarlı yıkamalar sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri 103
Çizelge 7.13 Doğrulama çalışmalarının koşulları 118
Çizelge 7.14 İlk yıkamanın toz deterjan, 2. yıkamanın sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda ölçülen yansıma değerleri 120
Çizelge 7.15 İki yıkamanın da sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda ölçülen yansıma değerleri 123
Çizelge 7.16 İki yıkamanın da toz deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda ölçülen yansıma değerleri 126

ÖZET

ÇAMAŞIR MAKİNESİNDEN TAHLİYE EDİLEN ATIK SUYUN TEKRARLI KULLANIMI İLE DETERJAN DOZAJININ VE SUYUN OPTİMİZASYONU

Mine ÇELİK

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Belma ÖZBEK

Her geçen gün artan nüfus, birçok olumsuzluğu da beraberinde getirmektedir. Bu olumsuzluklardan biri su tüketiminin artması ve su kıtlığının yaşanma riskidir. Suların kirlenmesi kullanılabilecek su kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır. Suları kirleten maddelerden biri olan deterjanlar, içerdikleri çeşitli bileşenlerden dolayı çevreye göz ardı edilemeyecek ölçülerde zararlar vermektedir. Oluşan zararların azaltılması veya engellenmesi için deterjan ve su kullanımının optimize edilmesi gerekmektedir.

Tez çalışmasında, çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun tekrarlı kullanımı ile deterjan ve su tasarrufu sağlanması amaçlanmıştır. Seçilen sebum kiri, çay, spagetti sosu, domates ve salata lekeleri yıkama ortamına eklenmiş, 90 dakikalık 60 °C çamaşır makinesi yıkama programı kullanılarak yıkama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan çamaşır makinesi programına göre 16 litre olan ana yıkama giriş suyunun 12 litresi tahliye edilmektedir. 4 litresi 1. Durulama sonunda tahliye edilen atık su ile tamamlanan 16 litre atık su, bir sonraki yıkama deneyinin giriş suyu olmak üzere depolanmıştır. Belirlenen miktarda deterjan eklemesi yapılarak 16 litre atık suyun tekrarlı kullanımı sağlanmıştır. Toz ve sıvı deterjan ile yapılan yıkama deneylerinde 5 kg çamaşır yükü kullanılmıştır.

Tekrarlı yıkamalar sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sulardaki toz deterjan miktarı tespiti için iletkenlik analizi, sıvı deterjan miktarı tespiti için ise UV-Absorbans analizi yapılmıştır. Toz deterjan kullanımı ile 6 tekrarlı yıkama sonunda %65.60 toz deterjan tasarrufu ve %23.65 su tasarrufu olduğu; sıvı deterjan kullanımı ile 3 tekrarlı yıkama sonunda %58.57 sıvı deterjan tasarrufu ve %20.69 su tasarrufu olduğu tespit edilmiştir.

Renkli çamaşırların tekrarlı yıkamalarda kullanılabilirliğinin incelenmesi için toz ve sıvı deterjan ile yapılan yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sularda renk ölçümleri yapılmıştır. Toz deterjan ile gerçekleştirilen yıkama deneylerinde daha fazla olmak üzere çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suların renk maddeleri içerdiği belirlenmiştir. Her iki deterjan formu ile gerçekleştirilen yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun tekrarlı kullanımı ile beyaz çamaşırların boyandığı tespit edilmiş ve tekrarlı yıkamaların renkli çamaşırlar ile yapılamayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan literatür ve patent araştırmalarına göre; seçilen kir ve lekelerin temizlenmesi için tekrarlı yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun içerisindeki deterjan bileşenlerinin aktivitelerinin incelendiği bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle, toz ve sıvı deterjan bileşenlerinin aktivitelerinin belirlenmesi için tekrarlı yıkama deneyleri sonunda seçilen kir ve lekelerin yansıma değerleri incelenmiştir. Toz deterjan ile tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ağartıcıların aktivitelerini kaybettikleri, sıvı deterjan ile tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ise enzimlerin aktivitelerini kaybettikleri tespit edilmiştir. Yüzey aktif maddelerinin ise hem toz hem de sıvı deterjan ile tekrarlı yıkama deneyleri sonunda aktivitelerini koruduklarını belirlenmiştir.

Yapılan literatür ve patent araştırmalarına göre; çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun tekrarlı kullanımı ile seçilen kir ve lekelerin temizlenmesi için 90 dakikalık 60 ^{o}C çamaşır makinesi yıkama programı kullanılarak farklı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkamaların performanslarının incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle, seçilen kir ve lekeler, yıkama ortamına eklenerek tekrarlı yıkamalar ile toz ve sıvı deterjan dozaj miktarı belirleme çalışmaları gerçekleştirilmiş; tekrarlı yıkama deneylerinin yıkama performans indeksleri ve kir ve lekelerin yansıma değerleri incelenmiştir. Bu çalışmaya göre; optimum %25 toz deterjan dozajı ile 4 tekrarlı yıkama yapılarak %60 toz deterjan tasarrufu ve %22.07 su tasarrufu; optimum %20 sıvı deterjan dozajı ile 3 tekrarlı yıkama yapılarak %60 sıvı deterjan tasarrufu ve %20.67 su tasarrufu elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Tekrarlı yıkamalara ait yapılan doğrulama çalışmaları kapsamında, renkli çamaşırların tekrarlı yıkamalarda kullanılamaması nedeniyle; ilk yıkamanın beyaz çamaşırlar ile 2. yıkamanın renkli çamaşırlar ile yapıldığı normal ve tekrarlı koşullar için yıkama performanslarının karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Yapılan yıkama deneyleri sonunda optimum olduğu belirlenen %25 toz deterjan ve %20 sıvı deterjan dozajları ile tekrarlı yıkama uygulamalarının yapılabileceği doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çamaşır makinesi, atık su, toz ve sıvı deterjan, tekrarlı kullanım, deterjan dozajı ve su tasarrufu

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF DETERGENT DOSAGE AND WATER USAGE BY REPEATED USE OF WASTEWATER DISCHARGED FROM LAUNDRY MACHINE

Mine ÇELİK

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Belma ÖZBEK

In the world, the increase in the population causes many problems. One of the problems is the increase in water consumption and its shortage that affects millions of people. The contamination of water results in the decrease in the clean water resources. Detergents, which are the main pollutants in the water, cause environmental pollution due to their various components they contain. The use of detergents and water should be optimized to minimize or prevent the environmental pollution.

In the present study, it was aimed to provide detergent and water saving by repeated use of wastewater discharged from the laundry machine. The dirt and stains selected; sebum, tea, spaghetti sauce, tomato and salad stains, were added to the washing medium, and washing tests were carried out using a 90 minute 60 °C washing machine program. According to this washing machine program, 12 liters of the main washing inlet water, which is 16 liters, was discharged. 16 liters of wastewater, which was completed with 4 liters of the first rinse wastewater discharged from laundry machine, were stored as the inlet water of the next washing test. The repeated use of 16 liters of wastewater was provided by adding defined amount of detergent. 5 kg of laundry load was used in washing tests with powder and liquid detergent, respectively.

The conductivity analysis for powder detergent and UV-Absorbance analysis for liquid detergent were carried out to determine the amount of powder and liquid detergent, respectively, in the wastewater discharged from the laundry machine at the end of repeated washings. As a result of this study, 65.60% powder detergent saving and 23.65% water saving at the end of 6 repeated washings with powder detergent usage; 58.57%

liquid detergent saving and 20.69% water saving at the end of 3 repeated washings with liquid detergent usage were obtained.

On the other hand, in order to investigate the usability of colored laundry in repeated washings, the color measurements were performed in the wastewater discharged from the laundry machine at the end of the washing tests with powder and liquid detergent, respectively. It was determined that the wastewater discharged from the laundry machine contained more color substances for the washing tests carried out with powder detergent than in the case of liquid detergent used. At the end of the washing tests carried out with both detergent form, it was concluded that the white laundry dyed with the repeated use of the wastewater discharged from the laundry machine, and the repeated washing could not be performed with colored laundry.

According to the literature and patent survey carried out, no studies were found on the activities of detergent components in the wastewater discharged from the laundry machine at the end of repeated washing tests for removing of the dirt and stains selected. Therefore, for the determination of the activities of the powder and liquid detergent components, the reflection values of the selected dirt and stains were investigated at the end of the repeated washing tests. After repeated washing tests, it was determined that the bleaches have lost their activity with powder detergent and the enzymes have lost their activity with liquid detergent, and no change on the activity of the surfactants was observed after repeated washing tests with both powder and liquid detergent usage.

Additionally, for removing of the dirt and stains selected by the repeated use of the wastewater discharged from the laundry machine, no studies were found in the literature related with the examination of the washing performances of repeated washings with various detergent dosage using a 90 minutes 60 ^{o}C laundry machine washing program. For this purpose, the selected dirt and stains were added to the washing medium to determine the amount of powder and liquid detergent dosage by repeated washings. Besides, washing performance indexes and reflection values for dirt and stains were determined. As a result, it was obtained that 60% of powder detergent saving and 22.07% of water saving was achieved by 4 repeated washings with optimum 25% of powder detergent dosage; 60% of liquid detergent saving and 20.67% of water saving was achieved by 3 repeated washings with optimum 20% of liquid detergent dosage.

Due to the validation studies of the repeated washings, as the colored laundry was found unsuitable to be used for repeated washings, the comparison of washing performances was carried out at normal and repeated conditions at which the first washing was carried out with white laundry and the second washing was carried out with colored laundry. At the end of the washing tests, the repeated washings, which performed with optimum powder detergent of 25% dosage and optimum liquid detergent of 20% dosage, were confirmed.

Keywords: Laundry machine, wastewater, powder and liquid detergent, repeated use, detergent dosage and water saving

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Çamaşır yıkama işlemi ile tekstiller, deterjan ve suyun yardımıyla kir ve lekelerden temizlenmektedir. Deterjanlar, içeriğinde bulunan yüzey aktif maddeler, yapıcı maddeler, ağartıcılar, enzimler ve diğer katkı maddeleri sayesinde suyun sertliğini azaltarak suyun yüzey gerilimini düşürmektedirler. Suyun yüzey geriliminin düşmesi ile deterjanlar kir ve lekelere etki ederek kir ve lekeleri tekstil yüzeyinden uzaklaştırmaktadırlar [1].

Nüfus artışıyla paralel olarak su tüketiminin artması deterjan kullanımını da artırmaktadır [2]. Ayrıca, deterjanların kullanıcılar tarafından önerilenden fazla kullanılması sonucunda çevreye verilen zararlar göz ardı edilemeyecek ölçülere ulaşmıştır. Ötrofikasyona sebep olan fosfat içerikli deterjanların yasaklanmasının ardından fosfat yerine zeolitlerin kullanılmasıyla deterjanların zararlı etkileri azaltılmaya çalışılmıştır. Bununla birlikte, deterjan içeriğindeki kimyasal maddeler özellikle suda yaşayan canlıları olumsuz etkileyerek onları koruyan mukoza tabakalarını yok etmektedir. Kimyasal maddeler parçalandıklarında yine zararlı yan ürünlere dönüşüp doğada varlıklarını sürdürmektedirler [3], [4]. Bu nedenle, deterjan kullanımını minimum seviyede tutmanın yanı sıra su tasarrufu sağlamanın farklı yolları aranmaktadır [5], [6].

1.2 Tezin Amacı

Deterjanların çevreye verdiği zararlar göz ardı edilemeyecek ölçüdedir. Deterjanlar, toprağa ve suya karışarak kirliliğe neden olmaktadır. Bu çalışmada, çevreye verilen zararı azaltmak için çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun tekrarlı kullanımı ile deterjan dozajının ve suyun optimizasyonu amaçlanmıştır.

Belirlenen amaç kapsamında;

- Tekrarlı yıkamalar sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sulardaki toz ve sıvı deterjan miktarlarının belirlenmesi,
- Renkli çamaşırların tekrarlı yıkamalarda kullanılabilirliğinin incelenmesi amacıyla çamaşır makinesinden tahliye edilen renkli atık suyun renk ölçümünün yapılması ve ardından renkli atık suyun yıkama sırasında beyaz çamaşırları boyama durumunun incelenmesi,
- Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda toz ve sıvı deterjan bileşenlerinin aktivitelerinin incelenmesi,
- Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda toz ve sıvı deterjan dozaj miktarlarının incelenmesi,
- İlk yıkamanın beyaz çamaşırlar ile 2. yıkamanın renkli çamaşırlar ile yapılması durumunda; normal ve tekrarlı koşullar için yıkama performanslarının karşılaştırılması amacıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada, deterjan ve su tüketimini azaltmak için çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun tekrarlı kullanımı hedeflenmiştir. Bu amaçla; i) Tekrarlı yıkamalar sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sulardaki toz deterjan miktarlarının tespiti için iletkenlik analizleri, sıvı deterjan miktarının tespiti için UV-Absorbans analizleri, ii) Renkli çamaşırların tekrarlı yıkamalarda kullanılabilirliğinin incelenmesi amacıyla çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suların renk ölçüm analizleri, iii) %25 Toz ve sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkamalar sonunda toz ve sıvı deterjan bileşenlerinin aktivitelerinin incelenmesi, iv) Tekrarlı yıkamalar sonunda toz ve sıvı deterjan dozajlarının, belirlenen deterjan dozajları ile kaç tekrarlı yıkama yapılabileceği, yapılan tekrarlı yıkamalar sonunda elde edilen deterjan ve su tasarrufu miktarlarının belirlenmesi ve v) İlk yıkamanın beyaz çamaşırlar ile, 2. yıkamanın renkli çamaşırlar ile yapılması durumunda; normal ve tekrarlı koşullar için yıkama performanslarının karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

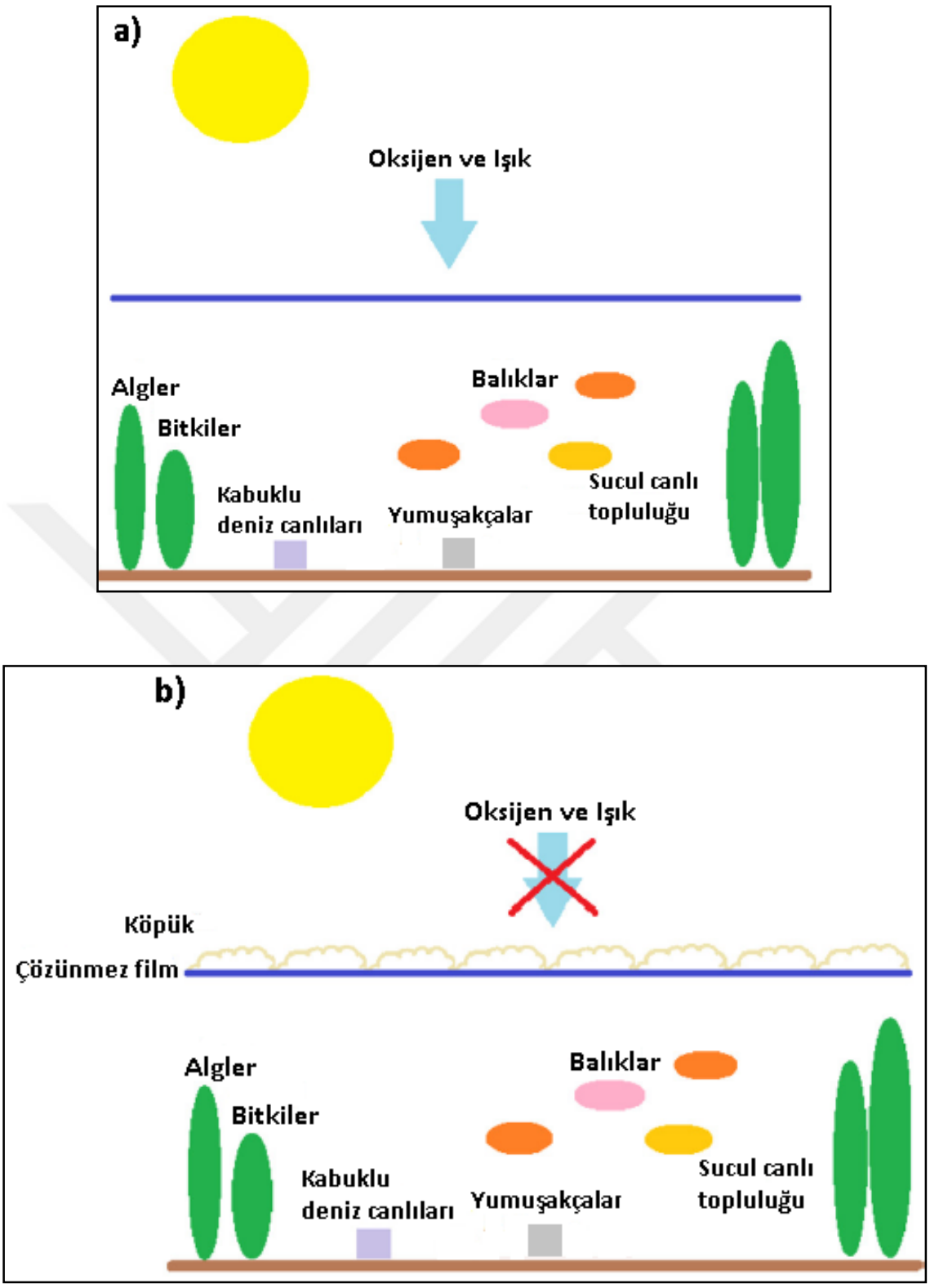
Literatür ve patent araştırmalarına göre; çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun tekrarlı kullanımı ile seçilen kir ve lekelerin temizlenmesi için deterjan bileşenlerinin aktivitelerinin ve belirlenen çamaşır makinesi yıkama programı kullanılarak deterjan azaltma amacıyla belirli miktar deterjan dozajı ile yapılan tekrarlı yıkamaların performanslarının incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

BÖLÜM 2

ÇAMAŞIR DETERJANLARI

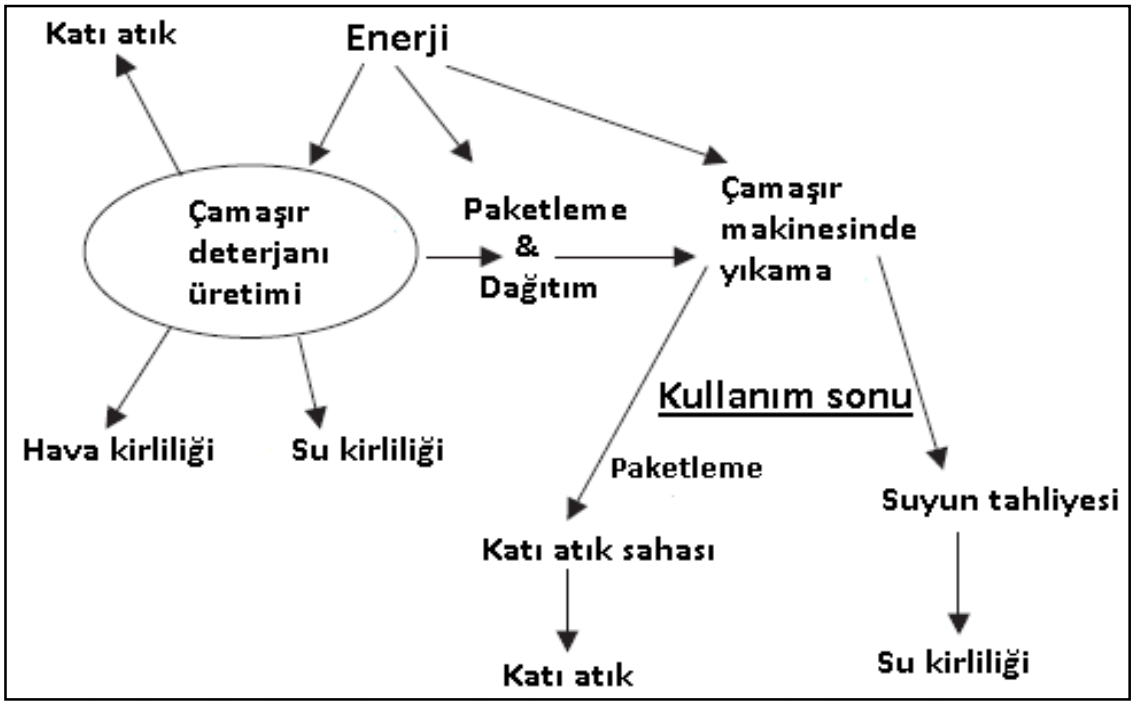
Tarih öncesi zamanlara dayanan temizleme işlemi, su birikintilerinde çamaşırların ayaklar ile ezilmesi ile başlamıştır. Suyun yardımıyla dövme, ovalama, üzerine basma gibi hareketlerle çamaşırların temizlenmesi sağlanmıştır. İlerleyen zamanda suyun temizleme gücünü arttırmak amacıyla ilk önce sıcak su kullanılmıştır. Sonrasında suya soda külü (sodyum karbonat) eklenerek suyun yumuşatılması sağlanmıştır. Geçmişi milattan önce 2500'lü yıllara dayanan sabun ise, son 1000 yıldır çamaşır yıkama ajanı olarak kullanılmaktadır. 20.yy'ın başlarında Almanya'da tekstilleri yıkamaya yönelik piyasaya çıkarılan çok-bileşenli üründe sabun kullanılmıştır [1], [7].

Çamaşırların elde yıkanması ile başlayan ve otomatik çamaşır makinelerinin kullanımına kadar gelen süreçte, deterjan kavramı ortaya çıkmış ve sabundan sentetik deterjanlara doğru bir geçiş gerçekleştirilmiştir. Gelişen teknoloji ile çeşitli deterjan formülasyonları geliştirilmiş, böylece yıkama performansını arttırma yoluna gidilmiştir. Deterjan içeriğindeki değişimler ile beraber yıkama işleminin kolaylaşması, daha iyi performans elde etmek adına kullanılan deterjan miktarının artması, hızlı nüfus artışı gibi nedenlerle çevre kirliliği artmaktadır. Deterjanların sulara boşaltılması, suda yaşayan canlılar için tehdit oluşturmaktadır. Su yüzeyinde deterjanların birikerek köpük oluşturması sonucunda güneş ışığı ve oksijen, suyun derinliklerine ulaşamamakta ve canlılar ölmektedir (Şekil 2.1) [8].



Şekil 2.1 a) Normal durum, b) Deterjanların oluşturduğu köpük sebebiyle oksijen ve ışığın geçişinin engellenmesi durumu [8]

Deterjanlar sadece suya salınması neticesiyle çevre kirliliği oluşturmamakta, ayrıca deterjanların üretimi, paketlenmesi ve kullanım durumlarında da kirlilik yaratmaktadırlar. Şekil 2.2'den [9] görüldüğü gibi deterjanların üretimi aşamasında katı atık oluşmakta, hava ve su kirliliğine neden olmaktadır. Paketleme, dağıtım ve kullanım sırasında enerji harcanmakta ve yine kullanım sonunda katı atık ve atık su meydana gelmektedir [9].



Şekil 2.2 Çamaşır deterjanlarının çevresel yaşam döngüsü [9]

Enerji, su, deterjan kullanımının azaltmak ve çevreyi korumak için Peitz ve arkadaşları (2016) [10], yaptıkları çalışma sonucunda 1 kg kirli çamaşırın temizlenmesi için 12 litre su, 1.3 kWh enerji harcanmakta olduğu belirlemişlerdir. Giagnorio ve arkadaşları (2017) [6] çalışmalarında, membran sistemlerini kullanarak deterjan ve suyun geri kazanımını sağlamışlardır.

Dünya çapında binlerce insanın çokça kullandığı ürünler arasında olan deterjanların yaklaşık 100 yıllık bir geçmişi bulunmaktadır. Geçmişi çok daha eskilere dayanan, temizleme ajanı olan sabunların da deterjan olmasına rağmen, 'deterjan' terimi genellikle sentetik deterjanlar için kullanılmaktadır. Sabunun sert suda etkinliğinin azalması ve istenilen temizleme performansını vermemesi gibi sebepler, sentetik deterjanların gelişmesine neden olmuştur [8].

2.1 Çamaşır Deterjan Bileşenleri

Gelişen teknoloji sayesinde çamaşırların otomatik çamaşır makinelerinde yıkanmaya başlanması ile sabun yerini sentetik deterjanlara bırakmıştır. Sabunun yanı sıra farklı kimyasal maddelerinde eklenmesi ile değişik formülasyonlara sahip deterjanlar üretilmiştir. Şimdilerde ise piyasada farklı deterjan formülasyonları bulunmaktadır.

Çamaşır yıkama işleminin vazgeçilmez bir öğesi olan deterjanlar, suyun yüzey gerilimini düşürerek temizleme etkinliği yaratmaktadır. Kompleks kimyasal maddeler olan deterjanlar; suyun sertliğini azaltır, tekstil üzerinden kir ve lekeleri uzaklaştırır, kir ve lekelerin tekrar kumaşa yapışmasını önleyerek yıkama ortamında asılı kalmalarını sağlar [1].

Deterjanların başlıca bileşenleri yüzey aktif maddelerdir. Diğer bileşenlere göre yüksek oranda deterjanlarda bulunabilen yüzey aktif maddeler, temizleme görevini yerine getiren en önemli gruptur. Yüzey aktif maddelerin görevlerini verimli şekilde yerine getirmeleri için deterjan içerisinde yardımcı maddeler bulunmaktadır. Bunlar; her biri özel reaksiyonlarla kir ve lekeler üzerinde etkinlik gösterebilen yapıcı madde, enzim ve ağartıcı gibi kimyasal bileşenlerdir [7].

2.1.1 Yüzey Aktif Maddeler

Yüzey aktif maddeler deterjanların en önemli bileşenlerindendir. Yapıları itibariyle hidrofilik ve hidrofobik olmak üzere iki farklı uç kısımları bulunmaktadır. Hidrofobik uç, uzun alkil zincirlerinden oluşan polar olmayan kısım; hidrofilik uç ise polar özelliğinden dolayı su ile temas eden ve çözünürlüğü arttıran kısımdır. İki farklı özellikte uç kısmının olması, yüzey aktif ajanın tekstili ıslatma, kiri yıkama ortamında tutma gibi yeteneklere sahip olmasına olanak vermektedir. Yüzey aktif maddelerde olması beklenen özellikler aşağıda sıralanmıştır [7];

- Spesifik adsorpsiyon
- Yüksek kir temizleme performansı
- Su sertliğine karşı düşük duyarlılık
- İyi dağılım özelliği
- Tekstil üzerine kir yapışmasını engelleme

- Yüksek çözünürlük
- Yüksek ıslatma gücü
- Uygun köpürme özelliği
- Uygun koku ve renk
- Uygun ambalajlama ve uzun raf ömrü
- Çevre ve insan sağlığına zararsız olma
- Güvenli hammadde temini
- Fiyat uygunluğu

Hidrofilik uçların farklılığı neticesiyle dört yüzey aktif madde grubu bulunmaktadır. Bunlar anyonik, katyonik, noniyonik ve amfoterik yüzey aktif maddelerdir (Çizelge 2.1) [7]. Ticari toz ve sıvı deterjanların içerisinde tek çeşit yüzey aktif madde bulunmamaktadır.

Çizelge 2.1 İyonik durumlarına göre yüzey aktif madde grupları için örnekler [7]

Yüzey Aktif Madde	**Formülü**	**Elektrolitik Ayrışma**	**İyonik durumu**
Alkil poli(etilen glikol) eter	$RO-(CH_2-CH_2-O)_nH$	Yok	Noniyonik
Alkil sülfonat	$R-SO_3^-\ Na^+$	Var	Anyonik
Dialkildimetilamonyum klorit	$\left[H_3C-\overset{\overset{R}{\vert}}{\underset{\underset{R}{\vert}}{N^+}}-CH_3\right]Cl^-$	Var	Katyonik
Betain	$R-\overset{\overset{CH_3}{\vert}}{\underset{\underset{CH_3}{\vert}}{N^+}}-CH_2-C\overset{O}{\underset{O^-}{<}}$		Amfoterik

Hidrofilik uç kısımları eksi yüklü olan anyonik yüzey aktif maddeler, kir ve leke temizleme yeteneği bakımından en güçlü gruptur. Milattan önce 2200 yıllarına dayanan, alkali madde ile yağ asidinin reaksiyonu sonucu meydana gelen sabunda anyonik yüzey aktif maddelerdendir [1]. Su sertliğinden fazlaca etkilenme, düşük sıcaklıklarda

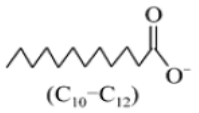
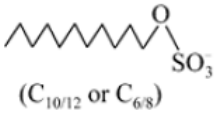
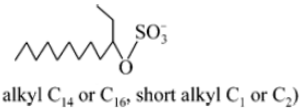
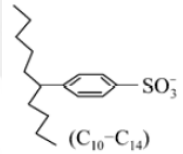
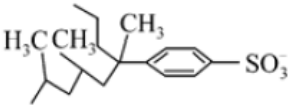
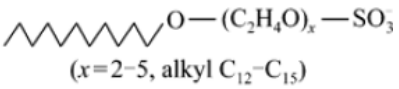
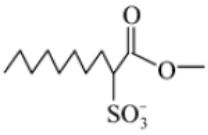
çalışmama gibi problemlerinden dolayı sabunların, 1950'lerden itibaren daha verimli yüzey aktif maddelerin artması ile kullanımları azalmıştır. Buna rağmen hala ticari deterjan içeriğinde bulunmaktadırlar [7].

Çamaşır deterjanlarında ilk olarak 1932'de doğal alkil sülfatlar kullanılmaya başlanmıştır. Sonrasında çamaşır yüzey aktif maddelerinin arasından daha ucuz olan dallanmış yapıda alkil benzen sülfonatlar öne çıkmıştır. Fakat anyonik yüzey aktif ajanların, mikroorganizmalar tarafından parçalanamadıklarından çevre kirliliğine neden oldukları ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, dallanmış alkil benzen sülfonatların yerini lineer alkil benzen sülfonatlar almıştır. Lineer alkil benzen sülfonatlar en çok kullanılan ve en bilinen anyonik yüzey aktif maddelerdir [11].

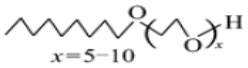
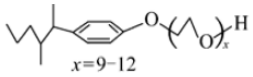
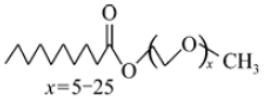
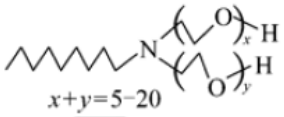
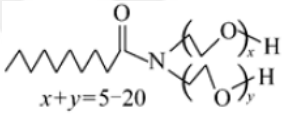
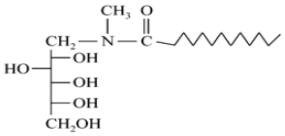
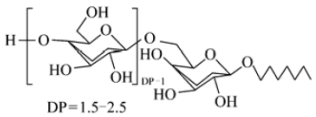
Anyonik yüzey aktif maddeler su sertliğinden olumsuz etkilenmektedirler. Hidrofilik uç kısımlarındaki negatif iyonlardan dolayı sudaki iki değerlikli Ca^{++} ve Mg^{++} sertlik iyonları ile etkileşime girerek çökelti oluşturmakta ve temizleme etkinlikleri düşmektedir. Bu durumun önüne geçilmesi amacı ile deterjan içerisine yapıcı maddeler eklenmektedir. Bu kimyasallar sayesinde su sertliği düşürülerek anyonik yüzey aktif maddenin etkinliği korunmaktadır. Ayrıca anyonik yüzey aktif ajanları fazlaca köpük oluştururlar. Köpük, tekstile iyice nüfuz etmesine rağmen durulama sırasında daha fazla su kullanımını gerektirmektedir. Çamaşır deterjanları içerisinde bulunan anyonik yüzey aktif maddeler Çizelge 2.2'de sıralanmıştır [11].

Anyonik yüzey aktif maddelerden daha az köpüren ve su sertliğinden etkilenmeyen grup noniyonik yüzey aktif maddelerdir. Hidrofilik kısmında elektriksel yük olmadığından sudaki sertlik iyonları ile etkileşime giremezler. Özellikle yağlı kirlerde iyi performans gösteren noniyonik yüzey aktif maddelerin, sabunun aksine düşük sıcaklarda da etkinlik göstermeleri kullanımları açısından büyük bir avantajdır. Özellikle bulaşık deterjanları gibi sert yüzey temizliğinde kullanılan noniyonik yüzey aktif maddeler, pahalı olmaları ve ancak uzun süreli reaksiyonlar sonucunda etkinliklerini göstermeleri kısa yıkama programlarında tercih edilmemelerine neden olmaktadır. Genel olarak anyonik yüzey aktif maddeler ile birlikte kullanılmaktadırlar. Çamaşır deterjanları içerisinde bulunabilen noniyonik yüzey aktif maddeler Çizelge 2.3'te sıralanmıştır [11].

Çizelge 2.2 Deterjanlarda bulunabilen anyonik yüzey aktif maddeler ve kimyasal yapıları [11]

Anyonik yüzey aktif maddeler	**Kimyasal yapıları**
Sabun	
Alkil sülfat	
Sekonder alkil sülfat	
Lineer alkilbenzen sülfonat	
Dallanmış alkilbenzen sülfonat	
Alkil etoksi eter sülfat	
Metil ester sülfonat	

Çizelge 2.3 Deterjanlarda bulunabilen noniyonik yüzey aktif maddeler ve kimyasal yapıları [11]

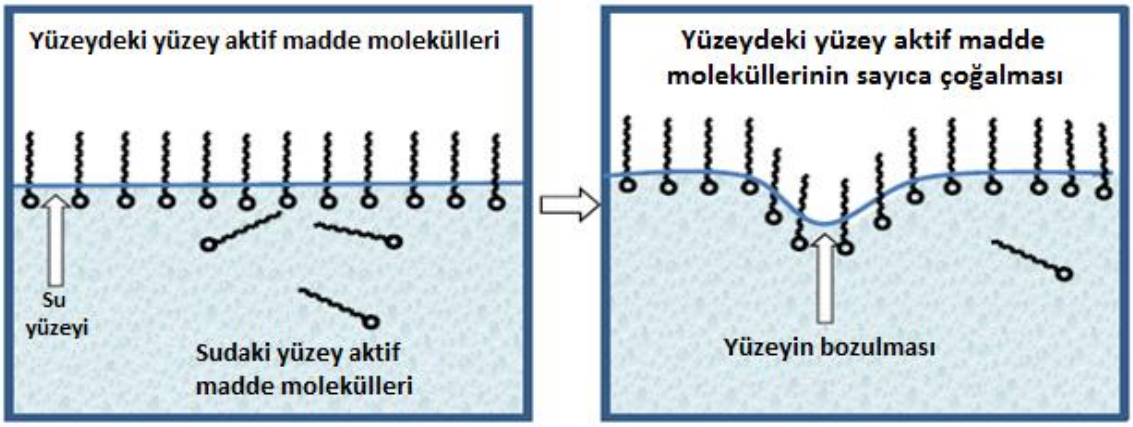
Noniyonik yüzey aktif maddeler	**Kimyasal yapıları**
Alkol etoksilat	
Alkilfenol etoksilat	
Metil ester etoksilat	
Etoksillenmiş amin	
Etoksillenmiş amid	
Glikamid	
Alkil poliglikolsid	

Katyonik yüzey aktif maddeler pozitif elektrik yükleri nedeniyle anyonik yüzey aktif maddelerin neden olduğu negatifliği yok etmek adına antistatik ajan olarak yumuşatıcılarda kullanılmaktadırlar. Genellikle dioktadesil dimetilamonyum klorit gibi kuaterner amonyum bileşikleri kullanılmaktadır. Renkli tekstillerin solmaması, kir ve lekelerin temizlenme performansını arttırtmak için kuaterner amonyum bileşikleri ile düşük oranda iminodisüksinat ve hidroksi iminodisüksinat beraber kullanılabilmektedir [11].

Amfoterik yüzey aktif maddeler normal koşullarda farklı iki yük bulundurmaktadırlar. Kullanımları genellikle anyonik ve noniyonik yüzey aktif maddeler ile birlikte

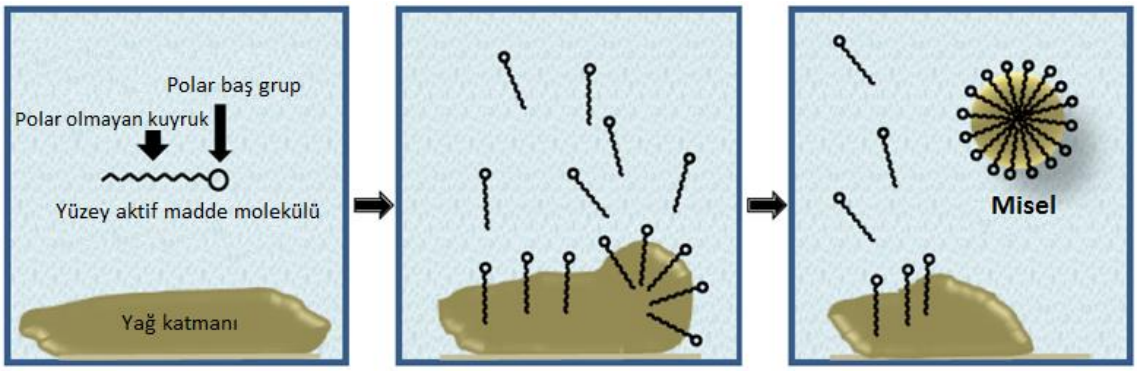
olmaktadır. Amfoterik madde olan betainler yumuşatıcı içerisinde dağıtıcı ajan olarak; anyonik maddeler ile birlikte kıvamlaştırıcı olarak kullanılabilmektedirler. Diğer bir amfoterik madde olan aminoksitler, özellikle gres yağ gibi yağ içerikli kirleri temizleme performansından dolayı çamaşır deterjanlarında kullanılabilmektedirler [11].

Yüzey aktif maddeler temizleme görevlerini yerine getirebilmeleri için yıkama suyu içerisinde belli bir konsantrasyonda bulunmaları ve kir tabakalarını misel yapıları oluşturarak yüzeyden uzaklaştırmaları gerekmektedir. Kirlerin yüzeyden uzaklaştırılma mekanizması Şekil 2.3'te görüldüğü gibi gerçekleşmektedir [12]. Yüzey aktif madde moleküllerinin hidrofilik kısımları suda, uzun hidrokarbon kuyruk olan hidrofobik kısımları ise gaz fazında olacak şekilde su yüzeyinde birikirler. Miktarlarının artması ile suyun yüzey gerilimini düşürürler [12].



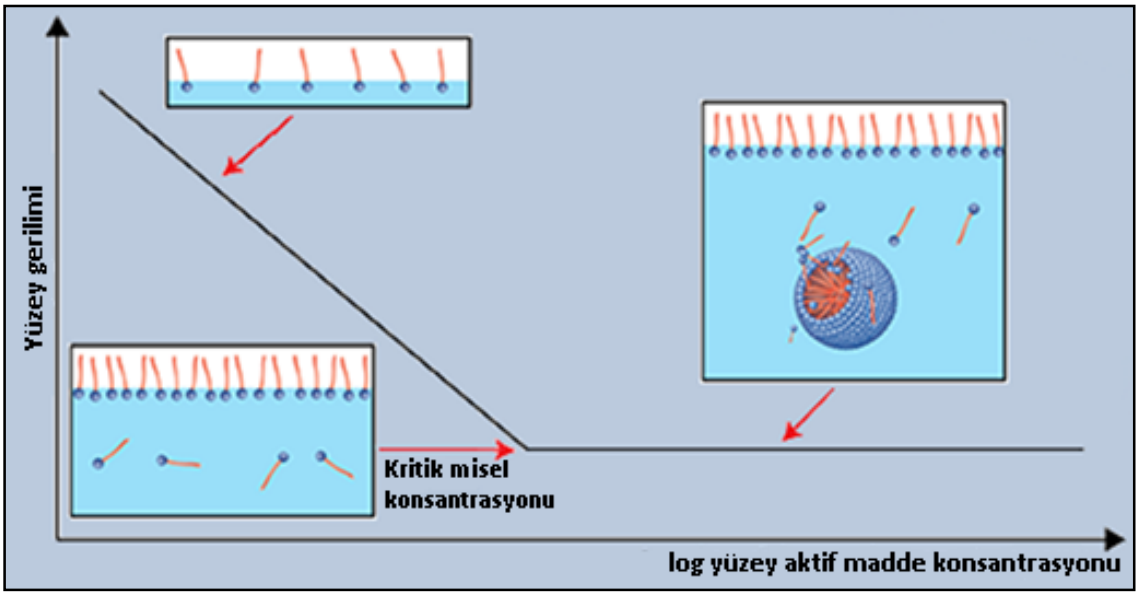
Şekil 2.3 Yüzey aktif maddelerin suyun yüzey gerilimini düşürmesi [12]

Yüzey aktif madde molekülleri suyun yüzey gerilimini düşürdükten sonra çözelti içerisinde konsantrasyonlarını arttırırlar. Yüzey aktif maddelerin yağı seven hidrofobik kuyrukları kir tabakasına tutunur ve kiri yüzeyden kopartırlar (Şekil 2.4) [12]. Kiri yüzeyden uzaklaştıran yüzey aktif maddeler, hidrofilik kısımları dış tarafa gelecek şekilde kümelenir. Yüzey aktif maddeler sayesinde yüzeyden ayrılan kirler, oluşan miseller yardımıyla yıkama ortamına geçerler ve bu şekilde temizlenirler [12]. Temizleme işleminin yapılması misel yapısının oluşmasına bağlıdır. Misel oluşması için ise yüzey aktif madde konsantrasyonunun kritik misel konsantrasyonuna ulaşması gerekmektedir.



Şekil 2.4 Yüzey aktif maddelerin misel oluşturarak kir tabakasını yüzeyden uzaklaştırması [12]

Yüzey aktif moleküllerinin konsantrasyonunun artmasına rağmen yüzey gerilim değerinin aynı seviyede kalması durumunda bu değere ulaşılmış olur. Bu değer kritik misel konsantrasyonu (KMK)'dur (Şekil 2.5) [13]. KMK değerinin üzerinde yüzey aktif maddelerin kir ve leke temizleme yeteneği artmaktadır. Ancak bu değer üzerinde yüzey aktif maddeler misel oluşturabilmektedirler. Böylece, hidrofobik kısımlar yağları tutar, kir ve lekeleri tekstil üzerinden koparırlar [13]. Ticari deterjanların içeriğinde bulunan yüzey aktif madde miktarları, o yüzey aktif maddenin kritik misel konsantrasyonunun 20-100 katı olmaktadır. Böylece misel oluşmama gibi temizleme yeteneğini etkileyecek sorunların yaşanmaması sağlanmaktadır [14].



Şekil 2.5 Yüzey aktif madde konsantrasyonu-yüzey gerilim grafiği ve kritik misel konsantrasyonu [13]

2.1.2 Yapıcı Maddeler

Yapıcı maddelerin ana görevi, kir üzerinde ve suyun içerisinde bulunan Ca^{++} ve Mg^{++} sertlik iyonlarını gidererek yüzey aktif maddelerin temizleme etkinliklerini arttırmaktır. Çünkü sertlik iyonları anyonik yüzey aktif maddelere bağlanarak onların aktivitelerini düşürmektedirler ve tekstil üzerinde veya makine içerisinde çökelti oluşturmaktadırlar. Bu durumda sertlik iyonları, tekstil üzerindeki kirin çıkarılmasına engel olmaktadır.

Yapıcı maddeler sertlik iyonlarının giderilmesinin yanında pH değerini yükselterek yıkama ortamının alkali olmasını sağlamaktadır. Böylece bazik ortamda yıkama işlemi daha etkili olmaktadır. Ayrıca yıkama ortamında bulunan kirin, tekstil üzerine yeniden yapışmasını önleyerek deterjan içeriğindeki kir yapışmasını önleyen maddelere yardım etmektedirler [12]. Yapıcı maddeler, sertlik giderme işlemini üç şekilde yapabilmektedirler:

- Suda çözünen yapıcı maddeler; Ca^{++} ve Mg^{++} iyonları ile çözünebilen kompleksler oluşturabilir,
- Suda çözünen yapıcı maddeler; Ca^{++} ve Mg^{++} iyonları ile suda çözünmeyen kompleks haline gelerek tuz oluşturabilir,
- Sertlik iyonları, suda çözünmeyen yapıcı madde ile iyon değişimi gerçekleştirebilmektedir.

Sertlik iyonlarını yakalayarak çözünebilen kompleksler oluşturan yapıcı maddelerin başında fosfatlar gelmektedir. Çamaşır deterjanlarında kullanılan formu sodyum tripolifosfat olan yapıcı madde, kalsiyum ve magnezyum iyonlarını etkili bir şekilde yakalamasının yanında yıkama ortamı içerisinde kirin dağılmasını da sağlamaktadır. Fakat, fosfat içeren deterjanların kullanımı sonrasında kirli ve deterjanlı atık suların göl ve nehirlere boşaltılması neticesinde büyük oranda suları kirletmekte ve çevreye zarar vermektedir. Yüzey sularında fosfat miktarının artması ile suda yaşayan canlılar için besin maddesi artmakta ve bunun sonucunda ötrofikasyon meydana gelmektedir.

Çevre açısından zararlı olduğu tespit edilen fosfat bileşenlerinin kullanımı 1970'lerde öncelikle kuzey Amerika'da azaltılmış, bunu Avrupa ve Japonya izlemiştir [15]. Bu durum sonucunda, fosfatlar yerine kullanılabilecek nitriloasetik asit (NTA) ve alümina silikat (zeolit) gibi alternatif yapıcı maddeler kullanılmaya başlanmıştır. NTA

Amerika'da kullanılmamasına rağmen Kanada'da deterjanlar içerisinde kullanılmaktadır [16].

Bir diğer yapıcı madde olan ve iyon değişimi mekanizması ile sertlik iyonlarını etkisiz hale getiren zeolit suda çözünürlüğü bulunmamasına rağmen özellikle Avrupa'da fosfatların yerini almıştır. Suda çözünme problemlerinden dolayı toz deterjanlar içerisinde kullanılabilen zeolitler Avrupa'nın yanında Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya'da da kullanılmaktadır. 2013 yılında Avrupa Komisyonu tarafından fosfatların kullanımı yasaklanmıştır [17].

Her ne kadar fosfatlar kadar etkili olmasa da fosfatlar gibi mekanizma izleyen diğer kimyasal maddeler sitratlardır. Sitratlar, zeolitlerin kullanılamadığı sıvı deterjanlarda tercih edilmektedirler. Karbonat bazlı bileşikler ise sertlik iyonları ile çökelti oluşturarak, yüzey aktif maddelerin etkinliğini azaltmasını engellemektedirler. Tek başına istenilen verimlilikte olmadıklarından zeolitlerin yanında yardımcı yapıcı madde olarak kullanılmaktadırlar [18].

2.1.3 Ağartıcılar

Ağartma işlemi bir beyazlatma, renk giderme prosesidir. Ağartmanın amacı, kumaş üzerindeki lekeleri yok etmek ve yıkanan çamaşırlardan suya sızan boyaların diğer çamaşırlara geçmesini önlemektir [19]. Ağartma işlemi, oksidasyon veya redüksiyon prosesleri aracılığıyla görünür ışığın reflektans değerindeki artışı belirtmektedir [18]. Redoks reaksiyonları sonucunda ağartılan yüzeyin rengi açılır ve böylece ışığı daha çok yansıtır. Deterjan içeriğindeki ağartıcı maddeler redoks tepkimeleri ile renkli çamaşırların ve lekelerin kromoforlarını (ışığı absorplayan gruplar) parçalar ve yapılarını bozar, bu durum ise renklerin solmasına neden olmaktadır [20].

Çamaşırlarda bulunan kirlerin ve boyaların renkleri konjuge π-bağlarına sahip kromoforlardan kaynaklanmaktadır. Ağartıcılar, lekelerdeki kromoforların yapısını değiştirerek renkli lekeyi yok etmekte, renksiz hale getirmektedir. Bu işlem; lekeyi daha küçük parçalara ayırarak, yıkama ortamındaki yüzey aktif maddelerce temizlenebilecek şekilde çözünür hale getirerek veya lekeyi kumaş üzerinde daha az görünür hale getirerek yapılabilmektedir.

Bir oksitleyici ağartıcı ajan; konjuge zincirdeki bir ya da daha fazla çift bağı kırarak, konjuge zinciri bölerek veya konjuge zincirdeki diğer grupların birini oksitleyerek

görevini yapar. Lekedeki kromoforların geniş yapılarından dolayı ağartıcı ajanların atak edeceği çok fazla noktası bulunmaktadır. Atak sonucunda konjugasyon azaldığı için temel durum ile uyarılmış durum arasındaki boşluk enerjisi artar ve molekül ultraviyole bölgesindeki ışığı absorplar. Böylece renk oluşmaz [19]. Ağartıcı ajanlar aynı zamanda mikroorganizmaların hücre membranlarını da oksitleyebildiklerinden dezenfektan görevi de görmektedirler. Ancak, renkli çamaşırlar için renk hasarının yanında tekstil dokusuna da zarar vermesi ağartıcı bileşenlerin dezavantajıdır.

Çamaşır yıkama işleminde kullanılan ürünlerin ağartıcı proseslerinde genellikle sadece oksidasyon tepkimeleri kullanılmaktadır. Ağartma işlemi redüksiyon tepkimesi ile yapılır ise, kir ağartıldıktan sonra hava ile oksitlenerek tekrar eski renkli hale geri dönmektedir. Bu durum için özel ağartıcı bileşikler ($NaHSO_3$, $Na_2S_2O_4$) mevcuttur ve genellikle özel ağartma uygulamalarında kullanılmaktadırlar [7].

Ağartma işlemi birçok faktörden etkilenmektedir. Ağartıcı ajanın tipi, oksidasyon potansiyeli ve konsantrasyonunun yanı sıra yıkama ve durulama işleminin süresi, yıkama sıcaklığı, yıkanan kirin yapısı/tipi, yıkanan tekstilin tipi de ağartma işleminde önemlidir. Ağartma işlemi iki şekilde gerçekleştirilmektedir: Peroksit ile ağartma ve hipoklorit ile ağartma. 19. yy'dan ticari olarak temin edilebilen peroksitler, en fazla Avrupa'da olmak üzere en çok kullanılan ağartıcı bileşenlerdir. Hidrojen peroksit, doğaya zararı olmayan O_2 ve H_2O'ya dönüştüğünden çevresel açıdan problem oluşturmayan ve korozif olmayan bir maddedir. Güçlü bir yükseltgen ajan olan hidrojen peroksit üç şekilde etkinlik gösterebilmektedir: Serbest radikal oluşturabilir, reaktif oksijen molekülleri veya hidrojen peroksit anyonları oluşturabilir [21];

1. $H_2O_2 \rightarrow 2HO^*$

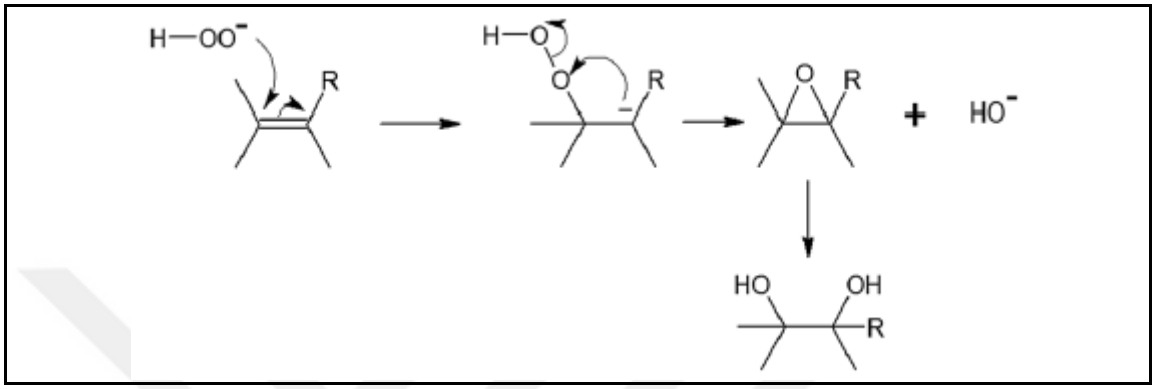
$HO^* + H_2O_2 \rightarrow H_2O + HO_2^*$

$HO_2^* \leftrightarrow H^+ + O_2^*$

2. $2H_2O_2 \leftrightarrow 2H_2O + 2O^* \leftrightarrow 2H_2O + O_2$

3. $H_2O_2 \leftrightarrow H^+ + HOO^-$

Peroksit kaynağı olarak en çok sodyum perborat ve perkarbonat kullanılmaktadır. Sodyum perkarbonatlar suda daha iyi çözünmeleri, daha çevre dost olması, pH'nın daha yüksek olması sebepleri ile Avrupa'da kullanılan çoğu deterjanda tercih edilmektedirler [18]. Genel anlamda, perhidroksil anyonu ile ağartma işlemi elektrofilik merkez olan alken gruplarına nükleofilik atak yaparak gerçekleşir. Alkenlerin π-bağlarını kırarak epoksi oluşturur, sonrasında ise diol yapısı meydana getirir (Şekil 2.6) [19].



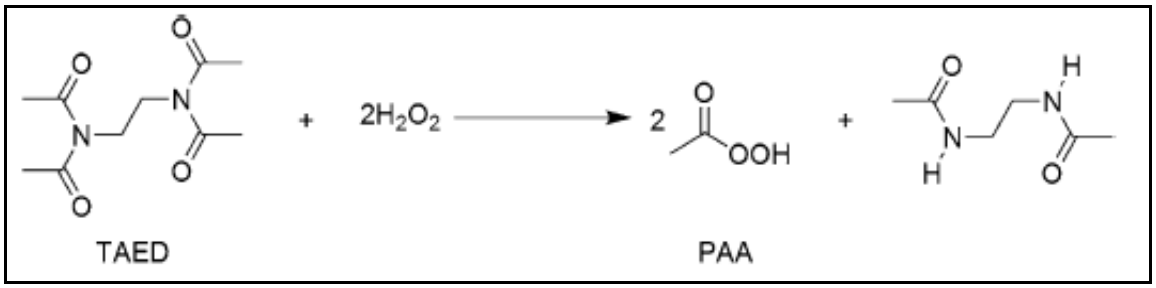
Şekil 2.6 Perhidroksil anyonu ile ağarma işlemi [19]

Ağartıcı olarak kullanılan bir diğer madde sıvı formda olan hipoklorittir. Formundan dolayı toz deterjanlarda kullanılamayan hipoklorit, deterjandan ayrı olarak yıkama ortamına konulmalıdır. Hipoklorit kaynağı olarak sodyum hipoklorit (NaOCl) kullanılmaktadır.

$$HOCl + OH^- \leftrightarrow ClO^- + H_2O$$

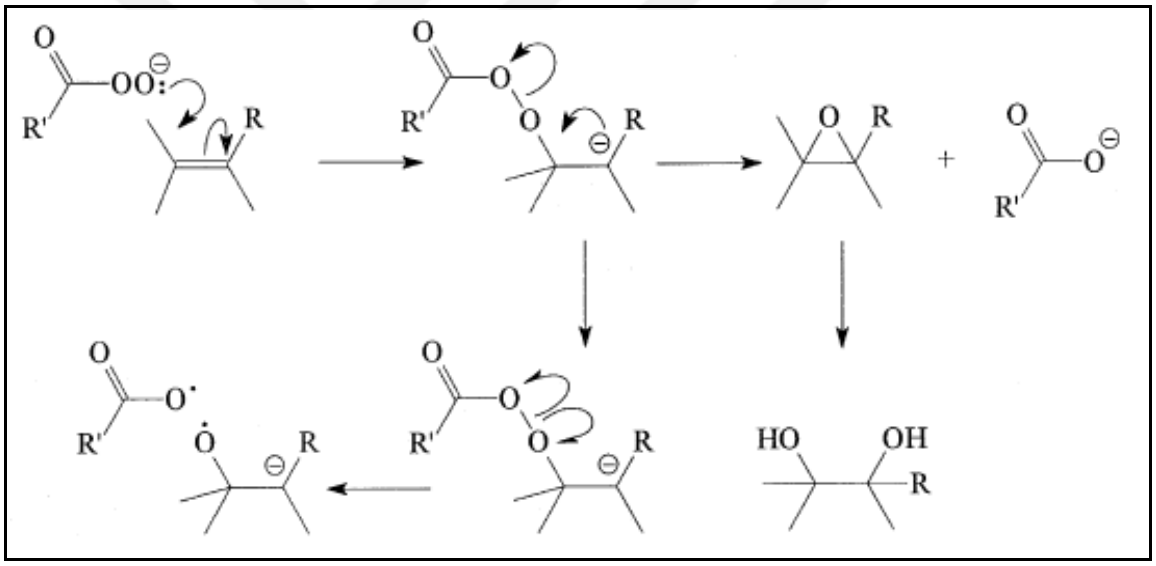
Perboratın aksine hipoklorit düşük sıcaklıklarda da etkinlik gösterebilmektedir. Perborat ve perkarbonatın düşük sıcaklıklarda etkinlik gösterebilmeleri için toz deterjanların içerisinde ağartıcı aktivatörler kullanılmaktadır. 60 °C'nin üzerinde aktivite gösteremeyen perborat ve perkarbonatlar, aktivatörler sayesinde düşük sıcaklıklarda çalışabilmektedirler.

Ağartıcı aktivatörler tetraasetiletilen diamin (TAED), sodyum p-nonanol-oksibenzensülfonat (NOBS) ve NOBS'nin analogu olan lauriloksibenzen sülfonat (LOBS)'tır. Genellikle toz çamaşır deterjanlarının içeriğinde TAED kullanımı tercih edilmektedir [7]. TAED ve hidrojen peroksitin reaksiyonu sonucu oluşan perasetik asit (PAA), 30 - 60 °C arasında etkinlik gösterebilmektedir (Şekil 2.7) [22], [23].



Şekil 2.7 TAED ile hidrojen peroksit arasındaki reaksiyon [22]

Perhidroksil anyonu ile yapılan ağartma işlemi, aynı şekilde TAED ile hidrojen peroksitin reaksiyonu sonucu oluşan perasitler ile de düşük sıcaklıklarda gerçekleşebilmektedir (Şekil 2.8) [24]. Bu reaksiyon ile π- bağları kırılarak epoksi oluşturduktan sonra diol yapısı meydana gelmektedir. Tüketicilerin karşılaştığı her leke ağartma işlemine tepki vermez. Etkili bir temizleme için ağartma işlemi yapılabilen lekeler, hidrofilik ve hidrofobik lekeler olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir [24].

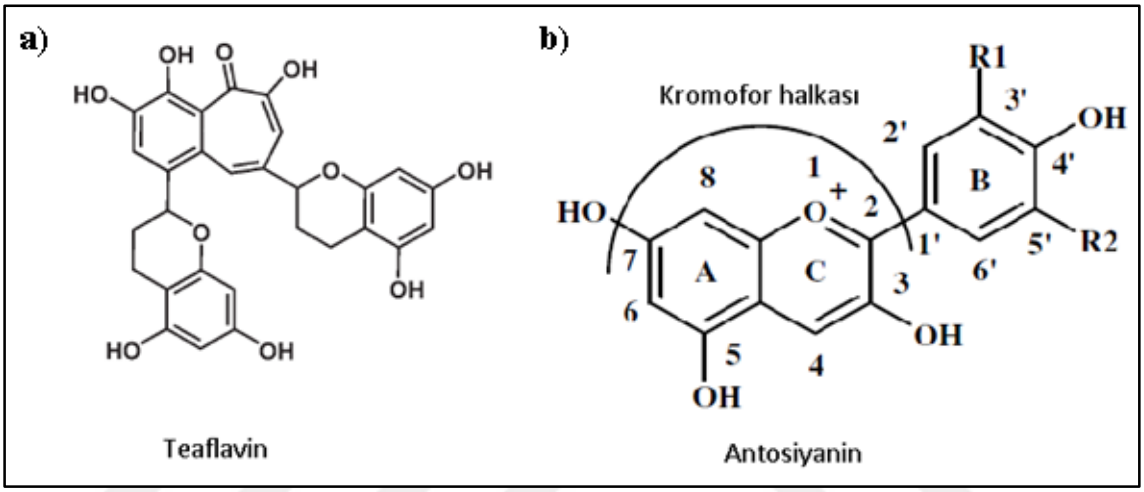


Şekil 2.8 Perasit anyonu ile ağarma işlemi [24]

Çizelge 2.4'te [25] hidrofilik ve hidrofobik leke kaynaklarına örnekler verilmiştir. Hidrofilik lekelerin renk kaynakları polifenolik bileşiklerdir. Örneğin siyah çay, sarı-turuncu renk veren teaflavin içerir (Şekil 2.9a) [25]. Kiraz, böğürtlen ve çilek gibi meyvelerin renkleri antosiyanin adı verilen bir kromofor sınıfından kaynaklanır (Şekil 2.9b). Antosiyaninler kırmızı şarabın ana bileşenidir [26]. Hidrojen peroksit ve perasitler kromofora nükleofil olarak saldırır, epoksi formu oluşturur ve halka yapısını açarak diol oluşturur [25].

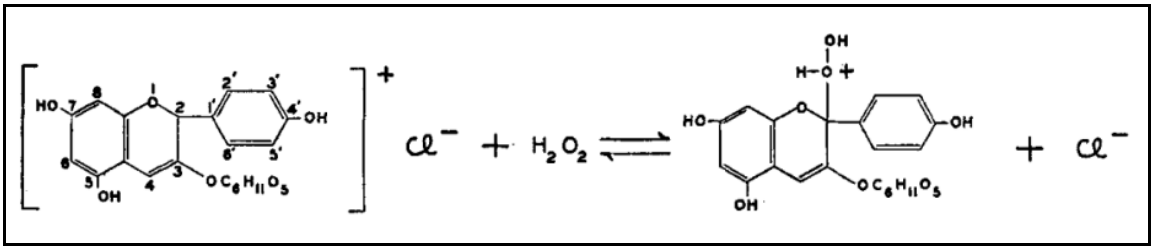
Çizelge 2.4 Bazı hidrofilik ve hidrofobik leke kaynakları [25]

Hidrofilik Leke Kaynakları	**Hidrofobik Leke Kaynakları**
Çay	Domates
Kahve	Kırmızı biber
Şarap	Hardal
Meyve suları	Köri sosu



Şekil 2.9 a) Teaflavin'in kimyasal yapısı [25], b) Antosiyanin'in kimyasal yapısı [26]

Antosiyaninlerin oksidasyonunda pH değeri oldukça önemlidir. Khoo ve arkadaşlarının [27] yaptığı çalışmaya göre ortamın pH değeri arttıkça antosiyanin oksidasyon sonucunda renksiz karbinol formuna geçmektedir. Iacobucci ve Sweeny [28] çalışmalarında asidik ve bazik ortamda antosiyaninlerin farklı molekül yapılarına dönüştüklerini tespit etmişlerdir. Şekil 2.10'da antosiyanin ile hidrojen peroksitin reaksiyonu verilmiştir [29].

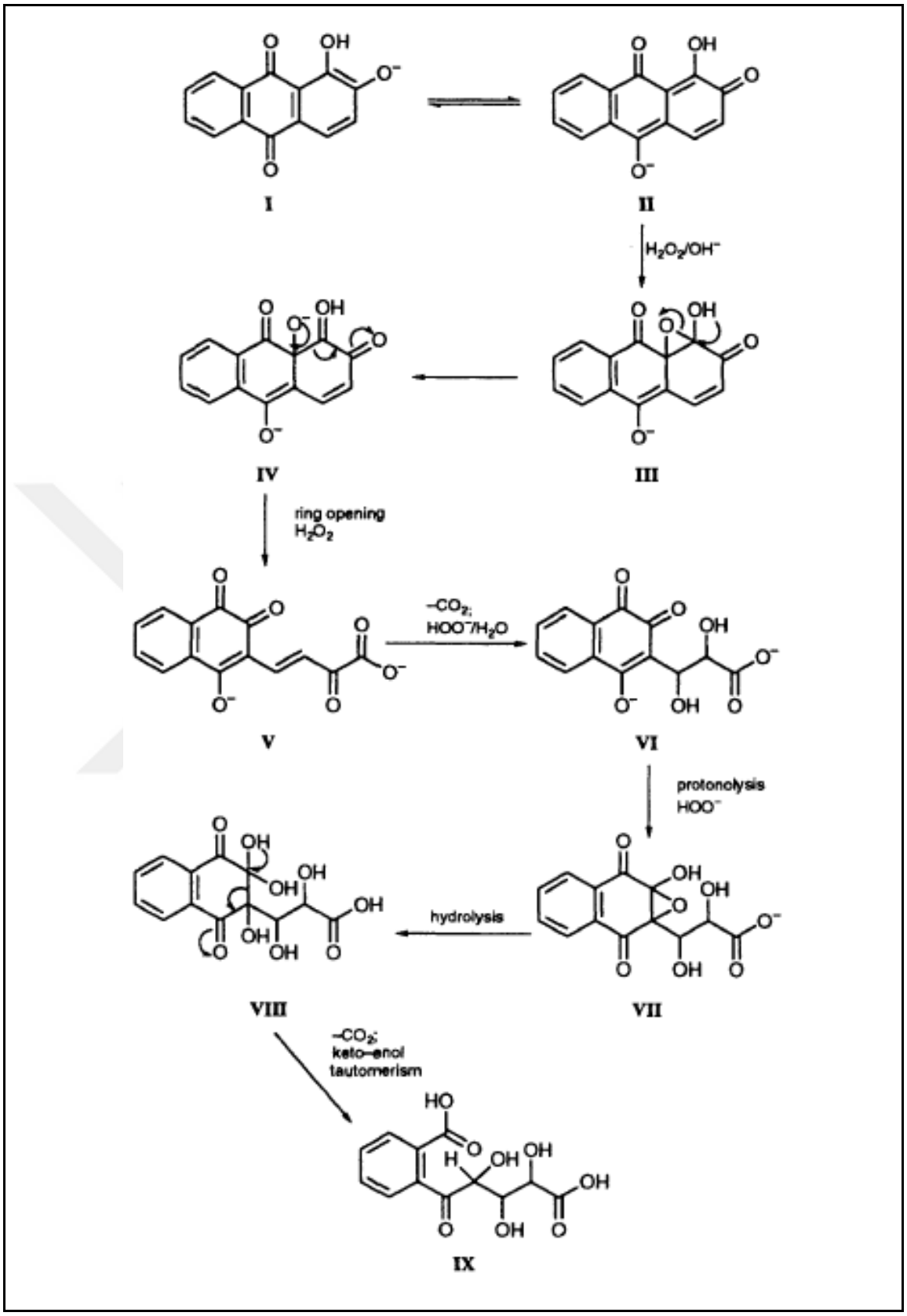


Şekil 2.10 Antosiyanin ile hidrojen peroksit reaksiyonu [29]

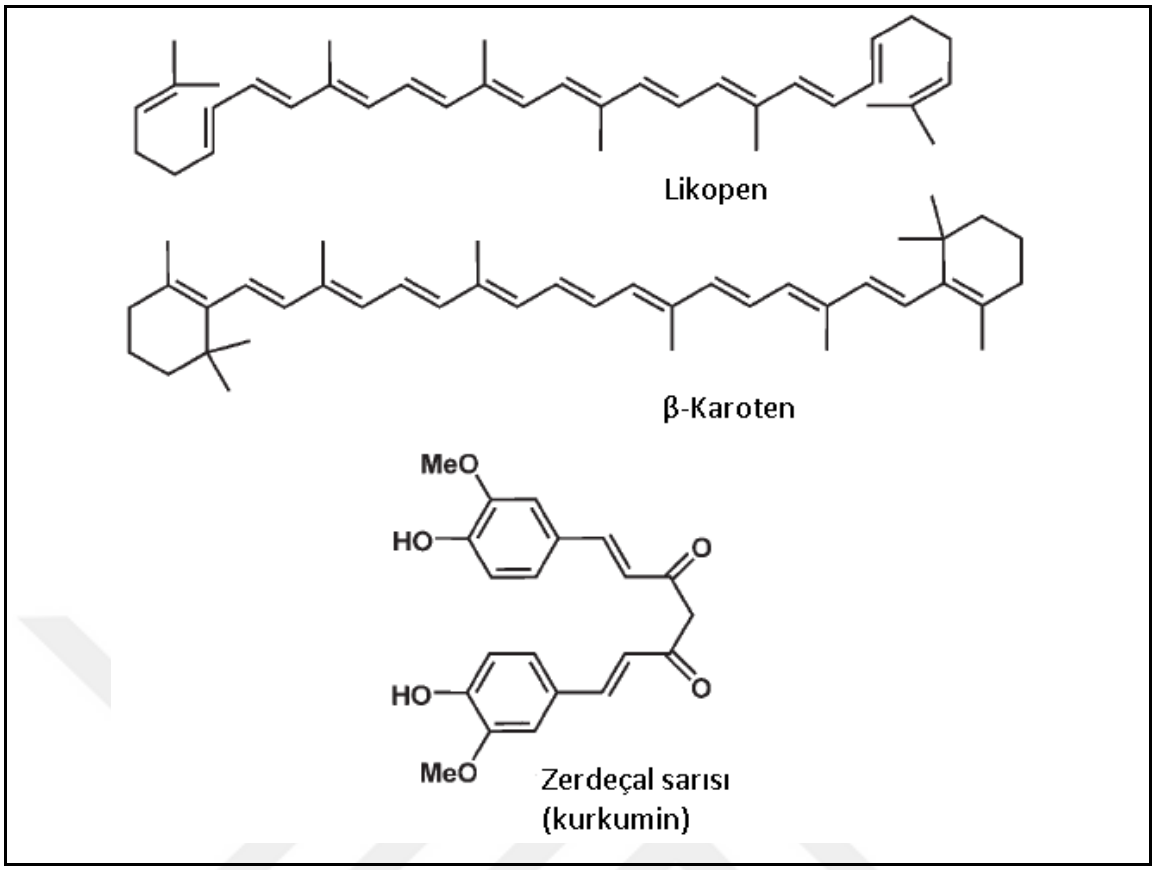
Ağartma işleminin mekanizması Şekil 2.11'de verilmiştir [30]. Doğal bir pigment olan alizarin üzerinden açıklanan mekanizmada kromofor yapısı bozulması ile ağartma işlemi gerçekleşmektedir. I numaradaki alizarin molekülü II'deki tautomeri ile dengededir.

Alkali koşulda hidrojen peroksit çift bağa atak ederek epoksi oluşturur (III) ve sonrasında IV formuna geçer. Halka açılması ise V konumuna gelir. Karboksilat iyonunun dekarboksilasyonu hızlı bir şekilde meydana gelir ve hidroliz sonucunda diol yapısı oluşur (VI). Halkadaki çift bağ epoksi formuna geçer (VII) ve hidroliz ile VIII numaradaki yapı oluşur. Halkanın açılması ile dekarboksilasyon sonucunda triol formu oluşur (IX). Kromofor halkalarının açılması ve diol/triol oluşturması ile pigmentin ağartma işlemi gerçekleşmiş olur [30]. Yağ bazlı olan hidrofobik lekeler polifenolik lekelerden farklı olarak çok çeşitli kaynaklardan ve farklı kromofor yapılarından oluşabilir.

Zor temizlenen hidrofobik lekelerin renkleri karotenoidlerden kaynaklanmaktadır. Domateste bulunan likopen, havuçtaki β-karoten ve köri sosunda bulunan zerdeçal sarısı (kurkumin) renk veren karotenoid sınıfındaki kimyasal bileşiklerdir (Şekil 2.12) [25]. Karotenoidler ışığa karşı çok hassastırlar. Likopen gibi maddeler yağda çözündüklerinden dolayı hidrofilik karakterli ağartıcı bileşenlerin kromoforlara yaklaşmasını engeller. Bu durumda ağartıcı ajanlar yüzey aktif maddeler ile birlikte çalışırlar. Yüzey aktif maddeler yağı temizleyerek ağartıcı ajanların lekedeki kromoforlara ulaşması sağlanır ve ağartma işlemi gerçekleşir [19].



Şekil 2.11 Alizarin molekülünün ağartılma mekanizması [30]

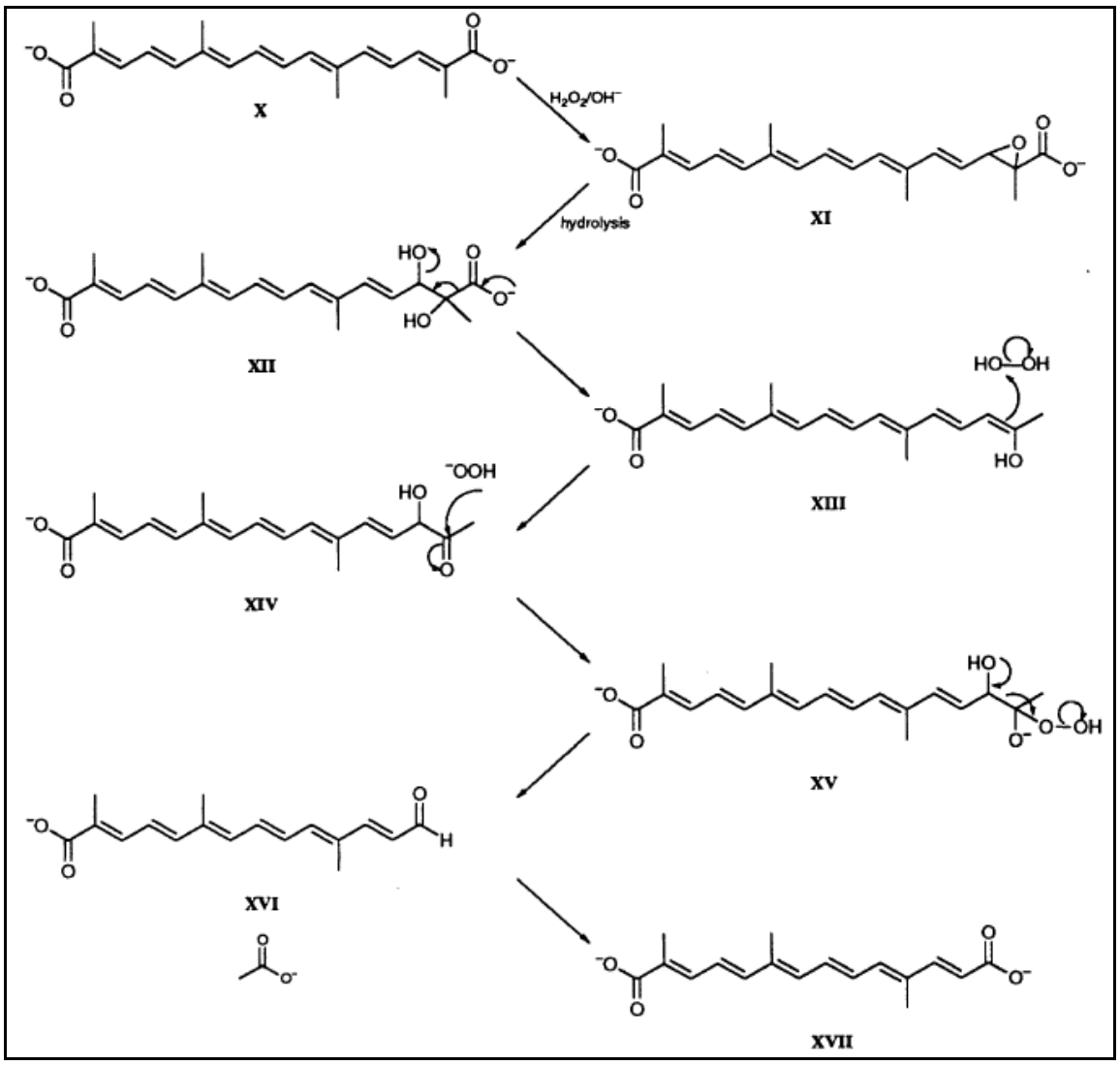


Şekil 2.12 Domateste bulunan likopen, havuçtaki β-karoten ve köri sosundaki kurkuminin kimyasal yapısı [25]

Konjuge çift bağ içeren bu kromofor yapısına sahip bir molekül olan krosetin, uzun polien zincirleri olan keranoidler sınıfına girmektedir. Krosetin molekülü serbest radikal ataklarına maruz kalarak ağartılma işlemi gerçekleşmektedir. Ayrıca karbon-karbon arası çift bağlarının kırılımıyla bu işlem sürmektedir. Şekil 2.13'te krosetin molekülünün ağartılma mekanizması verilmiştir [30].

Alkali pH değerinde krosetin iki yönden proton vermiş bir iyon olarak bulunmaktadır (X). Perhidroksi anyonu karboksilik asit grubuna nükleofilik atak yapar, epoksi formu (XI) oluşturur ve hidroliz ile diol yapısı (XII) meydana gelir. Şekil 2.13'te tek uç üzerinden reaksiyon verilmesine rağmen, aslında her iki uçta da reaksiyon gerçekleşmektedir. Karboksilik asit grubundan dekarboksilasyon ve dehidrolizasyon sonucu enol yapısı (XIII) meydana gelmektedir. XIII molekül yapısı, hidrojen peroksit ile reaksiyonu sonucu hidroksi metil keton (XIV) oluşturur. Perhidroksi anyonu karbonil grubuna nükleofilik katılım ile XV yapısını oluşturur. XV yapısı asetik asit ve bir aldehit formu olan XVI molekülüne dönüşür. Aldehit yapısı hızlıca okside olarak XVII formuna geçer ve

perhidroksi anyonu karboksilik asit grubuna atak ederek yine aynı döngüyü yaratır. Bu reaksiyonlar tekrarlanarak kromofor yapıları bozulur ve ağartma işlemi gerçekleşir [30].



Şekil 2.13 Krosetin molekülünün ağartılma mekanizması [30]

Düşük sıcaklıklarda ve kısa süreli yıkamalarda ağartma performansını daha da arttırmak amacıyla ağartıcı katalizörler geliştirilmiştir. Katalizör olarak eser miktarda ağır metal iyonları kullanılmaktadır. Bunlardan en bilineni mangan-1,4,7-trimetil-l,4,7-triazasiklononankompleksidir. Fakat günümüzde ağartıcı katalizörler yıkama işleminin bir parçası olarak kabul görmemektedir [7], [18].

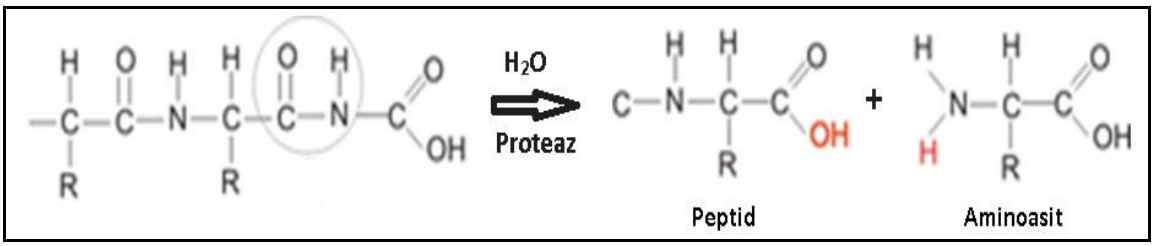
2.1.4 Enzimler

Deterjanların bir diğer önemli bileşenleri enzimlerdir. Enzimler biyolojik kaynaklı olup, kir ve lekeleri spesifik olarak parçalara ayırmakta ve temizleme işlemine yardım etmektedir. Böylece çamaşır makinesinin enerji tüketimi düşmektedir. Ayrıca pamuklu tekstillerin hasar görmesi de engellenmektedir. Deterjanda bulunan enzimler, dünya genelindeki toplam enzim kullanımının %30'unu oluşturmaktadır [18].

Enzimlerin spesifik substratlara etki etmesi, tekstili koruma açısından pozitif bir faktör olmasına rağmen çok çeşitli enzim kullanımını beraberinde getirmektedir. Her enzimin kendine özgü pH ve sıcaklığı değerleri bulunmaktadır. Enzimler, genel olarak nötr pH değerinde ve 20 ile 60 °C arasında çalışmaktadırlar.

Çamaşır deterjanlarının içerisindeki enzimlerin alkali ortamda çalışabilmeleri, yüksek sıcaklıklara dayanabilmeleri, diğer deterjan bileşenleri ile olumsuz bir etkileşime girmemeleri istenmektedir. Deterjanlardaki enzimlerin performansları birçok faktöre bağlıdır. Bunlar kısaca; yıkama ortamının sıcaklığı ve pH değeri, deterjan içeriğindeki maddeler, temizlenecek kir ve lekelerin tipi ve su sertliğidir.

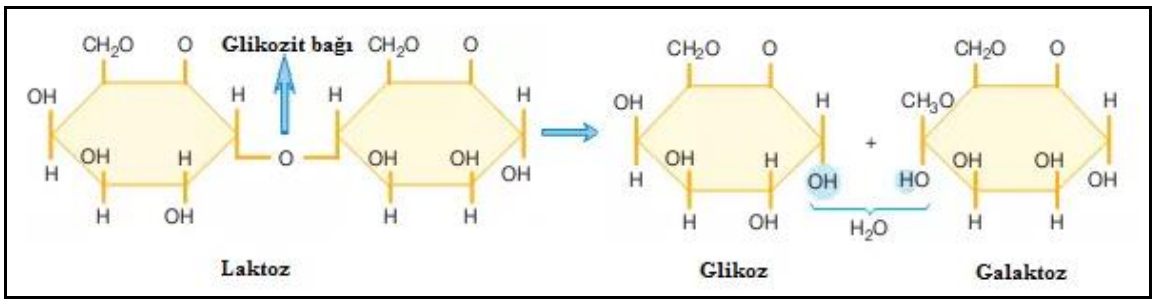
Deterjanlarda en çok kullanılan enzimler; proteaz, amilaz ve lipazdır. Bunlardan ilk ticarileşen enzim proteaz enzimidir. Proteaz enzimi (Şekil 2.14), büyük protein moleküllerinin peptid zincirlerini hidroliz ederek küçük parçalara ayırır, çözünür hale getirir [31]. Tüm enzimler protein yapılı olduğu için proteaz enzimi diğer enzimleri de parçalayacağından sıvı deterjan içerisinde stabil olmamakta ve bu nedenle kullanılamamaktadır.



Şekil 2.14 Proteinlerin proteaz enzimi ile hidrolizi [31]

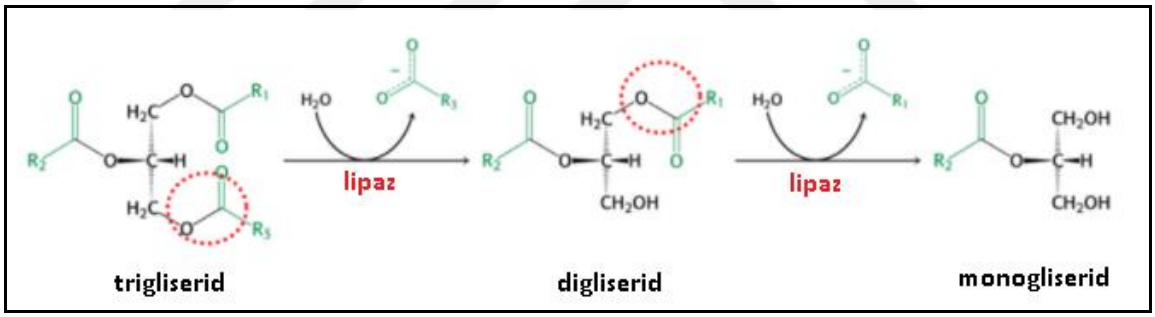
Diğer enzim ise karbohidraz sınıfındaki α-amilaz enzimidir. Karbonhidratların parçalanmasını sağlayan bu enzimin, aynı zamanda nişasta içeren lekelerin tekstile tekrar yapışmasını önleyerek tekstili beyazlatma özelliği de bulunmaktadır. Yiyecek ve kozmetik ürünlerinde kullanılan karbonhidrat bazlı yoğunlaştırıcı/yapışkan maddeler mannanaz enzimi tarafından parçalanmaktadır. Az da olsa pektinaz ve glukanaz enzimleri

de kullanılabilmektedir. Şekil 2.15'te disakkarit bir molekül olan laktozun (süt şekeri) glikozit bağları kırılarak monomerlerine ayrılması verilmiştir [32].

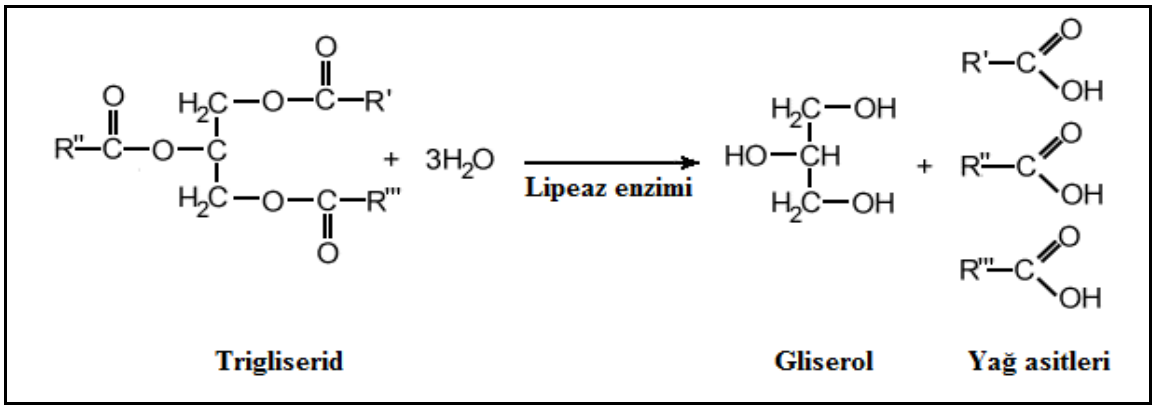


Şekil 2.15 Laktozun karbohidraz enzimi yardımıyla parçalanma reaksiyonu [32]

Yağlı kirlerin temizlenmesi, düşük sıcaklıklarda yıkama özellikleri ile birlikte daha da zor hale gelmektedir. Yağ moleküllerini parçalayan lipaz enziminin deterjan içerisinde kullanımı büyük kolaylık sağlamaktadır. Şekil 2.16 [33] ve Şekil 2.17'de [34] lipaz enziminin parçalama reaksiyonları verilmiştir. Deterjanlar içerisinde kullanılan bir diğer enzim olan selülaz enzimi, lekenin temizlenme performansının yanısıra renkli tekstillerin parlaklığını ve pamuklu kumaşların yumuşaklığını arttırmaktadır. Yıkama sonunda yıpranmış pamuklu kumaşlardaki selüloz mikrofibrillerini gidermektedir [15], [18].



Şekil 2.16 Lipaz enziminin trigliserid hidroliz reaksiyonu [33]



Şekil 2.17 Yağ molekülünün lipaz enzimi ile hidrolizi [34]

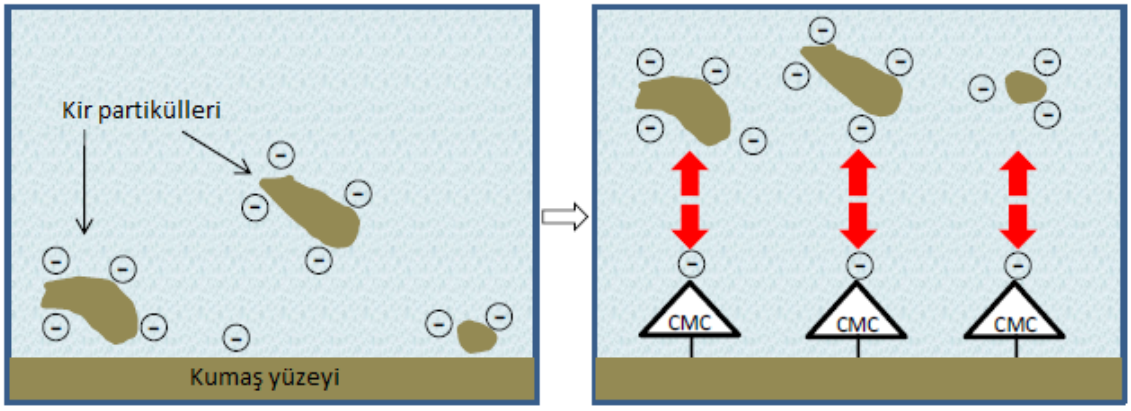
2.1.5 Diğer Katkı Maddeleri

Yüzey aktif maddeler, yapıcı maddeler, enzimler, ağartıcı ajanlar ve aktivatörlerin dışında deterjanların içeriğinde bulunan diğer maddeler; alkali maddeler, polimerler, optik beyazlatıcı ajanlar, parfümler, dolgu maddeleri, korozyon önleyici maddeler, köpük önleyiciler ve stabilizatörlerdir.

Alkali maddeler, yıkama ortamının pH'ını yükselterek temizleme performansını arttırmaktadır. Ayrıca, yağ bazlı kirlerin yağ asitlerini sabuna dönüştürmektedir. Deterjanlarda bulunabilen alkaliler; sodyum hidroksit, sodyum karbonat ve sodyum silikattır [35].

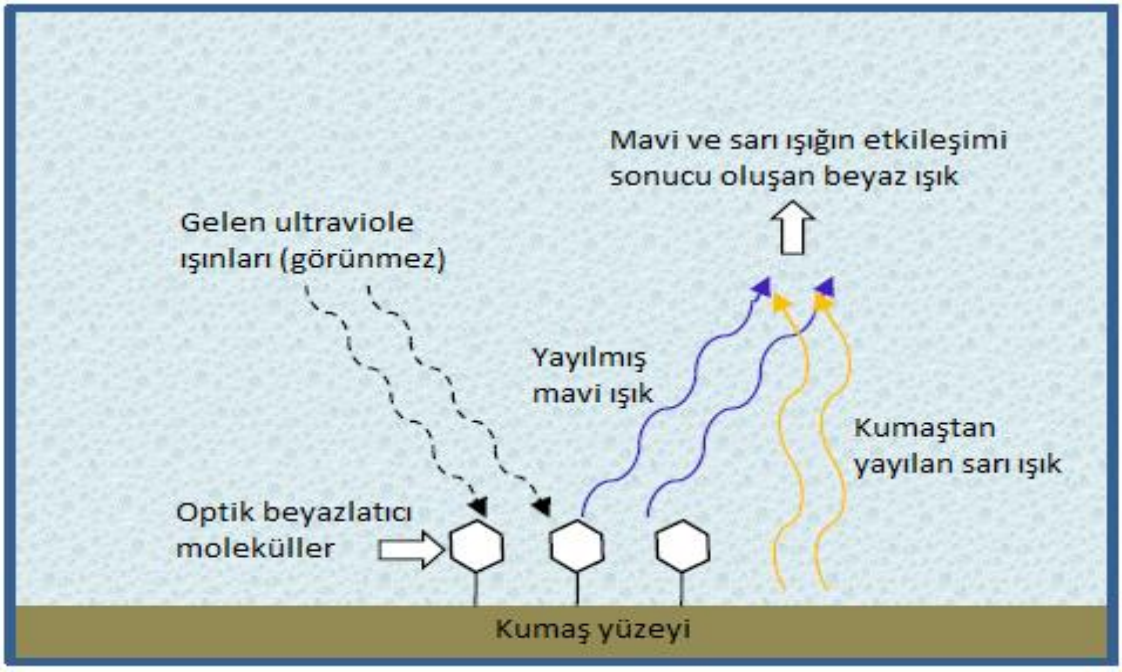
Polimerlerin farklı çeşitleri farklı amaçlarla deterjanlarda kullanılmaktadır. Karboksimetil selüloz ve poliakrilat/polimeleat gibi bazı polimerler kirlerin dağılarak yıkama ortamında askıda kalmasını sağlarlar. Böylece çamaşırların beyazlığını ve genel yıkama performansını arttırırlar. Kir partiküllerinin suda dağılması, bu polimerlerin çoklu anyonik yüklerine dayanmaktadır (Şekil 2.18) [12].

Etoksillenmiş poliamin gibi polimerler ise kil, toprak, çamur gibi kirler ile etkileşime girerek kirlerin temizlenmesine ve kir partiküllerinin yıkama ortamında askıda kalmasına yardım etmektedir. Polivinilpirolidon gibi polimerlerin katyonik yükü, tekstilin negatif yükü ile etkileşime girerek boya transferini engelleyebilmektedir. Fakat tüm boya tipleri için kullanılabilecek bir polimer şimdiye kadar tanımlanmamıştır. Ayrıca polimerler, kıvamlaştırıcı, stabilizatör, topaklaşma önleyici ve reoloji düzenleyici olarak görev almaktadırlar [18]. Karboksimetil selüloz ve türevleri pamuklu ve sentetik kumaşlarda etkili iken, teraftalik asit ve polietilen glikol ise polyester içeren tekstillerde etkilidir [7].



Şekil 2.18 Karboksimetil selüloz polimerinin kirin kumaşa yapışmasını engelleme mekanizması [12]

Optik beyazlatıcı ajanlar kumaş yüzeyinden yansıyan ışığı arttırarak, tekstillerin daha beyaz ve parlak görünmesini sağlamaktadırlar. Şekil 2.19'da [12] görüldüğü gibi ultraviyole ışınlar kumaş yüzeyindeki optik beyazlatıcı moleküller yardımıyla absorplanmakta ve bu absoplanan ışınlar mavi ışık olarak yansımaktadır. Kumaşın yaydığı sarı ışık ile optik beyazlatıcı moleküller vasıtasıyla yayılan mavi ışık etkileşime girerek beyaz bir ışık oluşturmaktadır. Bu beyaz ışık da kumaşın beyaz ve parlak görünmesini sağlamaktadır [12].



Şekil 2.19 Tekstilin beyaz görünmesine neden olan optik beyazlatıcı moleküller [12]

Yıkanan çamaşırların temiz olmasının yanı sıra güzel kokması da istenmektedir. Bu nedenle, deterjan içerisine güzel koku verecek parfümler eklenmektedir. Deterjan endüstrisinde çok çeşitli kokular kullanılmaktadır [7].

Dolgu maddeleri olarak toz deterjanlarda inorganik tuzlar kullanılmaktadır. Toz deterjanlar için en yaygın kullanılan sodyum sülfattır. Sıvı deterjanlarda dolgu maddesi olarak su kullanılmaktadır. Konsantre/kompakt deterjanlarda dolgu maddelerinin miktarı daha azdır. Deterjan içerisindeki bu bileşenlerin özellikleri; akıcılık, yüksek çözünürlük ve toz deterjanlar için nemli ortamda dahi kek oluşturmama olmalıdır.

Korozyon önleyici ajanlar, makine ve iç parçalarının metal yüzeylerinde korozyon oluşmaması için kullanılan maddelerdir. Sodyum silikat, alkali madde olmasının yanında korozyon önleyici olarak da kullanılmaktadır [1].

Yıkama sırasında tüm deterjanlar köpük oluşturmaktadır. Köpük oluşumu deterjan içerisindeki yüzey aktif madde miktarına, karıştırma hızı ve şekli gibi faktörlere göre değişmektedir. Fazla köpük oluşması, durulama işlemini zorlaştırmaktadır. Ayrıca fazla köpük, makinede taşmaya yol açabilmektedir. Bu durumun kontrol altına alınması için köpük önleyici maddeler kullanılmaktadır. Toz deterjanlarda en çok kullanılan köpük önleyiciler silikon bazlı maddeler olmaktadır. Bu maddeler silika partikülleri ve hidrofobik polimer yapılar içerebilmektedir. Sıvı deterjanlarda ise içeriğinde bulunan yağ asitleri, sert sulardaki kalsiyum ile çözünmeyen partiküller oluşturduğundan köpük önlemede etkilidir. Bu nedenle, sıvı deterjanlarda ek bir köpük önleyici ajana gerek duyulmamaktadır [18].

2.2 Çamaşır Deterjan Formları

Çamaşır deterjanları; toz ve sıvı deterjanlar olmak üzere iki formda kullanılmaktadır. Kullanılan deterjan formu her ülkede farklılıklar gösterse de Asya'da toz deterjan, Amerika'da ise sıvı deterjan kullanımı öne çıkmaktadır. Avrupa'da ise sıvı deterjan kullanımına bir yönelim olduğu söylenebilir. Bu formların dışında toz ve sıvı tablet deterjanlar, konsantre deterjanlarda bulunmaktadır. Formülasyon olarak Japonya'da daha yumuşak deterjanlar tercih edilirken, Amerika'daki kullanıcılar ağır hizmet deterjanlarını kullanmaktadır [15].

Toz ve sıvı deterjanların formülasyonları bazı stabilizasyon problemlerinden dolayı aynı değildir. Çizelge 2.5'te verildiği üzere yüzey aktif maddeler anlamında hem toz hem de sıvı deterjanlarda anyonik ve naniyonik yüzey aktif maddeler kullanılmaktadır.

Çizelge 2.5 Toz ve sıvı deterjan içeriklerinin karşılaştırılması

BİLEŞENLER	**TOZ DETERJAN**	**SIVI DETERJAN**
Yüzey aktif maddeler	Anyonik ve Noniyonik	Anyonik ve Noniyonik
Yapıcı maddeler	Zeolit, karbonat bazlı	Sitrat bazlı
Ağartıcılar	Oksijen bazlı ağartıcılar	Optik ağartıcılar
Enzimler	Proteaz, amilaz	Lipaz, amilaz
Dolgu maddeleri	Sodyum sülfat	Su

Yapıcı madde olarak toz deterjanlarda fosfatların yasaklanmasının ardından zeolitler ve zeolitlere yardımcı olan karbonatlar kullanılmaktadır. Fakat sıvı deterjanlarda zeolitler, suda çözünmemeleri nedeniyle kullanılamamakta ve sitrat bazlı yapıcı maddeler tercih edilmektedir. Sıvı deterjanlarda ek alkali maddelerin kullanılmaması sebebiyle pH 8 seviyelerinde kalırken toz deterjanlarda pH değeri yaklaşık 10 civarındadır.

Bir diğer deterjan bileşeni olan proteaz enzimi, stabilize probleminden dolayı sıvı deterjana katılamamaktadır. Diğer enzimler stabilizatör maddelerinin yardımıyla deterjanlarda etkinliklerini koruyabilmektedirler.

Ağartıcı bileşenler bir diğer stabilizasyon probleminin görüldüğü gruptur. Toz deterjanlarda redoks reaksiyonlarını gerçekleştiren oksijen bazlı ağartıcılar, sıvı deterjana katılamamaktadır. Sıvı deterjanlarda sadece optik ağartıcı ajanlar bulunmaktadır. Dolgu maddesi olarak sıvı deterjanda su kullanılırken toz deterjanda sodyum sülfat kullanılmaktadır.

2.2.1 Toz Deterjanlar

Toz deterjanlar, tüm kumaş tiplerine uygun olan ağır hizmet deterjanları ve bebek giysileri gibi daha hassas tekstilleri temizlemek için kullanılan yumuşak deterjanlar olarak sınıflandırılmaktadır. Çevre kirliliğine duyarlılığın artması ile birlikte 1990'lı yıllardan itibaren konsantre deterjanlar gündeme gelmiş ve daha küçük hacimlerde kullanılabilen, çevreye daha az kimyasal madde salan deterjanlar kullanılmaya başlanmıştır. Çamur, toprak gibi kirlerde daha etkili olduğu belirlenen toz deterjanların, özellikle soğuk suda çözünme problemlerinden dolayı formülasyonuna eklenen kimyasal maddeler yardımıyla etkinliği geliştirilmektedir [36].

Toz deterjan içeriğinde bulunan bileşenler, deterjan içindeki yüzde hacmine göre Çizelge 2.6'da verilmiştir [37]. Deterjan kompozisyonu, diğer deterjan bileşenleri olan korozyon önleyiciler, parfümler, köpük önleyiciler maddelerin eser miktarlarda kullanılması ile tamamlanmaktadır. Ticari deterjan içeriğinde bulunan kimyasal maddeler ve fonksiyonları Çizelge 2.7'de [38] sunulmuştur.

Çizelge 2.6 Toz çamaşır deterjan kompozisyonları [37]

Deterjan Bileşeni	**Hacim Yüzdesi**
Anyonik yüzey aktif madde	%5-18
Noniyonik yüzey aktif madde	%2-8
Sabun	%1-5
Yapıcı madde (Zeolit, karbonat, silikat)	%12-85
Ağartıcı (perborat, aktivatör)	%0-30
Polimer	%0-5
Enzimler (proteaz, amilaz, selülaz)	%0.2-1.5
Dolgu maddesi	%0-20

Çizelge 2.7 Ticari toz deterjan bileşenleri ve fonksiyonları [38]

Deterjan Bileşeni	**Fonksiyonu**
Sodyum karbonat	Su sertliğini giderir
Sodyum alüminasilikat (Zeolit)	Su sertliğini giderir
Sodyum sülfat	Dolgu maddesi
Lineer alkilbenzen sülfonat (LAS)	Yüzey aktif madde
Alkil sülfat	Yüzey aktif madde
Sodyum perkarbonat	Oksijen bazlı ağartıcı madde
Su	Dolgu maddesi
Sodyum poliakrilat	Dağıtıcı madde
Silikat	Dolgu maddesi
Oksibenzen sülfonat	Ağartıcı aktivatörü
Etoksilat	Yüzey aktif madde
Polietilen glikol	Stabilizatör
Disodyum diaminostilben disülfonat	Optik beyazlatıcı ajan
Proteaz	Enzim
Silikon	Köpük önleyici
Selülaz	Enzim

2.2.2 Sıvı Deterjanlar

1990'lı yıllarda öncelikle Amerika pazarında hızlı bir büyüme gösteren sıvı deterjan marketi, gün geçtikçe toz deterjanların yerini almaya başlamıştır. Cameron [36] çalışmasında, kullanıcıların sıvı deterjanların kullanımını daha kolay bulduğunu ve sıvı deterjanın makine içerisinde soğuk suda bile iyi çözündüğünü vurgulamıştır. Sıvı deterjan içeriğinde bulunan bileşenler, deterjan içinde bulunma yüzdelerine göre Çizelge 2.8'de sunulmuştur [35]. Piyasada bulunan sıvı deterjan içeriği Çizelge 2.9'da kimyasal madde ve fonksiyonu ile birlikte verilmiştir [39].

Çizelge 2.8 Sıvı çamaşır deterjan kompozisyonları [35]

Deterjan Bileşeni	**Hacim Yüzdesi**
Anyonik yüzey aktif madde	%10-25
Noniyonik yüzey aktif madde	%6-10
Sabun	%4-6
Yapıcı madde	%15-30
Çözücü	%0-5
Alkol	%0-5
Optik ağartıcı	%0.05-0.25
Stabilizatör	Eser miktar
Parfüm	Eser miktar
Su	%30-50

Çizelge 2.9 Ticari sıvı deterjan bileşenleri ve fonksiyonları [39]

Deterjan Bileşeni	**Fonksiyonu**
Su	Dolgu maddesi
Alkoletoksi sülfat	Yüzey aktif madde
Lineer alkilbenzen sülfonat	Yüzey aktif madde
Propilen glikol	Dolgu maddesi
Sitrik asit	Kir yakalayıcısı
Sodyum hidroksit	pH nötralize edici
Boraks	Kir yakalayıcı
Etanol	Dolgu maddesi
Alkol sülfat	Yüzey aktif madde
Sodyum yağ asidi	Yüzey aktif madde
Polietilenimin etoksilat	Polimer
Disodyum diaminostilben disülfonat	Optik beyazlatıcı ajan
Amilaz	Enzim
Mannanaz	Enzim
Liquitint™ Blue	Renklendirici

BÖLÜM 3

KİR VE LEKELER

Kirler, tekstil üzerinde istenmeyen görünüm ve kimi zaman kötü koku oluşturan ve tekstil üzerine homojen şekilde dağılmış organik ve inorganik maddelerdir. Kirlerin belli bir yere toplanarak bıraktıkları izler ise leke olarak adlandırılmaktadır [40].

3.1 Kir ve Leke Kaynakları

Kirleri kaynaklarına göre sınıflandırmak mümkündür. Kirler; vücut ile temas sonucu oluşan kirler, atmosferden gelen kirler ve yıkama sonucu oluşan kalıntılar olmak üzere üç gruba ayrılabilir:

1. Sebum (derideki yağ bezlerinin meydana getirdiği salgı), ölmüş deri hücreleri ve ter gibi vücudun oluşturduğu kirler ve direkt vücuda uygulanan losyon, deodorant gibi ürünler vücut ile temas sonucu oluşan kirler sınıfına girmektedir. Bu tip kirler glikolipit, trigliserit, yağ asitleri gibi hidrofobik bileşenler, suda çözünebilen tuzlar ve hücre membranları gibi partiküler içerikte olabilmektedir.
2. Atmosferden gelen kirler olarak, dış ortamda karşılaşılan ve iyice dağılmış ince partiküllerden bahsedilmektedir. Bu kirlere, giysilerin üzerine sinen is, toz ve kil partikülleri örnek olarak verilmektedir.
3. Çamaşır yıkama işlemi sonrasında tekstil üzerinde çöken ve biriken, yıkama suyunda bulunan kalsiyum ve magnezyum iyonları, yıkama sırasında çözünmeyen veya iyi durulanmayan çamaşırların üzerinde biriken deterjan kalıntıları, çamaşırlar arası kir veya renk transferinin gerçekleşmesi sonucunda tekstile yapışan kir ve renk kalıntıları yıkama sonucu oluşan kir kaynaklarına örnektir.

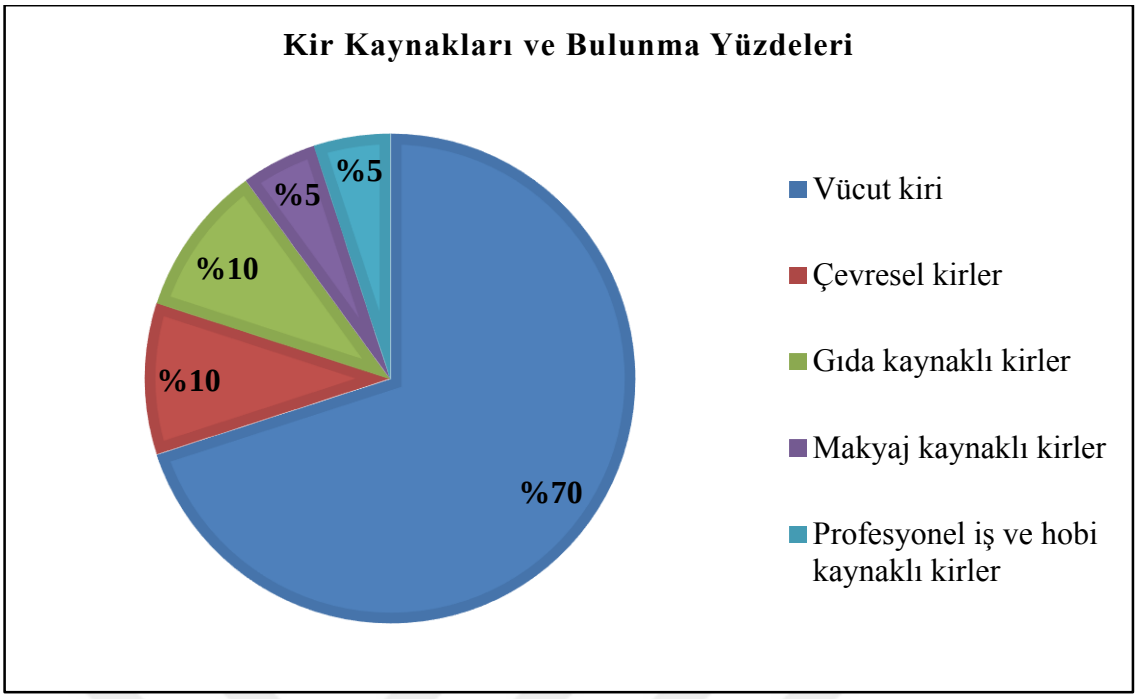
Leke bazında da benzer sınıflandırma yapılabilmektedir. Bunlar yiyecek ve içecek kirleri, vücut sıvıları ve hobi kaynaklı kirler olarak gruplanabilir:

- Yiyecek ve içecek lekeleri olarak; doymuş/doymamış trigliserit gibi yağ içerikli lekeler, protein bazlı veya nişastalı yiyecek ve içecek lekeleri, yağ, kahve ve şarap gibi kromofor içeren içecek lekeleri, karotenoid ve klorofil gibi renk pigmentleri barındıran domates, ıspanak gibi yiyecek lekeleri örnek olarak verilebilmektedir.
- Vücut sıvıları; kan, ter, idrar, dışkı ve vücuda uygulanan maskara, fondöten gibi makyaj malzemelerini kapsamaktadır.
- Çimen, çamur, boya, mürekkep, gres yağ, pas lekeleri ise hobi kaynaklı lekeler olarak sınıflandırılabilir.

Kir ve lekeler birlikte değerlendirildiğinde, Procter & Gamble (P&G) çalışmalarına ait bulgular aşağıda sıralanmıştır [18]:

- Çamaşır makinesine yüklenen çamaşır 1-4 kg (ortalama 3 kg) arasında değişmektedir.
- Yıkanacak çamaşırlarda 15-100 g kir ve leke bulunmaktadır.
- Sıvı, toz ve tablet deterjanlar kullanılmaktadır.
- Yıkama suyu sertlik derecesi değişkenlik göstermektedir.
- Yıkama sıcaklığı 30-90 °C (Avrupa'da ortalama 42 °C) arasında değişmektedir.
- Yıkanan tekstillerin yaklaşık %71'i pamuklu, %40'ı sentetik, %11'i yün ve %5'i ipek olduğu belirlenmiştir.

Bu çıktılar sonucunda 1/4'lük küçük bir kısmı gözle görülebilen kir ve lekeler oluştururken geri kalan kısım ise görünmez kir ve leke olarak belirlenmiştir. Çamaşır makinesine konulan kirli çamaşırların büyük çoğunluğunu vücut kirleri oluşturmaktadır. Şekil 3.1'de [18] görüldüğü üzere kir ve lekelerin %70'i vücut kiri, %10'u ise gıda ve çevre kaynaklıdır. Bunları, %5 oranında makyaj maddeleri kaynaklı ve iş/hobi kaynaklı kir ve lekeler takip etmektedir [18].



Şekil 3.1 Kir ve leke kaynakları [18]

3.2 Kir ve Lekelerin Temizlenme İşlemi

Kir ve lekelerin sınıflandırılması, kirin temizlemek için gereken deterjanın fonksiyonuna göre de kategorize edilebilmektedir. Bunlar; suda çözünebilenler, hidrofobik karakterli olanlar, partiküler kir ve lekeler, ağartılabilen kirler/lekeler ve enzimatik kirler/lekeler olarak gruplanabilmektedir.

Ter gibi salgı maddelerin içeriğindeki tuzlar, idrardaki üre, yiyecek ve içeceklerde bulunan şeker suda çözünebilen kir ve leke kaynaklarının en temel örnekleridir. Kir ve lekeler su ile kolayca temizlenebilmelerine rağmen, deterjanın ana bileşeni olan yüzey aktif maddeleri de baskılayarak temizleme etkinliklerini düşürebilmektedirler.

Yağ bazlı tüm kir ve lekelerin hidrofobik karakterli olduğu söylenebilir. Yağlı kirler genellikle mineral yağlardaki is ve metal oksitler, yiyecek ve kozmetikte kullanılan boya ve pigmentler gibi renkli kontaminantlar içermektedir. Ayrıca vücuttan salgılanan yağlar, özellikle yaka ve manşetlerde kalıcı kirler oluşturabilmektedir. Yağ içerikli kir ve lekeler su ile karışmadığından, temizlenmeleri için hem hidrofilik hem de hidrofobik karaktere sahip yüzey aktif maddelere ihtiyaç duyulmaktadır. Yüzey aktif madde, yıkama suyunun yüzey gerilimini düşürerek, tekstili ıslatarak ve yağlı kiri tekstil yüzeyinden uzaklaştırarak temizleme görevini yerine getirmektedir.

Kil, pas, çamur, silikat gibi mineraller, katı partikül formunda kir ve lekeleri meydana getirmektedir. Katı partikül kir ve lekeler genellikle hidrofobik karakterli olup yağ bazlı kir ve lekeler gibi zor temizlenmektedirler. Suda çözünmeyen kir ve leke partikülleri yüzey aktif maddeler yardımıyla tekstil üzerinden uzaklaştırılır ve yıkama ortamı içinde tutulur. Yüzey aktif maddelerin yanında deterjan içerisindeki yapıcı maddelerde sudaki iki değerlikli katyonlar sayesinde partiküller arasında oluşan kimyasal etkileşimleri kırarak temizleme işlemine yardım etmektedirler. Ayrıca, deterjan içeriğinde bulunan bir diğer bileşen olan polimerlerde yıkama ortamında askıda bulunan partiküllerin tekrar tekstil yüzeyine yapışmasına engel olmaktadırlar.

Çay, şarap, domates gibi organik lekelerdeki polifenol, antosiyanin, karoten gibi kromoforlar zor temizlenen yapılardır. Ağartıcı ajanlar bu kromoforların π bağlarını kırarak onların renklerini kaybetmelerine, beyazlamalarına sebep olurlar. Bazı durumlarda kir ve leke tam anlamıyla temizlenmese de rengi beyazlamış olur. Ayrıca, ağartıcı bileşenler özellikle protein bazlı kir ve lekeleri parçalayarak, kromoforları daha çözünür hale getirebilmektedir.

Vücut kirinde bulunan proteinler ile yiyeceklerdeki protein ve nişasta bazlı kirlerin, tekstil fiberlerine yüksek eğilimleri ve düşük suda çözünme özellikleri nedeniyle temizleme işlemleri oldukça zor olmaktadır. Bu tip zor kir ve lekelerin temizlenmeleri enzimler yardımıyla yapılmaktadır. Proteaz enzimi ile proteinler, lipaz enzimi ile trigliseritler, amilaz enzimi ile nişasta, mannanaz enzimi ile yapışkan maddeler, selülaz enzimi ile pamuklu mikrofibriller parçalanarak moleküler ağırlıkları azalır, yıkama ortamı içerisinde dağılırlar ve temizlenmeleri kolaylaşır [18].

BÖLÜM 4

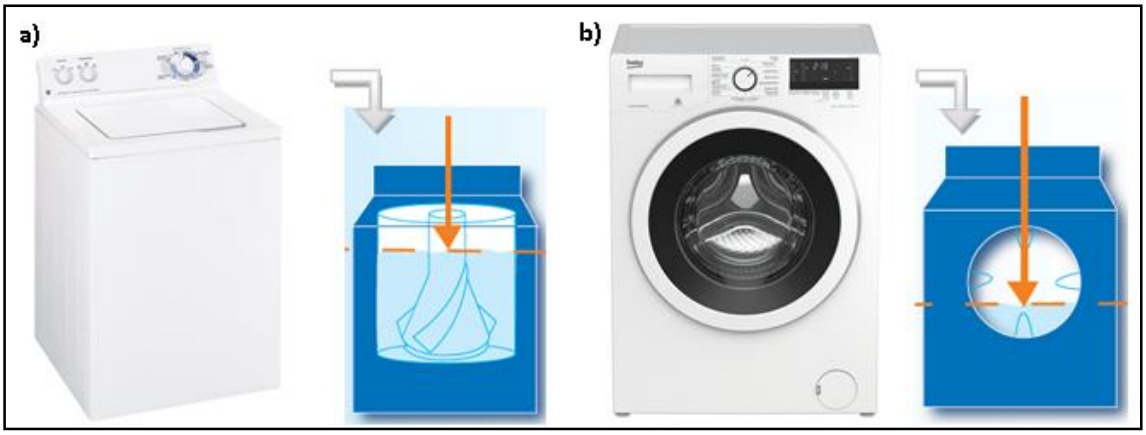
ÇAMAŞIR MAKİNELERİ

Kirli çamaşırlara vurma, dövme gibi mekanik hareketler ile yapılan temizleme işleminin yerini 1800'lerde pedal vb. parçalar yardımıyla elle çalıştırılabilen makineler almıştır [41]. 1910 yılında ise A. J. Fisher tarafından elektrikli motor ile çalışan çamaşır makinesinin patenti alınmıştır [42].

Teknolojik çalışmalar sonucu gün geçtikçe çamaşır makineleri gelişmektedir. Ana parçaları aynı olsa da yapısında çeşitli değişiklikler olmuştur. Şekil 4.1'de [42] üstten ve önden yüklemeli olmak üzere iki çeşit yapısal farklılığı olan çamaşır makineleri görülmektedir. Üstten yüklemeli makinelerde dik olarak konumlandırılan silindir içerisine çamaşırlar üst taraftaki kapaktan yerleştirilmektedir. Karıştırıcı silindirin en alt tarafındadır. Makineye yüklenen çamaşırların ıslanması ve iyi temizlenmesi için su seviyesi yüksek bir seviyede tutulmalıdır [42].

Dünya genelinde en çok kullanılan çeşit olan önden yüklemeli çamaşır makinelerinde ise silindir yatay biçimde konumlandırılmıştır. Karıştırma işlemi, silindirin ileri-geri dönüşü ile sağlanmaktadır. Tambur içerisindeki kanatlar sayesinde çamaşırlar kaldırılır, yer çekimi etkisiyle de aşağı düşerek mekanik etki sağlanmış olur. Silindirin konumu neticesinde önden yüklemeli makinelerin, üstten yüklemelilere göre daha az su gereksinimi olmaktadır.

Su gereksiniminin azlığı, su tasarrufunun yanında enerji tasarrufu da sağlamaktadır. Çamaşır makinelerindeki enerjinin çoğu su ısıtma işleminde harcanmaktadır. Daha az su kullanılan çamaşır makinelerinde daha az enerji harcanmaktadır. Ayrıca, önden yüklemeli çamaşır makinelerinin dönme hızı üstten yüklemelilere göre daha fazladır [43].

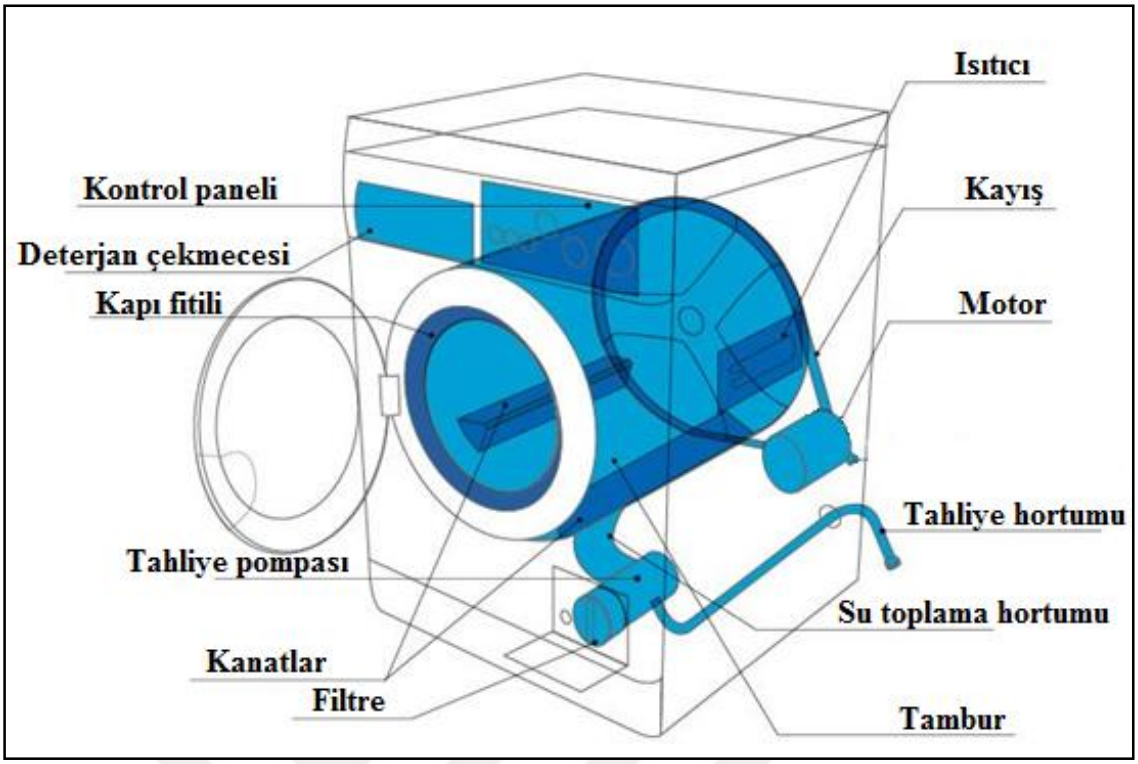


Şekil 4.1 a) Üstten yüklemeli çamaşır makinesi ve aldığı su seviye şeması, b) Önden yüklemeli makine ve aldığı su seviye şeması [42]

4.1 Makine Parçaları ve Yıkama Sistemi

Çamaşır makinesi; deterjan, mekanik hareket ve yıkama suyunun ısıtılması gibi kimyasal, mekanik ve termal etkilerden yararlanarak çamaşırları yıkayan bir cihazdır [44]. Şimdilerde kullanılan tam otomatik çamaşır makineleri su alma, ısıtma, yıkama, sıkma ve suyun tahliye edilmesi gibi adımları izleyerek belirli sıra ve süre içinde işlemi gerçekleştirmektedir. Şekil 4.2'de [45] otomatik çamaşır makinesinin şematik çizimi verilmiştir. Çamaşır makinesinin yıkama sistemi ve komponentleri Çizelge 4.1'de verilmiştir [46].

Çamaşır makinesinin fişi, prize takılıp makineye elektrik verildiğinde ilk olarak makinenin kapağı kilitlenir. Böylece makinenin çalışması sırasında başkası tarafından açılıp olası bir tehlike oluşturması engellenir. Sonrasında elektrik, su giriş vanalarına gelir. Selenoid vanaların kullanıldığı bölümde şebeke suyu, hortum bağlantısı ile su yönlendiricilerin yardımıyla deterjan kutusuna ulaşır.

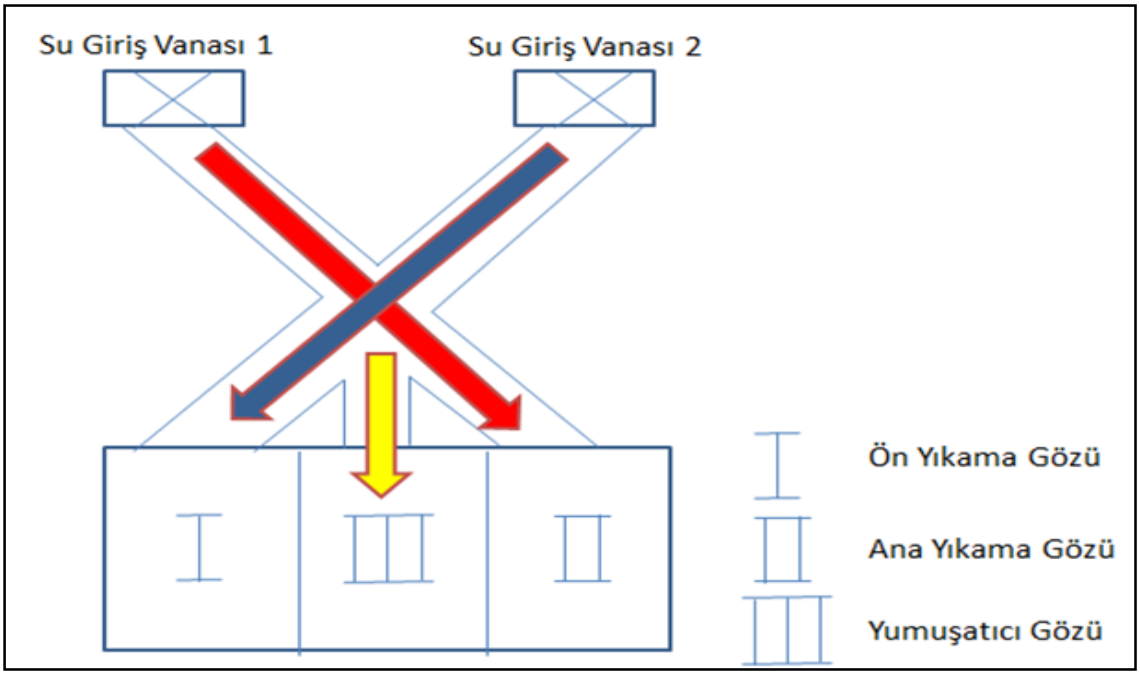


Şekil 4.2 Otomatik çamaşır makinesinin şematik çizimi [45]

Çizelge 4.1 Çamaşır makinesinin sistem ve komponentleri [46]

Su Alma Sistemi	**Yıkama Sistemi**	**Tahliye Sistemi**
Su giriş hortumu	Kazan/Tambur	Kazan filtre ara hortumu
Su giriş vanası	Isıtıcı	Top sistem
Su yönlendirici	Sıcaklık kontrolü	Filtre
Deterjan kutusu	Köpük algılama	Pompa
Kazan su girişi hortumu		Tahliye hortumu
Buhar çıkış hortumu		
Su seviye ölçümü		
Havalık		

Deterjan çekmecesinin girişinde bulunan bu yönlendiriciler suyun Şekil 4.3'teki [47] gibi bir yol izlemesini sağlamaktadır. Ön yıkama ve ana yıkama bölmelerine su çapraz yoldan gelmektedir. Ortada bulunan bölme için iki vana birlikte açılarak yumuşatıcı alınır. Buhar çıkış hortumu ise yüksek sıcaklık programları için bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıklara ulaşan yıkama suyu buharlaşır. Kazanın üst tarafında bulunan buhar çıkış hortumunun diğer ucu deterjan çekmecesindedir. Buhar deterjan çekmecesine ulaştığında yoğuşmaktadır. Yıkama suyu, deterjan kutusundaki deterjanı beraberinde sürükleyerek kazan su girişi hortumu ile kazan içerisine boşaltılır.



Şekil 4.3 Deterjan çekmecesinde su alma sistemi [47]

Kazan, alttan amortisörler, üstten yaylar ile makine içerisinde tutturulmuş biçimde durmaktadır. İçerisinde tambur, ısıtıcı ve havalık bulunmaktadır. Kazanın üst ve alt kısımlarına denge ağırlıkları yerleştirilmiştir. Tambur ise delikli paslanmaz çelik sacdan yapılmıştır. Kazan içerisine yerleştirilmiş yıkanacak çamaşırların konduğu dönen parçadır. Dönme sırasında içerisindeki kanatlar sayesinde çamaşırların kaldırılması ve suya düşmesi ile yıkama yapılmaktadır (Şekil 4.4) [46].



Şekil 4.4 Kazan ve tambur [46]

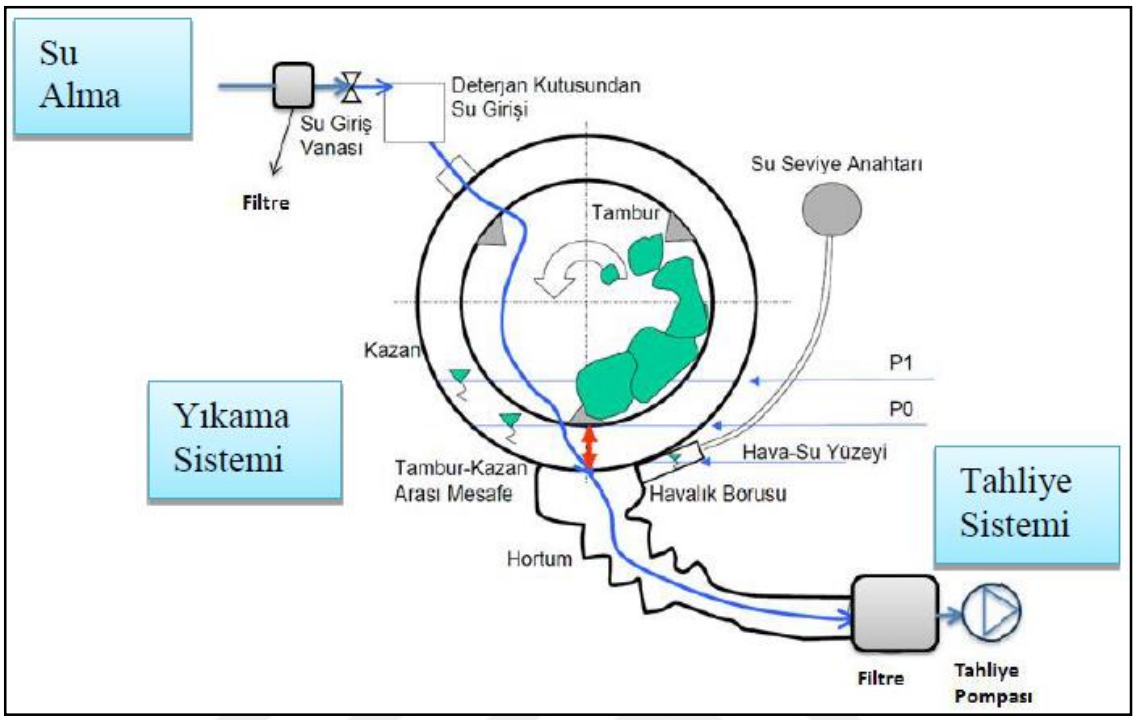
Şekil 4.5'te verilen çamaşır makinesi sisteminde, kazan içine dolan su belli bir seviyeye ulaştığında havalıktaki hava sıkışıp basınç yaratarak su seviye anahtarındaki kontağın konumunu değiştirir. Kontaktan gelen enerji kesildiğinde selenoid vanalar kapanarak su alma işlemi sona erer. Enerji, motora gelir, kayış-kasnak sistemi ile tambur döndürür ve böylece yıkama işlemi başlamış olur.

Seçilen program için termostatta ayarlı sıcaklık değerine göre ısıtıcı devreye girer ve yıkama suyunu ısıtır. İstenilen sıcaklık değerine ulaşıldığında termostat ısıtıcının enerjisini keser. Yıkama işlemi bittikten sonra pompaya enerji gelir ve su, pompa vasıtası ile tahliye edilir. Pompa girişinde hav, bozuk para, düğme gibi nesnelerin pompaya zarar vermesini önlemek amacıyla filtre bulunur.

İlk tahliyenin ardından durulama suyu alma işlemi başlar. Programa göre durulama sayısı farklılık gösterebilir. Son durulama adımında alınan şebeke suyu, deterjan çekmecesinin yumuşatıcı gözünden geçerek kazana aktarılır. Her yıkama ve durulama sonunda olduğu gibi sıkma işlemi için motor yüksek devirde çalışır ve suyu tahliye eder. Her sıkma öncesinde su seviye anahtarı köpük oluşumunu kontrol etmektedir. Sistem köpük algılar ise durulama için bir miktar su alır. Eğer köpük algılamaz ise sıkma adımına geçer.

Top sisteminin amacı deterjanlı yıkama suyunun aktif kullanımına yöneliktir. Çamaşır makinesi çalışmaya başladıktan sonra ön yıkamanın yapılmadığı durumda, su alma adımında ilk olarak 1 litre su almaktadır. Bu suyu aldıktan sonra tahliye pompası çok kısa bir süreliğine yaklaşık 1 saniye çalıştırılır ve tahliye hortumundan su çekilir. Pompa

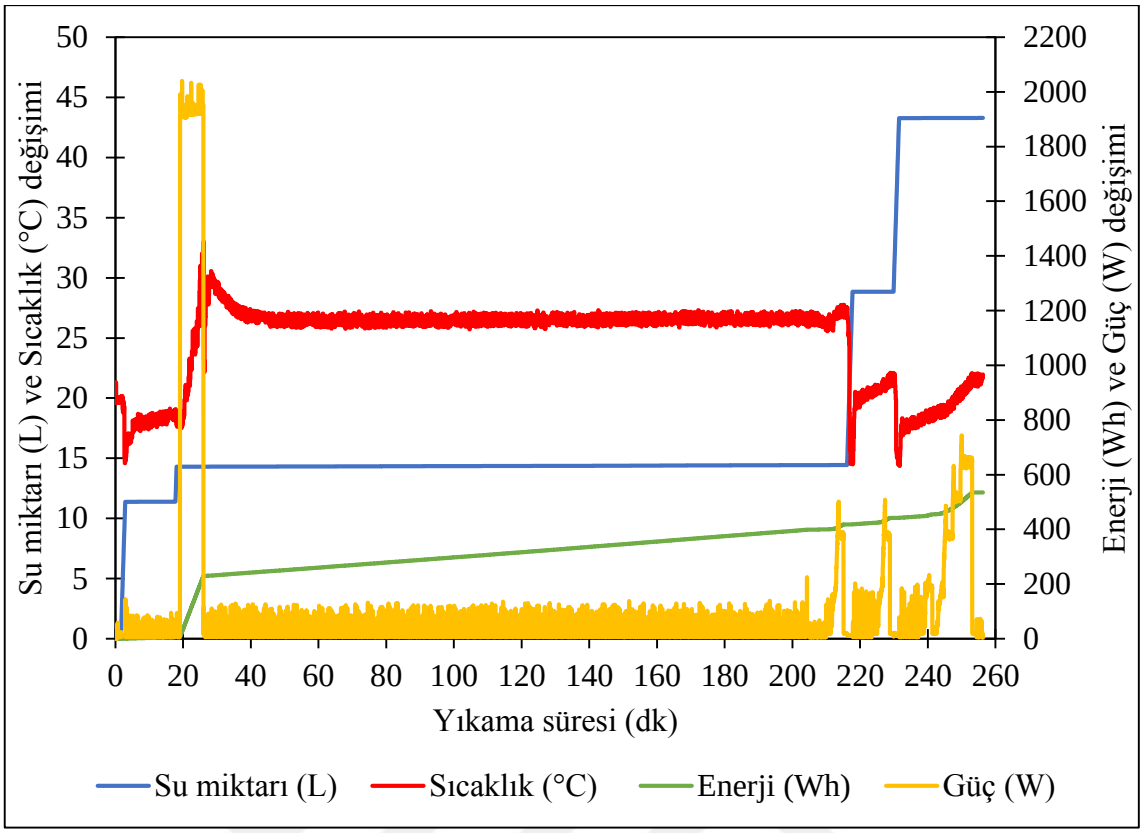
kapatıldığında hortumun içerisinde bulunan top hortumun giriş deliğini tıkayarak yıkama sırasında deterjanlı suyun hortum içerisine dolmasını engellemektedir.



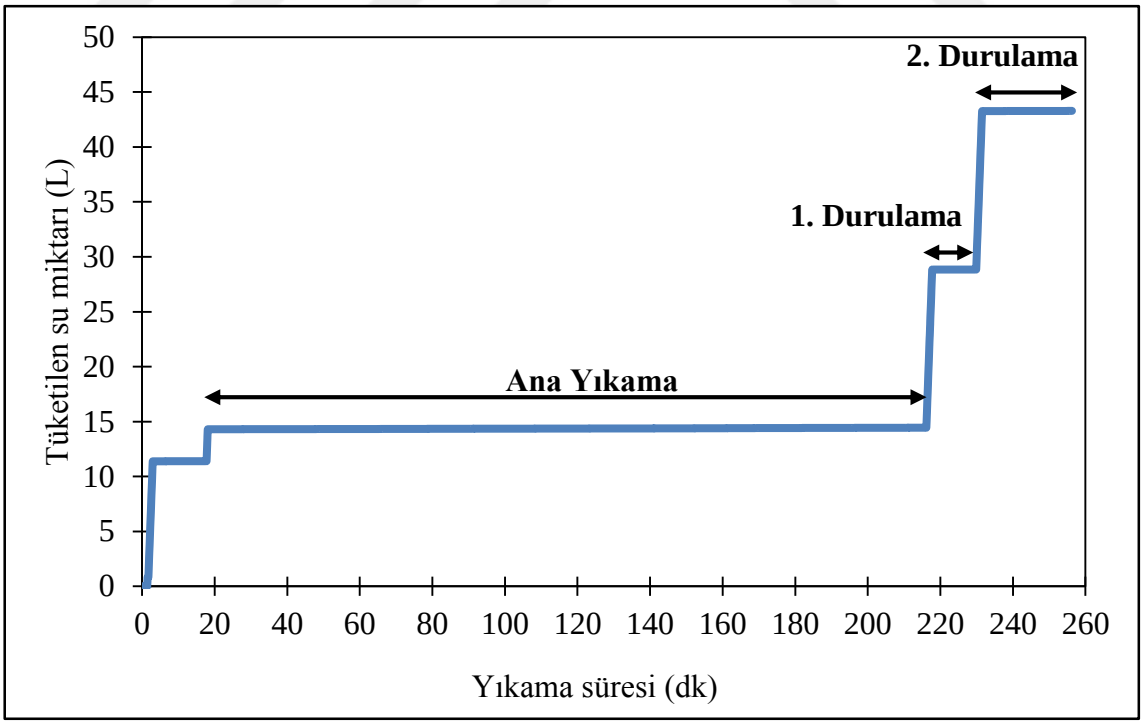
Şekil 4.5 Çamaşır makinesindeki sistemlerin tümü [35]

4.2 Çamaşır Makinesi Yıkama Algoritması

Çamaşır makinesinin çalışması durumunda su alma, yıkama, durulama, sıkma ve tahliye etme işlemlerinin gerçekleşme sırası ve bu adımların süresi makinenin algoritmasını oluşturmaktadır. Şekil 4.6'da örnek olarak standart deklarasyon programında, 8 kg çamaşır yükü (tam yük) ile gerçekleştirilen yıkamanın algoritması verilmiştir. Bu grafikte su sıcaklığı, harcanan toplam enerji, makinenin anlık çektiği güç ve makineye alınan su miktarı parametrelerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Deklarasyon programına göre, su alma aşaması kademeli olarak gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.7). Az miktarda su alarak top kapama işlemi tamamlandıktan sonra makine ana yıkama için su alır. Yaklaşık 15 dakika soğuk yıkamanın ardından ısıtıcı devreye girer. Ana yıkama sıkma adımı ile son bulduğunda 1. Durulama için makine su alır. Aynı durum 2. Durulama için de tekrar edilir. Son sıkma adımı sonrasında yıkama işlemi tamamlanmış olur.



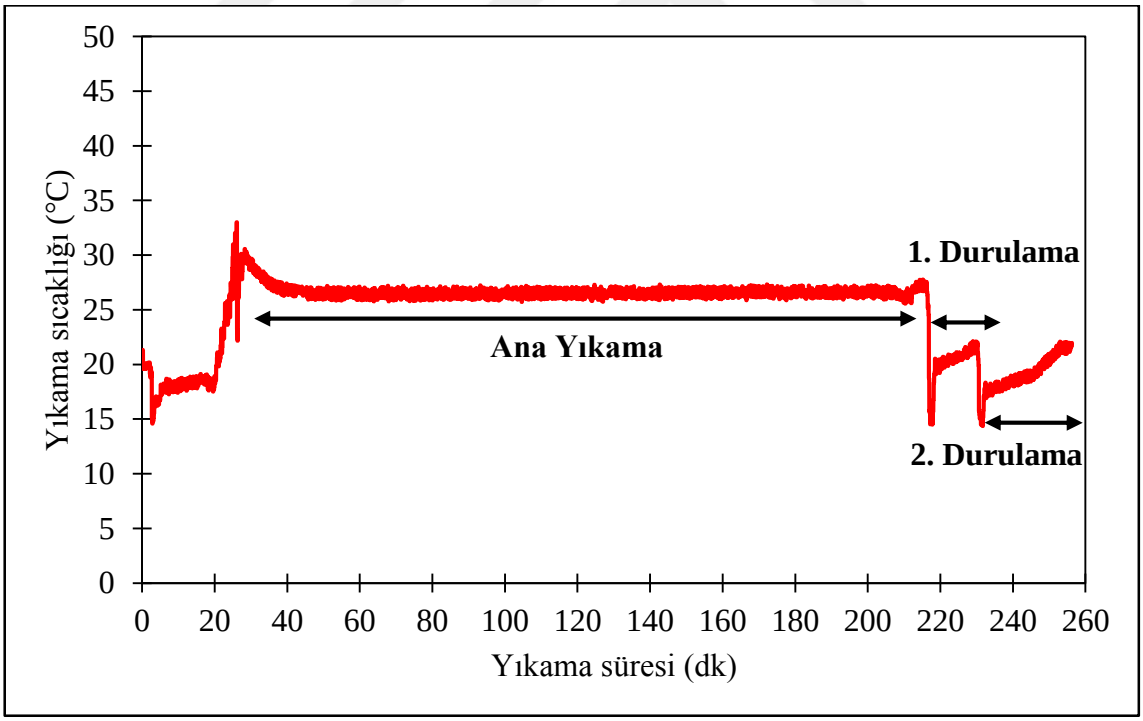
Şekil 4.6 Çamaşır makinesi algoritması örneği



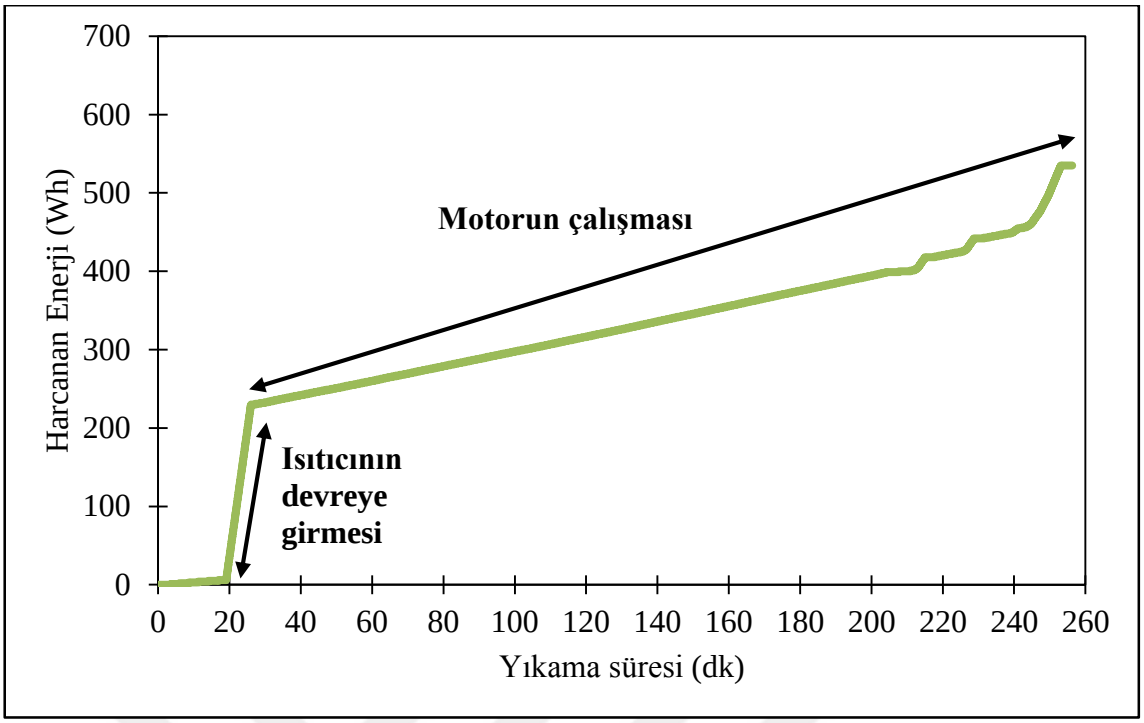
Şekil 4.7 Çamaşır makinesine alınan su miktarının zamana göre değişimi

Yıkama, yaklaşık 15 °C sıcaklığındaki giriş suyu ile su alma adımıyla başlamaktadır. Yıkamanın yaklaşık 15 dakikası ısıtıcı devreye girmeden yapılmakta ve bu sırada enzimlerin sıcaklık ile denatüre olmadan temizleme aktivitelerini yerine getirmeleri sağlanmaktadır. Ana yıkama için ikinci kez su alma işleminin tamamlanması ile ısıtıcı devreye girmekte ve set edilen sıcaklık değerine ulaşılmaktadır. Ana yıkamanın sonrasında 1. Durulama için su alma işlemi sürerken ortam sıcaklığında, giriş suyunun sıcaklığından dolayı bir düşüş meydana gelmektedir. 1. Durulamanın ardından yine aynı şekilde 2. Durulama için su alınırken ortam sıcaklığında düşme görülmektedir. 1. ve 2. Durulamalarda ısıtıcı devreye girmemektedir (Şekil 4.8).

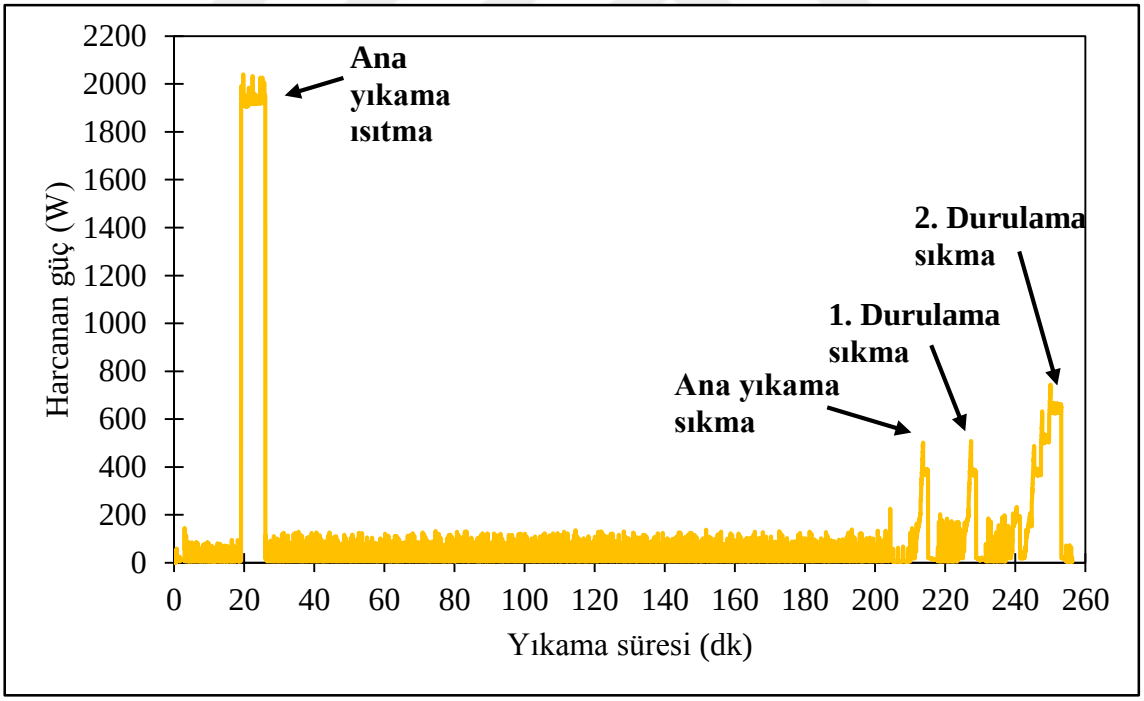
Isıtıcının devreye alınmasının ardından çamaşır makinesinin kullandığı enerji artmaktadır. Sonrasında çamaşır makinesinin dönmesini sağlayan motor kuvveti ile enerji sürekli artmaktadır (Şekil 4.9). Çamaşır makinesinin çektiği anlık güç ise Şekil 4.10'da görülmektedir. Ana yıkama, 1. Durulama ve 2. Durulamanın sonundaki sıkma devrinde çamaşır makinesinin kullandığı güç artmaktadır. Düşük seviyede görülen güç değerleri, ana yıkama sırasında makinenin sağ-sol dönme hareketini göstermektedir.



Şekil 4.8 Su sıcaklığının zamana göre değişimi



Şekil 4.9 Tüketilen toplam enerji miktarı



Şekil 4.10 Çamaşır makinesinin harcadığı toplam güç

BÖLÜM 5

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

5.1 Makaleler

Deterjanların çevreye verdiği zararlar oldukça fazladır. Deterjan içeriğinde bulunan çeşitli maddeler hem toprağa hem de suya karışarak kirliliğe neden olmaktadır. Bunun yanında su ve enerji tüketimlerinin her geçen gün artması da doğal kaynakları tehdit etmektedir. Çevreye verilen zararları azaltmak, kirliliklerin önüne geçmek ve doğal kaynakları korumak için çeşitli teknik ve teknolojiler geliştirilmektedir. Böylece deterjan, su ve enerji kullanımı optimize edilmektedir.

Bu bölümde; deterjanların çevreye verdiği zararlar, su ve enerji tüketiminin optimizasyonu, çamaşır makinesi kullanıcılarının yıkama alışkanlıkları, çamaşır yıkama işlemine alternatif olabilecek teknolojileri içeren makaleler özetlenmiştir.

Mohamed vd. (2018) [48] yaptıkları çalışmada çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suda bulunan deterjan bileşenlerinin toprağa salınması sonucunda toprağın özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Çalışmada toz ve sıvı olmak üzere iki çeşit deterjan kullanılmıştır. Çamaşırların birinci, ikinci ve üçüncü kez yıkanması sonrasında çamaşır makinesinden tahliye edilen atık su toplanmıştır. Toprak, toplanan atık sular ile sulanmış ve sonrasında elektriksel iletkenlik, pH değeri gibi parametreler incelenerek toprağın karakterizasyonu yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda toz ve sıvı deterjan ile ilk yıkamada pH değerinin ve elektriksel iletkenliğin arttığı belirlenmiştir. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde direkt toprağa salınan atık suyun toprak karakteri üzerinde olumsuz etkileri olduğu saptanmıştır. Bu nedenle çalışmaya göre; çevreye verilen zararın

azaltılması için deterjan kullanımının optimizasyonu gerekmektedir. Regülasyonlar ve standartlar, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yeniden düzenlenmeli ve uygulanmalıdır.

Bao vd. (2017) [49] önden yüklemeli makineler için enerji tasarrufu sağlamak amacıyla yıkama programının optimizasyonunu incelemişlerdir. Kirlerin %70'i insan derisindeki sebumdan kaynaklı olduğu için iç çamaşırları ve gömlekler çamaşır yükü olarak seçilmiş; sıcaklık, ana yıkama süresi ve mekanik etki parametreleri ile deneysel tasarım yapılmıştır. Çalışmada, deterjan ve su miktarı sabit tutularak sıcaklık azaltılmış ve ana yıkama süresi arttırılmıştır. Bunun sonucunda yıkama performansı kaybı olmadan yaklaşık 1/3 oranında enerji kazancı sağlanmıştır.

Laitala vd. (2017) [50] yaptıkları çalışmaya göre dünya genelinde yıkama metotları; yıkanan ürüne, yıkayan kişinin kadın-erkek olmasına ve ülkelere göre incelenmiştir. Özellikle Avrupa'da çamaşır makinesi ile yıkama yapılırken bazı kırsal bölgelerde elde çamaşır yıkama halen devam etmektedir. Genelde yünlü, narin ve ceket gibi resmi giysiler elde veya kuru temizleme ile temizlenmektedir. Kuru temizlemeyi en çok erkekler, elde yıkamayı da en çok kadınlar tercih etmektedir. Su ve enerji tasarrufu sağlamak amacıyla çamaşır makinelerinin geliştirilmesi için çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışma ile giysileri havalandırmanın, yıkama sıklığını azaltan en basit yol olduğu belirlenmiştir. Bu şekilde çevreye verilen zararda azalmaktadır.

Alborzi vd. (2016) [51] çamaşır makinelerindeki enerji tüketimini azaltmaya yönelik 5000'den fazla katılımcı ile birlikte kullanıcı alışkanlıklarını belirlemiş ve uzun yıkama süreleri hakkındaki görüşleri değerlendirmişlerdir. 11 Avrupa ülkesini kapsayan çalışmada, kullanıcılar yıkama programını seçerken önce yıkama performansına, ikinci olarak da enerji tasarrufuna dikkat etmektedir. Fakat kullanıcılar, su ve enerji tasarrufu elde etmek istemelerine rağmen, uzun çamaşır yıkama programlarını kullanmak istememektedirler. Çalışmanın sonucunda kullanıcıların yeni makine alırken su ve enerji tasarrufuna dikkat ettikleri, 3 saatten kısa programı tercih ettikleri ve uzun süreli yıkamaların enerji tasarrufunu etkilemediği görüşünde oldukları belirlenmiştir.

Ferri vd. (2016) [52] yaptıkları çalışmada çamaşır makinesi kullanıcılarının yıkama performans memnuniyetleri araştırılmış ve bu amaçla beş Avrupa ülkesinden 4000'i aşkın katılımcı ile anket yapılmıştır. Toplanan cevaplara göre kullanıcıların %90'dan fazlasının kullandıkları deterjandan memnun olduğu belirlenmiştir. Diğer kullanıcıların kullandıkları deterjanın leke çıkarmada yetersiz oluşu, tekstil üzerindeki deterjan

kalıntıları ve giysilerinde kötü koku oluşumu gibi nedenlerden dolayı memnuniyetsiz oldukları saptanmıştır. Kullanıcılar, tekstil hasarının kullanılan deterjanın kalitesi ile ilgili değil de yıkama işleminin diğer özelliklerinden kaynaklı olduğunu, makine içi kötü kokudan rahatsız olunmasına rağmen makine temizleyici ajanların kullanımının yaygın olmadığını belirtmişlerdir. Leke çıkarıcılar gibi deterjan katkılarının kullanımı yaygın, fakat ülkeden ülkeye değişkenlik göstermektedir. Kullanıcılar leke çıkarıcıların kullanımını yararlı bulmakta ve yüksek derecede memnun olduklarını belirtmektedirler.

Pakula ve Stamminger (2010) [53] çalışmalarında dünya genelinde çamaşır yıkama işlemindeki su ve enerji tüketimini incelemiştir. Henkel tarafından desteklenen çalışma, 2.3 milyar insanın bulunduğu 38 ülkedeki yaklaşık 590,000,000 adet çamaşır makinesi için gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, çamaşır makinesine sahip olma oranı, yıllık çamaşır yıkama sayısı, yıllık enerji ve su tüketimi Batı Avrupa, Doğu Avrupa, Türkiye, Kuzey Amerika, Avustralya, Çin, Güney Kore ve Japonya olarak 7 bölgede incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda farklı teknolojilerin, farklı yıkama sıcaklıklarının ve farklı yıllık yıkama sayıları olduğu belirlenmiştir. Genel olarak Batı Avrupa'da önden yüklemeli, Kuzey Amerika ve Japonya'da ise üstten yüklemeli makinelerin kullanıldığı saptanmıştır. Avrupa'da önden yüklemeli makinelerin kullanılması nedeniyle su tüketimi az iken; Japonya, su tüketimi en fazla olan bölgedir. Çin'de ise yıkama sayısının azlığından dolayı su ve enerji tüketimi düşüktür. Çalışma sonucunda, Avrupa'da uygulanan iyi politikalar neticesinde su ve enerji verimliliği için sürdürülebilir gelişme sağlandığı tespit edilmiştir.

Kruschwitz vd. (2013) [54] çalışmalarında iki çeşit doğal sabun benzeri madde (sabun cevizi ve sabun otu), iki çeşit de çamaşır topları kullanmışlardır. Elde edilen değerler %100, %50 deterjan dozajının ve saf suyun temizleme performansı ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda alternatif teknolojilerin deterjan kullanımı kadar iyi performans gösteremediği belirlenmiştir. Çalışmanın çıktıları olarak; i) çamaşırların çok kirli olmaması durumunda yıkanmaması daha iyi bir çözüm olabileceği, ii) hafif kokması durumunda açık havada bekletilebileceği, iii) az kirli çamaşırlarda düşük sıcaklıkta yıkama ile beraber daha az deterjan dozajlayarak iyi bir temizleme performansı elde edilebileceği, iv) özel kirlere ön işlem uygulanabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Laitala ve Kjeldsberg (2012) [55] tarafından yapılan çalışmada, çamaşır makinesinde toz deterjanla yıkama işleminin alternatifi olabilecek teknolojiler incelenmiştir. Çamaşır topları, sabun benzeri madde içeren doğal sabun cevizi (soapnuts), çamaşır peletleri ve

çamaşır magnetlerinin bilinen deterjan ile temizleme etkileri karşılaştırılmıştır. 40 °C'de ve deterjan kullanılmadan yıkama yapıldığında alternatif olabilecek 4 ürünün aynı temizleme etkinliğini gösterdiği saptanmıştır. Fakat test edilen tüm leke tiplerinde (kırmızı şarap, kakao, kan, karbon siyahı/mineral yağ) en etkili temizleme deterjan kullanımı ile elde edilmiştir. Diğer taraftan test edilen alternatif teknolojilerin sıcak su ile kullanımı ve daha az çamaşır yükü ile yıkama yapılması gerektiğinden, su ve enerji tüketimi artmaktadır. Bu nedenle düşük sıcaklıkta, tam çamaşır yükü ile deterjanlı yıkama tercih edilmektedir.

Giagnorio vd. (2017) [56] yaptıkları çalışmada çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyu ultrafiltrasyon membranından geçirerek yüzey aktif maddece zengin permeat akımının tekrar kullanılmasını araştırmışlardır. Atık su, farklı moleküler ağırlık ayırma sınırlarına sahip polimerik ve seramik membranlardan geçirilmiştir. Çalışmanın sonucunda ortalama 6 kDa moleküler ağırlık ayırma sınırı olan polimerik membranlar ile %43, seramik membranlar ile de %39 yüzey aktif madde geri kazanımı sağlanmıştır.

Senthilmurugan ve Venkatesh (2016) [57] atık suyun tekrar kullanılması amacıyla membran ile yüzey aktif maddelerin geri kazanılması üzerine çalışmışlardır. Yüzey aktif maddelerin ve suyun geri kazanılması için önce ultrafiltrasyon membranı, sonra ise ters ozmos membranı kullanılmıştır. Membran üzerinde tortu birikmesini önlemek amacıyla geri yıkama sistemi kullanılan deneysel çalışmada 400 litre atık su membran sisteminden geçtiğinde 300 litre tekrar kullanılabilir saf su, 80 litre deterjanlı konsantre su ve 20 litre de atık su oluşmaktadır. Sonuç olarak, 720 ppm deterjan içeren su için maksimum %82 oranında deterjan geri kazanımının sağlandığı tespit edilmiştir.

Woo vd. (2014) [58] çalışmalarında karbon siyahı içeren mineral yağ lekesi ve protein kaynaklı kan lekesi üzerinde mekanik hareket etkisinin ve fizikokimyasal etkinin katkısını belirlemişlerdir. Çalışmaya göre karbon siyahı içeren mineral yağ lekesinde sıcaklığın artması ve yıkama süresinin uzaması, mekanik hareketi ve fizikokimyasal etkiyi arttırmıştır. Kan lekesinde ise yıkama süresinin artması mekanik hareketliliği ve fizikokimyasal etkiyi arttırırken sıcaklığın artması fizikokimyasal etkiyi olumsuz etkilemiştir. Mekanik ve fizikokimyasal etkinin birlikte kullanımı mineral yağ lekesinin yıkama performansı için daha olumlu olurken, kan lekesi için mekanik etkinin fizikokimyasal etkiye oranla daha ön plana çıktığı saptanmıştır. Sonuç olarak, leke tipine

göre yıkama süresi ve sıcaklığın optimize edilmiş yıkama programlarının tercih edilmesi önerilmiştir.

Olsson vd. (2008) [59] çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sudaki deterjanı tayin etmek için voltametrik elektronik dil denilen bir sensör sistemi kullanmışlardır. Elektronik dil sensör sistemininden elde edilen değerler, iletkenlik analizi sonucunda elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. HPLC referans yöntemi ile 60'tan fazla örnek kontrol edilmiştir. Çalışmaya göre deterjan içeriğindeki anyonik ve noniyonik yüzey aktif maddeler yıkama ve durulama adımlarında farklı davranış göstermektedirler. Anyonik yüzey aktif maddeler durulama ile çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suya karışırken, noniyonik yüzey aktif maddeler tekstil üzerinde ve çamaşır makinesi içerisinde kalmaktadır. İletkenlik analizi ile atık su içerisindeki anyonik yüzey aktif maddeler tayin edilebilir. Ancak, noniyonik yüzey aktif maddeler tayin edilemez. Elektronik dil sensör sistemi ile bu iki tip yüzey aktif maddenin miktarları daha az hata ile belirlenebilmektedir.

Ilec vd. (2009) [20] çalışmasında deterjanların içeriğinde bulunan yüzey aktif maddelerin verimliliğini belirlemek amacıyla istatiksel analiz yapılmıştır. İyon aktiviteleri farklı olan anyonik ve noniyonik olmak üzere iki tip yüzey aktif madde, üç farklı kumaş tipi ve dört farklı leke tipi seçilmiştir. 40 °C ve 60 °C sıcaklıklarda yıkama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çok değişkenli varyans analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda anyonik ve noniyonik yüzey aktif maddelerin etkinliğinin çay, kahve ve kırmızı şarap için benzer olduğu, kömür lekesi için ise noniyonik yüzey aktif maddelerin daha etkili olduğu belirlenmiştir. Yıkama sıcaklığının 40 °C'den 60 °C'ye çıkması durumda yüzey aktif maddelerin yıkama gücünde önemli bir iyileştirme sağlamadığı tespit edilmiştir.

Nielsen ve Skagerlind (2007) [60] çalışmalarında yüzey aktif maddelerin yerini enzimlerin almasıyla deterjanların olumsuz çevresel etkilerinin azalacağı ve daha az enerji tüketimi sağlayacağı üzerinde durmuşlardır. Deterjanlarda enzimlerin kullanılması ile yıkama sıcaklıkları düşürülmüştür. Çalışmanın sonucunda enzimce zengin deterjanın maliyetinin, bilinen deterjanlar ile yaklaşık olarak aynı olduğu belirlenmiştir. Yüzey aktif madde yerine enzimlerin kullanılması ve yıkama sıcaklıklarının düşürülmesi durumunda yıkama başına 150-450 g CO_2'in azalmakta olduğu tespit edilmiştir. Avrupa için toplam yıllık tasarruf potansiyeli 12 milyon ton CO_2'tir. Bu değer, yaklaşık 3 milyon arabanın yıllık ürettiği CO_2 gazının emisyonuna eşdeğerdir.

Açıkgöz vd. (2017) [61] yaptıkları çalışmada değişken yıkama sıcaklıkları, deterjan tipi, deterjan miktarı, ön işlem prosedürleri ile koltukaltında oluşan ter/sebum kirinin temizlenme performansını incelemişlerdir. Çalışmada kir çıkarma performansı için 40 °C ve 60 °C yıkama sıcaklıkları arasında önemli bir etki olmadığı tespit edilmiştir. Ön işlem uygulamasının, sebum kirinin temizlenmesi bakımından etkili olduğu, özellikle içerisinde ağartıcı ajanların bulunduğu kimyasalların temizleme performansını daha da arttırdığı belirlenmiştir. Ancak, ticari deterjanların ön işlem ajanları ile etkileşime girerek yıkama performansını olumsuz etkilediği belirtilmiştir.

Deterjan ve su tasarrufu sağlanmasına yönelik literatürde yeralan makalelere ait çalışma konuları Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1 Deterjan ve su tasarrufu sağlanmasına yönelik literatürde yeralan çalışmalar

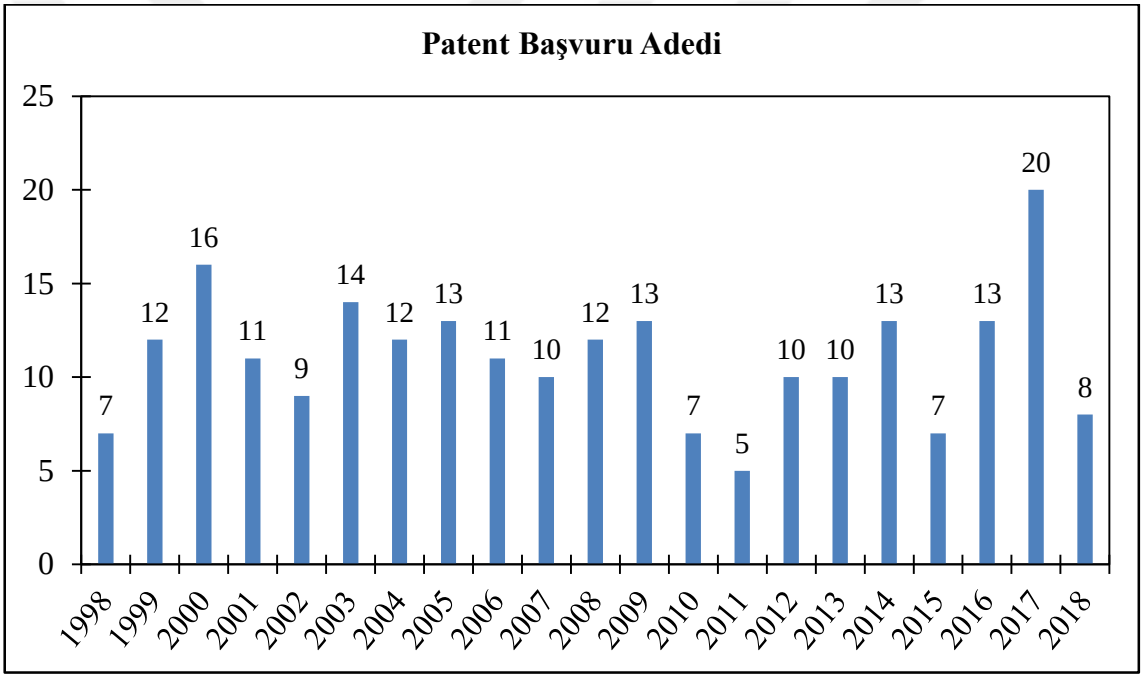
Yazarlar	Yıl	Çalışma Konusu	Referans
Mohamed vd.	2018	Deterjanların çevreye zararı	[48]
Bao vd.	2017	Çamaşır yıkama programının optimizasyonu	[49]
Laitala vd.	2017	Çamaşır yıkama alışkanlıkları (Yıkama yöntemleri)	[50]
Alborzi vd.	2016	Çamaşır yıkama alışkanlıkları (Enerji tüketimi)	[51]
Ferri vd.	2016	Çamaşır yıkama alışkanlıkları (Deterjan memnuniyeti)	[52]
Pakula ve Stimminger	2010	Çamaşır yıkama alışkanlıkları (Su ve enerji tüketimi)	[53]
Kruschwitz vd.	2013	Çamaşır yıkama işleme alternatif teknolojiler	[54]
Laitala ve Kjeldsberg	2012	Çamaşır yıkama işleme alternatif teknolojiler	[55]
Giagnorio vd.	2017	Çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun tekrarlı kullanımı	[56]
Senthilmurugan ve Venkatesh	2016	Çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun tekrarlı kullanımı	[57]

Çizelge 5.1 Deterjan ve su tasarrufu sağlanmasına yönelik literatürde yeralan çalışmalar (devamı)

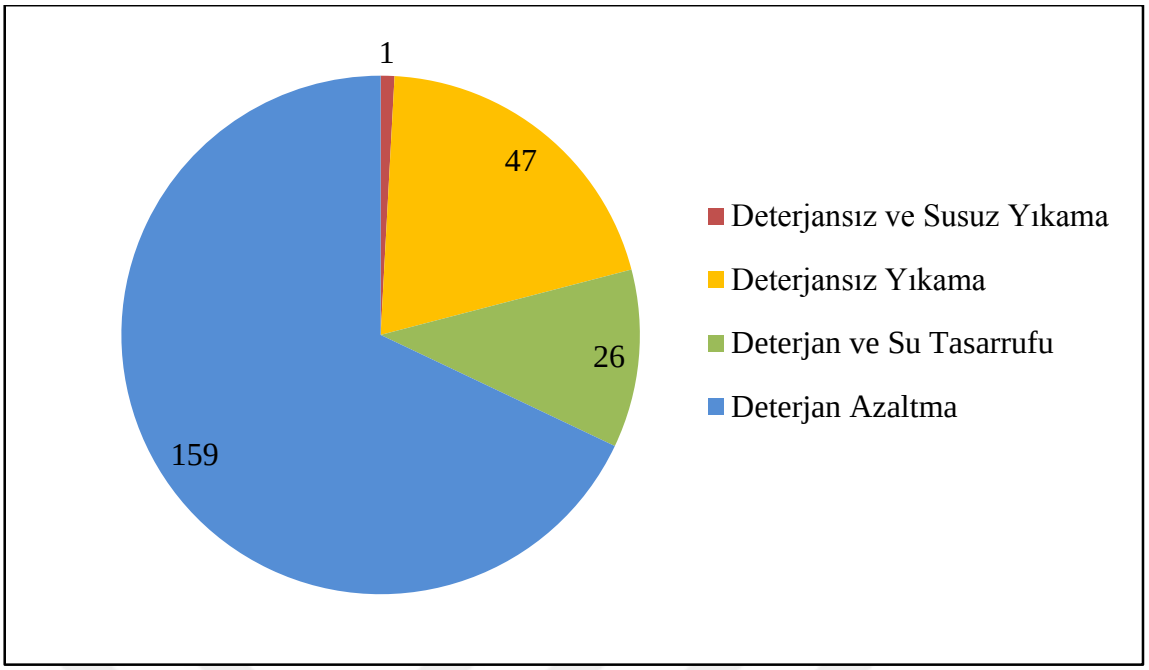
Yazarlar	Yıl	Çalışma Konusu	Referans
Woo vd.	2014	Mekanik hareket ve fizikokimyasal parametrelerin lekeler üzerindeki etkisi	[58]
Olsson vd.	2008	Çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suda deterjan tayini	[59]
Ilec vd.	2009	Deterjanların içeriğindeki yüzey aktif maddelerin aktiviteleri	[20]
Nielsen ve Skagerlind	2007	Deterjanların içeriğindeki enzimlerin aktiviteleri	[60]
Açıkgöz vd.	2017	Sebum kirinin temizlenme performansı	[61]

5.2 Patentler

Çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun tekrarlı kullanımı ile deterjan ve su tasarrufunun sağlanmasına yönelik patent araştırması '**Espacenet Patent Search'** [62] sitesi kullanılarak yapılmıştır. Çamaşır makinesi ile ilgili patentlerin incelenmesi için çamaşır makinesi kodu (d06f) kullanılarak filtre uygulanmıştır. Anahtar kelimeler (*detergent* or surfactant or "surface active") and (reus* or recycl* or sav* or repe**)* kullanılarak yapılan patent araştırmasında, 1998-2018 yılları arasında deterjansız yıkama, deterjan azaltma ve deterjan-su tasarrufu ile ilgili yapılan 233 adet patent başvurusuna ait yıllara göre dağılım Şekil 5.1'de ve ilgili patentlere ait konulara göre dağılım ise Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1 1998-2018 yılları arasında deterjansız yıkama, deterjan azaltma ve deterjan-su tasarrufu ile ilgili yapılan 233 adet patent başvurusuna ait yıllara göre dağılım



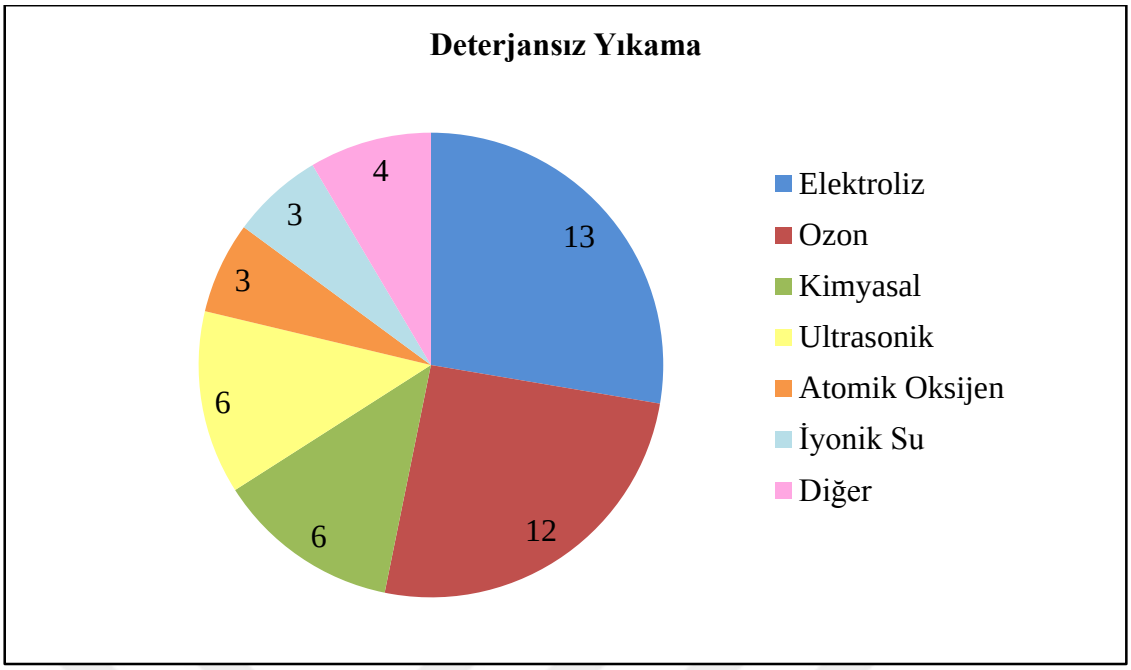
Şekil 5.2 1998-2018 yılları arasında deterjansız yıkama, deterjan azaltma ve deterjan-su tasarrufu ile ilgili yapılan 233 adet patent başvurusuna ait konulara göre dağılım

Deterjansız ve Susuz Yıkama Konusunda Bulunan Tek Patent:

Zhiqing'in (2009) CN201209215 (Y) kodlu patent [63], deterjansız ve susuz yıkama konusunda bulunan tek patenttir. İlgili patent kapsamında kullanılan sistem yüksek basınç gerektiren bir sistemdir. CO_2 gazı, yüksek basınçta sıvılaştırılmıştır. Su ve kimyasal kullanılmadan sıvı CO_2 ile temizleme etkisi sağlanmaktadır. Fakat bu çalışmanın ev tipi çamaşır makinelerine uygulanmasının zor ve tehlikeli olması nedeni ile evsel kullanımda hem deterjansız hem de susuz yıkama uygulamasının mümkün olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

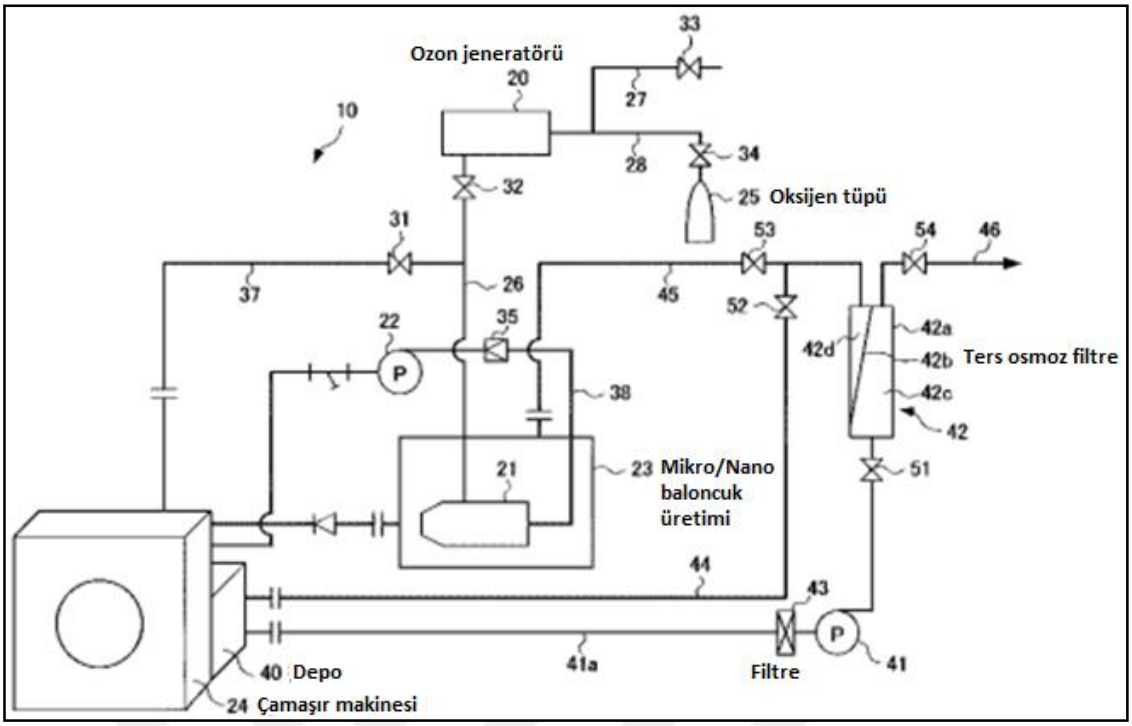
Deterjansız Yıkama Konusunda Bulunan Patentler:

Şekil 5.3'te deterjansız yıkama konusunda bulunan patentlere ait uygulanan yöntemler belirtilmiştir. Deterjansız yıkama ile ilgili olan 47 adet patente ulaşılmıştır. Deterjansız yıkama ile ilgili olan patentlerde en çok elektroliz ve ozon uygulamaları öne çıkmaktadır. Elektroliz teknolojisinin veriminin düşük ve uygulamasının zor olması nedeniyle detaylandırılmamıştır. Ozon ile temizleme tekniği ise farklı teknolojilerle beraber uygulanmıştır. Bu uygulamaya yönelik örnek bir patent aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.3 1998-2018 yılları arasında deterjansız yıkama ile ilgili yapılan patent başvurularında uygulanan yöntemlere ait dağılım

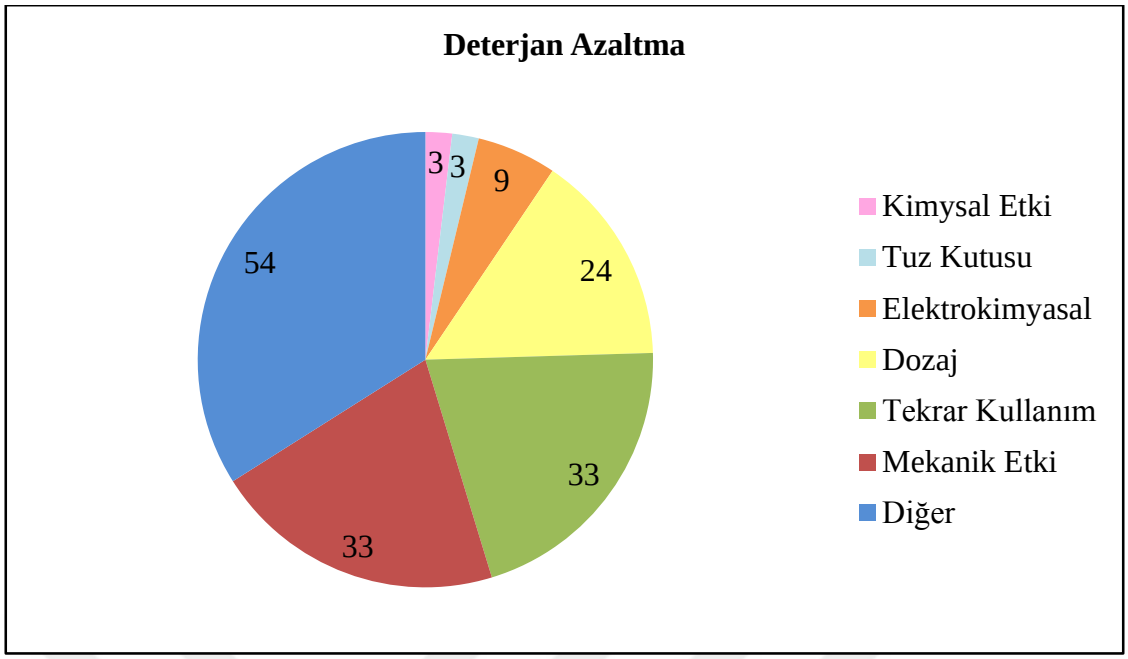
Yamanaka ve Daimon'ın (2012) JP5097577 (B2) kodlu patentinde [64], ozon ile temizleme ve çeşitli teknolojiler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çamaşır makinesinden tahliye edilen ana yıkamaya ait atık su, makinenin arkasına konulmuş olan depoda toplanmaktadır. Bu patentte, filtrasyon ile arıtım, ozon ile temizleme ve nano/mikro baloncuk oluşturma teknikleri bir arada kullanılmıştır. Atık su önce kaba filtreden, sonrasında ise ters osmoz filtreden geçirilerek istenmeyen iyonlardan uzaklaştırılmaktadır. Ters osmoz membrandan çıkan su, ozon jeneratöründe üretilmiş ve mikro/nano baloncuk haline getirilmiş ozon ile beraber tekrar makineye gönderilmektedir (Şekil 5.4) [64].



Şekil 5.4 JP5097577 (B2) patentinin sistem tasarımı [64]

Deterjan Azaltma Konusunda Bulunan Patentler:

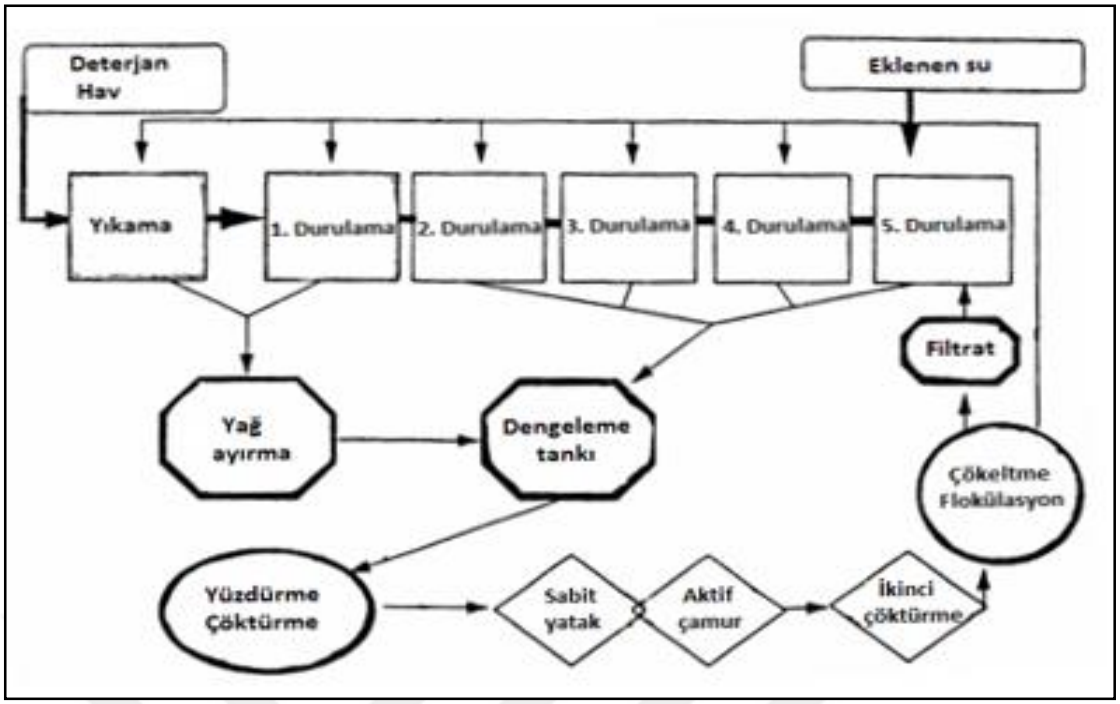
Tez çalışmasının öncelikli hedefi olan deterjan azaltma konusundaki patentlerin yöntemlere göre dağılımları Şekil 5.5'te verilmiştir. Deterjan ve suyun tekrarlı kullanımı kapsamında, tekrarlı yıkama kategorisindeki patentler incelenmiştir. Filtrasyon, çöktürme, aktif çamur ile arıtma gibi farklı yöntemlerin kullanıldığı ve belli miktarlarda deterjan ve su tasarrufu sağlayan sistemler seçilerek detayları ile birlikte açıklanmıştır.



Şekil 5.5 1998-2018 yılları arasında deterjan azaltma ile ilgili yapılan patent başvurularında uygulanan yöntemlere ait dağılım

Jing'in (2009) CN201258412 (Y) kodlu patentinde [65] 3 su tankı, 1 adet ayarlama tankı ve filtre bulunmaktadır. Çamaşır makinesi ön yıkama suyu 2. su tankından sağlanmakta ve tahliye edilen atık su yine 2. tanka gönderilmektedir. Ana yıkama suyu 1. tanktan sağlanmakta ve tahliye edilmesinin ardından ayarlama tankında çöktürücü kimyasal madde eklemesi yapılıp filtrelenerek 1. tanka geri gönderilmektedir. 1. Durulama suyu 2. su tankından sağlanır ve yıkama sonrasında tahliye edilmektedir. 2. Durulama suyu 3. su tankından karşılanmakta ve yıkama sonunda 2. su tankına yollanmaktadır. 3. Durulama suyu ise şebekeden alınır ve yıkamanın ardından 3. tankta depolanmaktadır. Bu sistem ile %80 deterjan, %70 su tasarrufu sağlandığı belirtilmiştir.

Goebel vd.'nin (2001) US6306303 (B1) kodlu patentinde [66] çamaşır makinesinden tahliye edilen ana yıkama ve ilk durulama atık suları toplanmaktadır. Emülsiyon kırıcı madde eklenerek yağ ayrımı sağlanmaktadır. Atık su içerisinde renk barındırıyor ise oksitleme ajanı olarak ozon kullanılmaktadır. Katı partiküller yüzdürme ve çöktürme ile ayrılmaktadır. Bir sonraki aşamada sabit yataklı reaktörde aktif çamur ile biyolojik arıtım uygulanmaktadır. Tekrar çöktürme işlemi yapılarak aktif çamur ayrılmaktadır. Elde edilen su, ana yıkama veya durulama suyu olarak kullanılabilmektedir. Toplanan suyun yaklaşık %80'i arıtılarak tekrar kullanılmaktadır. Ana yıkama suyu için kir miktarına göre %1-5 oranında deterjan eklenmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 US6306303 (B1) patentinin akış diyagramı [66]

Back vd'nin (1999) US5868937 (A) kodlu patent başvurusunda [67] yıkama sonucu oluşan atık su ön filtreden geçirildikten sonra karıştırma tankına gelmektedir. Karıştırma tankından da pompalar yardımıyla UF membrana pompalanmaktadır. Permeat da vana yardımıyla tekrar kullanılmak üzere makineye gönderilmektedir. Ultrafiltrasyon membranından çıkan retentat, karıştırma tankına gönderilmektedir. Karıştırma tankındaki deterjanlı suyun tekrarlı kullanımı sonucunda kullanılan deterjan miktarı %30 azalmaktadır. Ayrıca bu işlem ile minimim %50 su tasarrufu sağlanmaktadır.

Lerche vd.'nin (1998) EP0749403 (B1) kodlu patentinin [68] ev içerisinde oluşan tüm atık sular için kullanılabileceği belirtilmiştir. Çamaşır makinesinden tahliye edilen atık su filtreden geçirilerek tanka alınmaktadır. Sonraki aşamada aerobik koşullarda biyoreaktöre gönderilmektedir. Biyoreaktörden çıkan su, aktif karbondan geçirilmektedir. 2-6 saatte tamamlanan bu arıtma işlemi neticesinde %80-95 su tasarrufu sağlanmaktadır.

1998-2018 yılları arasında deterjansız ve susuz yıkama, deterjansız yıkama ve deterjan azaltma ile ilgili patent başvuruları ve uygulanan teknolojiler Çizelge 5.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.2 1998-2018 yılları arasında deterjansız ve susuz yıkama, deterjansız yıkama ve deterjan azaltma ile ilgili patent başvuruları ve uygulanan teknolojiler

Buluşçu	**Uygulayıcı**	**Konu**	**Teknoloji**	**Referans**
Zhiqing (2009)	Zhiqing	Deterjansız ve Susuz Yıkama	Yüksek basınç ile sıvılaştırılmış CO_2	[63]
Yamanaka ve Daimon (2012)	Chugoku Electric Power, Tosen Machinery Corp.	Deterjansız Yıkama	Ters osmoz ile filtrasyon ve mikro/nano baloncuk haline getirilmiş ozon ile temizleme	[64]
Jing (2009)	Jing	Deterjan Azaltma	Filtrasyon, çöktürücü ajan kullanımı	[65]
Goebel vd. (2001)	Henkel Kgaa	Deterjan Azaltma	Emülsiyon kırıcı madde ile yağ ayrımı, oksitleme ajanı olarak ozon, yüzdürme ve çöktürme işlemi, sabit yataklı reaktörde aktif çamur ile biyolojik arıtım	[66]
Back vd. (1999)	Mainstream Engineering Corp.	Deterjan Azaltma	Membran ile filtrasyon (Ultrafiltrasyon)	[67]
Lerche vd. (1998)	Buck Chem Tech Werke	Deterjan Azaltma	Filtrasyon, aerobik koşullarda biyoreaktör ile arıtım, aktif karbon ile adsorpsiyon	[68]

BÖLÜM 6

MATERYAL VE YÖNTEM

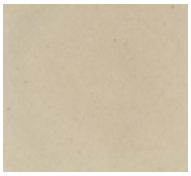
6.1 Kullanılan Materyaller

Bu çalışmada, tekrarlı yıkamalar ile deterjan ve su tasarrufu sağlanması hedeflenmiştir. Çamaşır makinesinden tahliye edilen atık su toplanıp, belirlenen deterjan dozaj miktarı ile birlikte bir sonraki yıkama deneyinde kullanılmıştır. Çalışma için çamaşır makinesi yıkama programı belirlenmiş, tekrarlı yıkama deneylerinde kullanılan kir ve lekelerin aktiviteleri incelenmiş, beyaz ve renkli çamaşırların toz ve sıvı deterjan formları ile yıkama deneyleri gerçekleştirilmiştir.

- **Kir ve Lekeler**

Kir ve lekelerin %70'inin sebum kaynaklı vücut kiri olduğu saptanmıştır. Vücut kiri içeriğinde yüksek oranda sebum ve bitkisel yağ ile beraber mineral tuz ve üre gibi maddeler bulunmaktadır. Yıkama deneylerinde kullanılan sebum kiri WFK Testgewebe GmbH [69] firmasından temin edilmiştir (Çizelge 6.1). Sebum kiri (SBL2004), yaklaşık 22 cm x 33 cm boyutlarında pamuk kumaş üzerine hazırlanmıştır ve 4 g sebum içermektedir.

Çizelge 6.1 Yıkama deneylerinde kullanılan sebum kiri ve etkilendiği parametreler [69]

Kir Kodu	Kir	Etkilendiği Parametreler	Kirli Kumaş
SBL2004	Sebum	Yağlı madde etkisi Yapıcı madde etkisi	

Toplam kir ve lekelerin %30'luk kısmı için ise deterjanların farklı bileşenlerinden etkilenen lekeler belirlenmiştir. Bu lekeler çay, spagetti sosu, domates ve salata sosu lekeleridir. Center For Testmaterials B.V. [70] firmasından temin edilen lekeler, 12 cm x 12 cm boyutlarında pamuklu kumaş üzerinde hazırlanmıştır. Her bir lekeli kumaş parçası 0.5 g leke içermektedir. Çizelge 6.2'de yıkama deneylerinde kullanılan lekeler ve etkilendikleri parametreler verilmiştir.

Çizelge 6.2 Yıkama deneylerinde kullanılan lekeler ve etkilendikleri parametreler [70]

Leke Kodu	**Lekeler**	**Etkilendiği Parametreler**	**Lekeli Kumaşlar**
C-BC-03	Çay	Ağartma etkisi	
C-S-60	Spagetti Sosu	Ağartma etkisi Proteaz enzimi etkisi	
C-S-20	Domates	Ağartma etkisi Enzim karışımı etkisi	
C-S-06	Salata Sosu	Amilaz enzimi etkisi Enzim karışımı etkisi	

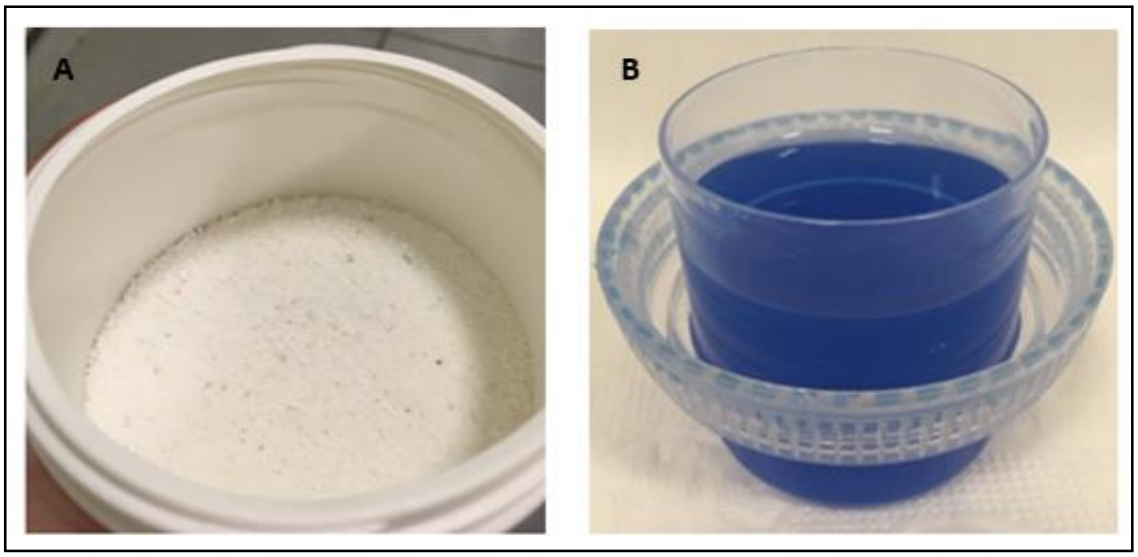
Yapılan çalışmalarda;

- Toplam kir ve lekelerin %70'ini oluşturan sebum kiri, yüzey aktif maddelerin performansının tespiti için,
- Çay, spagetti sosu ve domates lekeleri deterjanın ağartıcı etkinliğini incelemek için,
- Salata sosu ve domates lekeleri enzim aktivitesinin belirlenmesi için kullanılmıştır.

5 kg çamaşır yükü ile yapılan yıkama deneylerinde 4 adet sebum kiri; çay, spagetti sosu, domates ve salata sosu lekelerinden ise 3'er adet kullanılmıştır.

- **Deterjan**

Yapılan yıkama deneylerinde hem toz hem de sıvı formda deterjan kullanılmıştır. 5 kg çamaşır yükü için deterjan firmalarının önerdikleri miktarlarda deterjan sisteme eklenmiştir. Bu miktarlar; ticari toz deterjan için 100 g, ticari sıvı deterjan için ise 35 mL deterjandır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 A) Ticari toz deterjan, B) Ticari sıvı deterjan

- **Çamaşır Yükü**

Kullanıcı alışkanlıkları göz önüne alınarak yıkama deneyleri 5 kg çamaşır yükü ile gerçekleştirilmiştir. EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı'na [71] göre (bakınız Bölüm 6.7); çamaşır yükü olarak pamuklu çarşaf, el havlusu ve yastık kılıfı kullanılmıştır. İlgili standartta da belirtildiği üzere aynı çamaşır yükleri ile 80'den fazla yıkama deneyi yapılmaması gerekmektedir.

6.2 Kullanılan Cihazlar

- **Çamaşır Makinesi**

Yıkama deneylerinde, Arçelik marka 8 kg kapasiteli 8143 CMK A+++ (-%40) enerji performanslı, sıvı dozajlı çamaşır makinesi kullanılmıştır (Şekil 6.2). Çamaşır makinesi belirlenirken Türkiye ve Avrupa satışları ve kullanıcı alışkanlıkları baz alınmış ve tercih edilen bir model olması göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 6.2 Arçelik marka 8 kg kapasiteli 8143 CMK A+++ (-%40) enerji performanslı, sıvı dozajlı çamaşır makinesi

- **Wascator (Referans Çamaşır Makinesi)**

EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı'na [71] göre çamaşır makinesinde yapılan yıkamaların sonuçları, Wascator olarak adlandırılan referans çamaşır makinesinde yapılan yıkamaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Wascator (Referans Çamaşır Makinesi) Şekil 6.3'te verilmiştir. Elektrolux firmasının ürettiği FOM71 CLS model referans çamaşır makinesi Wascator'ün özellikleri EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı'nda [71] belirtilmiştir.



Şekil 6.3 Elektrolux firmasının ürettiği FOM71 CLS model Wascator (Referans Çamaşır Makinesi)

- **Tergotometre**

Tergotometre cihazı, çamaşır makinesinin küçük ölçekli bir simülasyonudur. Bu cihaz ile çamaşır makinesinde yapılabilecek yıkama deneyleri daha hızlı şekilde yapılabilmektedir. Renkli çamaşır yükü ile yapılan yıkamalarda Copley marka Tergotometre cihazı kullanılmıştır (Şekil 6.4). Tergotometre cihazında daha az deterjan ve su kullanılarak çamaşır makinesinin yıkama ortamı oluşturulmuştur.



Şekil 6.4 Copley marka Tergotometre cihazı

6.3 Analiz Cihazları

Yıkama deneylerinin sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suda kalan deterjan miktarının tayini, yıkama performansının değerlendirilmesi ve renkli çamaşır yükü ile yapılan yıkama deneyler sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen renkli atık suyun renk analizlerinin yapılması için çeşitli analiz cihazları kullanılmıştır.

Yıkama performans indeksinin (YPİ) hesaplanması için Renk Spektrofotometre cihazı (DataColor-600), çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sularda bulunan toz deterjan miktarı tayini için iletkenlik ölçen multimetre cihazı ve sıvı deterjan miktarı tayini için ise UV-Vis spektrofotometre cihazı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Renkli çamaşır yükü ile yapılan yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suların renk analizleri için ise renk sensörlü düzenek kullanılmıştır.

- **Renk Spektrofotometre Cihazı**

Yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinin yıkama performansını belirlemek amacıyla kirli/lekeli ve beyaz bezlerin renk ölçümleri renk spektrofotometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, DataColor-600 model renk spektrofotometre cihazı ile yansıma değeri hesaplanarak kir ve lekelerin ne kadar temizlendiği incelenmiştir. DataColor-600 cihazı Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5 DataColor-600 model renk spektrofotometre cihazı

Tergotometre cihazında yapılan yıkamalar sonunda beyaz bezlerin yansıma değerlerinin yanısıra CMC (Colour Measurement Committee) değerleri de DataColor-600 cihazı ile ölçülmüştür. Kir ve lekelerin yansıma değerlerinin ve CMC değerlerinin ölçümü için kullanılan DataColor-600 cihazının teknik bilgi ve özellikleri EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı'nda [71] tanımlanmıştır.

- **Multimetre Cihazı**

Çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sudaki toz deterjan tayini için multimetre cihazı kullanılmıştır. İletkenlik değerleri, Hach marka HQ40d model multimetre cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 İletkenlik ölçümü için kullanılan Hach marka HQ40d model multimetre cihazı

- **UV-Vis Spektrofotometre Cihazı**

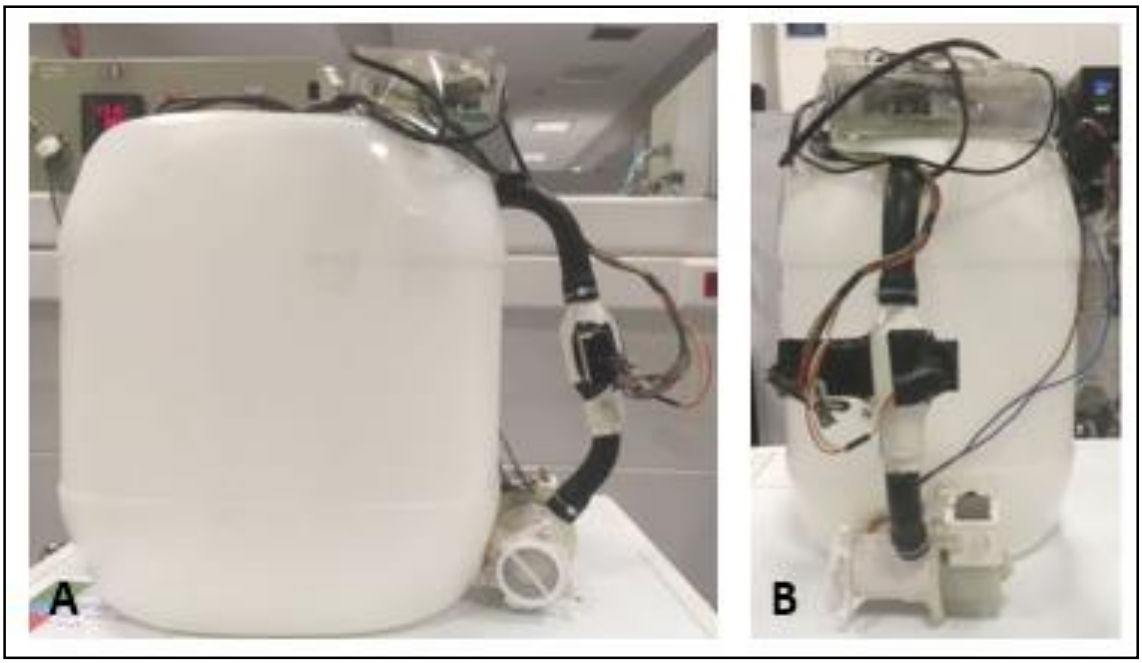
Çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sudaki sıvı deterjan tayini için UV spektrofotometre cihazı kullanılmıştır. Absorbans değerleri, Perkin Elmer Lambda 35 model UV-Vis Spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 Perkin Elmer Lambda 35 model UV-Vis Spektrofotometre cihazı

- **Renk Sensörlü Düzenek**

Renkli çamaşırlar ile yapılan yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suların renk ölçümleri, üzerinde renk sensörü bulunan bir düzenek ile gerçekleştirilmiştir. İlgili düzenek; 16 L'lik bir depo, üzerinde LED ışık kaynakları ile renk sensörü olan bir kanal ve suyun sirkülasyonu için kullanılan bir pompadan oluşmaktadır (Şekil 6.8). Sensör, R-G-B (kırmızı-yeşil-mavi) ışık kanallarında yaklaşık saniyede bir ölçüm almaktadır.



Şekil 6.8 Renk ölçümleri için hazırlanan renk sensörlü düzenek, A) Önden görünüş, B) Yandan görünüş

6.4 Yıkama Deneylerinin Yapılışı

Yıkama deneyleri için çamaşır makinesi programı belirleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, en çok kullanılan programlardan biri olan 'Pamuklu 40 °C' programının algoritmasında birtakım düzenlemeler yapılmıştır. Yapılan düzenlemeler ile;

- 150 dk olan program süresi 90 dk'ya düşürülmüştür.
- 120 L olan toplam su tüketimi 58 L'ye düşürülmüştür.
- Ana yıkama süresi 60 dk, su tüketimi ise 16 L olarak belirlenmiştir.
- Yıkama performansını iyileştirmek için sıcaklık 60 °C'ye çıkarılmıştır.

Yukarıda belirtilen maddelere göre oluşturulan çamaşır makinesi yıkama programı, ana yıkama adımı ve iki durulama adımından meydana gelmektedir. Tüm yıkama deneyleri 5 kg çamaşır yükü ile gerçekleştirilmiştir. Yıkama deneyleri, toz deterjan veya sıvı deterjan ile gerçekleştirilmiştir. Her tekrarlı yıkama deneyinde; sebum kiri, çay, spagetti sosu, domates, salata sosu lekelerinden belirlenen miktarlarda yıkama ortamına konulmuştur.

Tekrarlı yıkama deneylerinde oluşturulan program seçilerek çamaşır makinesi çalıştırılmıştır. Çamaşır makinesi ana yıkama için şebekeden 16 L su aldıktan sonra, önce soğuk, sonra sıcak yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Ana yıkama adımının sonunda gerçekleşen sıkma işleminin sonucunda çamaşır makinesi 12 L atık su tahliye etmiştir. Kalan 4 L su, çamaşır yükünün emdiği miktardır.

1. Duruma adımı için çamaşır makinesi şebekeden yaklaşık 21 L su aldıktan sonra durulama işlemi başlamıştır. Durulama işleminin sonunda sıkma yapılması ile atık su tahliye edilmiştir. 2. Durulama adımı için de çamaşır makinesi şebekeden 21 L su alıp yıkama yaparak atık suyu tahliye etmiştir.

İlk yıkamanın bu şekilde yapılmasının ardından; ana yıkama sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen 12 L atık su ve 1. Durulama sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun 4 L'si bir sonraki yıkama deneyinin ana yıkama giriş suyu olarak kullanılması için depolanmıştır. 1. tekrarlı yıkama deneylerinde 16 L atık su çamaşır makinesine verilerek belirlenen deterjan dozaj miktarı çamaşır makinesine eklendikten sonra program çalıştırılırmış ve böylece ana yıkama başlatılmıştır.

Ana yıkama adımı sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen 12 L atık su ve 1. Durulama sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen 4 L atık su, bir sonraki tekrarlı yıkama için depolanmıştır. Tüm yıkama deneylerinde, 2. Durulama adımının giriş suyu, şebekeden sağlanmış ve 2. Durulama adımının sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sular depolanmadan tahliye edilmiştir.

Oluşturulan çamaşır makinesi yıkama programına göre ilk yıkamanın ana yıkama, 1. Durulama ve 2. Durulama adımlarında toplam 58 L yıkama suyu kullanılmıştır. Tekrarlı yıkamalar sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun 16 litresi bir sonraki yıkamaya verileceğinden, bir sonraki yıkama deneyi için giriş suyu 16 L azalmıştır.

6.5 Yıkama Performans İndeksinin Hesaplanması

Her yıkama deneyinde kir, leke ve beyaz bezler çamaşır yüküne tutturulmuş olarak çamaşır makinesinde yıkanmıştır. Yıkama deneyi sonunda çamaşır makinesinden alınan kir, leke ve beyaz bezlerin renk spektrofotometre cihazında yansıma değerleri ölçülmüştür. Ölçülen yansıma değerlerine göre yıkama performans indeksleri (YPİ) hesaplanmıştır. Beyaz bezlerin yansıma değerlerinin ölçümü, yıkama performans indeksi belirlemek için değil, yıkama boyunca tekstilden uzaklaştırılan kir partiküllerinin tekrar kumaş yüzeyine yapışma durumunu değerlendirmek için yapılmaktadır.

Yıkama performans indeksinin belirlenmesi için yıkama ortamına konulan kir ve lekelerin yansıma değerleri kullanılmıştır. Çamaşır makinesi ile yapılan yıkama deneylerine paralel olarak referans makine olan Wascator'de de yıkama deneyi yapılmıştır. Yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesindeki kir ve lekelerin yansıma değerleri ölçülerek Wascator'deki kir ve lekelerin yansıma değerleri ile kıyaslanmıştır. Çamaşır makinesinde kullanılan kir ve lekelerin yıkama sonrası yansıma değerleri toplamının, Wascator'deki kir ve lekelerin yansıma değerleri toplamına oranı yıkama performans indeksi olarak adlandırılmaktadır. Yıkama performans indeksinin hesaplanması ile yıkama performansı belirlenmiştir. Hesaplamalar aşağıdaki adımlara göre gerçekleştirilmiştir:

1. Her bir kir tipi için spekrotofotometrede okunan ortalama yansıma değeri x_i, aynı tip kirin n tane kumaş parçasının yansıma değerleri ölçülerek hesaplanmıştır (Eşitlik (6.1)).

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_{ij}}{n} \tag{6.1}$$

x_{ij} : Her bir kirletilmiş kumaş için ölçülen ortalama yansıma değeri

n : Yıkama deneyi başına kullanılan aynı kir tipindeki kirletilmiş kumaş sayısı

2. Yıkama deneyindeki kirletilmiş kumaşların ortalama yansıma değerlerinin toplamı Eşitlik (6.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_k = \sum_{i=1}^{m} \bar{x}_i \tag{6.2}$$

$\bar{x}_i$: Her bir kir tipi için hesaplanan ortalama yansıma değeri

m : Yıkama deneyi başına kullanılan kir tipi sayısı

3. Yıkama performans indeksi çamaşır makinesindeki kirletilmiş tüm kumaşların ortalama yansıma değerleri toplamının, referans makinedeki tüm kirletilmiş kumaşların ortalama yansıma değerleri toplamına oranı ile elde edilmiştir (Eşitlik (6.3)).

$$YP\dot{I} = \frac{\bar{C}_{deney}}{\bar{C}_{ref}} \tag{6.3}$$

YPİ : Yıkama performans indeksi

$\bar{C}_{\text{deney}}$: Çamaşır makinesindeki tüm kirlerin yansıma değerleri toplamı

$\bar{C}_{\text{ref}}$: Referans makinedeki tüm kirlerin yansıma değerleri toplamı

Yıkama performans indeksine göre 0.03'lük değişim bir sınıf performans değişimi anlamı taşımaktadır. Yıkama performans indeks değerlerine göre enerji sınıfları belirlenmektedir (Çizelge 6.3) [71].

Çizelge 6.3 Yıkama performans indeks değerlerine göre belirlenen enerji sınıfları [71]

Sınıflar	**Yıkama Performans İndeksi (YPİ)**
A (Yüksek Verim)	YPİ> 1.03
B	1.03 ≥ YPİ> 1.00
C	1.00 ≥ YPİ> 0.97
D	0.97 ≥ YPİ> 0.94
E	0.94 ≥ YPİ> 0.91
F	0.91 ≥ YPİ> 0.88
G (Düşük verim)	YPİ< 0.88

6.6 Analiz Yöntemleri

- **İletkenlik Ölçümü**

Toz deterjan içeriğinde bulunan anyonik yüzey aktif maddeler, alkali maddeler ve dolgu maddeleri yüksek çözünürlüğe sahiptirler. İyi çözündükleri için suyun iletkenlik değerini değiştirmektedirler. Toz deterjan ile yapılan yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sulardaki toz deterjan miktarları iletkenlik analizi ile

tespit edilmiştir. Çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suların iletkenlik değerleri 20 °C'de ölçülmüştür.

- **Absorbans Ölçümü**

Sıvı deterjan içeriğindeki anyonik yüzey aktif maddelerden biri olan lineer alkilbenzen sülfonat (LAS), UV-Vis spektrofotometredeki ölçümlerinde en yüksek pik değerini 223 nm'de [72], sıvı deterjan içeriğinde bulunan sodyum (Na) elementi ise karakteristik pikini 330 nm'de vermektedir [73]. EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı'nın 2017 [74] yılında yayınlanan teknik dökümanına göre çamaşır makinesinden tahliye edilen sıvı deterjan içeren atık suyun UV-Vis spektrofotometrede 223 nm ve 330 nm'de ölçülen değerlerinin farkları alınarak hesaplama yapılmıştır. EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı'nın teknik dökümanında, deterjan içerisindeki LAS anahtar bileşen olarak kabul edildiğinden ve deterjan miktarı ile lineer bir ilişkide olduğundan; deterjan içeriğindeki diğer maddelere kıyasla en yüksek oranda bulunan Na elementinin etkisinin yok edilebilmesi için 223 nm ve 330 nm'de ölçülen değerlerin farkının alınarak hesaplama yapılması gerektiği belirtilmiştir.

- **Renk Ölçümü**

Renkli çamaşırlar ile yapılan yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sulardaki renk ölçümü için bir düzenek hazırlanmıştır. Düzenek; 16 L'lik depo, kanal üzerinde bulunan LED ışık kaynakları, renk sensörü ve sirkülasyon pompasından oluşmaktadır. Çamaşır makinesinden tahliye edilen renkli atık su (16 L) depo içerisine doldurulmuştur. Pompa yardımı ile renkli atık suyun sirkülasyonu sağlanmıştır. Düzenekteki kanalın ortasında, kanalı aydınlatan yan yana iki beyaz LED ve LED'lerin ışığını alacak şekilde konumlandırılan optik sensör bulunmaktadır. Bu kanal optik açıdan izoledir. Su izole kanaldan geçtikçe sensör, yaklaşık saniyede bir ölçüm almaktadır. Böylece, renkli atık suların renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

- **Yansıma Değeri Ölçümü**

Çamaşır makinesinin yıkama performansını belirleme çalışmaları için yıkama deneyleri sonunda kir ve lekelerin analizinin ve beyaz bezlerin grileşmesinin değerlendirilmesi renk spektrofotometre cihazı olan DataColor-600 cihazı ile gerçekleştirilmiştir. EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı'nda [71] belirtildiği üzere DataColor-600 cihazı ile yansıma değeri ölçümü yapılarak kir ve lekenin temizlenmesi incelenmiştir.

Yansıma değerinin yüksek olması, kir veya lekenin daha iyi temizlendiği anlamına gelmektedir. Beyaz bezlerin DataColor-600 cihazında yansıma değerleri ölçülerek grileşmeleri incelenmiştir.

- **CMC Değeri Ölçümü**

Renk Ölçüm Komitesi (Colour Measurement Committee, CMC) 1984 yılında CIELab (International Commission on Illumination) sistem parametrelerine dayanan renk farklılığı formülü önermiştir [75]. Bu formül ile özellikle tekstil sanayinde renk ölçüm değerlendirmeleri yapılabilmektedir. CMC formülünde açıklık, kroma ve hue farklılıkları değerlendirilmektedir. CMC formülü Eşitlik (6.4)'te verilmiştir.

$$\Delta E_{\text{CMC (l:c)}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{l\, S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{ab}}{c\, S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{S_H}\right)^2} \tag{6.4}$$

"l" ve "c"; açıklık/koyuluğa ve kromaya ait toleranslardır. Bu toleransların sayısal değerleri bilindiğinde formül CMC (2:1) veya CMC (1:1) şeklinde gösterilebilir.

Tergotometre cihazında yapılan yıkamalar sonunda beyaz bezlerin CMC değerleri DataColor-600 cihazı ile ölçülmüştür. Ölçüm cihazı, CMC değerlerini mevcut program ile hesaplayarak sonucu vermektedir. Beyaz bezlerin renk değerlerinin belirlendiği analizde CMC değerlerinin 1'den büyük olması; testin başarısız olduğu ve beyaz bezin renkli atık su tarafından boyandığı anlamına gelmektedir. CMC değerinin 1'den küçük olması durumunda test başarılı olmuştur ve beyaz bez renkli su ile boyanmamıştır.

6.7 EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı

EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı [71]; ev ve benzeri yerlerde kullanılabilen, ısıtma sistemi bulunan veya bulunmayan, sıcak ve/veya soğuk su ile yıkama yapabilen elektrikli çamaşır makineleri ve/veya sıkma makinelerinin performanslarının ölçümüne ait metotları kapsayan bir standarttır. Çamaşır makinesinde yapılan tüm yıkama performans ölçümleri EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı'na uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı'na göre yıkama deneyi koşulları;

- Ölçüm sırasında ortam sıcaklığı 23±2 °C olmalıdır.
- Tüm yıkama programlarında 2.50±0.20 mmol/L sertliğinde su kullanılmalıdır.

- Soğuk su giriş sıcaklığı 15±2 °C olmalıdır.
- Sıcak su giriş sıcaklığı, eğer imalatçı tarafından belirtilmemiş ise, 60±2 °C olmalıdır.
- Giriş suyu statik basıncı test süresince 240±50 kPa değerinde olmalıdır.

EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı'na göre çamaşır yükleri için;

- Pamuk bazlı yük (çarşaf, el havlusu ve yastık kılıfı), bakımı kolay tekstil bazlı yük (erkek gömleği ve yastık kılıfı) ve polyester tekstil bazlı yükler kullanılmalıdır.
- Çamaşır yükleri standarda uygun olarak yük miktarına göre belli bir sıra ve belli şekillerde makineye yerleştirilmiştir.
- Tekstiller 80 yıkama deneyinden fazla kullanılmamalıdır.

Çamaşır makinesi ile eş zamanlı olarak referans makinesi de çalıştırılmalıdır. Yıkama performans ölçümü değerlendirmesi için iki makineye de aynı prosedür uygulanmalıdır. Çamaşır makinesinin yıkama performansı, çamaşır yüküne tutturulmuş leke şeritlerinin yıkanması sonrasında spektrofotometre cihazı yardımıyla analiz edilmesi ile değerlendirilmektedir. Test edilen çamaşır makinesinin kir temizleme performansı referans makinenin performansına göre belirlenmektedir. Spektrofotometre analizi öncesi leke şeritlerinin parıltılı duruma sebebiyet vermeden ütülenerek kurutulması gerekmektedir. Ütüleme koşullarının numuneyi bir değişikliğe uğratmayacak şekilde olması ve ütü sıcaklığının 130-150 °C arasında olması gerekmektedir.

BÖLÜM 7

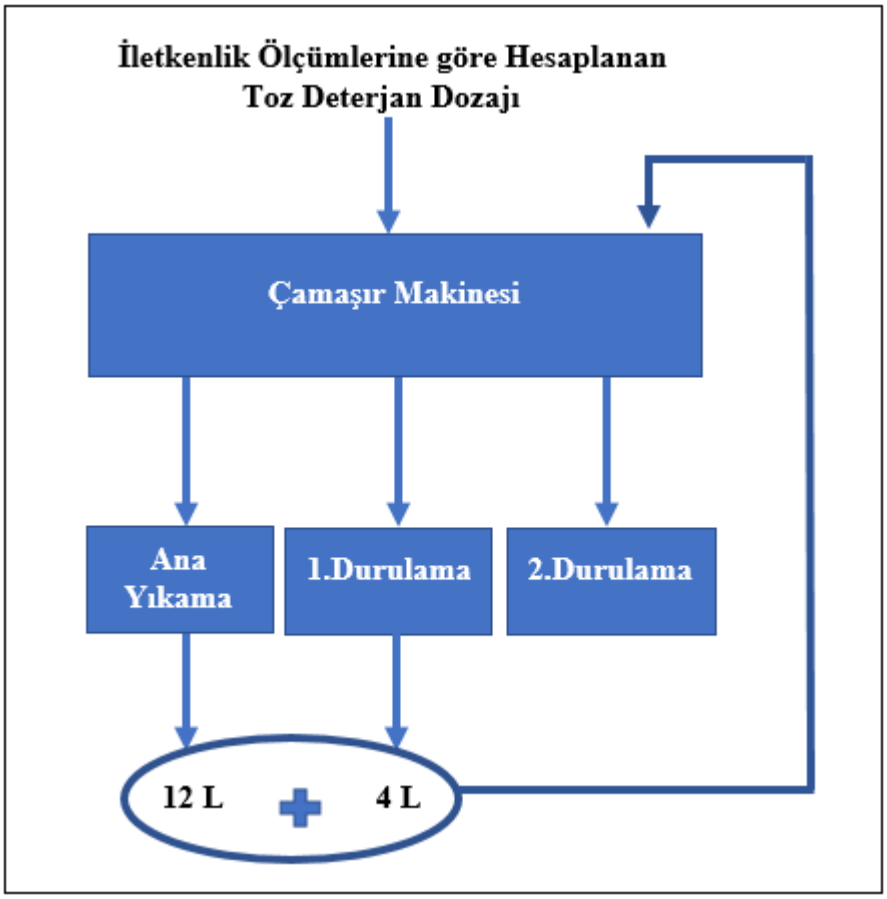
DENEYSEL ÇALIŞMA

7.1 Tekrarlı Yıkamalar Sonunda Çamaşır Makinesinden Tahliye Edilen Atık Sulardaki Toz ve Sıvı Deterjan Miktarının Belirlenmesi

Çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sulardaki toz deterjan tayini iletkenlik analizi ile, çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sulardaki sıvı deterjan tayini ise UV-Absorbans analizi ile yapılmıştır. Yıkama deneyleri, toplam 22 gram kir ve leke kullanılarak 5 kg beyaz çamaşır yükü ile gerçekleştirilmiştir.

7.1.1 Tekrarlı Yıkamalar Sonunda Çamaşır Makinesinden Tahliye Edilen Atık Sulardaki Toz Deterjan Miktarının Belirlenmesi

Toz deterjan içeriğinde bulunan anyonik yüzey aktif maddeler, alkali maddeler ve dolgu maddelerinin yüksek çözünürlükleri nedeniyle suyun iletkenlik değerini değiştirdikleri için toz deterjan ile yapılan yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun içerisindeki deterjan miktarı iletkenlik ölçümü ile belirlenmiştir. İletkenlik ölçümlerine göre hesaplanan toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama sistemi Şekil 7.1'de şematik olarak verilmiştir.



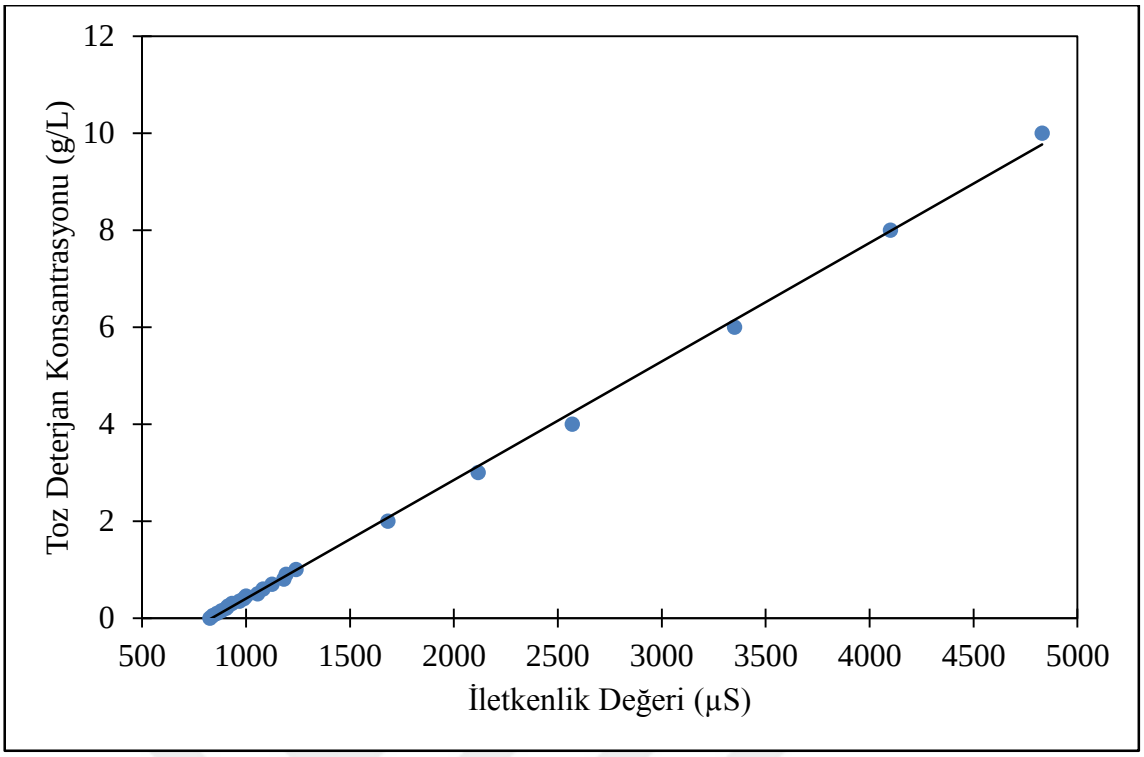
Şekil 7.1 İletkenlik ölçümlerine göre hesaplanan toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama sistemi

Çizelge 7.1'de verildiği üzere 0-10 g/L konsantrasyonlarında hazırlanan toz deterjan çözeltilerinin 20 °C'de iletkenlik değerleri ölçülerek kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 7.2). İletkenlik değerleri ölçülen toz deterjan çözeltilerinin regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon sabiti değeri (R^2) 0.9994 ve standart sapma değeri (σ) ise 0.0945 olarak hesaplanmıştır. Eşitlik (5.1) iletkenlik değerlerini hesaplamak için kullanılmıştır.

Konsantrasyon (g/L) = 0.0024 x İletkenlik (µS) - 2.0422 (5.1)

Çizelge 7.1 Toz deterjan konsantrasyonlarına karşılık elde edilen iletkenlik değerleri

Toz Deterjan Konsantrasyonu (g/L)	**İletkenlik Değeri (20 °C) (µS)**
0.00	826
0.05	840
0.10	860
0.15	882
0.20	904
0.25	914
0.30	933
0.35	967
0.40	989
0.45	1000
0.50	1055
0.60	1081
0.70	1124
0.80	1182
0.90	1192
1.00	1240
2.00	1682
3.00	2117
4.00	2570
6.00	3350
8.00	4100
10.00	4830



Şekil 7.2 Toz deterjan konsantrasyonlarına karşılık elde edilen iletkenlik değerlerine ait kalibrasyon eğrisi

İlk yıkama deneyi için ticari olarak önerilen 100 g toz deterjan kullanılmıştır. Yıkama deneyleri sonunda toplanan atık suyun iletkenlik değeri ölçülmüştür. İletkenlik değeri 2470 µS olan atık suyun Eşitlik (5.2)'e göre 3.88 g/L konsantrasyonunda olduğu hesaplanmıştır. Yıkama deneyi sonunda toplanan atık su 16 L olduğu için depolanacak olan atık su içerisinde 62.17 g toz deterjan olduğu belirlenmiştir. Her yıkama deneyi için önerilen miktar 100 g toz deterjan olduğundan ve bir sonraki yıkama deneyinin ana yıkama giriş suyu olarak kullanılacak su içerisinde 62.17 g toz deterjan bulunduğundan, ikinci yıkamaya 37.83 g toz deterjan eklenmiştir. 1. tekrarlı yıkama için detaylı hesaplamalar, Eşitlik (5.2) - (5.4)'te verilmiştir.

$$\text{Konsantrasyon} = 0.0024 \times 2470 - 2.0422 = 3.8858 \text{ g/L} \quad (5.2)$$

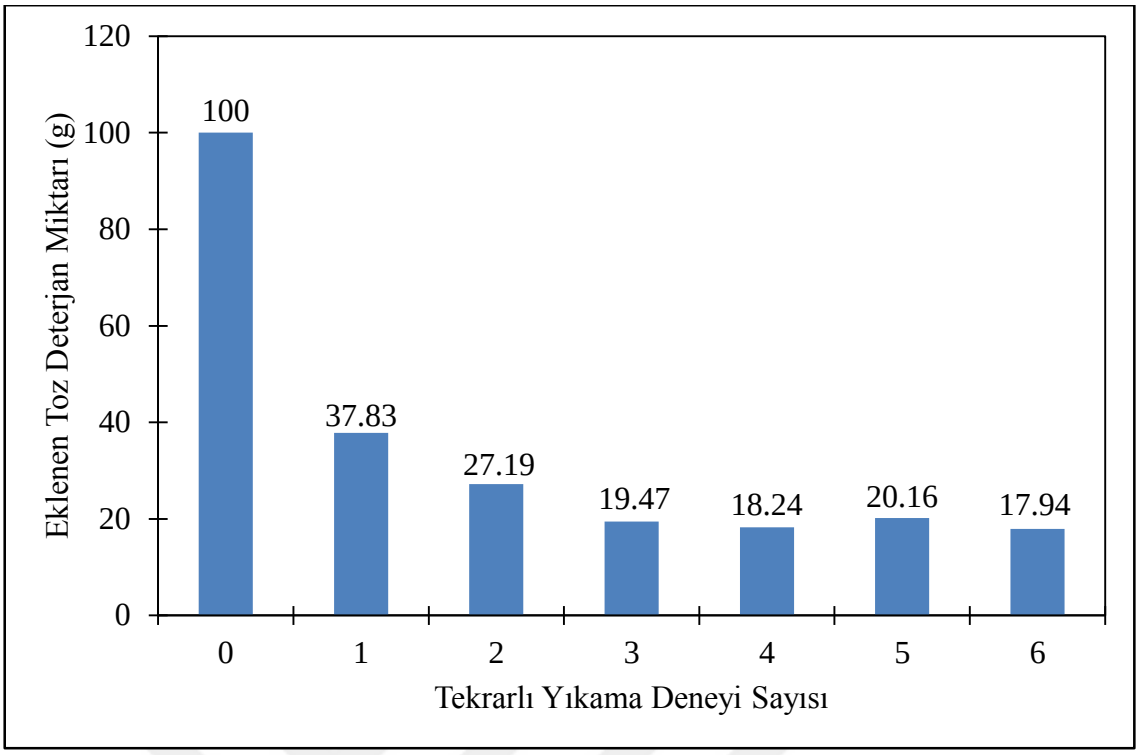
$$3.8858 \text{ g/L} \times 16 \text{ L} = 62.1728 \text{ g} \quad (5.3)$$

$$100 \text{ g} - 62.1728 \text{ g} = 37.8272 \text{ g} \quad (5.4)$$

Ölçülen iletkenlik değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda atık sulardaki toz deterjan konsantrasyonları, 16 L atık su içerisinde bulunan toz deterjan miktarları ve bir sonraki yıkamaya eklenmesi gereken toz deterjan miktarları Çizelge 7.2'de ve Şekil 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.2 Toz deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suların iletkenlik değerleri ve bir sonraki yıkamaya eklenen toz deterjan miktarları

Tekrarlı Yıkama Deneyi Sayısı	**Atık Suyun İletkenlik Değeri (µS)**	**Deterjan Kons. (g/L)**	**16 L'deki Deterjan Miktarı (g)**	**Tekrarlı Yıkamalara Eklenen Toz Deterjan Miktarı (g)**
1	2470	3.88	62.17	37.83
2	2747	4.55	72.81	27.19
3	2948	5.03	80.53	19.47
4	2980	5.11	81.76	18.24
5	2930	4.99	79.84	20.16
6	2988	5.13	82.06	17.94



Şekil 7.3 Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesine eklenen toz deterjan miktarları

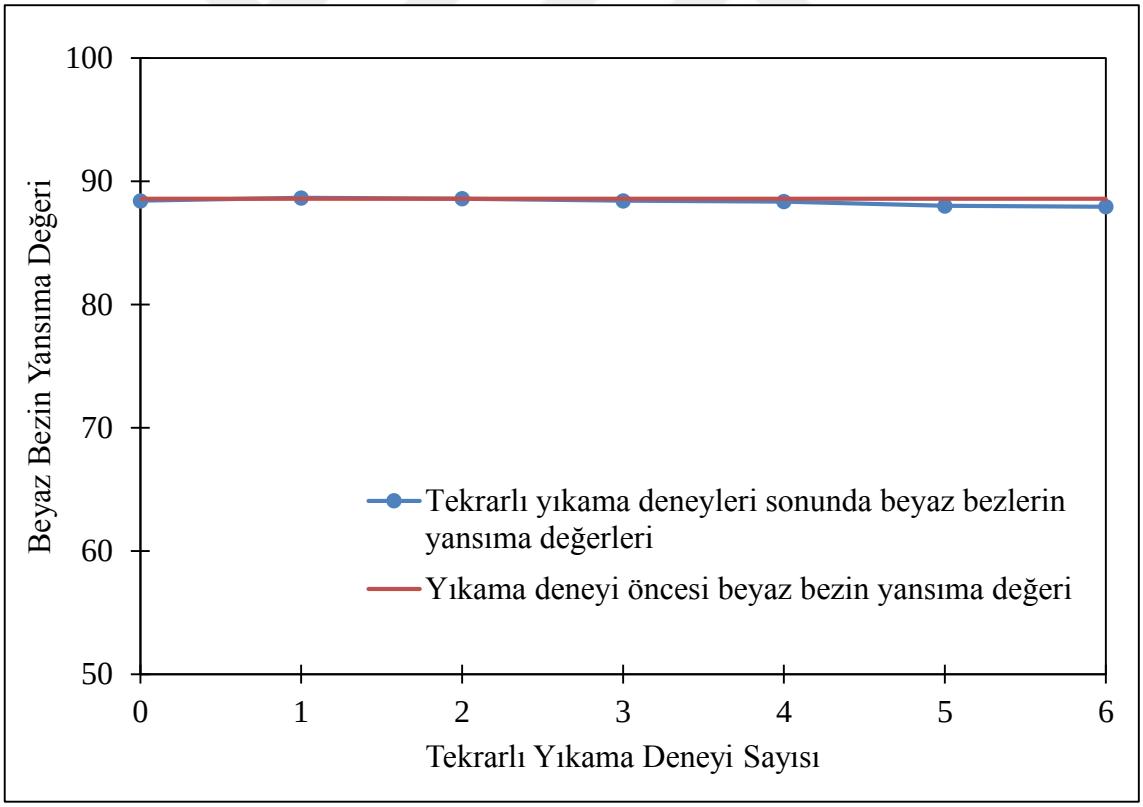
6 tekrarlı yıkama deneyi sonunda yıkama ortamına konularak grileşmesi incelenen beyaz bezlerin yansıma değerleri DataColor-600 cihazında ölçülmüştür. Yıkama deneyi öncesi yansıma değeri 88.59 olan beyaz bezin tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen yansıma değerleri Çizelge 7.3'te, grafiksel olarak Şekil 7.4'te verilmiştir.

Müşteri algısı göz önüne alındığında beyaz bezlerdeki 2 puanlık düşüş, grileşme olarak kabul görmektedir. Toz deterjan ile yapılan 6 tekrarlı yıkama deneyi sonunda elde edilen beyaz bezlerin yansıma değerlerinde böyle bir düşüş görülmemiştir. Bu nedenle 6 tekrarlı yıkamada grileşme olmadığı sonucuna varılmıştır.

Her yıkama için önerilen 100 g toz deterjan miktarının kullanılması durumunda, 700 g toz deterjan harcanması söz konusu olacaktır. Ancak, tekrarlı yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sulardaki toz deterjan miktarlarının tayini için yıkama deneylerinde toplam 240.83 g toz deterjan harcanmıştır. 6 tekrarlı yıkama deneyi sonunda beyaz bezlerde grileşme tespit edilmediğinden %65.60 toz deterjan tasarrufu ve %23.65 su tasarrufu olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 7.3 Yıkama deneyi öncesi ve toz deterjan ile tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen beyaz bezlerin yansıma değerleri

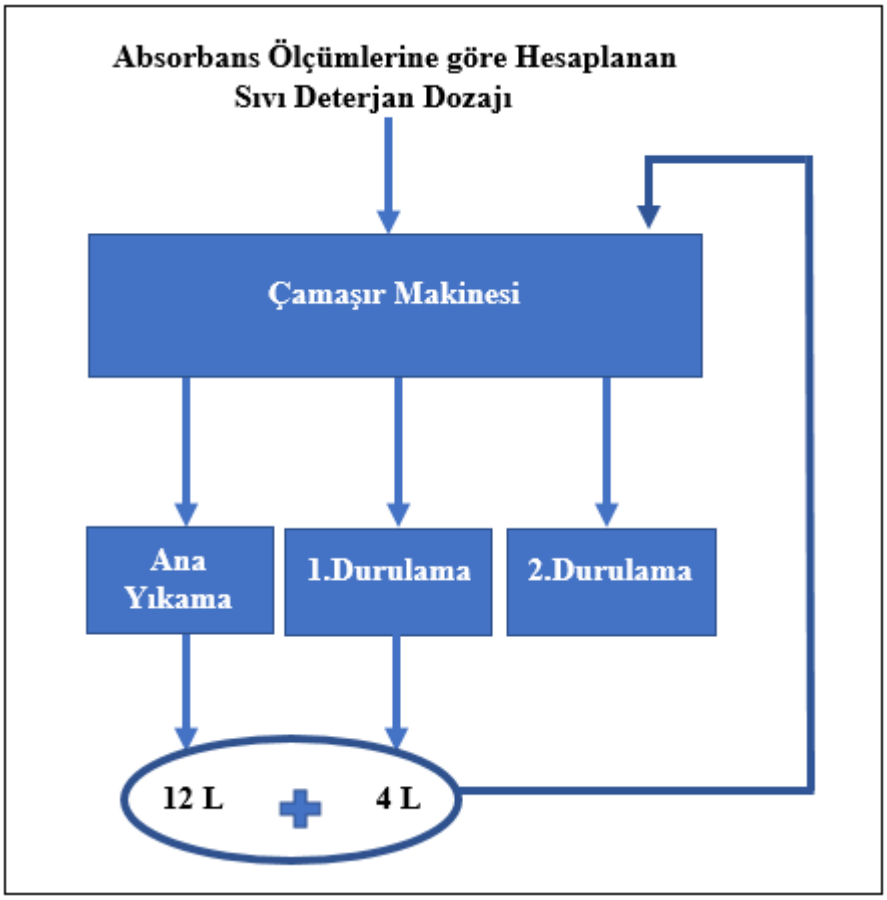
Tekrarlı Yıkama Deneyi Sayısı	**Beyaz Bezlerin Yansıma Değerleri**
Yıkama deneyi öncesi	88.59
0	88.42
1	88.66
2	88.59
3	88.43
4	88.36
5	88.01
6	87.94



Şekil 7.4 Toz deterjan yapılan ile tekrarlı yıkama deneyleri sonunda beyaz bezlerin yansıma değerleri değişimi

7.1.2 Tekrarlı Yıkamalar Sonunda Çamaşır Makinesinden Tahliye Edilen Atık Sulardaki Sıvı Deterjan Miktarının Belirlenmesi

Tekrarlı yıkama deneylerinde çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sulardaki sıvı deterjan miktarlarının tayini UV-Vis Spektrofotometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Lineer alkilbenzen sülfonat (LAS), deterjanların içerisinde bulunan anyonik yüzey aktif maddelerden biridir. LAS, UV-Vis spektrumunda 223 nm'de en yüksek piki vermektedir. Na elementinin karakteristik piki ise 330 nm'dedir. EN60456:2016 Çamaşır Makinesi Standardı'nın 2017 yılında [74] yayınlanan teknik dökümanına göre deterjan tayini için 223 nm ve 330 nm'de elde edilen absorbans değerlerinin farkı alınarak atık suyun içerisindeki deterjan miktarları hesaplanmıştır. Absorbans ölçümlerine göre hesaplanan sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama sistemi Şekil 7.5'te şematik olarak verilmiştir.



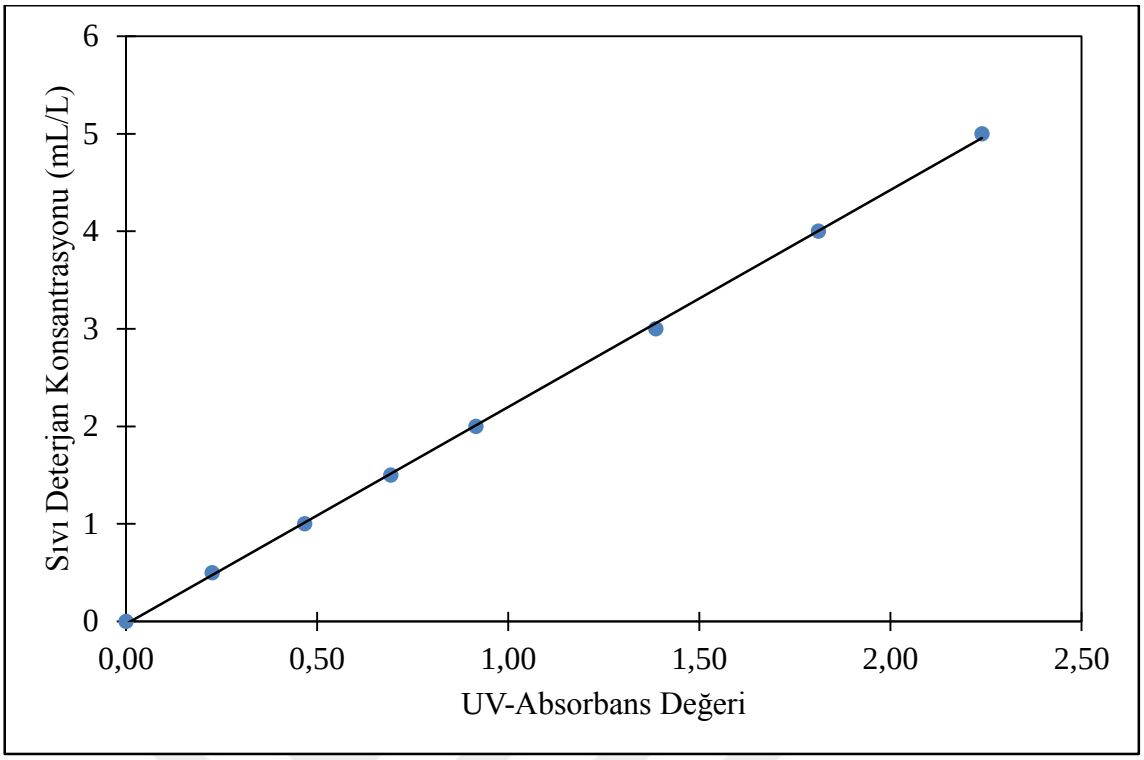
Şekil 7.5 Absorbans ölçümlerine göre hesaplanan sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama sistemi

Çizelge 7.4'te verildiği üzere 0.5-5 mL/L konsantrasyonlarında hazırlanan sıvı deterjan çözeltilerinin UV-Absorbans değerleri 223 nm ve 330 nm'de üç tekrarlı olarak ölçülmüştür. Elde edilen değerlerin farklarının ortalaması alınarak hesaplanan değerlere ait kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 7.6). UV-Absorbans değerleri ölçülen sıvı deterjan çözeltilerinin regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon sabiti değeri (R^2) 0.9998 ve standart sapma değeri (σ) ise 0.0343 olarak hesaplanmıştır. Eşitlik (5.5) absorbans değerlerini hesaplamak için kullanılmıştır.

$$\text{Konsantrasyon (mL/L)} = 2.2236 \times \text{Absorbans} - 0.0259 \quad (5.5)$$

Çizelge 7.4 Sıvı deterjan konsantrasyonlarına karşılık elde edilen UV-Absorbans değerleri

Sıvı deterjan konsantrasyonu (mL/L)	**UV-Absorbans değerleri**			
	223 nm	**330 nm**	**Fark**	**Ortalama**
0.5	0.2378	0.0145	0.2233	0.2255
	0.2405	0.0164	0.2241	
	0.2442	0.0152	0.2290	
1.0	0.5092	0.0379	0.4713	0.4671
	0.4945	0.0335	0.4610	
	0.5082	0.0391	0.4691	
1.5	0.7414	0.0507	0.6907	0.6926
	0.7442	0.0511	0.6931	
	0.7464	0.0524	0.6940	
2.0	0.9867	0.0707	0.9160	0.9157
	0.9848	0.0698	0.9150	
	0.9859	0.0699	0.9160	
3.0	1.4972	0.1143	1.3829	1.3863
	1.5026	0.1153	1.3873	
	1.5037	0.1151	1.3886	
4.0	1.9651	0.1593	1.8058	1.8116
	1.9758	0.1600	1.8158	
	1.9735	0.1602	1.8133	
5.0	2.4495	0.2110	2.2385	2.2397
	2.4496	0.2110	2.2386	
	2.4461	0.2040	2.2421	



Şekil 7.6 Sıvı deterjan konsantrasyonlarına karşılık elde edilen UV-Absorbans değerlerine ait kalibrasyon eğrisi

İlk yıkama deneyi için ticari olarak önerilen 35 mL sıvı deterjan kullanılmıştır. Yıkama deneyleri sonunda toplanan atık suyun UV-Absorbans değerleri ölçülmüştür. Absorbans değeri 0.65 olan atık suyun Eşitlik (5.6)'ya göre 1.42 mL/L konsantrasyonunda olduğu hesaplanmıştır. Yıkama deneyi sonunda toplanan su 16 L olduğu için depolanacak olan atık su içerisinde 22.71 mL sıvı deterjan olduğu belirlenmiştir. Her yıkama deneyi için önerilen miktar 35 mL sıvı deterjan olduğundan ve bir sonraki yıkama deneyinin ana yıkama giriş suyu olarak kullanılacak su içerisinde 22.71 mL sıvı deterjan bulunduğundan, ikinci yıkamaya 12.29 mL sıvı deterjan eklenmiştir. 1. tekrarlı yıkama için detaylı hesaplamalar, Eşitlik (5.6) - (5.8)'de verilmiştir.

$$\text{Konsantrasyon} = 2.2236 \times 0.65 - 0.0259 = 1.4194 \text{ mL/L} \quad (5.6)$$

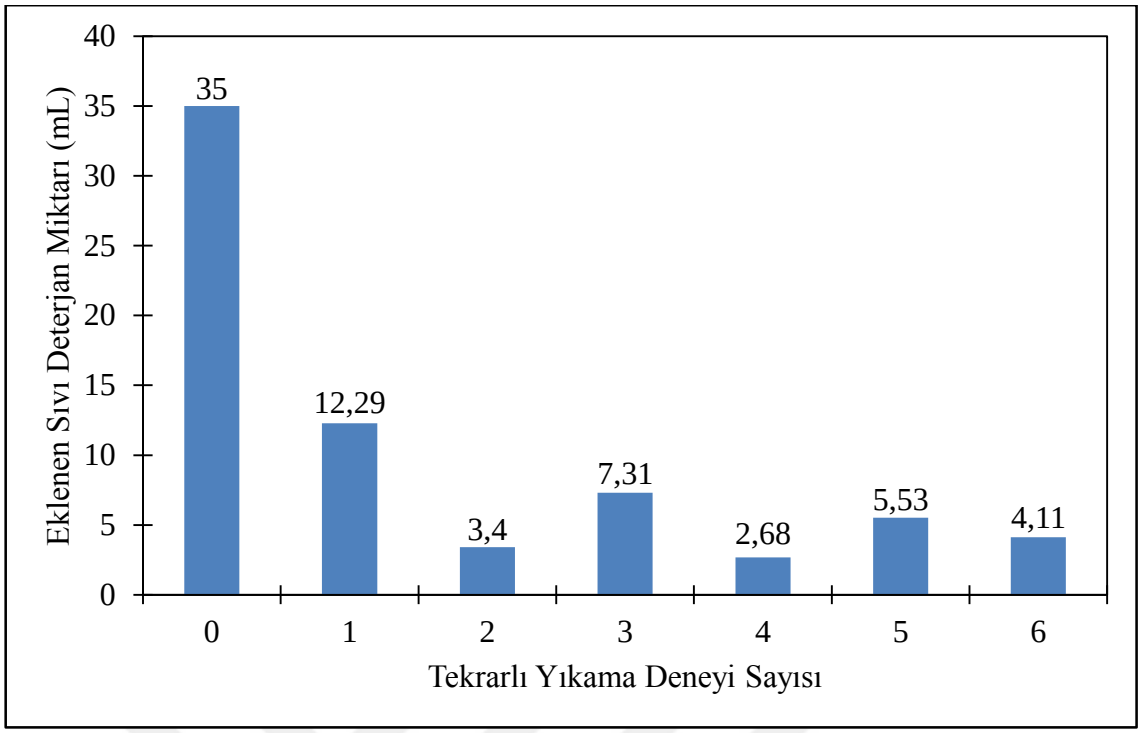
$$1.4194 \text{ mL/L} \times 16 \text{ L} = 22.7110 \text{ mL} \quad (5.7)$$

$$35 \text{ mL} - 22.7110 \text{ mL} = 12.2890 \text{ mL} \quad (5.8)$$

Ölçülen absorbans değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda atık sulardaki sıvı deterjan konsantrasyonları, 16 L atık su içerisinde bulunan sıvı deterjan miktarları ve bir sonraki yıkamaya eklenmesi gereken sıvı deterjan miktarları Çizelge 7.5'de ve Şekil 7.7'de verilmiştir.

Çizelge 7.5 Sıvı deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suların UV-Absorbans değerleri ve bir sonraki yıkamaya eklenen sıvı deterjan miktarları

Tekrarlı Yıkama Deneyi Sayısı	**Atık Suyun Absorbans Değeri**	**Deterjan Kons. (mL/L)**	**16 L'deki Deterjan Miktarı (mL)**	**Tekrarlı Yıkamalara Eklenen Sıvı Deterjan Miktarı (mL)**
1	0.65	1.42	22.71	12.29
2	0.90	1.97	31.60	3.40
3	0.79	1.73	27.69	7.31
4	0.92	2.02	32.32	2.68
5	0.84	1.84	29.47	5.53
6	0.88	1.93	30.89	4.11



Şekil 7.7 Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesine eklenen sıvı deterjan miktarları

6 tekrarlı yıkama deneyi sonunda yıkama ortamına konularak grileşmesi incelenen beyaz bezlerin yansıma değerleri DataColor-600 cihazında ölçülmüştür. Yıkama deneyi öncesi yansıma değeri 88.34 olan beyaz bezin tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen yansıma değerleri Çizelge 7.6'da, grafiksel olarak Şekil 7.8'de verilmiştir.

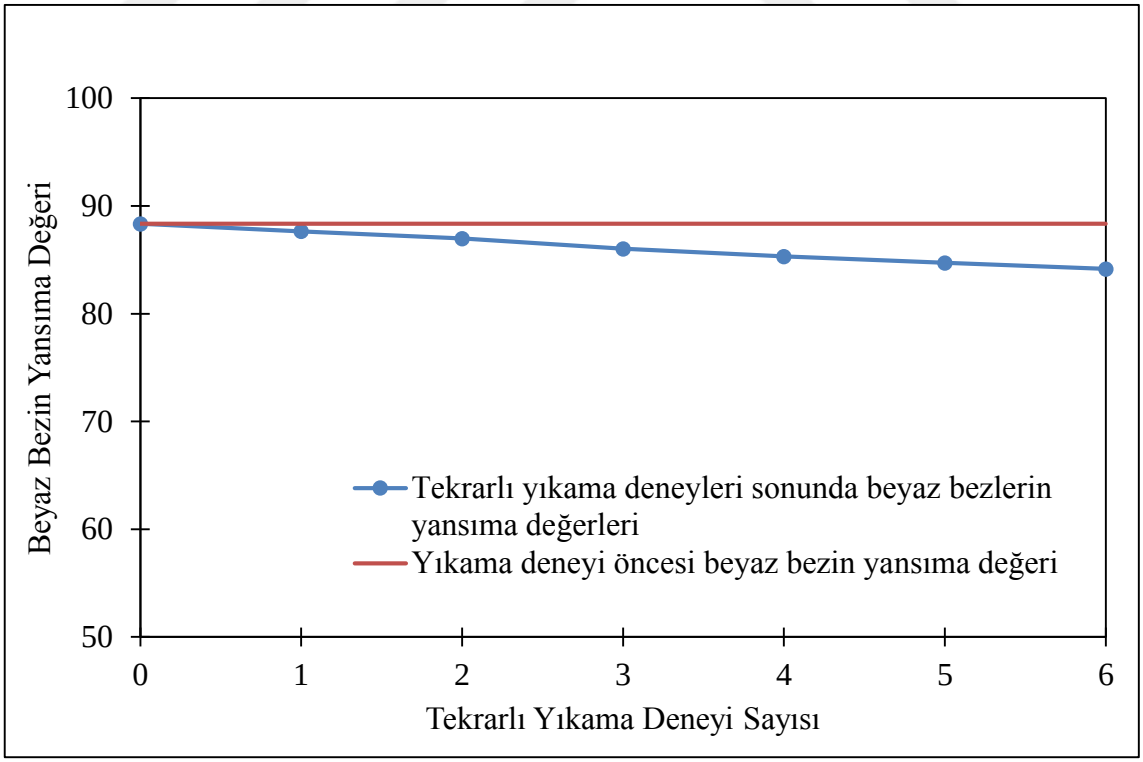
Sıvı deterjan ile yapılan 6 tekrarlı yıkama deneyi sonunda elde edilen beyaz bezlerin yansıma değerlerinde 2 puandan fazla düşüş görülmüştür. Bu nedenle, sıvı deterjan ile tekrarlı yıkamalarda 6 tekrarlı yıkama deneyi yapılamayacağı, 3 tekrarlı yıkama deneyi sonunda tekrarlı yıkamaların bitirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Her yıkama deneyi için önerilen 35 mL sıvı deterjan miktarının kullanılması durumunda 245 mL sıvı deterjan harcanması söz konusu olacaktır. Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sulardaki sıvı deterjan miktarlarının tayini için yıkama deneylerinde toplam 70.32 mL sıvı deterjan harcanmıştır. 6 tekrarlı yıkama deneyi sonunda %71.30 deterjan tasarrufu ve %23.65 su tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir. Ancak 2 puanlık düşüş, grileşme algısı yarattığı için 3. tekrarlı yıkama deneyi sonunda grileşmenin başladığı saptanmıştır. Yapılan 6 tekrarlı yıkama deneyi sonunda çamaşırların oldukça grileştiği belirlenmiştir. Bu nedenle, tekrarlı yıkama

sistemi 3 tekrarlı yıkama deneyi ile sınırlandırıldığında %58.57 sıvı deterjan tasarrufu ve %20.69 su tasarrufu olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 7.6 Yıkama deneyi öncesi ve sıvı deterjan ile tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen beyaz bezlerin yansıma değerleri

Tekrarlı Yıkama Deneyi Sayısı	**Beyaz Bezlerin Yansıma Değerleri**
Yıkama deneyi öncesi	88.34
0	87.64
1	86.98
2	86.02
3	85.31
4	84.71
5	84.16
6	83.68



Şekil 7.8 Sıvı deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda beyaz bezlerin yansıma değerleri değişimi

7.2 Renkli Çamaşırların Tekrarlı Yıkamalarda Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

Renkli çamaşırlar, içerdikleri boyar maddeler nedeniyle yıkama sırasında suya renk salmaktadırlar. Bu çalışma, renkli çamaşırların kaç yıkamaya kadar renk verdiğini ve renkli atık suyun tekrarlı yıkamalarda kullanılıp kullanılamayacağını belirlemek için yapılmıştır. Kullanılan renkli çamaşırlar Şekil 7.9'da sunulmuştur.



Şekil 7.9 Renkli çamaşır ile yapılan yıkama deneylerinde kullanılan çamaşır yükü

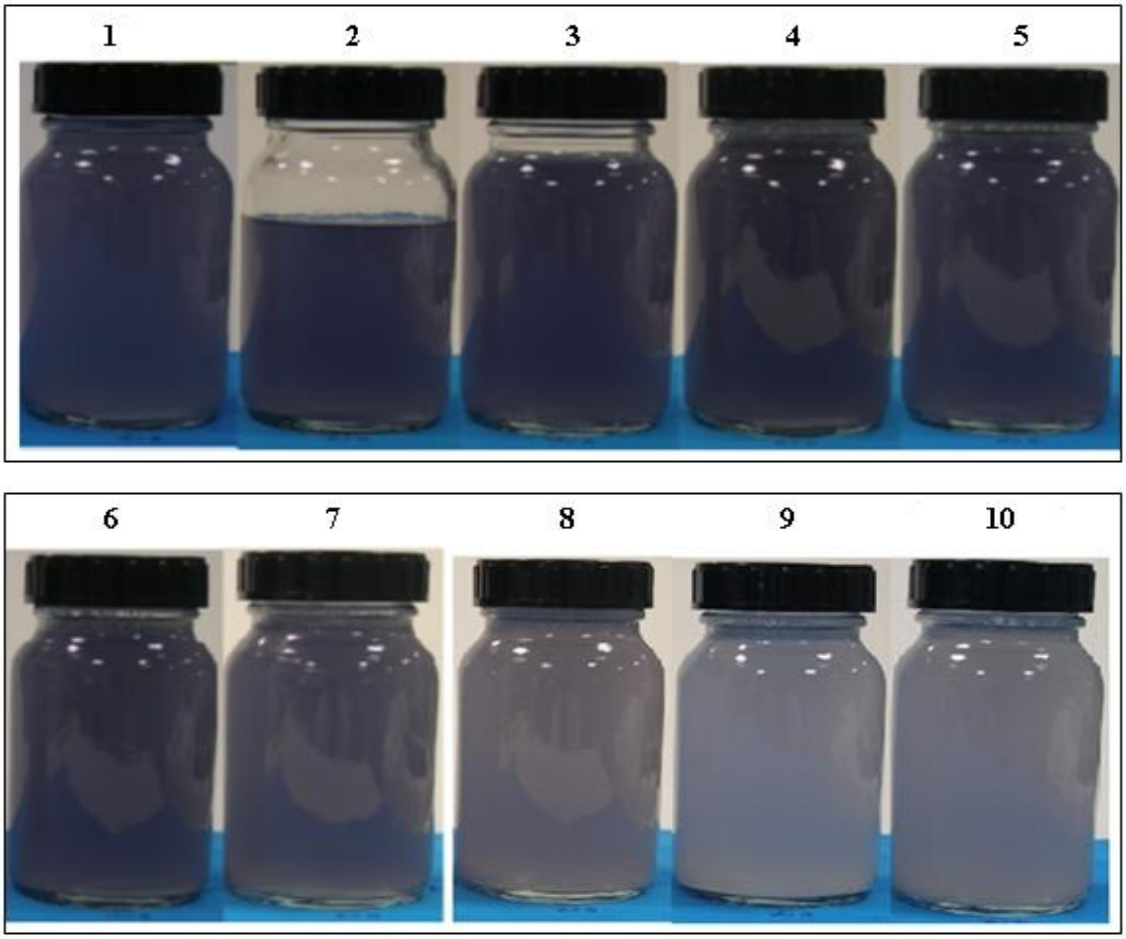
7.2.1 Toz Deterjan ile Yıkanan Renkli Çamaşırların Tekrarlı Yıkamalarda Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

Toz deterjan ile yapılan renkli çamaşır yıkama deneylerinde, her yıkama deneyi için 100 g toz deterjan ve yeni yıkama suyu kullanılmıştır. 5 kg çamaşır yükünün 3 kg'ı renkli çamaşırdan, 2 kg'ı da dolgu yükü olarak adlandırılan beyaz çamaşırdan oluşturulmuştur. Her yıkama deneyi için 22 g kir kullanılmıştır. 90 dakikalık yıkama deneylerinin ilk 7 yıkaması 60 °C'de yapılırken, 8. yıkama deneyi 40 °C'de, 9 ve 10. yıkama deneyleri ise 30 °C'de gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın düşürülmesinin nedeni, toz deterjan içerisindeki ağartıcı bileşenlerin sıcaklık ile beraber etkinliklerinin artmasıdır. Sıcaklık düşürüldüğünde suya geçen renk daha az olmaktadır. Renkli çamaşırler ile yapılan yıkama deneylerinde renk sensörü ile yapılan ölçümler, Bölüm 6.3'te verilen Şekil 6.8'deki renk ölçüm sistemi kullanılark yapılmıştır. Elde edilen renk ölçümleri, referans değer olarak adlandırılan 5 kg beyaz çamaşırdan oluşan yükün aynı miktarda kir, deterjan ve aynı sıcaklık koşullarında yıkanarak çamaşır makinesinden tahliye edilen atık su ile

karşılaştırılmıştır. Referans atık suyun görseli Şekil 7.10'da, renkli atık suların görselleri ise Şekil 7.11'de verilmiştir.



Şekil 7.10 Renk ölçümlerinde kullanılan toz deterjan referans atık su



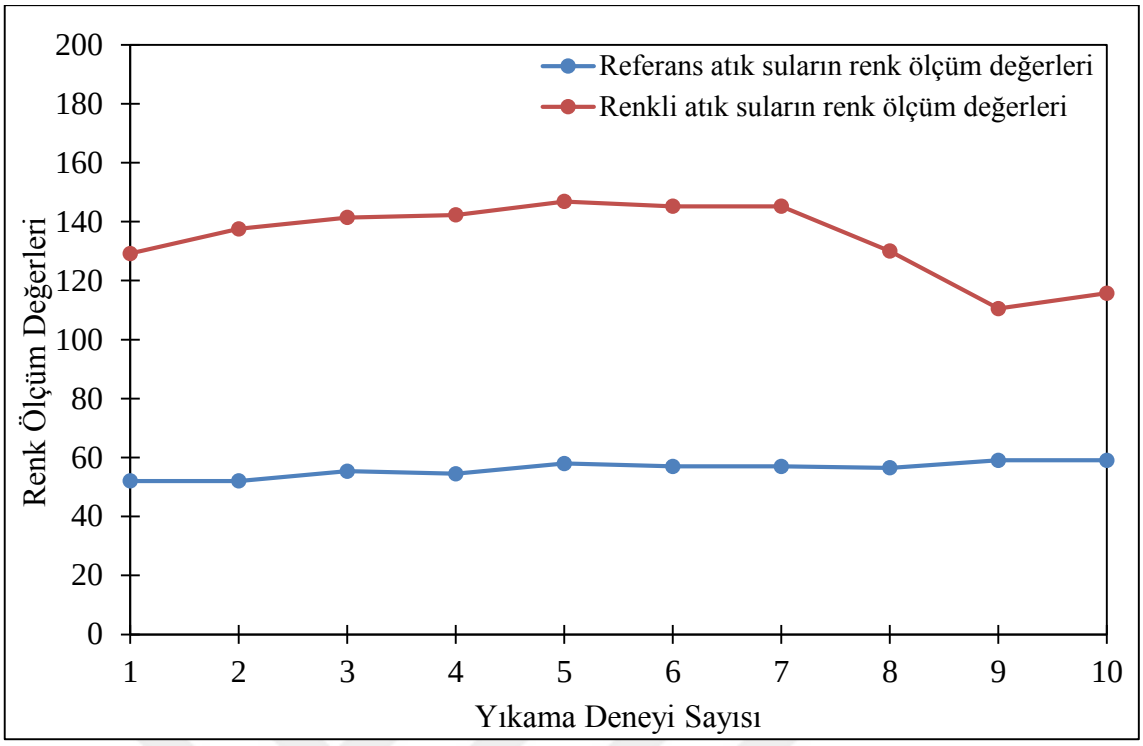
Şekil 7.11 Renkli çamaşırların toz deterjan ile yıkanması sonucunda çamaşır makinesinden tahliye edilen renkli atık sular

Hazırlanan renk ölçüm sisteminde R-G-B kanalları ile renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Referans ve renkli atık suyun değerleri Çizelge 7.7'de ve grafiksel olarak Şekil 7.12'de verilmiştir. Her yıkama deneyi sonunda renkli atık su değerleri, referans değerler ile karşılaştırıldığında aralarında fark olduğu tespit edilmiştir. Renkli çamaşır yükünün 10 yıkama sonunda da yoğun renk verdiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak, toz deterjan ile yapılan renkli çamaşır yıkama deneylerinde, toz deterjan içerisindeki ağartıcılar, çamaşırın renginin suya geçişini arttırmaktadır. Bu nedenle, çamaşırların sonraki yıkamalar sonunda da renk vereceği tespit edilmiştir.

Çizelge 7.7 Toz deterjan ile yıkanan renkli çamaşırların çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sularının referans değere göre elde edilen renk ölçüm değerleri

Yıkama deneyi sayısı	**Referans atık suyun renk ölçüm değerleri**				**Renkli atık suyun renk ölçüm değerleri**			
	R	**G**	**B**	**Ort.**	**R**	**G**	**B**	**Ort.**
1	29.87	27.67	32.40	52.03	81.60	71.47	70.20	129.21
2	29.87	27.67	32.40	52.03	87.67	75.93	73.93	137.54
3	32.40	29.34	33.94	55.33	90.80	77.73	75.60	141.43
4	31.27	28.47	34.40	54.51	90.68	77.73	77.32	142.28
5	33.60	30.74	35.87	57.96	93.47	80.67	79.53	146.86
6	32.67	29.94	35.80	56.96	92.53	79.40	78.87	145.21
7	32.67	29.94	35.80	56.96	92.47	79.27	79.07	145.21
8	32.27	29.67	35.67	56.51	80.80	71.40	72.60	129.99
9	33.80	31.47	36.80	59.05	68.33	60.67	62.20	110.54
10	33.80	31.47	36.80	59.05	70.80	64.00	65.47	115.73



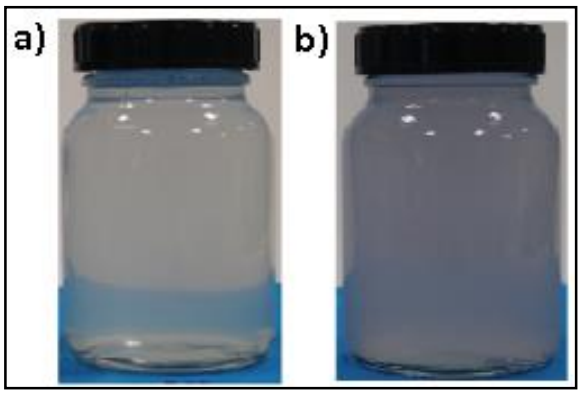
Şekil 7.12 Toz deterjan ile yapılan yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen referans ve renkli atık suların renk ölçüm değerleri

7.2.2 Sıvı Deterjan ile Yıkanan Renkli Çamaşırların Tekrarlı Yıkamalarda Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

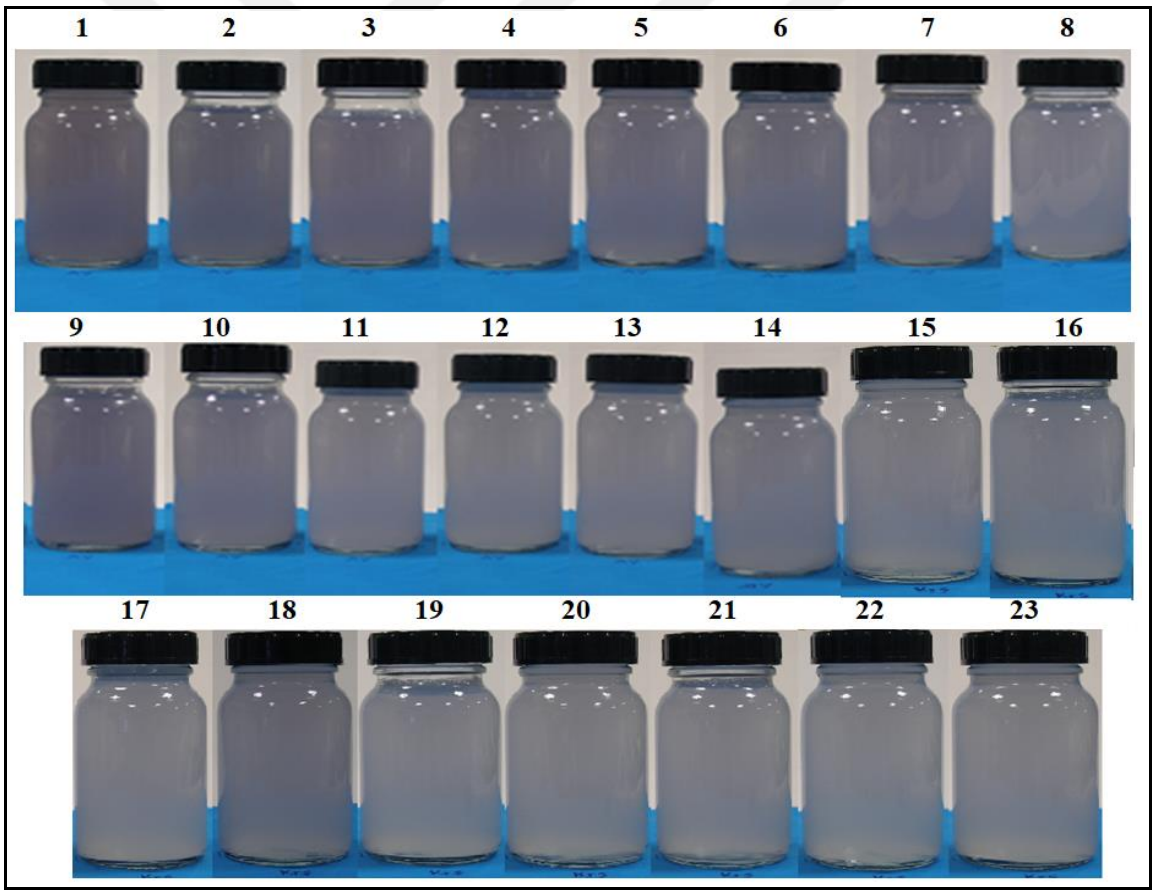
Sıvı deterjan ile yapılan renkli çamaşır yıkama deneylerinde, her yıkama deneyi için 35 mL sıvı deterjan ve yeni yıkama suyu kullanılmıştır. 5 kg çamaşır yükünün 3 kg'ı renkli çamaşırdan 2 kg'ı da dolgu yükü olarak adlandırılan beyaz çamaşırdan oluşturulmuştur. Her yıkama deneyi için 22 g kir kullanılmıştır. Toz deterjan ile karşılaştırılabilmesi için 90 dakikalık yıkama deneylerinin ilk 7 yıkaması 60 °C'de yapılırken; 8. yıkama deneyi 40 °C'de, sonraki yıkama deneyleri ise 30 °C'de gerçekleştirilmiştir.

Renkli çamaşır ile yapılan yıkama deneylerinde renk sensörü ile ölçümler, Bölüm 6.3'te verilen Şekil 6.8'deki renk ölçüm sistemi ile yapılmıştır. Elde edilen renk ölçümleri, referans değer olarak adlandırılan 5 kg beyaz çamaşırdan oluşan yükün aynı miktarda kir, deterjan ve aynı sıcaklık koşullarında yıkanarak çamaşır makinesinden tahliye edilen atık su ile karşılaştırılmıştır. Referans atık suların görseli Şekil 7.13'te, renkli atık suların görselleri ise Şekil 7.14'te verilmiştir. İçerisinde ağartıcı bulunmayan sıvı deterjan ile yapılan renkli çamaşır yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sular, toz deterjan ile yapılan yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suların rengi kadar yoğun bir renge sahip olmadığı tespit edilmiştir

(Şekil 7.14). Bu nedenle, 23 yıkamaya kadar sürdürülen yıkama deneylerinde bir miktar renk salınımının olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7.13 a) Renk ölçümlerinde kullanılan sıvı deterjan referans atık suyu, b) Renkli çamaşırlara özel olarak kullanılan sıvı deterjan referans atık suyu



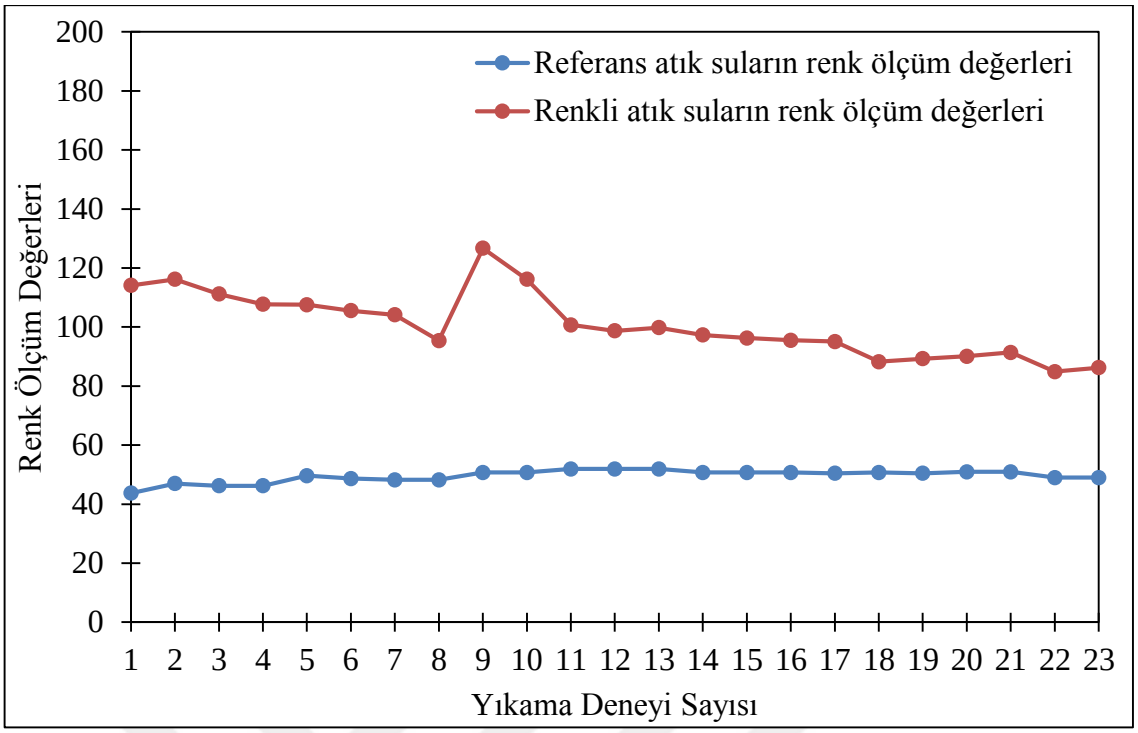
Şekil 7.14 Renkli çamaşırların sıvı deterjan ile yıkanması sonucu çamaşır makinesinden tahliye edilen renkli atık sular

Hazırlanan renk ölçüm sisteminde R-G-B kanalları ile renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Referans ve renkli atık suların değerleri Çizelge 7.8'de ve grafiksel olarak Şekil 7.15'te verilmiştir. 23 yıkamaya kadar sürdürülen yıkama deneylerinde, 8. yıkama deneyinin ardından sıcaklık değişmesinin etkisiyle 9. yıkama deneyinde renk salınımının olduğu tespit edilmiştir. Sonraki yıkama deneylerinde, 60 ^{o}C'de yapılan yıkamalara göre 30 ^{o}C'deki yıkamalar sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suların renginin azaldığı belirlenmiştir. 18. yıkama deneyinde, renkli çamaşırlara özel kullanılan sıvı deterjan ile yıkama gerçekleştirilmiştir. 18. yıkama deneyinin sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun renk değerinin diğer yıkamaların renk değerlerine benzer olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, sıvı deterjan ile yapılan yıkama deneylerinin sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suların renk yoğunluğu, toz deterjan ile yapılan yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sulardan daha az olsa da sıvı deterjan ile yapılan yıkama deneylerinin sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sularda renk maddelerinin bulunduğu saptanmıştır. Bu nedenle, sıvı deterjan ile yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen renkli atık suların beyaz bezdeki renk değişimini inceleyebilmek için yapılan yıkamalarda tergotometre cihazı kullanılmıştır.

Çizelge 7.8 Sıvı deterjan ile yıkanan renkli çamaşırların çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sularının referans değere göre elde edilen renk ölçüm değerleri

Yıkama deneyi sayısı	Referans atık suyun renk ölçüm değerleri				Renkli atık suyun renk ölçüm değerleri			
	R	G	B	Ort.	R	G	B	Ort.
1	24.27	23.20	28.00	43.72	70.80	63.60	62.93	114.10
2	26.80	24.87	29.53	46.99	72.33	64.47	64.07	116.16
3	25.67	24.00	30.00	46.20	68.40	61.37	62.53	111.15
4	25.67	24.00	30.00	46.20	65.93	59.33	61.13	107.73
5	28.00	26.27	31.47	49.64	65.87	59.53	60.67	107.53
6	27.07	25.47	31.40	48.65	64.20	58.13	60.33	105.55
7	26.67	25.20	31.27	48.20	63.27	57.33	59.60	104.12
8	26.67	25.20	31.27	48.20	57.07	52.40	55.67	95.39
9	28.20	27.00	32.40	50.73	77.27	70.20	71.73	126.66
10	28.20	27.00	32.40	50.73	70.73	64.27	66.00	116.14
11	28.80	27.73	33.13	51.93	60.00	55.87	58.53	100.73
12	28.80	27.73	33.13	51.93	58.47	54.73	57.73	98.73
13	28.80	27.73	33.13	51.93	59.60	55.07	58.07	99.78
14	28.00	26.93	32.60	50.71	57.60	53.60	57.20	97.27
15	28.00	26.93	32.60	50.72	57.20	53.00	56.47	96.28
16	28.00	26.93	32.60	50.72	57.13	52.47	55.73	95.51
17	27.93	26.87	32.33	50.47	56.40	52.20	56.00	95.09
18	27.33	27.47	32.73	50.72	51.47	48.87	52.40	88.22
19	27.93	26.87	32.33	50.47	52.53	49.40	52.67	89.29
20	28.27	27.13	32.53	50.93	52.93	49.93	53.13	90.10
21	28.27	27.13	32.53	50.93	54.07	50.53	53.60	91.38
22	26.93	26.07	31.53	48.98	49.47	46.93	50.53	84.87
23	26.93	26.07	31.53	48.98	50.40	47.53	51.33	86.22



Şekil 7.15 Sıvı deterjan ile yapılan yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen referans ve renkli atık suların renk ölçüm değerleri

7.2.3 Sıvı Deterjan ile Yapılan Yıkama Deneyleri Sonunda Çamaşır Makinesinden Tahliye Edilen Atık Suların Beyaz Bezdeki Renk Değişimlerinin İncelenmesi

Çamaşır makinesi ile yapılan yıkama deneylerinin küçük ölçekli simülasyonu tergotometre cihazı ile yapılmaktadır. Beyaz bezdeki renk değişiminin incelenmesi için 16 litrelik yıkama suyu hacmine sahip ana yıkama adımının simülasyonu tergotometre cihazında gerçekleştirilmiştir. Yıkama deneyi için çamaşır makinesinden tahliye edilen 1 litre renkli atık su (sıvı deterjan ile yıkanmış çamaşır yükünün 15. yıkama deneyi sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık su) kullanılmış, 60 dakika süre ile 30 °C sıcaklıkta, ana yıkama programında uygulandığı gibi 52 rpm hızında mekanik hareketi sağlanmıştır. Tergotometre cihazında, toz deterjan kullanılarak yapılan yıkama deneyinde 5 g toz deterjan ile 3 yıkama, sıvı deterjan kullanılarak yapılan yıkama deneyinde ise 2 mL sıvı deterjan ile 3 yıkama aynı anda gerçekleştirilmiştir. Tergotometre cihazındaki yıkama deneyleri sonunda, beyaz bezlerin DataColor-600 cihazında yansıma değerleri ve CMC değerleri ölçülmüştür.

CMC değeri tekstil numunelerinin gözle görülemeyecek kadar küçük renk farklılıklarının analizinde kullanılan bir değerdir. CMC değeri analizi ile tekstil numunesi için "testte geçti/kaldı kararı" verilmektedir. CMC değerinin 1'den büyük olması durumunda ise

“test başarısız olmuştur ve bez boyanmıştır” sonucuna ulaşılır. Buna göre, Çizelge 7.9’da tergotometre cihazında yapılan yıkama deneyleri öncesi ve sonrası DataColor-600 cihazı ile ölçülen beyaz bezlerin yansıma değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.9 Tergotometre cihazında yapılan yıkama deneyleri öncesi ve sonrası DataColor-600 cihazı ile ölçülen beyaz bezlerin yansıma değerleri

Tergotometre Cihazında Yıkama Aşaması	**Beyaz Bezlerin Yansıma Değerleri**	
	Toz deterjan için	**Sıvı deterjan için**
Yıkama deneyi öncesi	77.02	78.05
Yıkama deneyi sonrası	76.59	76.06

Çizelge 7.10’da ise tergotometre cihazında yapılan yıkama deneyleri öncesi ve sonrası DataColor-600 cihazı ile ölçülen beyaz bezlerin CMC değerleri verilmiştir. 3 adet beyaz bezin CMC değerleri hem toz hem de sıvı deterjan için 1’den büyük olduğu tespit edilmiştir. Her iki deterjan formu ile yıkanan beyaz bezlerin, çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sular ile boyandıkları saptanmıştır.

Çizelge 7.10 Tergotometre cihazında yapılan yıkama deneyleri öncesi ve sonrası DataColor-600 cihazı ile ölçülen beyaz bezlerin CMC değerleri

Tergotometre Cihazında Yıkama Aşaması	**Beyaz Bezlerin CMC Değerleri**	
	Toz deterjan için	**Sıvı deterjan için**
1. Beyaz bez	1.17	1.42
2. Beyaz bez	1.14	1.43
3. Beyaz bez	1.12	1.49

7.3 Tekrarlı Yıkama Deneyleri Sonunda Deterjan Bileşenlerinin Aktivitelerinin İncelenmesi

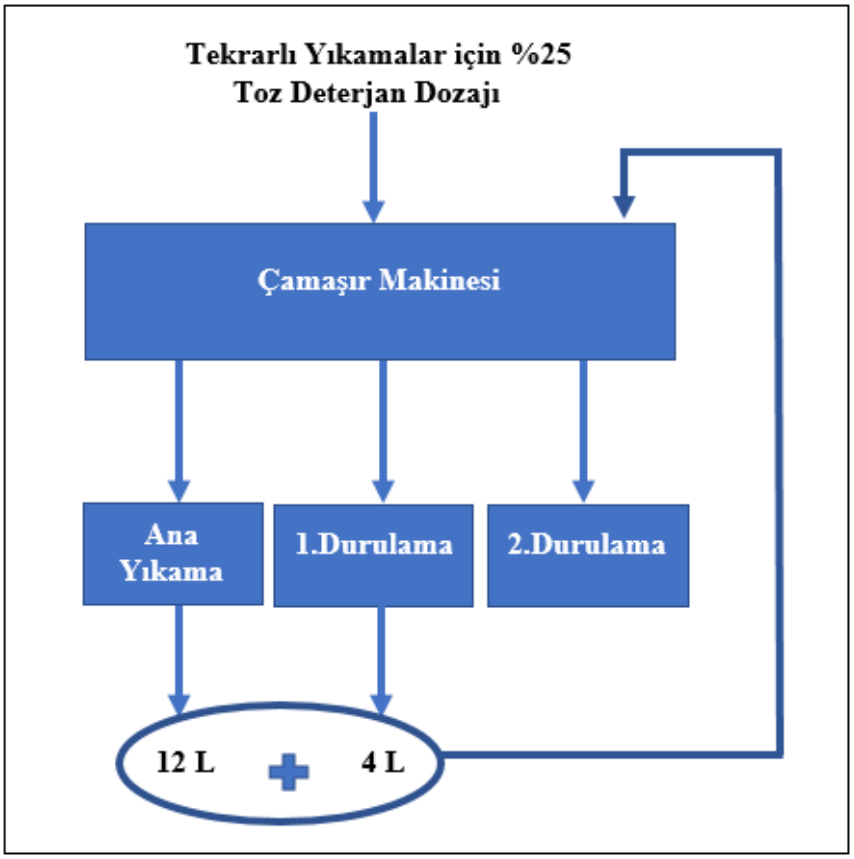
Tekrarlı yıkamalar sonunda deterjan bileşenlerinin aktivitelerinin incelenmesi için yıkama deneylerinde aşağıda sıralanan kir ve lekeler seçilmiştir:

- Sebum Kiri
- Çay Lekesi
- Spagetti Sosu Lekesi
- Domates Lekesi
- Salata Sosu Lekesi

Yukarıda sıralan kir ve lekelerin yansıma değerleri ölçülerek, deterjan içerisinde bulunan yüzey aktif maddeler, ağartıcılar, enzimler gibi bileşenlerin aktiviteleri tekrarlı yıkama sisteminde incelenmiştir. Toplam kir ve lekelerin %70'i vücut kiri yani sebum içerdiğinden; her yıkama deneyinde, her biri 4 g'lık 4 adet sebum kiri ve her biri 0.5 g olan 4 farklı lekeden 3'er adet olacak şekilde 5 kg çamaşır yüküne tutturulmuştur. Tekrarlı yıkama deneylerinin ilk yıkamasında (0. yıkamada) önerilen miktar kadar toz veya sıvı deterjan, sonraki yıkamalarda önerilen miktarın %25'i kadar toz veya sıvı deterjan çamaşır makinesine eklenmiştir. Her yıkama deneyi sonunda kir ve lekelerin, DataColor-600 cihazında yansıma değerleri ölçülerek deterjan bileşenlerinin aktiviteleri incelenmiştir.

7.3.1 Tekrarlı Yıkama Deneyleri Sonunda Toz Deterjan Bileşenlerinin Aktivitelerinin İncelenmesi

Toz deterjan ile yapılan tekrarlı yıkamalar sonunda toz deterjanın içeriğinde bulunan bileşenlerin aktiviteleri incelenmiştir. Tekrarlı yıkama deneylerinin ilk yıkamasında (0. yıkamada) önerilen miktar kadar (100 g) toz deterjan, sonraki yıkamalarda önerilen miktarın %25'i kadar (25 g) toz deterjan çamaşır makinesine eklenmiştir. Toz deterjan dozajı ile yapılan tekrarlı yıkama sistemi Şekil 7.16'da şematik olarak verilmiştir. Toz deterjan ile yapılan tekrarlı yıkamalar sonunda ölçülen sebum kiri, çay, spagetti sosu, domates, salata sosu lekelerinin yansıma değerleri Çizelge 7.11'de verilmiştir.



Şekil 7.16 Toz deterjan dozajı ile yapılan tekrarlı yıkama sistemi

Çizelge 7.11 Toz deterjan ile yapılan tekrarlı yıkamalar sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri

Kir ve Lekeler	**Yansıma Değerleri**				
	İlk Yıkama	**1. Tekrarlı Yıkama**	**2. Tekrarlı Yıkama**	**3. Tekrarlı Yıkama**	**4. Tekrarlı Yıkama**
Sebum	64.50	64.27	63.11	63.70	63.17
Çay	68.25	65.50	61.25	60.41	59.94
Spagetti Sosu	88.02	87.58	87.05	86.92	86.69
Domates	79.70	79.09	78.00	78.05	76.96
Salata Sosu	66.37	65.09	64.73	64.19	64.30

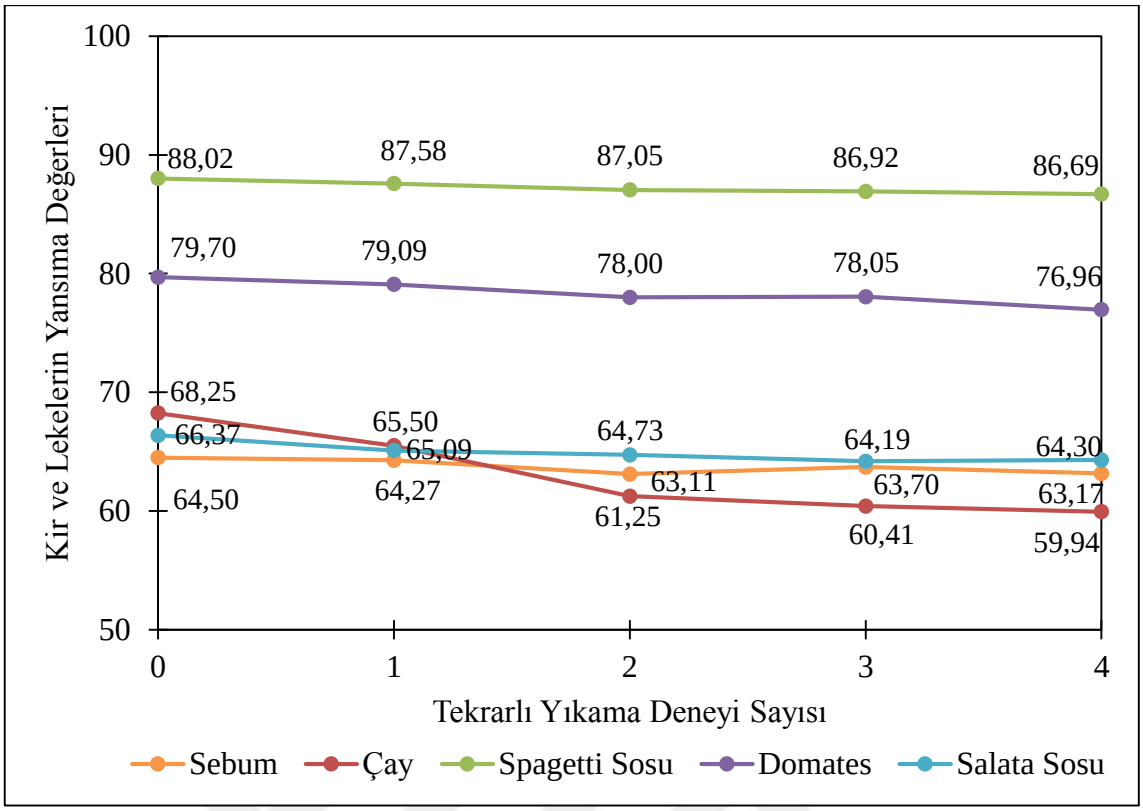
Sebum Kiri: Yağ bazlı kir olan sebum kiri ile toz deterjandaki yüzey aktif maddelerin aktiviteleri incelenmiştir. Şekil 7.17 incelendiğinde sebum kirinin yansıma değerlerinin sabit kaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni, yüzey aktif maddelerin deterjanlarda kritik misel konsantrasyon değerlerinden daha fazla miktarlarda bulunmasıdır. Bu nedenle, yüzey aktif maddeler tekrarlı yıkamalarda aktivitelerini kaybetmeden kullanılabilmektedirler.

Çay Lekesi: Tekrarlı yıkamalar sonunda çay lekesinin yansıma değerleri ölçülmüştür. Şekil 7.17'de verildiği üzere 2. tekrarlı yıkamanın sonunda çay lekesinin yansıma değerinde büyük bir düşüş tespit edilmiştir. Çay lekesinin yansıma değerindeki bu düşüş, ağartıcı etkinliğinin incelendiği çay lekesinin istenilen düzeyde yıkanmadığı ve ağartıcıların beyazlatma etkisinin giderek düştüğünü göstermektedir.

Spagetti Sosu Lekesi: Spagetti sosu lekesinde hem ağartıcıların hem de enzimlerin etkisi incelenmiştir. Çay lekesinin aksine spagetti sosu lekesinin yansıma değerinde büyük bir düşüş saptanmamıştır. Bunun nedeni, toz deterjan içerisindeki enzim bileşenlerinin aktivitesidir.

Domates Lekesi: Ağartıcı etkinin incelendiği bir diğer leke domates lekesidir. Spagetti sosu lekesinde olduğu gibi, domates lekesinin yansıma değerinde de sert bir düşüş saptanmamasının sebebi enzim bileşenlerinin aktivitesidir.

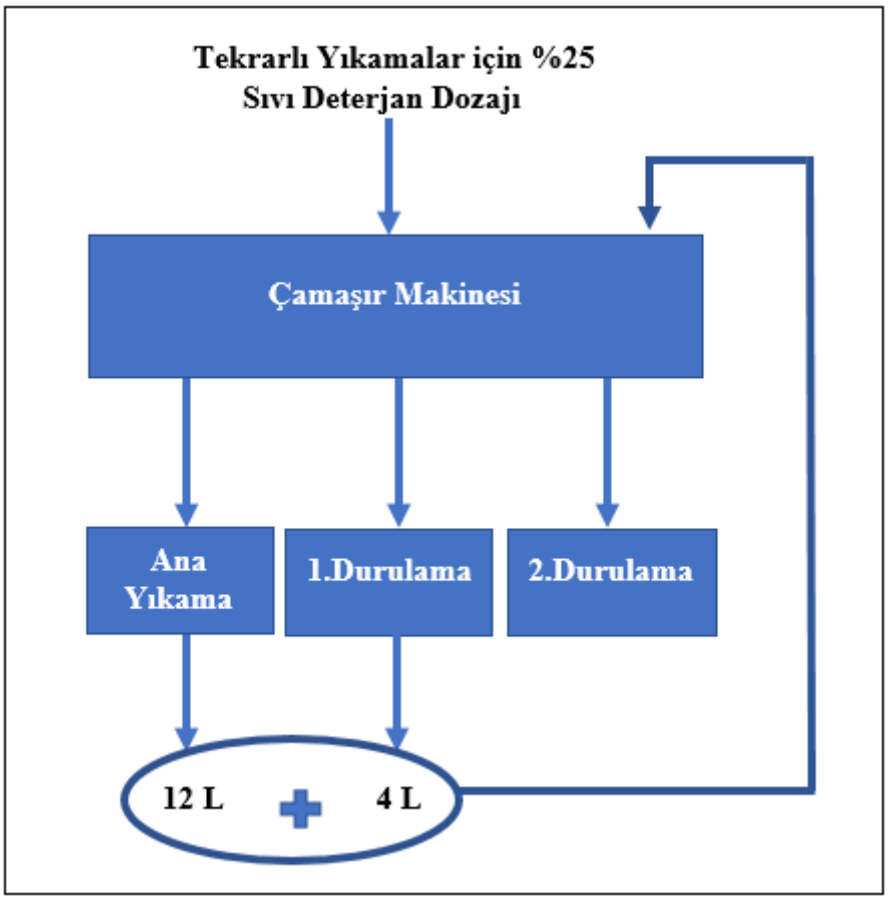
Salata Sosu Lekesi: Salata sosu lekesi ile toz deterjan içerisindeki enzimlerin aktivitesi incelenmiştir. Şekil 7.17 incelendiğinde salata sosu lekesinin yansıma değerlerinde bir düşüş saptanmamıştır. Aynı seviyelerde kalan salata sosu yansıma değerleri neticesinde toz deterjandaki enzimlerin tekrarlı yıkamalar boyunca aktivitelerini koruduğu ve çamaşırları temizleyebildiği tespit edilmiştir.



Şekil 7.17 Toz deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri

7.3.2 Tekrarlı Yıkama Deneyleri Sonunda Sıvı Deterjan Bileşenlerinin Aktivitelerinin İncelenmesi

Sıvı deterjan ile yapılan tekrarlı yıkamalar sonunda sıvı deterjanın içeriğinde bulunan bileşenlerin aktiviteleri incelenmiştir. Tekrarlı yıkama deneylerinin ilk yıkamasında (0. yıkamada) önerilen miktar kadar (35 mL) sıvı deterjan, sonraki yıkamalarda önerilen miktarın %25'i kadar (8.75 mL) sıvı deterjan çamaşır makinesine eklenmiştir. Sıvı deterjan dozajı ile yapılan tekrarlı yıkama sistemi Şekil 7.18'de şematik olarak verilmiştir. Sıvı deterjan ile yapılan tekrarlı yıkamalar sonunda ölçülen sebum kiri, çay, spagetti sosu, domates, salata sosu lekelerinin yansıma değerleri Çizelge 7.12'de verilmiştir.



Şekil 7.18 Sıvı deterjan dozajı ile yapılan tekrarlı yıkama sistemi

Çizelge 7.12 Sıvı deterjan ile yapılan tekrarlı yıkamalar sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri

Kir ve Lekeler	Yansıma Değerleri				
	İlk Yıkama	1. Tekrarlı Yıkama	2. Tekrarlı Yıkama	3. Tekrarlı Yıkama	4. Tekrarlı Yıkama
Sebum	62.28	61.27	60.45	61.94	61.68
Çay	51.41	51.17	51.33	51.41	51.12
Spagetti Sosu	87.05	86.64	86.28	86.08	85.81
Domates	73.20	73.08	72.16	71.88	71.52
Salata Sosu	61.15	59.95	57.96	54.59	54.90

Sebum Kiri: Tekrarlı yıkamalar sonunda yüzey aktif maddelerin aktivitesinin incelendiği sebum kirinin yansıma değerlerinde bir düşüş saptanmamıştır. (Şekil 7.19). Toz deterjanlarda olduğu gibi sıvı deterjanlar içerisinde de yüzey aktif maddelerin fazla miktarda bulunması, tekrarlı yıkamalarda yüzey aktif maddelerin tekrarlı kullanımını sağlamıştır.

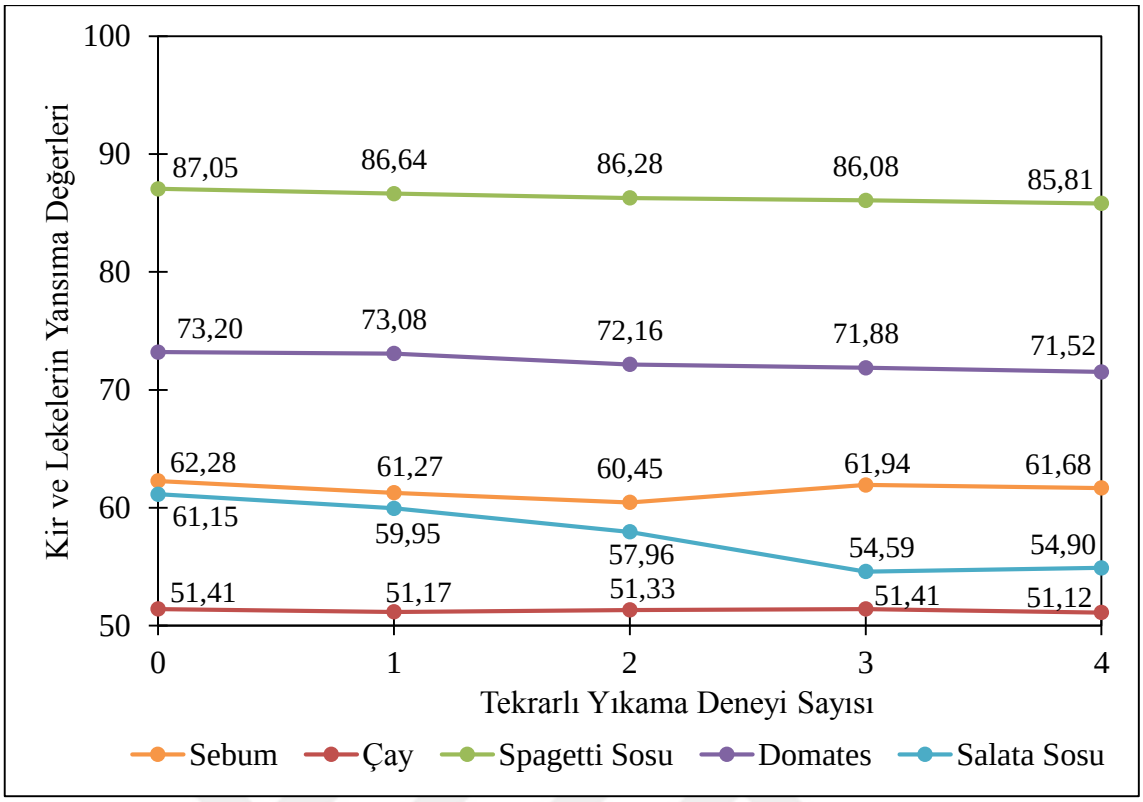
Çay Lekesi: Sıvı deterjan ile gerçekleştirilen tekrarlı yıkama deneylerinde toz deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneylerinin aksine çay lekesinin yansıma değerinde herhangi bir düşüş tespit edilmemiştir (Şekil 7.19). Bunun nedeni, sıvı deterjanların ağartıcı madde içermemesidir. Ayrıca toz deterjanın yansıma değerlerine göre sıvı deterjan yansıma değerlerinin daha düşük olması da bunu desteklemektedir.

Spagetti Sosu Lekesi: Ağartıcı ve enzim etkisinin incelendiği spagetti sosu lekesinde ağartıcı bileşen bulunmaması ve bu nedenle temizlemeye etki etmemesi sebebiyle yansıma değerlerinde büyük bir düşüş saptanmamıştır.

Domates Lekesi: Ağartıcı ve enzim etkisinin incelendiği diğer bir leke olan domates lekesinde de spagetti sosu lekesinde olduğu gibi yansıma değerlerinde düşüş tespit edilmemiştir. Bunun sebebi sıvı deterjanlarda ağartıcı bileşen bulunmamasıdır.

Salata Sosu Lekesi: Enzim aktivitesinin incelendiği salata sosu lekesinde 3. tekrarlı yıkama deneyi sonunda yansıma değerinin oldukça düştüğü tespit edilmiştir. Bu duruma göre enzimlerin tekrarlı yıkamalarda aktivitelerini yitirdikleri ve böylece temizleme etkinliklerinin azaldığı belirlenmiştir.

Toz deterjan ile yıkanan kir ve lekelerin yansıma değerleri, sıvı deterjan ile yıkanan kir ve lekelerin yansıma değerlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yüksek yansıma değeri, daha iyi temizleme yapıldığı anlamını taşımaktadır. Toz deterjan ile yıkanan kir ve lekelerin yansıma değerlerinin daha yüksek olmasının nedeni, toz deterjan içerisinde alkali maddelerin ve ağartıcı bileşenlerin bulunmasıdır. Alkali ortamda temizleme işlemi daha iyi yapılmakta olup bu işlem ağartıcı gibi yardımcı bileşenler ile desteklenmektedir.



Şekil 7.19 Sıvı deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri

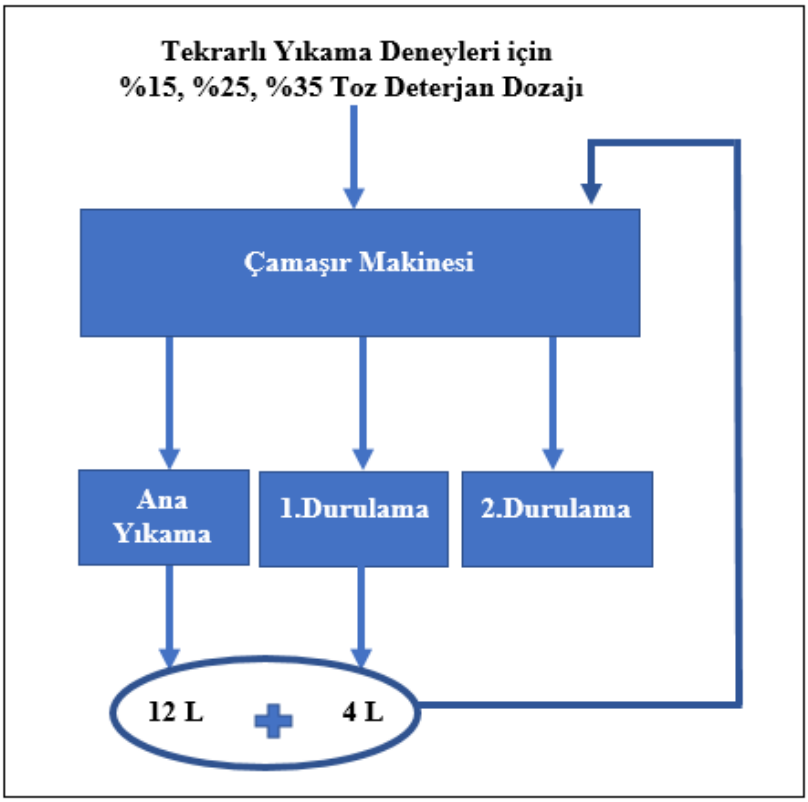
7.4 Tekrarlı Yıkama Deneyleri Sonunda Deterjan Dozaj Miktarının Belirlenmesi

Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda deterjan dozaj miktarı belirleme çalışmaları için çamaşır makinesinden tahliye edilen ana yıkama atık suyun tamamı (12 litre) ve 1. Durulama atık suyun 4 litresi bir sonraki yıkama deneyinde kullanılmak üzere toplanmıştır. Sonraki yıkama deneyi için 16 litre atık su sisteme verilirken, belirlenen deterjan dozaj miktarı kadar deterjan makineye eklenmiştir.

Yıkama deneyleri için 5 kg beyaz çamaşır yükü ile birlikte sebum kiri, çay, spagetti sosu, domates, salata sosu lekeleri olmak üzere toplam 22 g kir ve leke kullanılmıştır. Çamaşır makinesine eklenmesi gereken deterjan dozaj miktarını belirleme çalışması kapsamında yıkama performansını belirlemek için yıkama performans indeksi (YPİ), kir ve lekelerin yansıma değerleri, grileşmeyi belirlemek için ise beyaz bezlerin yansıma değerleri incelenmiştir.

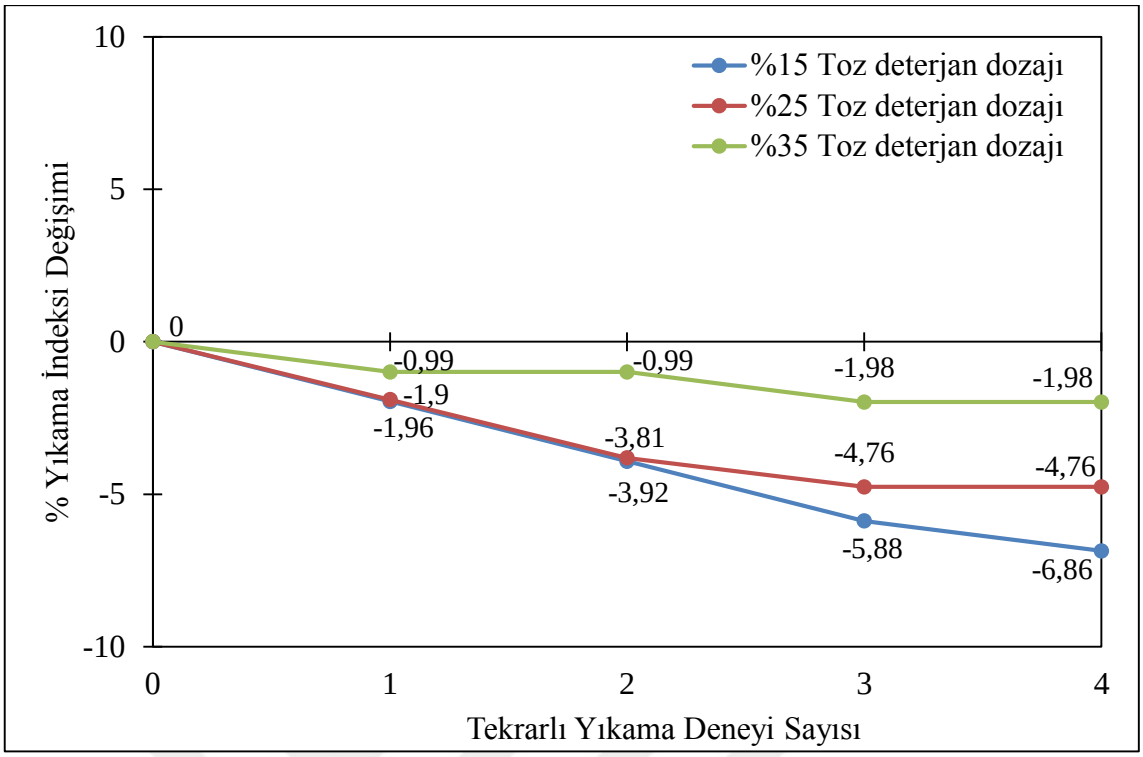
7.4.1 Tekrarlı Yıkama Deneyleri Sonunda Toz Deterjan Dozaj Miktarının Belirlenmesi

Toz deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneylerine ait ilk yıkama 100 g deterjan ile yapılmıştır. 2. yıkamadan itibaren sabit toz deterjan dozajları (%15, %25 ve %35) ile yıkama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Toz deterjan ile yapılan dozaj miktarı belirleme çalışmalarındaki tekrarlı yıkama sistemi Şekil 7.20'de şematik olarak verilmiştir.

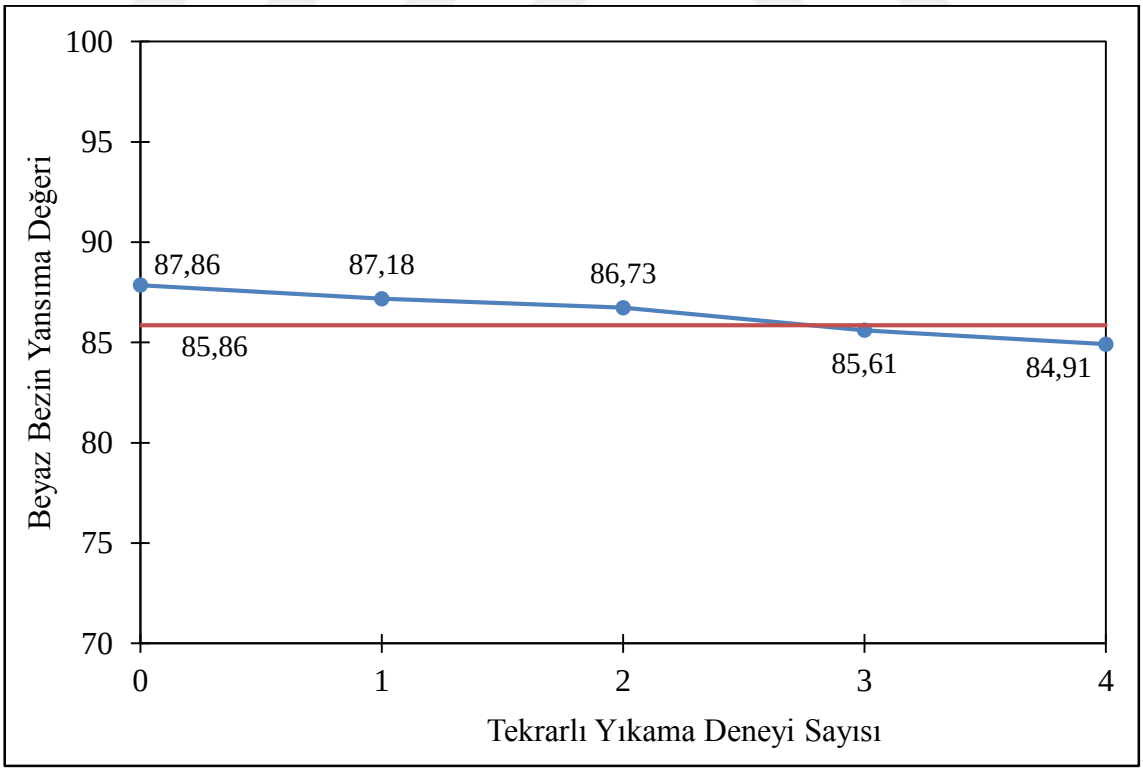


Şekil 7.20 Toz deterjan ile yapılan dozaj miktarı belirleme çalışmalarındaki tekrarlı yıkama sistemi

%15, %25 ve %35 Toz deterjan dozaj miktarlarında yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda hesaplanan %YPİ değişimleri Şekil 7.21'de verilmiştir. %YPİ değişim grafiğinde %3'lük değişim bir sınıf performans değişimini ifade etmektedir. Yıkama performans indeks değişimleri incelendiğinde, en fazla düşüşün %15 toz deterjan dozajında olduğu saptanmıştır. %15 toz deterjan dozajı ile yapılan tekrarlı yıkamalar sonunda grileşmeyi belirlemek için beyaz bezlerin yansıma değerleri incelenmiştir. Yansıma değeri 88.38 olan yıkanmamış beyaz bezde tekrarlı yıkama deneyleri sonunda 2 puanlık düşüş olduğu ve grileşmenin 3. tekrarlı yıkama deneyine ulaşmadan başladığı belirlenmiştir (Şekil 7.22).



Şekil 7.21 %15, %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda % yıkama performans indeksi değişimleri

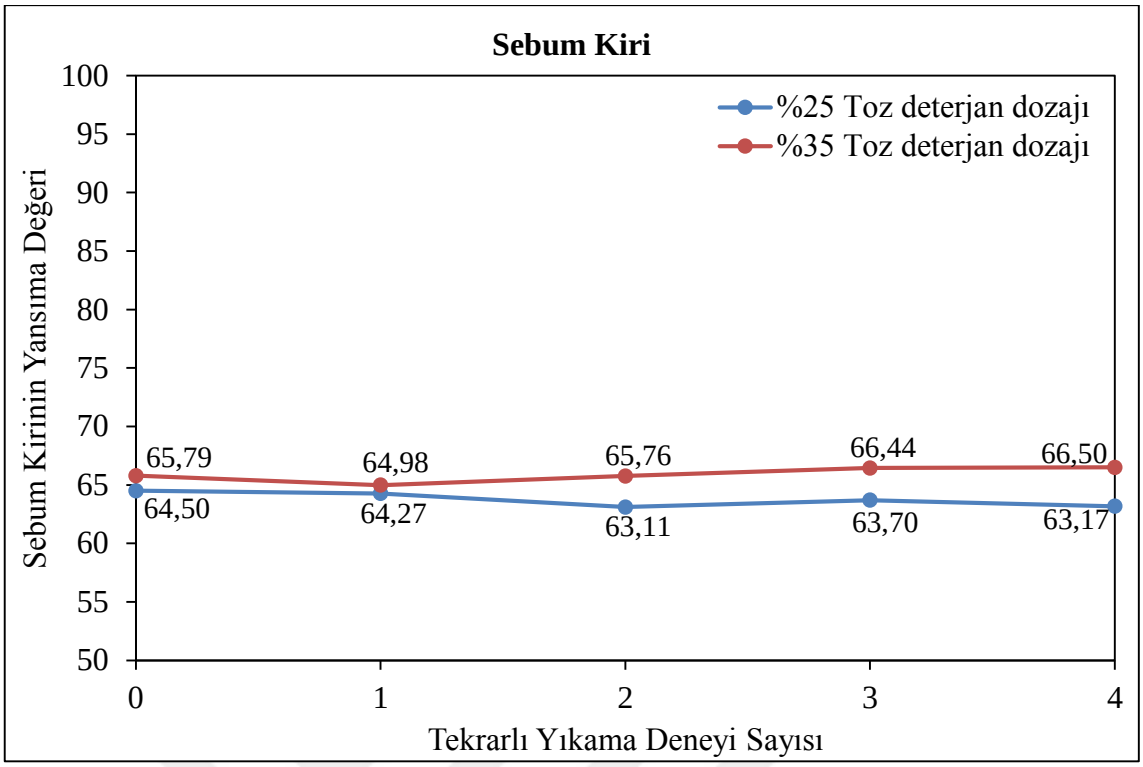


Şekil 7.22 Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda %15 toz deterjan dozajının beyaz bezlerin yansıma değerlerine etkisi

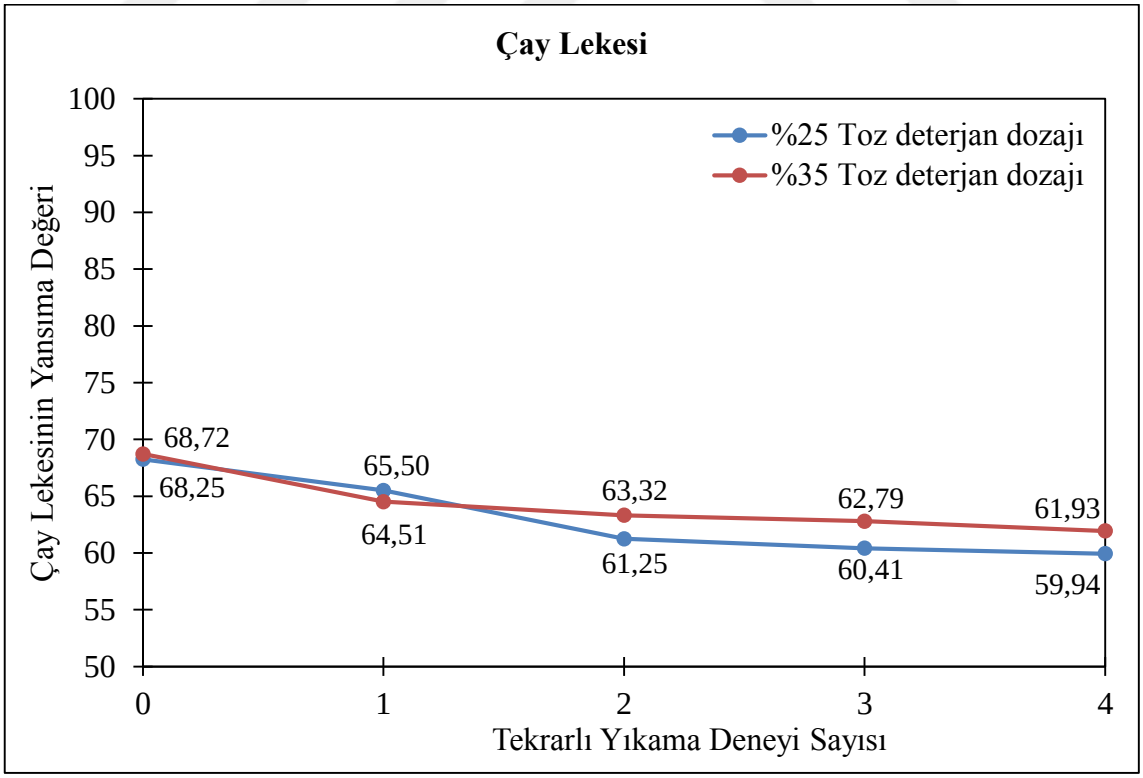
%15 Toz deterjan dozajı, yıkama etkinliği için yeterli gelmemiş olup %25 ve %35 toz deterjan dozajları için sebum kirinin ve lekelerin yansıma değerlerinden yararlanılarak yıkama performansları incelenmiştir. %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen sebum kirinin yansıma değerleri Şekil 7.23'te verilmiştir. Şekil 7.23'e göre hem %25 hem de %35 toz deterjan dozajlarında yansıma değerlerinin 4 tekrarlı yıkama sonunda sabit kaldığı saptanmıştır.

%25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneylerinde kullanılan çay, spagetti sosu, domates, salata sosu lekelerinin yansıma değerleri Şekil 7.24 - Şekil 7.27'de verilmiştir. %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneylerinin her ikisinde çay lekesinin yansıma değerinde düşüş olduğu görülmüştür. Ancak, spagetti sosu, domates ve salata sosunda bir düşüş saptanmamıştır. %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneylerinin leke temizleme performanslarında önemli bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir.

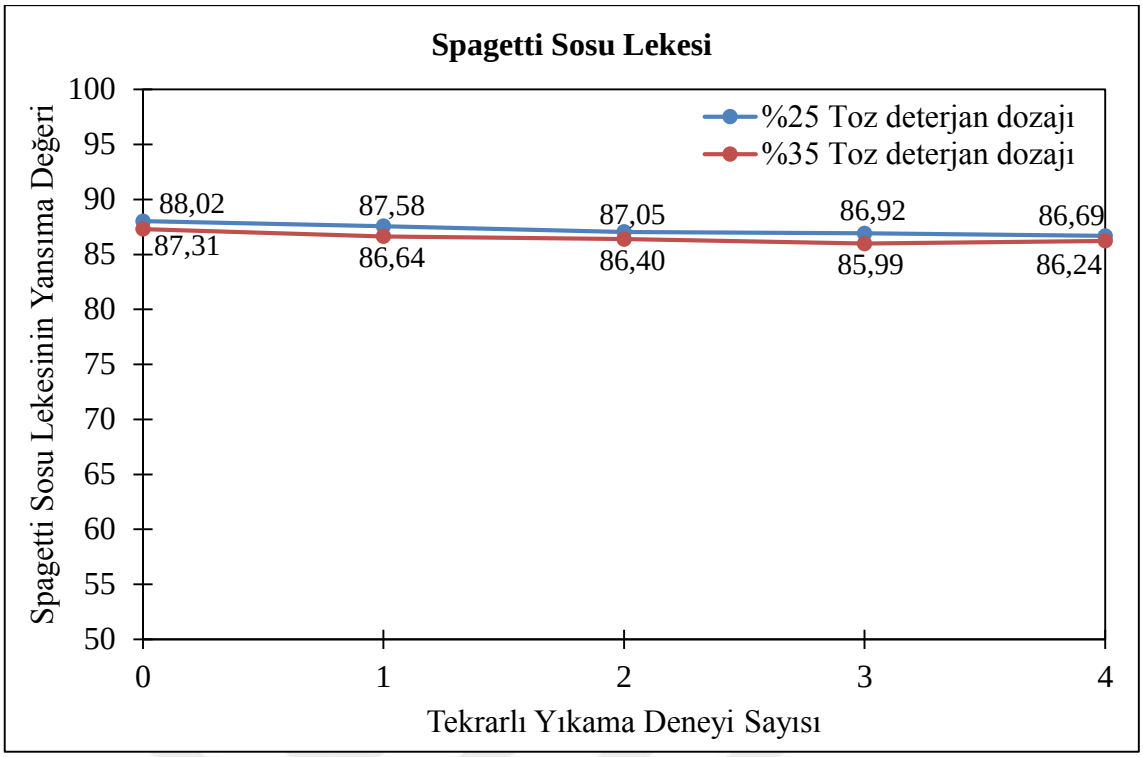
Sonuç olarak, %25 toz deterjan dozajının kullanılmasının, deterjan tasarrufu açısından daha uygun olacağı tespit edilmiştir. Optimum deterjan dozajı olduğu belirlenen %25 toz deterjan dozajı ile yapılan tekrarlı yıkama deneylerinin grileşmesi incelendiğinde, beyaz bezlerin 4 tekrarlı yıkama deneyi (5 yıkama deneyi) sonunda beyazlığını koruduğu belirlenmiştir (Şekil 7.28). Optimum %25 toz deterjan dozajı ile 4 tekrarlı yıkama yapılabildiği tekrarlı yıkama deneyleri sonunda %60 toz deterjan tasarrufu ve 16 litre atık suyun tekrarlı kullanımı dolayısı ile %22.07 su tasarrufu elde edilmiştir.



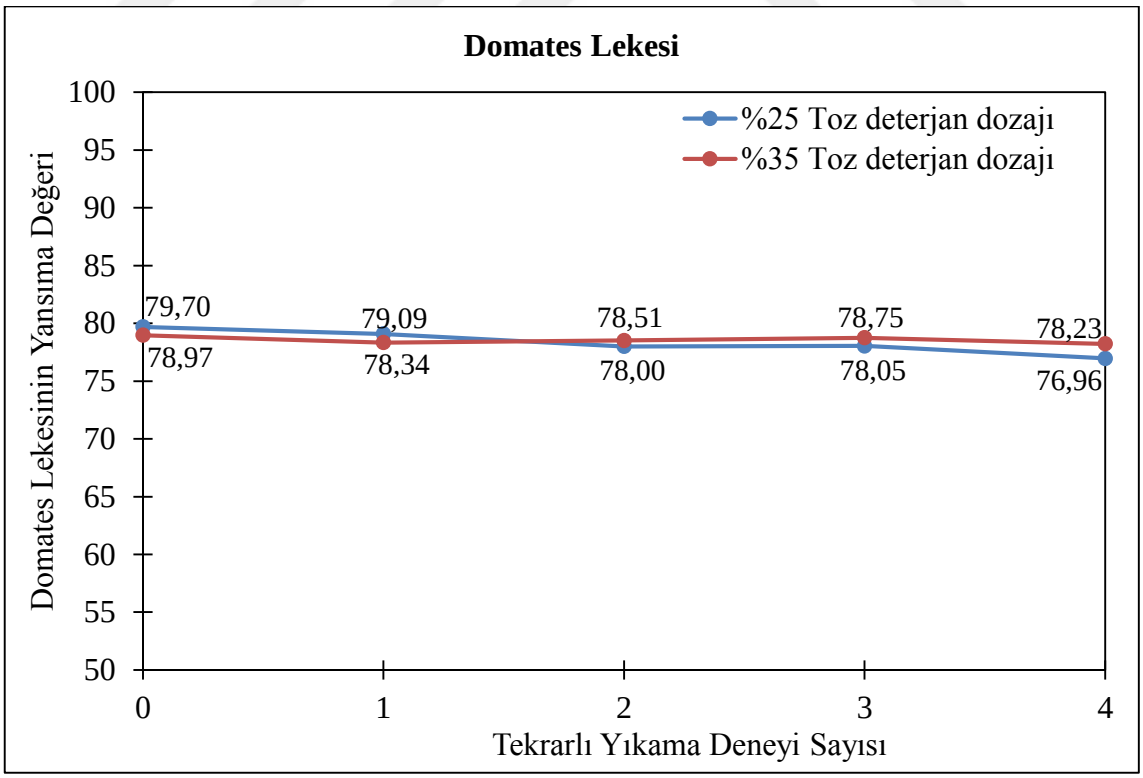
Şekil 7.23 %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen sebum kirinin yansıma değerleri



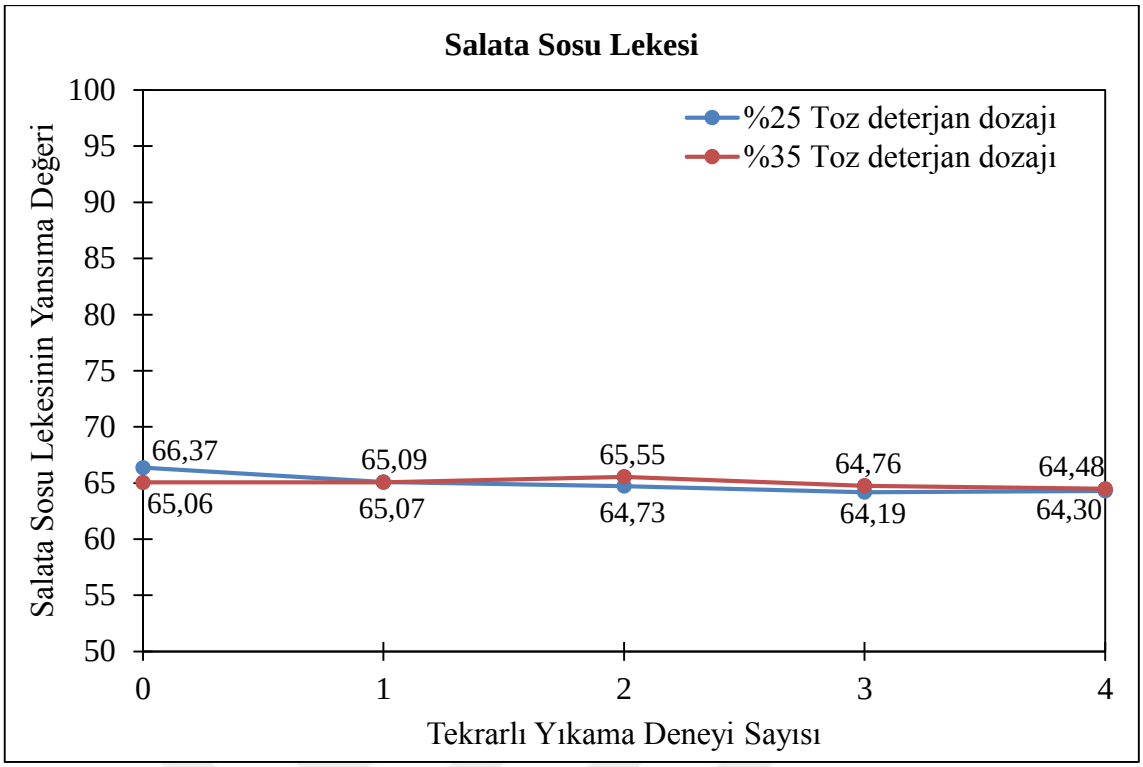
Şekil 7.24 %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen çay lekesinin yansıma değerleri



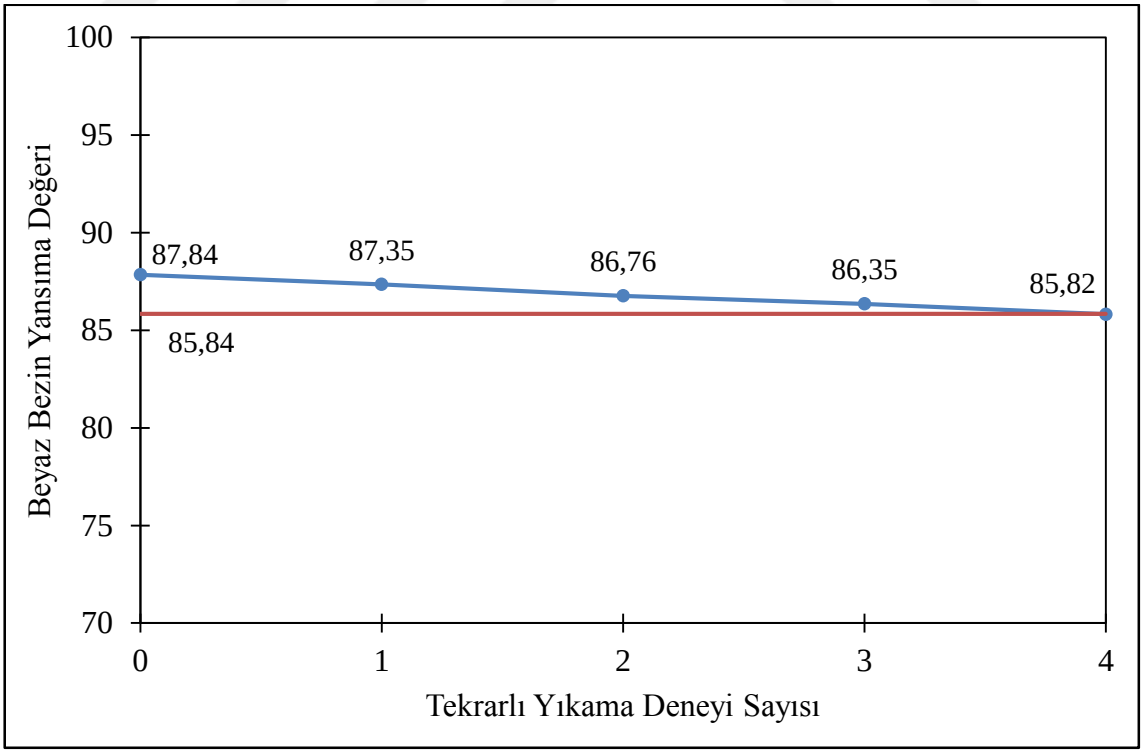
Şekil 7.25 %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen spagetti sosu lekesinin yansıma değerleri



Şekil 7.26 %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen domates lekesinin yansıma değerleri



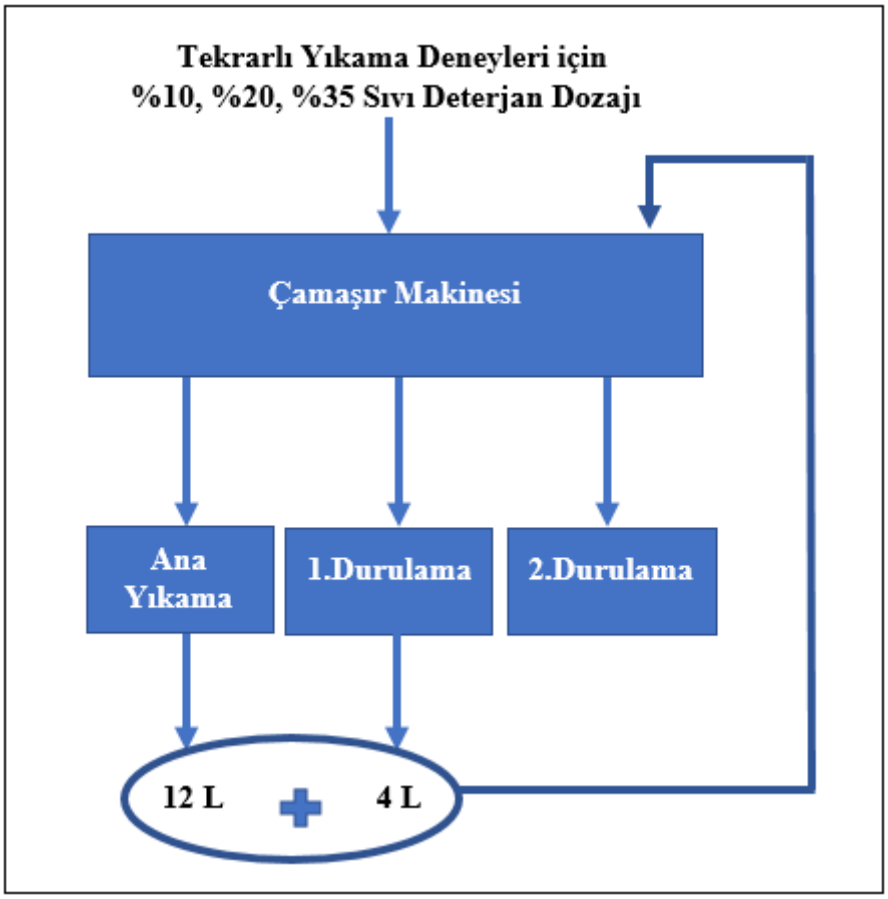
Şekil 7.27 %25 ve %35 Toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen salata sosu lekesinin yansıma değerleri



Şekil 7.28 Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda %25 toz deterjan dozajının beyaz bezlerin yansıma değerlerine etkisi

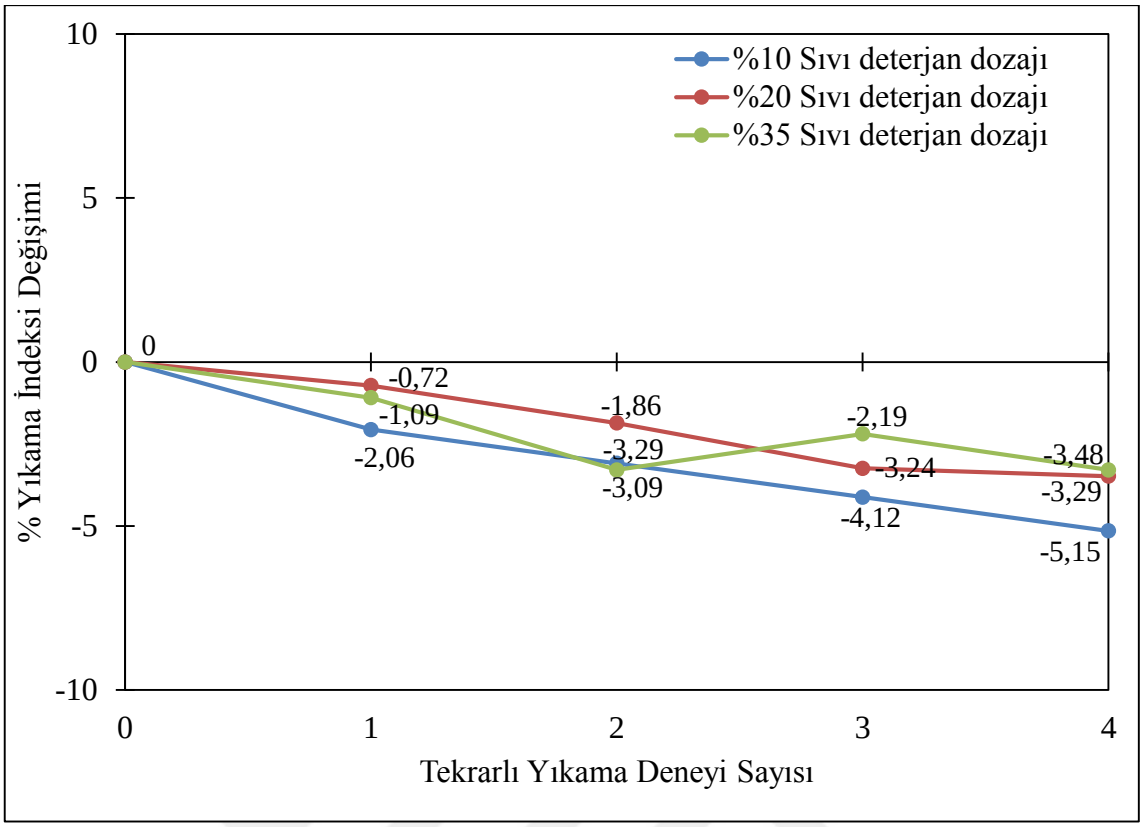
7.4.2 Tekrarlı Yıkama Deneyleri Sonunda Sıvı Deterjan Dozaj Miktarının Belirlenmesi

Sıvı deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneylerine ait ilk yıkama 35 mL deterjan ile yapılmıştır. 2. yıkamadan itibaren sabit sıvı deterjan dozajları (%10, %20 ve %35) ile yıkama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sıvı deterjan ile yapılan dozaj miktarı belirleme çalışmalarındaki tekrarlı yıkama sistemi Şekil 7.29'da şematik olarak verilmiştir.



Şekil 7.29 Sıvı deterjan ile yapılan dozaj miktarı belirleme çalışmalarındaki tekrarlı yıkama sistemi

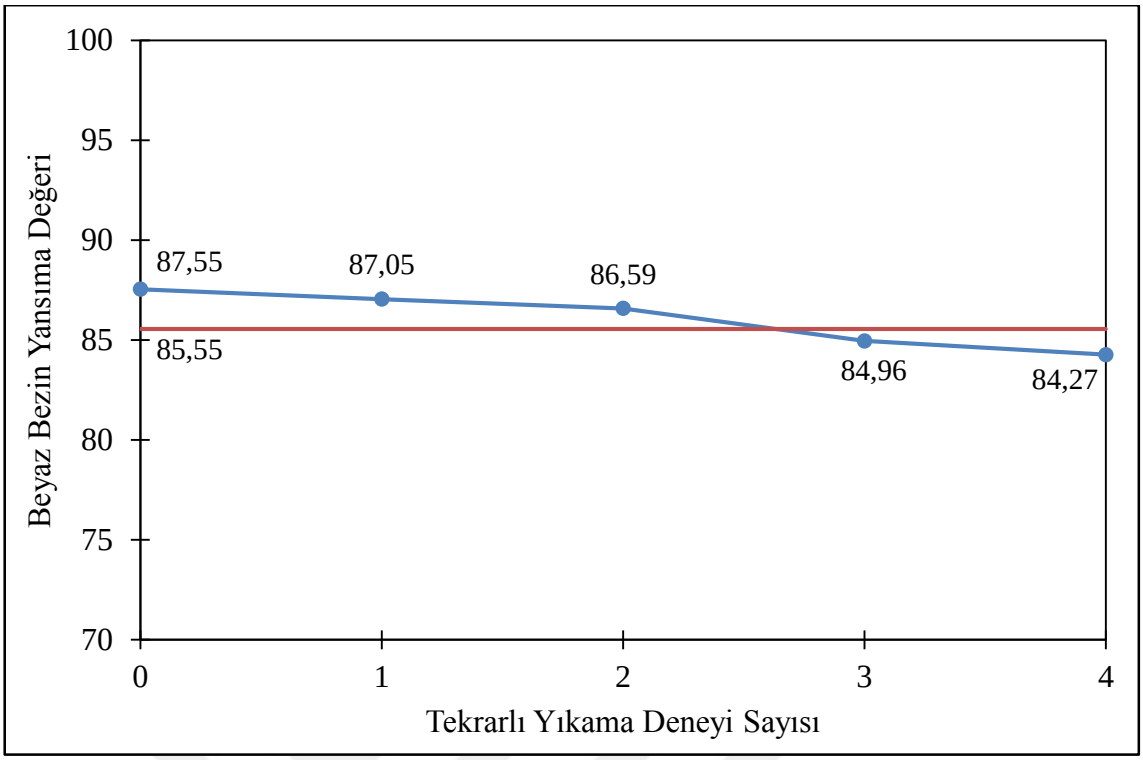
%10, %20 ve %35 Sıvı deterjan dozaj miktarlarında yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda hesaplanan %YPİ değişimleri Şekil 7.30'da verilmiştir. %YPİ değişim grafiğinde %3'lük değişim bir sınıf performans değişimini ifade etmektedir. Şekil 7.30'da yıkama performans indeks değişimleri incelendiğinde, en fazla düşüşün %10 sıvı deterjan dozajında olduğu saptanmıştır.



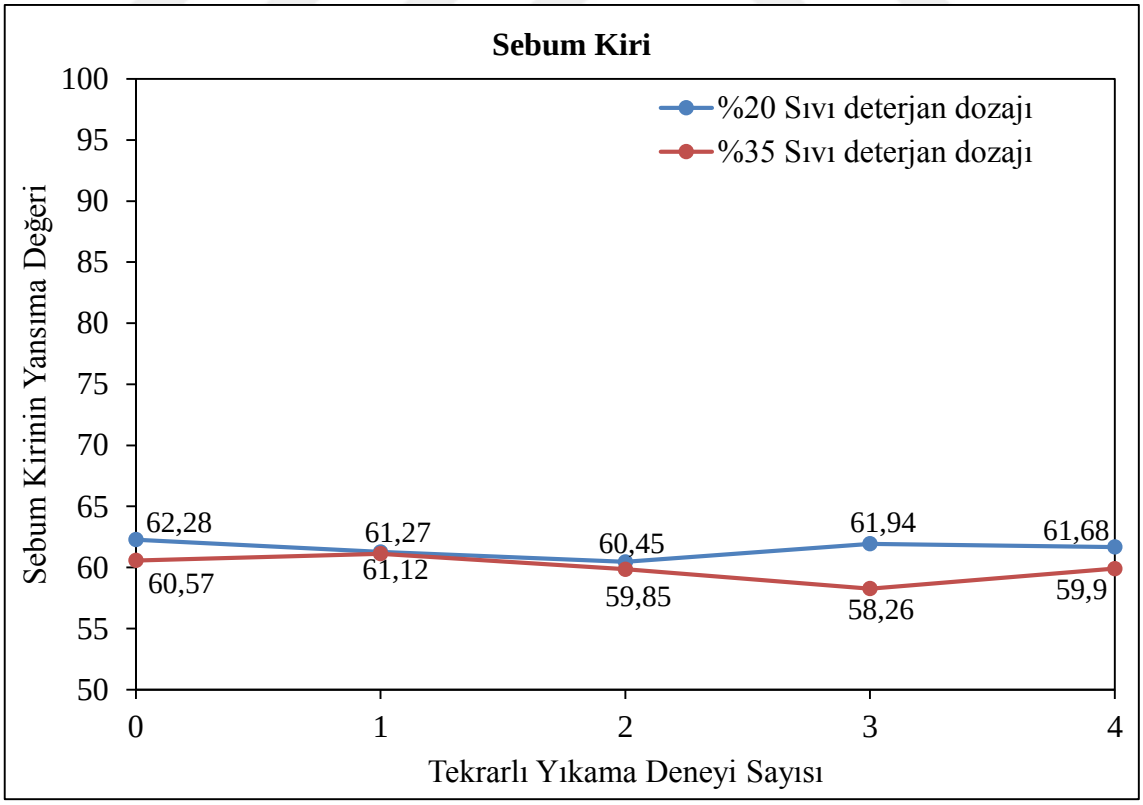
Şekil 7.30 %10, %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda % yıkama performans indeksi değişimleri

%10 Sıvı deterjan dozajı ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda grileşmeyi belirlemek için beyaz bezlerin yansıma değerleri incelenmiştir. Yansıma değeri 88.39 olan yıkanmamış beyaz bezde tekrarlı yıkama deneyleri sonunda 2 puanlık düşüş olduğu ve grileşmenin 3. tekrarlı yıkama deneyine ulaşmadan başladığı belirlenmiştir (Şekil 7.31).

%10 Sıvı deterjan dozajı, yıkama performansı için yeterli gelmemiş olup %20 ve %35 sıvı deterjan dozajları için sebum kirinin ve lekelerin yansıma değerlerinden yararlanılarak yıkama performansları incelenmiştir. %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen sebum kirinin yansıma değerleri Şekil 7.32'de verilmiştir. Şekil 7.32 incelendiğinde, hem %25 hem de %35 toz deterjan dozajlarında yansıma değerlerinin 4 tekrarlı yıkama sonunda sabit kaldığı saptanmıştır.



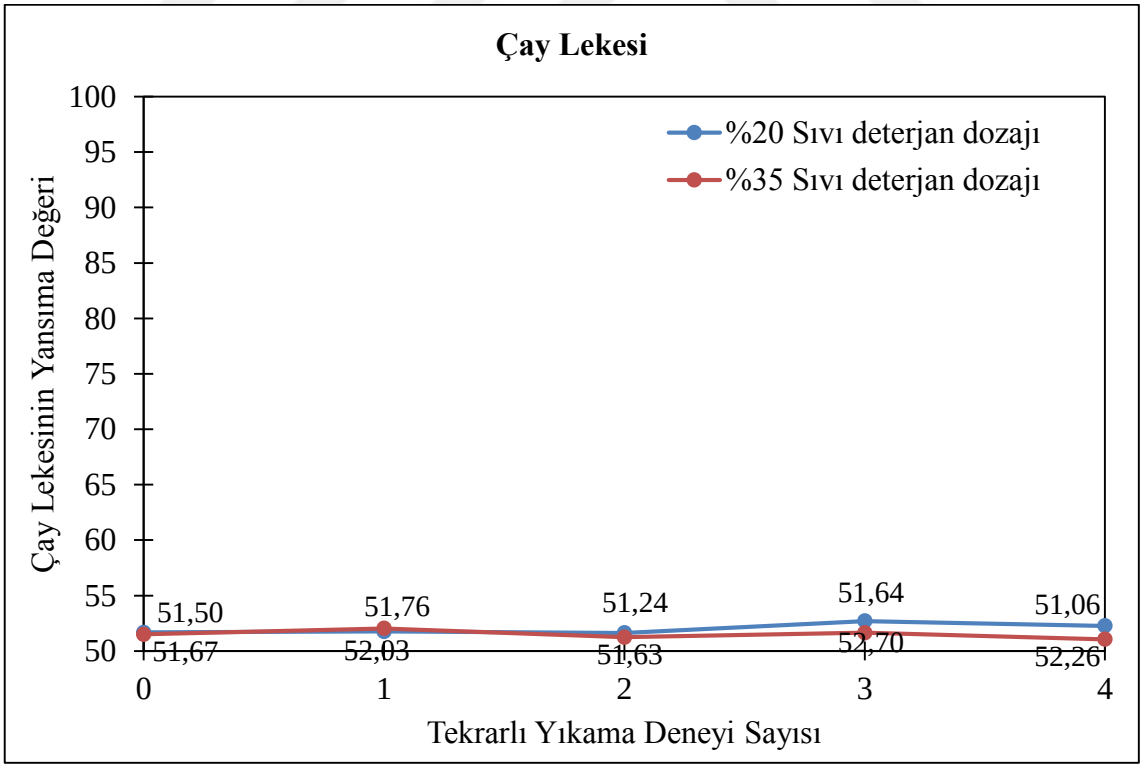
Şekil 7.31 Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda %10 sıvı deterjan dozajının beyaz bezlerin yansıma değerlerine etkisi



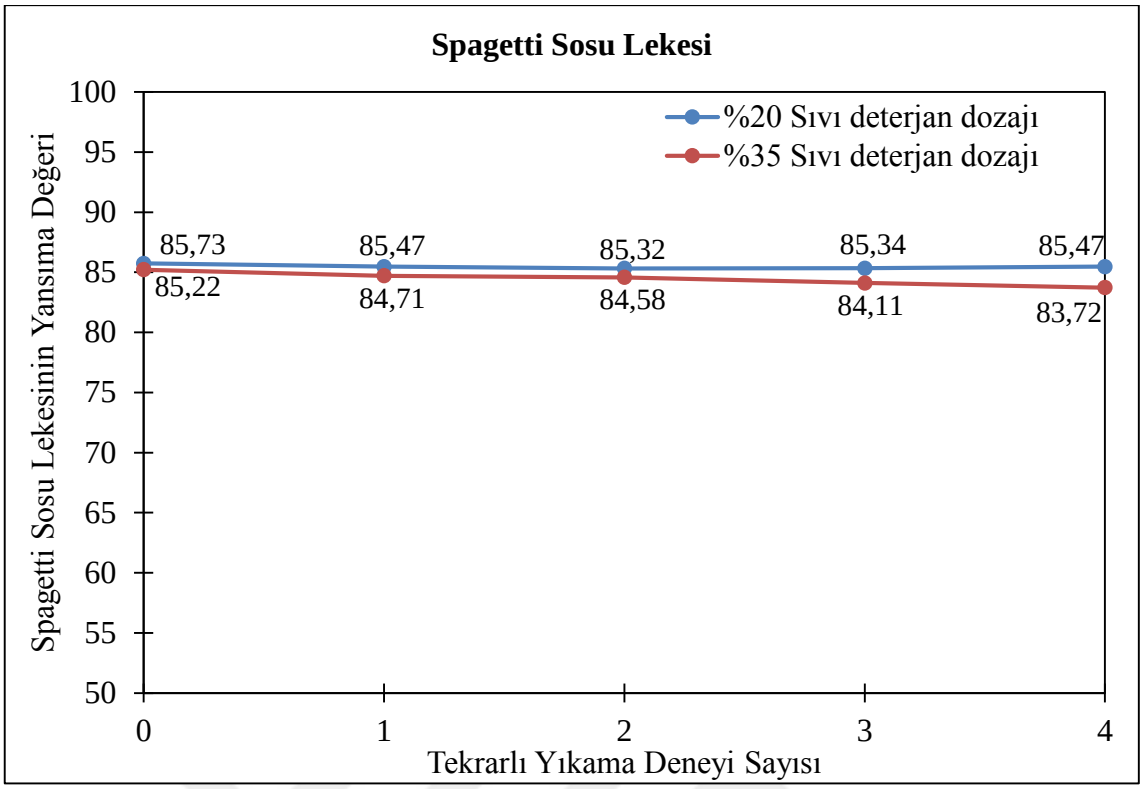
Şekil 7.32 %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen sebum kirinin yansıma değerleri

%20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneylerinde kullanılan çay, spagetti sosu, domates, salata sosu lekelerinin yansıma değerleri Şekil 7.33 - Şekil 7.36'da verilmiştir. %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneylerinin her ikisinde salata sosu lekesinin yansıma değerinde düşüş olduğu görülmüştür. Ancak, çay, spagetti sosu ve domates bir düşüş saptanmamıştır. %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneylerinin leke temizleme performanslarında önemli bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir.

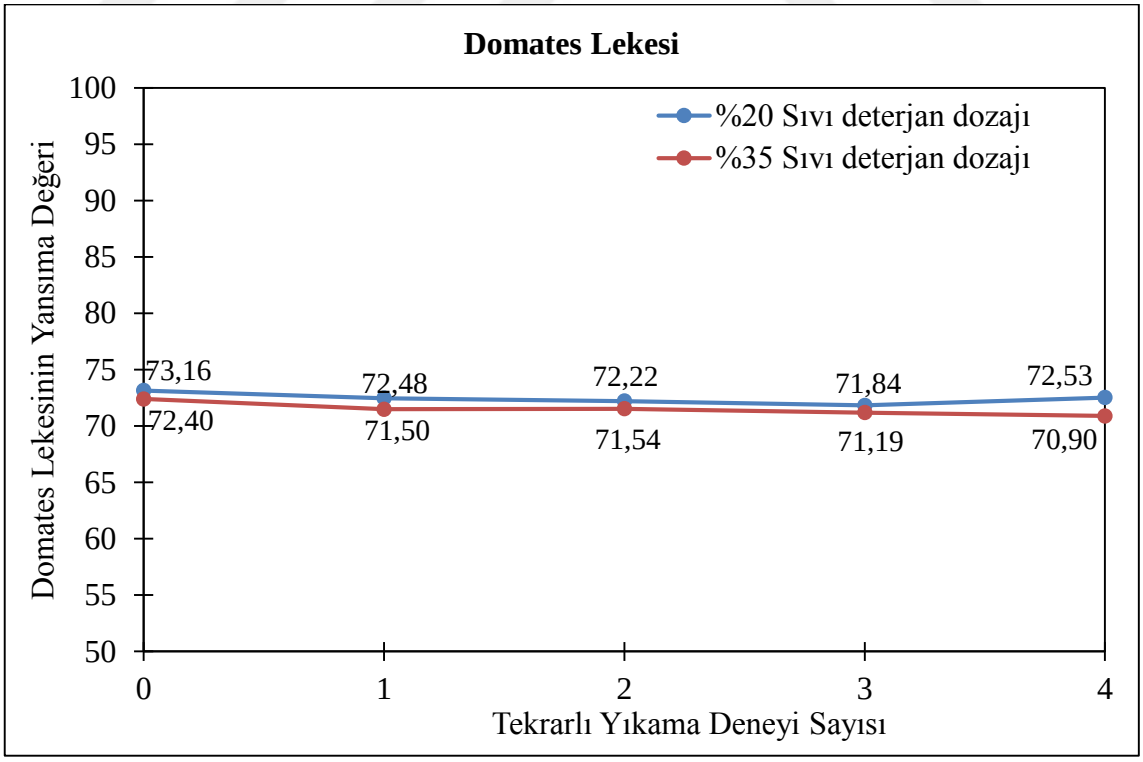
Sonuç olarak, %20 sıvı deterjan dozajının kullanılmasının, deterjan tasarrufu açısından daha uygun olacağı tespit edilmiştir. Optimum deterjan dozajı olduğu belirlenen %20 sıvı deterjan dozajı ile yapılan tekrarlı yıkama deneylerinin grileşmesi incelendiğinde, beyaz bezlerin 3 tekrarlı yıkama deneyi (4 yıkama deneyi) sonunda grileşmenin başladığı saptanmıştır. (Şekil 7.37). Bu durumda, optimum %20 sıvı deterjan dozajı ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri 3 tekrarlı yıkama deneyi (4 yıkama deneyi) ile sınırlandırılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Optimum %20 sıvı deterjan dozajı ile 3 tekrarlı yıkama yapılabildiği tekrarlı yıkama deneyleri sonunda %60 sıvı deterjan tasarrufu ve 16 litre atık suyun tekrarlı kullanımı dolayısı ile %20.67 su tasarrufu elde edilmiştir.



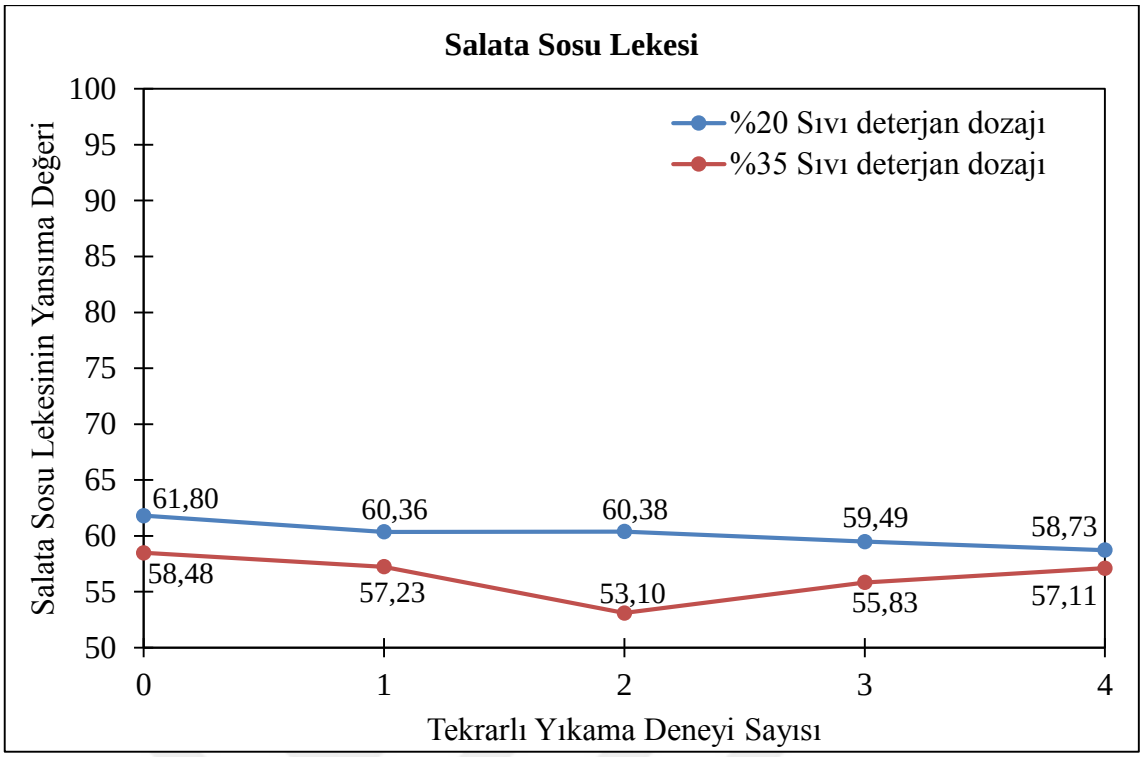
Şekil 7.33 %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen çay lekesinin yansıma değerleri



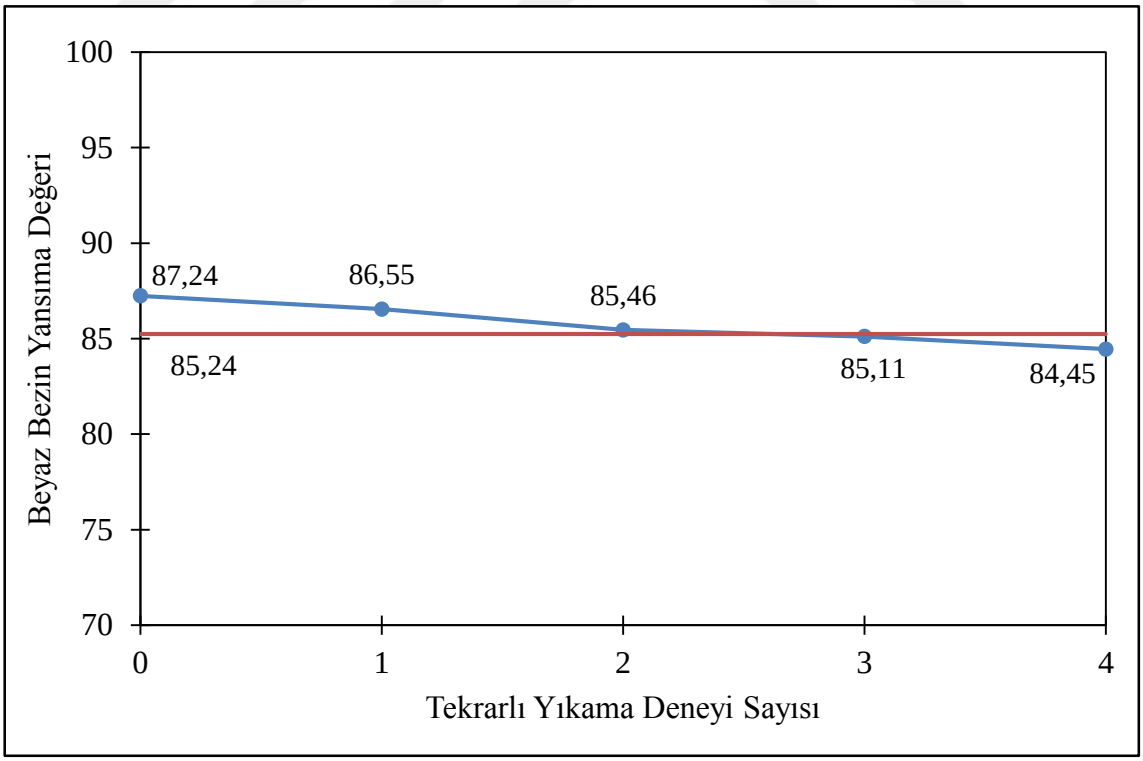
Şekil 7.34 %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen spagetti sosu lekesinin yansıma değerleri



Şekil 7.35 %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen domates lekesinin yansıma değerleri



Şekil 7.36 %20 ve %35 Sıvı deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ölçülen salata sosu lekesinin yansıma değerleri



Şekil 7.37 Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda %20 sıvı deterjan dozajının beyaz bezlerin yansıma değerlerine etkisi

7.5 Tekrarlı Yıkamalara ait Doğrulama Çalışmaları

Bu çalışmada, deterjan dozajının yapılmadığı normal koşulun yıkama performansı ile belirlenen toz ve sıvı deterjan dozajlarının yapıldığı tekrarlı koşulun yıkama performansının karşılaştırıldığı 'doğrulama çalışmaları' gerçekleştirilmiştir.

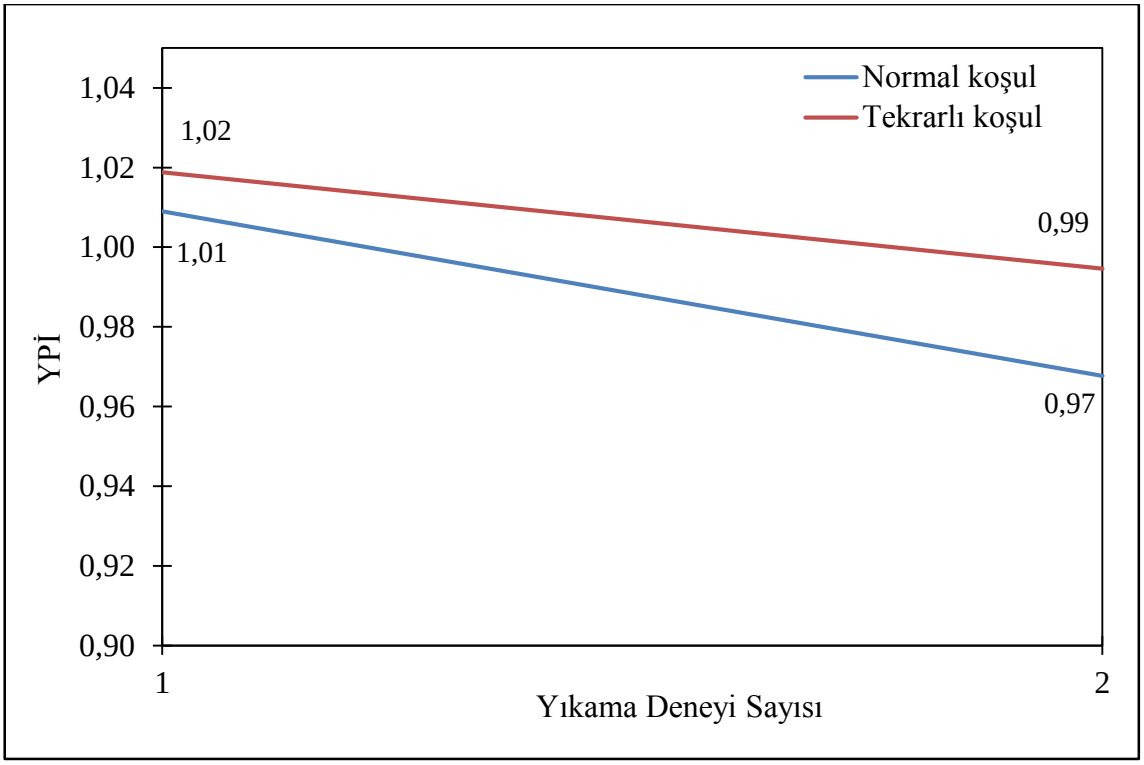
Bölüm 7.2'de renkli çamaşırların yıkanması ile çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suya renk geçişi olduğu, dolayısı ile atık suyun tekrarlı yıkama uygulamasında kullanılamadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, ilk yıkamanın beyaz çamaşırlar ile 2. yıkamanın ise renkli çamaşırlar ile yapılacağı bir senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryoya göre doğrulama çalışmalarının koşulları, Çizelge 7.13'te verilmiştir.

Çizelge 7.13 Doğrulama çalışmalarının koşulları

Koşul	Yıkama Deneyi Sayısı	Deterjan Dozajı
Normal	1	%100 Toz deterjan
	2	%100 Sıvı deterjan
Tekrarlı	1	%100 Toz deterjan
	2	%20 Sıvı deterjan
Normal	1	%100 Sıvı deterjan
	2	%100 Sıvı deterjan
Tekrarlı	1	%100 Sıvı deterjan
	2	%20 Sıvı deterjan
Normal	1	%100 Toz deterjan
	2	%100 Toz deterjan
Tekrarlı	1	%100 Toz deterjan
	2	%25 Toz deterjan

İlk yıkamanın toz deterjan, 2. yıkamanın sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda hesaplanan yıkama performans indeksleri Şekil 7.38'de, lekelerin yansıma değerleri Çizelge 7.14'te ve lekelerin yansıma değerleri grafiksel olarak Şekil 7.39'da verilmektedir. 2. yıkamaya ait YPİ değerleri, tekrarlı koşulda normal koşula göre daha yüksektir. Bunun sebebi, tekrarlı koşulda ilk yıkama deneyinde kullanılan toz deterjanın,

ana yıkama atık suyu ile beraber 2. yıkamaya aktarılmasıdır. Böylece toz deterjanda bulunup sıvı deterjanda bulunmayan ağartıcı bileşenler sayesinde beyazlatma etkisi artmış olup YPİ değeri yükselmiştir. Bu durumda, 2 yıkama deneyi yapılarak deterjan tasarrufu sağlanabileceği doğrulanmıştır.



Şekil 7.38 İlk yıkamanın toz deterjan, 2. yıkamanın sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda hesaplanan yıkama performans indeksleri

Sebum Kiri: Normal ve tekrarlı koşulda yapılan yıkama deneyleri sonunda lekelerin yansıma değerleri karşılaştırılmıştır. Yüzey aktif maddelerin aktivitelerinin incelendiği sebum kirinin yansıma değerlerinde düşüş belirlenmemiştir.

Çay Lekesi: Normal ve tekrarlı koşulda yapılan yıkama deneyleri sonunda en büyük farkın çay lekesinde olduğu saptanmıştır. Normal koşulun 2. yıkama deneyinde sıvı deterjan kullanıldığı için yansıma değerinde tekrarlı koşula göre daha büyük bir düşüş belirlenmiştir. Bunun nedeni, sıvı deterjanda ağartıcının bulunmaması ve tekrarlı koşulda ilk yıkama atık suyundaki ağartıcı bileşenlerin 2. yıkamaya aktarılmasıdır.

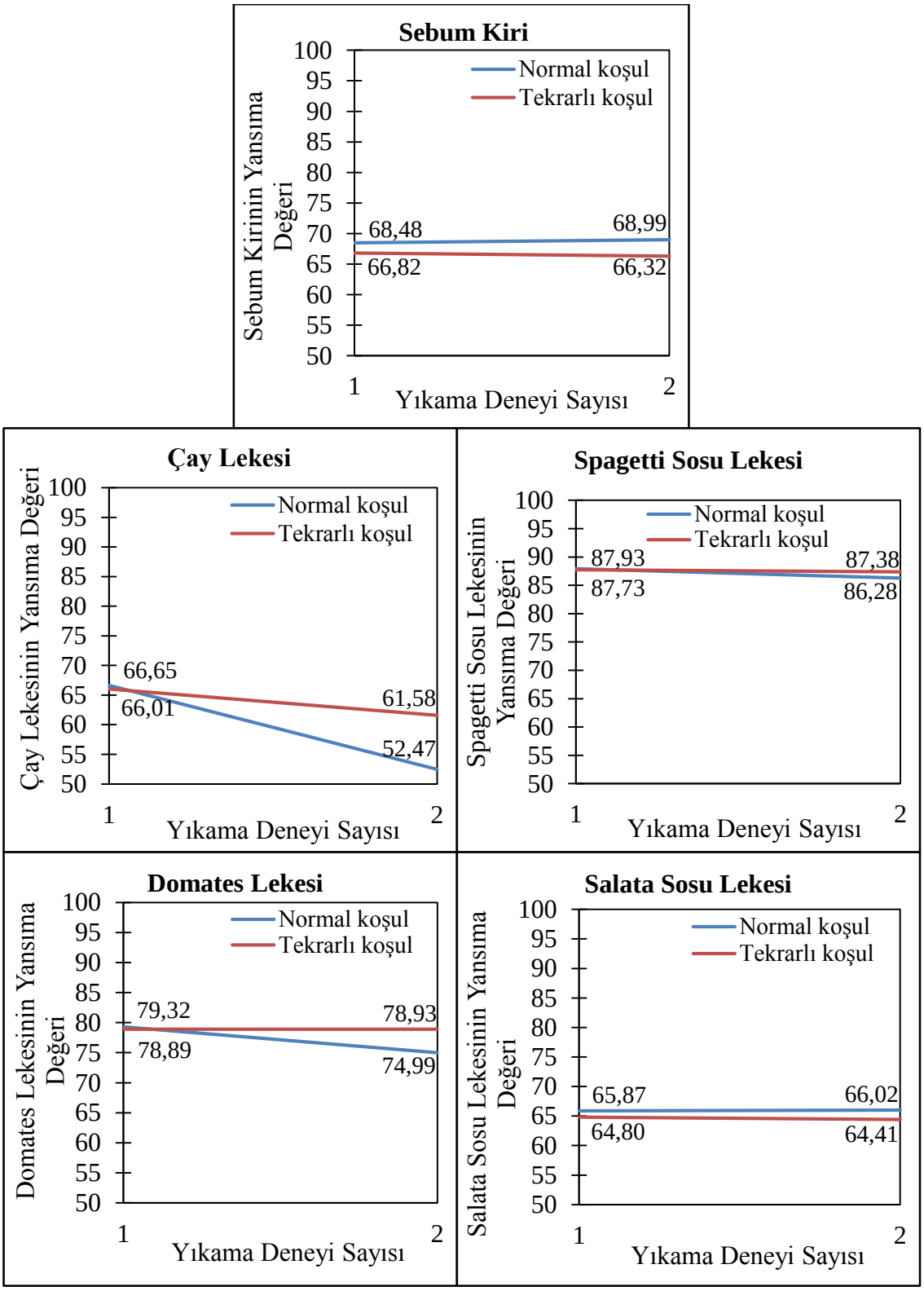
Spagetti Sosu Lekesi: Ağartıcı ve enzim aktivitesinin incelendiği spagetti sosu lekesinde çay kadar büyük düşüş tespit edilmemiştir. Normal koşul yansıma değerindeki bir miktar düşüşün nedeni ise sıvı deterjan içeriğinde ağartıcı bileşenlerin bulunmamasıdır.

Domates Lekesi: Bir diğer ağartıcı bileşen etkisinin görüldüğü domates lekesinde de normal koşulun 2. yıkama deneyinde yansıma değeri düşüşü tespit edilmiştir.

Salata Sosu Lekesi: Enzim aktivitesinin incelendiği salata sosu lekesinde, tekrarlı koşulda 2. yıkama deneyinin temizlenme performansının değişmediği ve 1 tekrarlı yıkama deneyleri için yıkama performansının yeterli olduğu belirlenmiştir.

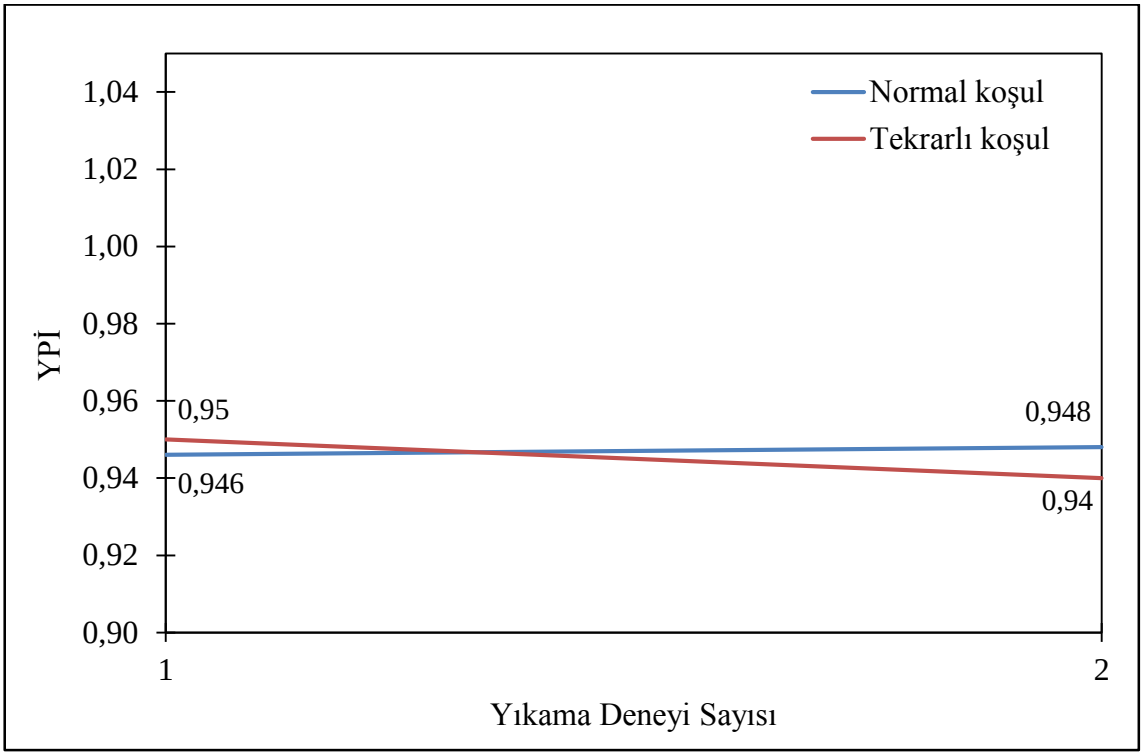
Çizelge 7.14 İlk yıkamanın toz deterjan, 2. yıkamanın sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda ölçülen yansıma değerleri

Kir ve lekeler	**Yıkama deneyi sayısı**	**Normal koşuldaki yansıma değerleri**	**Tekrarlı koşuldaki yansıma değerleri**
Sebum	1	68.48	66.82
	2	68.99	66.32
Çay	1	66.65	66.01
	2	52.47	61.58
Spagetti Sosu	1	87.93	87.73
	2	86.28	87.38
Domates	1	79.32	78.89
	2	74.99	78.93
Salata Sosu	1	65.87	64.80
	2	66.02	64.41



Şekil 7.39 İlk yıkamanın toz deterjan, 2. yıkamanın sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri

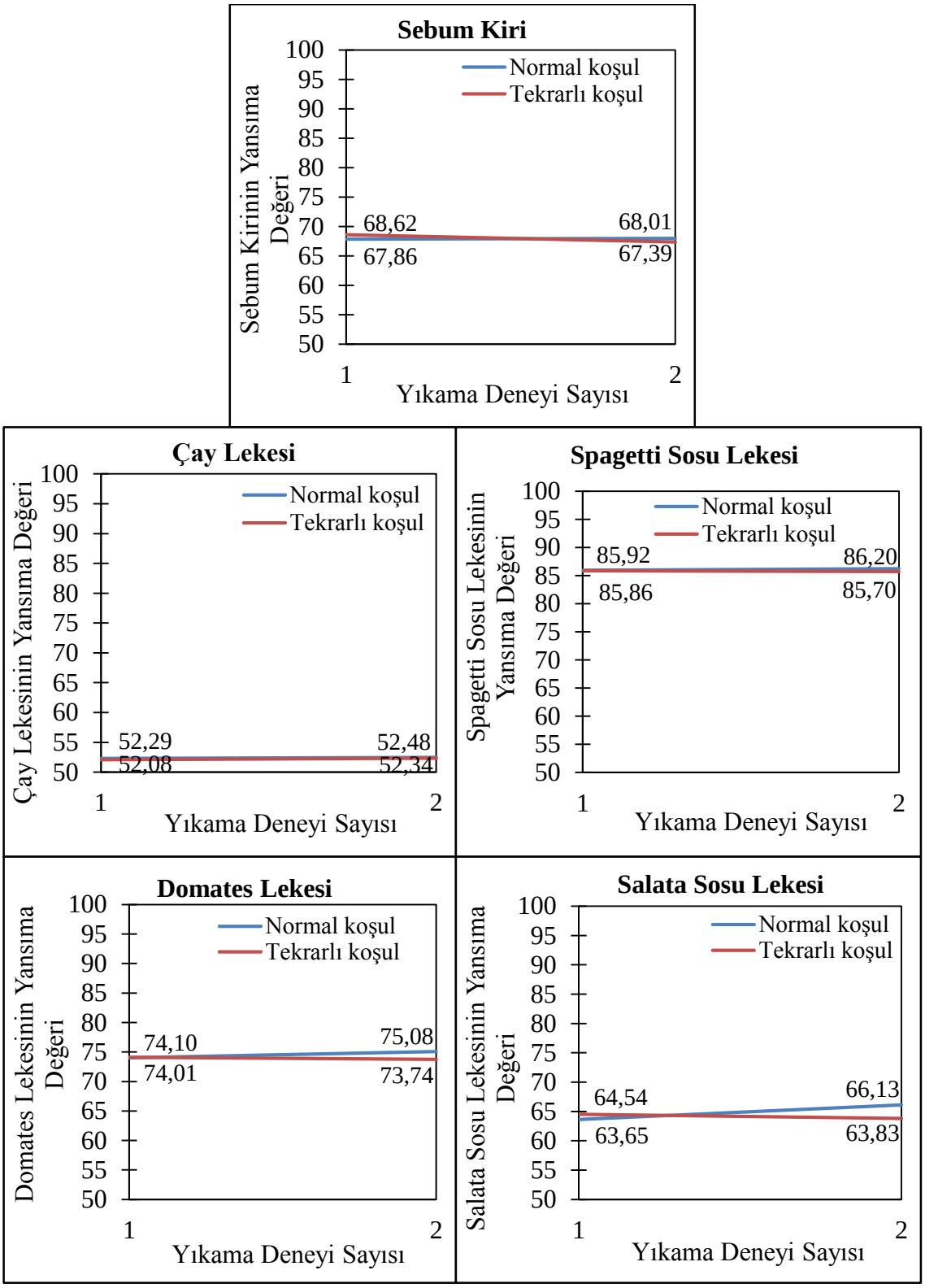
Her iki yıkamanın da sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda hesaplanan yıkama performans indeksleri Şekil 7.40'ta, lekelerin yansıma değerleri Çizelge 7.15'te ve lekelerin yansıma değerleri grafiksel olarak Şekil 7.41'de verilmektedir. Şekil 7.40'ta verilen yıkama performans indeksi değerlerinin normal ve tekrarlı koşulda stabil kaldığı tespit edilmiştir. Bu durumda, 2 yıkama deneyi yapılarak deterjan tasarrufu sağlanabileceği doğrulanmıştır.



Şekil 7.40 İki yıkamanın da sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda hesaplanan yıkama performans indeksleri

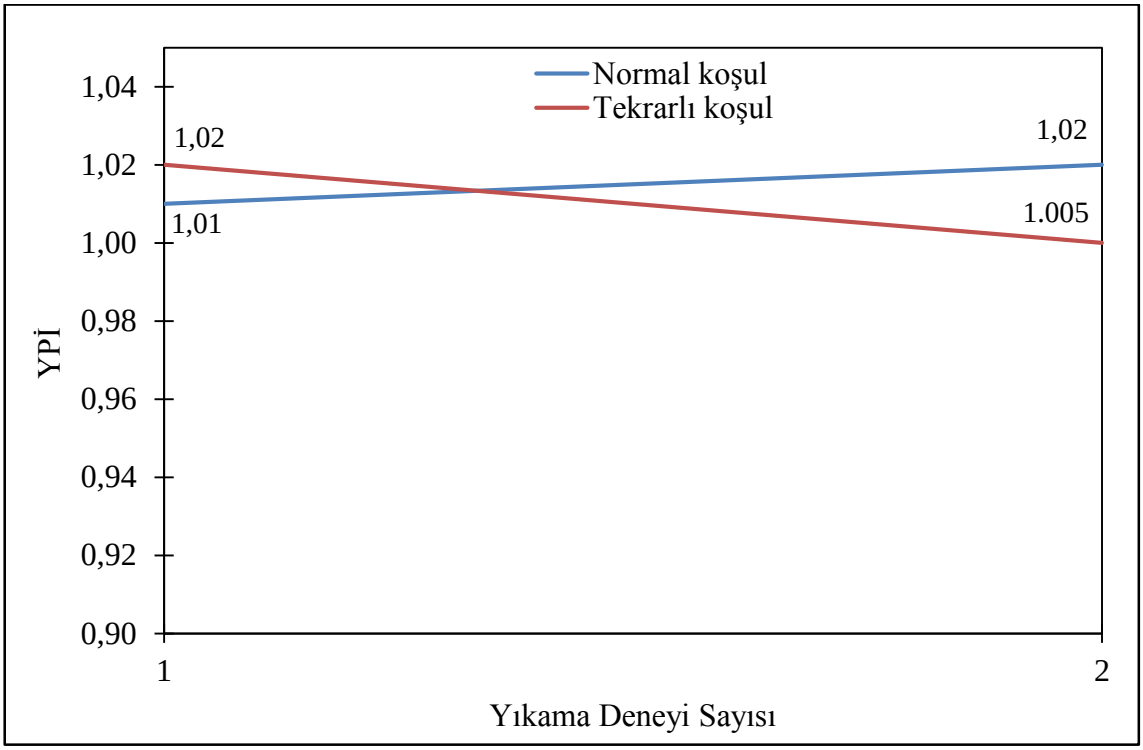
Çizelge 7.15 İki yıkamanın da sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda ölçülen yansıma değerleri

Kir ve lekeler	**Yıkama deneyi sayısı**	**Normal koşuldaki yansıma değerleri**	**Tekrarlı koşuldaki yansıma değerleri**
Sebum	1	67.86	68.62
	2	68.01	67.39
Çay	1	52.29	52.08
	2	52.48	52.34
Spagetti Sosu	1	85,.92	85.86
	2	86.20	85.70
Domates	1	74,.01	74.10
	2	75.08	73.74
Salata Sosu	1	63.65	64.54
	2	66.13	63.83



Şekil 7.41 Her iki yıkamanın da sıvı deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri

Her iki yıkamanın da toz deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda hesaplanan yıkama performans indeksleri Şekil 7.42'de, lekelerin yansıma değerleri Çizelge 7.16'da ve lekelerin yansıma değerleri grafiksel olarak Şekil 7.43'te verilmektedir. Normal koşuldaki YPİ değerinde düşüş belirlenmemiş, tekrarlı koşulda ise YPİ değeri 1.02'den 1.005'e düşmüştür. Ancak bu düşüş performans sınıfı kaybına sebep olmadığı için tekrarlı koşulunun 2 yıkama için yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

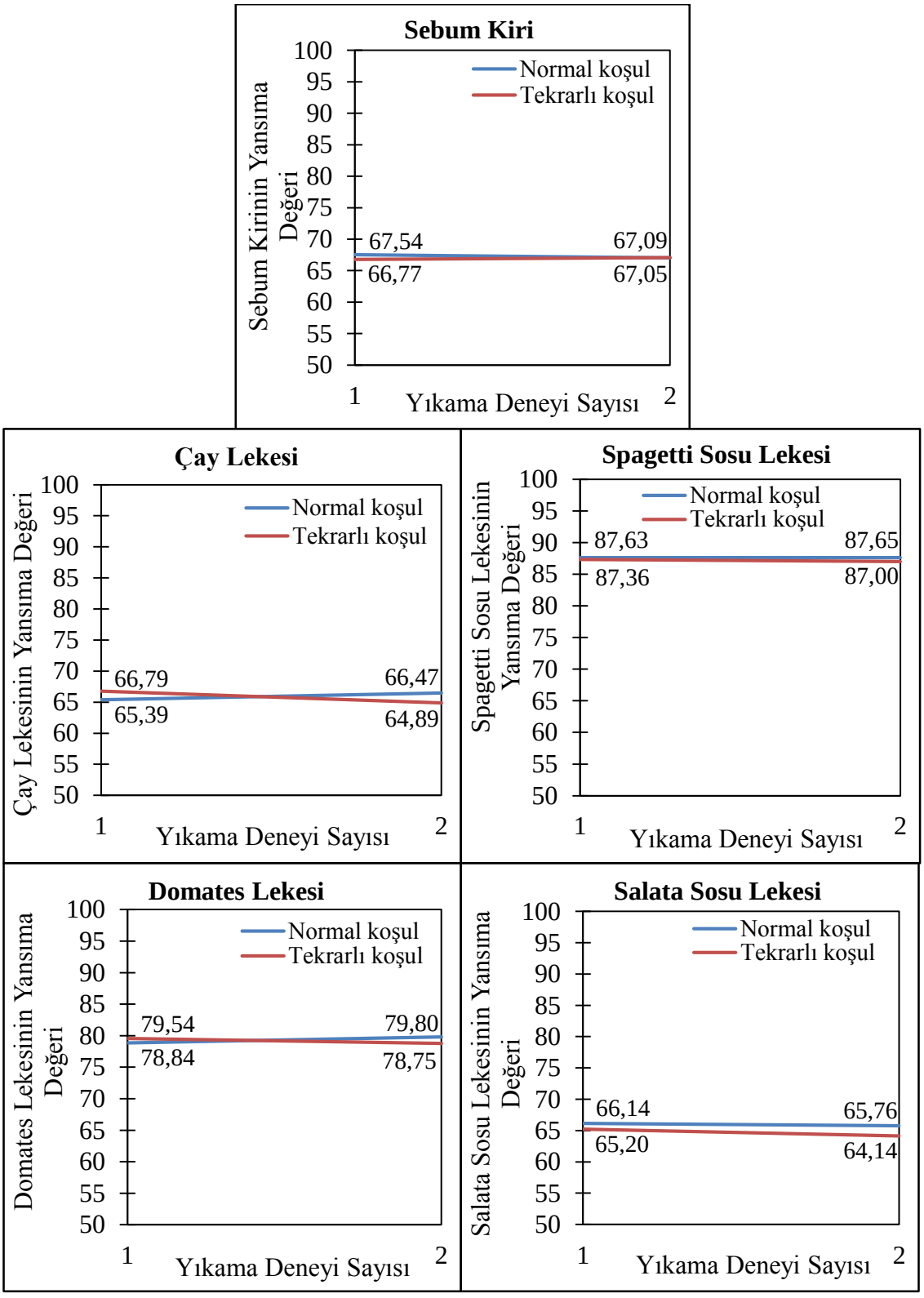


Şekil 7.42 İki yıkamanın da toz deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda hesaplanan yıkama performans indeksleri

İlk yıkamanın sıvı deterjan, ikinci yıkamanın ise toz deterjan ile yapıldığı, her iki yıkamanın sıvı deterjan ile yapıldığı ve her iki yıkamanın toz deterjan ile yapıldığı normal ve tekrarlı koşullardaki yıkama deneyleri sonunda; sebum kiri, çay, spagetti sosu, domates, salata sosu lekelerinin yansıma değerleri karşılaştırılmıştır. Kir ve lekelerin yansıma değerlerinde büyük bir düşüş saptanmamıştır. Ağartıcı bileşenlerin tekrarlı kullanılması nedeniyle çay ve domates lekeleri yansıma değerlerinde bir miktar düşüş olduğu belirlenmiştir. Fakat bu düşüşün, 2 yıkama deneyi yapılan senaryoya göre kabul edilebileceği saptanmıştır. Böylece 2 yıkama deneyi (1 tekrarlı yıkama deneyi) yapılabileceği tespit edilmiştir.

Çizelge 7.16 İki yıkamanın da toz deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda ölçülen yansıma değerleri

Kir ve lekeler	**Yıkama deneyi sayısı**	**Normal koşuldaki yansıma değerleri**	**Tekrarlı koşuldaki yansıma değerleri**
Sebum	1	67.54	66.77
	2	67.05	67.09
Çay	1	65.39	66.79
	2	66.47	64.89
Spagetti Sosu	1	87.63	87.36
	2	87.65	87.00
Domates	1	78.84	79.54
	2	79.80	78.75
Salata Sosu	1	66.14	65.20
	2	65.76	64.14



Şekil 7.43 Her iki yıkamanın da toz deterjan ile yapıldığı yıkama deneyleri sonunda ölçülen kir ve lekelerin yansıma değerleri

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık su içerisinde bulunan toz ve sıvı deterjan miktarı tespit edilmiş ve deterjan içerisindeki bileşenlerin aktiviteleri incelenmiştir. Ayrıca, çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun tekrarlı kullanımı ile toz ve sıvı deterjan dozajlarının ve suyun optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, günlük hayatta sıkça rastlanan, farklı deterjan bileşenlerinden etkilenen kir ve lekeler seçilmiştir. Vücut kiri olarak sebum kiri ve leke olarak çay, spagetti sosu, domates ve salata lekeleri yıkama ortamına eklenerek yıkama deneyleri, 90 dakikalık 60 °C çamaşır makinesi yıkama programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tekrarlı yıkama deneyleri için çamaşır makinesinden tahliye edilen ana yıkama atık suyunun tamamı (12 L) ve 1. Durulama atık suyunun 4 L'si depolanarak bir sonraki yıkama deneyinin ana yıkama giriş suyu olacak şekilde çamaşır makinesine eklenmiştir.

Tekrarlı yıkamalar sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen atık sudaki toz ve sıvı deterjan miktarının belirlenmesine ait bulgular:

Yıkama deneyleri, 5 kg beyaz çamaşır yükü ile toplam 22 g kir (16 g) ve leke (6 g) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

- Toz deterjan ile yapılan 6 tekrarlı yıkama deneyi sonunda beyaz bezlerde grileşme saptanmamıştır. 6 tekrarlı yıkama deneyi için toz deterjan tasarrufunun %65.60 ve su tasarrufunun %23.65 olduğu belirlenmiştir.
- Sıvı deterjan ile 3 tekrarlı yıkama deneyi sonunda beyaz bezlerde grileşme olduğu tespit edilmiştir. 3 tekrarlı yıkama deneyi için sıvı deterjan tasarrufunun %58.57 ve su tasarrufunun %20.69 olduğu belirlenmiştir.

Renkli çamaşırların tekrarlı yıkamalarda kullanılabilirliğinin incelenmesine ait bulgular:

Yıkama deneyleri, toz ve sıvı deterjan ile 3 kg'ı renkli olan 5 kg çamaşır yükü ile toplam 22 g kir kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

- Toz deterjan ile yapılan renkli çamaşır yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen renkli atık suların, toz deterjan içerisindeki ağartıcı maddelerden dolayı yoğun renkte oldukları ve tekrarlı yıkamalarda kullanılamayacakları tespit edilmiştir.
- Sıvı deterjan ile yapılan renkli çamaşır yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen renkli atık suların, toz deterjan ile yapılan renkli çamaşır yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen renkli atık sulara göre daha az renkli olduğu tespit edilmiştir.
- Sıvı deterjan ile yapılan renkli çamaşır yıkama deneyleri sonunda çamaşır makinesinden tahliye edilen renkli atık sulara eklenen hem toz deterjan hem de sıvı deterjan ile tergotometre cihazında yapılan yıkama deneyleri neticesinde her iki deterjan formunda da beyaz bezlerin boyandığı saptanmıştır. Tergotometre cihazında yapılan yıkama deneyleri sonunda, renkli çamaşırların tekrarlı yıkama deneylerinde kullanılamayacağı, tekrarlı yıkama deneylerinin sadece beyaz çamaşırlar ile yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda toz ve sıvı deterjan bileşenlerinin aktivitelerinin incelenmesine ait bulgular:

Yıkama deneyleri, 5 kg beyaz çamaşır yükü ile toplam 22 g kir (16 g) ve leke (6 g) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk yıkama deneyi için önerilen miktar kadar deterjan, sonraki yıkama deneylerinde ise önerilen miktarın %25'i kadar deterjan çamaşır makinesine eklenmiştir.

- Toz deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda ağartıcı maddelerin etkinliklerini kaybettikleri tespit edilmiştir.
- Sıvı deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda enzimlerin aktivitelerini kaybettikleri saptanmıştır.

- Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda hem toz hem de sıvı deterjan içeriğindeki yüzey aktif maddelerin aktivitelerini koruduğu belirlenmiştir.

Tekrarlı yıkama deneyleri sonunda toz ve sıvı deterjan dozaj miktarı belirlenmesine ait bulgular:

Yıkama deneyleri, 5 kg beyaz çamaşır yükü ile toplam 22 g kir (16 g) ve leke (6 g) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yıkama deneyleri için çamaşır makinesinden tahliye edilen ana yıkama atık suyunun tamamı (12 litre) ve 1. Durulama atık suyunun 4 litresi toplam 16 litre atık su bir sonraki yıkama deneyinde kullanılmış ve belirlenen dozaj miktarı kadar deterjan çamaşır makinesine eklenmiştir.

- ***Toz deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneylerinde;*** %15, %25 ve %35 toz deterjan dozajları ile tekrarlı yıkama deneyleri yapılmıştır. %15 toz deterjan dozajının yıkama performans indeksinin düşük olması ve yıkama deneyleri sonunda beyaz bezlerin grileşmesi neticesinde %15 toz deterjan dozajının yıkama performansında etkin olmadığı belirlenmiştir. %25 ve %35 toz deterjan dozajları ile yapılan tekrarlı yıkama deneyleri sonunda sebum kirinin, çay, spagetti sosu, domates, salata sosu lekelerinin yansıma değerleri incelendiğinde; iki dozaj miktarının arasında yıkama performansı olarak büyük fark saptanmamıştır. Daha fazla deterjan tasarrufu sağlamak amacıyla optimum deterjan dozajı olarak belirlenen %25 toz deterjan dozajı ile 4 tekrarlı yıkama deneyi (toplam 5 yıkama deneyi) yapılabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Optimum %25 toz deterjan dozajı ile 4 tekrarlı yıkama yapılabildiği tekrarlı yıkama deneyleri sonunda %60 toz deterjan tasarrufu ve 16 litre atık suyun tekrarlı kullanımı ile %22.07 su tasarrufu elde edilmiştir.
- ***Sıvı deterjan ile yapılan tekrarlı yıkama deneylerinde;*** %10, %20 ve %35 sıvı deterjan dozajları ile tekrarlı yıkama deneyleri yapılmıştır. %10 sıvı deterjan dozajının hem yıkama performansında hem de beyaz bezlerin grileşmesinde etkin olmadığı belirlenmiştir. Sebum kiri ve çay, spagetti sosu, domates, salata sosu lekelerinin yansıma değerlerine göre %20 ve %35 sıvı deterjan dozajlarında yıkama performansının aynı olduğu saptanmıştır. Daha fazla sıvı deterjan tasarrufu sağlamak amacıyla optimum deterjan dozajı olarak belirlenen %20 sıvı deterjan dozajı ile 3 tekrarlı yıkama deneyi (toplam 4 yıkama deneyi) yapılabildiğine karar verilmiştir. Optimum %20 sıvı deterjan dozajı ile 3 tekrarlı yıkama yapılabildiği tekrarlı yıkama

deneyleri sonunda %60 sıvı deterjan tasarrufu 16 litre atık suyun tekrarlı kullanımı ile %20.67 su tasarrufu elde edilmiştir.

Tekrarlı yıkamalara ait yapılan doğrulama çalışmalarına ait bulgular:

Renkli çamaşırların tekrarlı yıkamalarda kullanılamaması tespitine dayanarak, ilk yıkamanın beyaz, 2. yıkamanın ise renkli çamaşırlar ile toplam 2 yıkamanın yapıldığı bir senaryo oluşturulmuş ve doğrulama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan senaryoya göre; i) İlk yıkamanın toz deterjan, 2. yıkamanın sıvı deterjan ile yapıldığı, ii) Her iki yıkamanın sıvı deterjan ile yapıldığı, iii) Her iki yıkamanın toz deterjan ile yapıldığı koşullar belirlenmiştir. Belirtilen koşullarda yapılan yıkama deneylerinin sonunda yıkama performans indekslerinin yanısıra kir ve lekelerin yansıma değerleri incelenerek optimum olduğu belirlenen %25 toz deterjan ve %20 sıvı deterjan dozajları ile tekrarlı yıkama uygulamalarının yapılabileceği doğrulanmıştır.

Özet olarak; Çamaşır makinesinden tahliye edilen atık suyun tekrarlı kullanımı ile deterjan dozajının ve suyun optimizasyonu sağlanmıştır. Tekrarlı yıkamalarda renkli çamaşırların kullanılamayacağı, sadece beyaz çamaşırlar ile tekrarlı yıkamaların yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Tekrarlı yıkamalar sonunda toz ve sıvı deterjan bileşenlerinin aktiviteleri incelenmiş ve toz deterjan içerisindeki ağartıcıların ve sıvı deterjan içerisindeki enzimlerin aktivitelerini kaybettikleri belirlenmiştir. 90 dakikalık 60 ^{o}C çamaşır makinesi yıkama programı kullanılarak seçilen kir ve lekeler ile farklı deterjan dozaj miktarlarında tekrarlı yıkamalar gerçekleştirilmiş ve optimum %25 toz deterjan dozajı ile 4 tekrarlı yıkama yapılarak %60 toz deterjan tasarrufu ve %22.07 su tasarrufu; optimum %20 sıvı deterjan dozajı ile 3 tekrarlı yıkama yapılarak %60 sıvı deterjan tasarrufu ve %20.67 su tasarrufu yapılabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan yıkama deneylerine ilave olarak;

Çamaşır makinesi yıkama algoritmasında yapılacak değişiklikler (sıcaklık, süre vb. gibi) ile yıkama performansının arttırılması ve deterjan içerisindeki ağartıcı ve enzim bileşenlerinden etkilenen lekelerin temizlenme performanslarının incelenmesi, sıcaklığın ve/veya sürenin arttırılması ile yıkama performansının incelenmesi çalışmaları gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Bajpai, D., Tyagi, V.K., (2007). "Laundry Detergents: An Overview", J. of Ole Sci., 56(7): 327-340.

[2] Claus, S., Van Bogaert, I.N.A., (2017). "Sophorolipid Production by Yeasts: A Critical Review of The Literature and Suggestions for Future Research", Appl Microbiol Biotechnol, 101(21):7811-7821.

[3] Ríos F., Fernández-Arteaga A., Lechuga M., Fernández-Serrano M. (2018). "Ecotoxicological Characterization of Surfactants and Mixtures of Them", Methods in Pharmacology and Toxicolog Bidoia E., Montagnolli R. (eds), Humana Press, New York.

[4] McWilliams, P., (2000). Bioaccumulation Potential of Surfactants: A Review, European Oilfield Specialty Chemical Association (EOSCA) Report, Aberdeen UK.

[5] Ciabatti, I., Cesaro, F., Faralli, L., Fatarella, E., Tognotti, F., (2009). "Demonstration of A Treatment System for Purification and Reuse of Laundry Wastewater", Desalination 245, 451-459.

[6] Giagnorio, M., Amelio, A., Grüttner, H., Tiraferri, A., (2017). "Environmental Impacts of Detergents and Benefits of Their Recovery in The Laundering Industry", Journal of Cleaner Production.

[7] Smulders, E., (2002). Laundry Detergents, Wiley-VCH Verlag GmbH., Weinheim.

[8] Kogawa, A.C., Cernic, B.G., Couto, L.G.D., Salgado, H.R.N., (2017). "Synthetic Detergents: 100 Years of History", Saudi Pharmaceutical Journal.

[9] Järvi, P., Paloviita, A., (2007). "Product-Related Information For Sustainable Use of Laundry Detergents in Finnish Households", Journal of Cleaner Production 15, 681-689.

[10] Peitz, S., Gräler, M., Henke, C., Molo, M.H., Dellnitz, M., Trächtler, A., (2016). "Multiobjective Model Predictive Control of an Industrial Laundry", Procedia Technology 26, 483 – 490.

[11] Yangxin, Y., Jin, Z., Bayly, A.E., (2008). "Development of Surfactants and Builders in Detergent Formulations", Chinese Journal of Chemical Engineering, 16(4): 517-527.

[12] Wash Wise, An Initiative of ACCORD, Laundry Detergent Ingredients Information Sheet, http://www.washwise.org.au/_documents/Laundry%20detergent%20ingredients%20info%20sheet.pdf, 30 Ocak 2018.

[13] Dataphysics, Surfactants and Critical Micelle Concentration (CMC), http://www.dataphysics.de/2/start/understanding-interfaces/basics/surfactants-and-critical-micelle-concentration-cmc/, 12 Mart 2018.

[14] Dow Chemicals, What is Critical Micelle Concentration?, https://dowac.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/3280/related/1/session/L2F2LzIvdGltZS8xNTIwODM1MTYxL2dlbi8xNTIwODM1MTYxL3NpZC9mVUluV3ZIZDhsa3pzN0NVdkk2TVYlN0U0S1hkWFJsb05WM01CRUhqaVpnVlZDWDFqWmtQcXhtUXZKZ3RGU0p6YmFrd1RhNWh1am05cFkzX1VHRWFhOGNrMUxGSVg2QXhDZWhfSkJhNGZLejliakRTOUM1Z1NCSWVvdyUyMSUyMQ==, 12 Mart 2018.

[15] Johnson, M.T., Marcus, B., (1996). "Competitive Implications of Environmental Regulation: In The Laundry Detergent Industry", The Management Institute for Environment & Business, June 1996.

[16] Nirula, S.C., (1987). Detergent Builders, Process Economics Program Report No: 183, SRI International, California.

[17] European Commission, EP Supports Ban of Phosphates in Consumer Detergents, http://europa.eu/rapid/press-release_IP-11-1542_en.htm, 28 Şubat 2018.

[18] Laurent, J.B.S., Buzzaccarini, F.D., Clerck, K.D., Demeyere, H., Labeque, R., Lodewick, R., Langenhove, L.V., (2007). Handbook For Cleaning/Decontamination of Surfaces, First edition, Elsevier, The Netherlands.

[19] Bianchetti, G.O., Devlin, C.L., Seddon, K.R., (2015). "Bleaching Systems in Domestic Laundry Detergents: A Review", RSC Adv.,5, 65365–65384.

[20] Ilec, E., Simončič, B., Hladnik, A., (2009). "Evaluation of Surfactant Detergency Using Statistical Analysis", Textile Research Journal Vol 79(4): 318–325.

[21] Xu, B., Li, Q., Wang, Y., (2011). "Effects of pH Values of Hydrogen Peroxide Bleaching Agents on Enamel Surface Properties", Operative Dentistry, 36-5, 554-562.

[22] Fei, X., Yao, J., Du, J., Sun, C., Xiang, Z., Xu, C., (2015). "Analysis of Factors Affecting The Performance of Activated Peroxide Systems on Bleaching of Cotton Fabric", Cellulose, Volume 22, 1379–1388.

[23] Long, X., Xu, C., Du, J., Fu, S., (2013). "The TAED/H_2O_2/$NaHCO_3$ System as an Approach to Low-Temperature and Near-Neutral pH Bleaching of Cotton", Carbohydrate Polymers 95, 107– 113.

[24] Milne, N.J., (1998). "Oxygen Bleaching Systems in Domestic Laundry", Journal of Surfactants and Detergents, Vol. 1, No. 2.

[25] Hage, R., Lienke, A., (2006). "Bleach and Oxidation Catalysis by Manganese–1,4,7-Triazacylononane Complexes and Hydrogen Peroxide", Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 251, 150–158.

[26] Hosseinian, F.S., Li, W., Beta, T., (2008). "Measurement of Anthocyanins and Other Phytochemicals in Purple Wheat", Food Chemistry 109, 916–924.

[27] Khoo, H.E., Azlan, A., Tang, S.T., Lim, S.M., (2017). "Anthocyanidins and Anthocyanins: Colored Pigments as Food, Pharmaceutical Ingredients, and the Potential Health Benefits", Food & Nutrition Research, Vol. 61, 1361779.

[28] Iacobucci, G.A., Sweeny, J.G., (1983). "The Chemistry of Anthocyanins, Anthocyanidins and Related Flavylium Salts", Tetrahedron, Volume 39, Issue 19, 3005-3038.

[29] Sondheimer, E., Kertesz, Z.I., (1951). "The Kinetics of The Oxidation of Strawberry Anthocyanin by Hydrogen Peroxide", Journal Paper No. 878, New York State Agricultural Experiment Station, Geneva.

[30] Thompson, K.M., Griffith, W.P., Spiro, M., (1993). "Mechanism of Bleaching by Peroxides: Part 2: Kinetics of Bleaching oh Alizarin and Crocetin by Hydrogen Peroxide at High pH", J. Chem. Soc. Faraday Trans. 89(22), 4035-4043.

[31] Erdoğan, S., Protein ve Aminoasit Metabolizması, Aralık 2013, http://slideplayer.biz.tr/slide/2919051/, 20 Mart 2018.

[32] Biyolojidersim İnternet Sitesi, Canlıların Yapısında Bulunan Temel Bileşikler 1: Karbohidratlar, http://biyolojidersim.com/canlilarin-yapisinda-bulunan-temel-bilesikler-1-karbohidratlar/, 20 Mart 2018.

[33] Doğan, B., Lipaz, https://bektasdogan.wordpress.com/2016/05/06/lipaz/, 20 Mart 2018.

[34] Lipases and IP_3, http://www.angelfire.com/sc3/toxchick/pharmtox/pharmtox24.html, 15 Ağustos 2018.

[35] Gürsel, M., (2014). Çamaşir Makinelerinde Durulama Performansi Ölçüm Metodu Oluşturma Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Istanbul.

[36] Cameron, B.A., (2007). "Launderin in Cold Water: Detergent Considerations For Consumers", Family and Consumer Sciences Research Journal, Vol. 36, No. 2.

[37] Novozymes, Tips on How Best to Use Enzymes in Your Formulations, http://slideplayer.com/slide/4627639/, 26 Şubat 2018.

[38] P&G, Ultra Tide Powdered Detergent, https://www.pg.com/productsafety/ingredients/household_care/laundary_fabric_care/Tide/Ultra_Tide_Powdered_Detergent_Original.pdf, 26 Şubat 2018.

[39] P&G, Tide Liquid, https://www.pg.com/productsafety/ingredients/household_care/laundary_fabric_care/Tide/Tide_Liquid_Original.pdf, 26 Şubat 2018.

[40] Efe, S., (2015). Deterjan Bileşenlerinin Temizleme Aktivitesi Üzerine Mekanik Hareket ve Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[41] Zuheros, R. G., Lopez, R. A., Molina, P.H., (2011). "Structural Analysis of A Washing Machine Through Its Loading Cases. Redesign of The Tripod and The Front Cover", Bachelor Degree Project, University of Skovde, Department of Mechanics School of Technology and Society, Skövde.

[42] Maxwell, L., (2009). "Who Invented the Electric Washing Machine?", http://www.oldewash.com/articles/electric_washer.pdf, 5 Mart 2018.

[43] Kaşıkçı, N., (2016). Improving Inlet Water Quality for Washing Machine by Using Electrochemical Application, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Blimleri Enstitüsü, İstanbul.

[44] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Aile ve Tüketici Hizmetleri, (2011). "Çamaşır Yıkama 814EH0037", Ankara.

[45] Ransom Spares, Anatomy of A Washing Machine, https://www.ransomspares.co.uk/common-washing-machine-problems/, 16 Ağustos 2018.

[46] Bulut, B., (2013). Membranlı Su Yumuşatma Sistemleri ve Çamaşır Makinesine Entegrasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[47] Elektronik Hobi, Su Giriş Vanası-Çamaşır Makinesi, http://elektronikhobi.net/su-giris-vanasi-camasir-makinesi/ 8 Mart 2018 .

[48] Mohamed, R.M., Al‑Gheethi, A.A., Noramira, J., Chan, C.M., Amir Hashim, M.K., Sabariah, M., (2018). "Effect of Detergents from Laundry Greywater on Soil Properties: a Preliminary Study", Applied Water Science, 8:16.

[49] Bao, W., Gong, R.H., Ding, X., Xue, Y., Li, P., Fan, W., (2017). "Optimizing a Laundering Program For Textiles in A Front-Loading Washing Machine and Saving Energy", Journal of Cleaner Production 148, 415-421.

[50] Laitala, K., Klepp, I.G., Henry, B., (2017). "Global Laundering Practices: Alternatives to Machine Washing", TKS Publishing, https://oda.hioa.no/en/item/asset/dspace:14930/Global%20laundering%20practices-submission2_changes_accepted.pdf, 26 Mart 2018.

[51] Alborzi, F., Schmitz, A., Stamminger, R., (2016). "Long Wash Cycle Duration as a Potential for Saving Energy in Laundry Washing", Energy Efficiency.

[52] Ferri, A., Osset, M., Abeliotis, K., Amberg, C., Candan, C., Owens, J., Stamminger, R., (2016). "Laundry Performance: Effect of Detergent and Additives on Consumer Satisfaction", Tenside Surf. Det. 53, 4.

[53] Pakula, C., Stamminger, R., (2010). "Electricity and Water Consumption For Laundry Washing by Washing Machine Worldwide", Energy Efficiency.

[54] Kruschwitz, A., Augsburg, A., Stamminger, R., (2013). "How Effective are Alternative Ways of Laundry Washing?", Tenside Surf. Det. 50, 4.

[55] Laitala, K., Kjeldsberg, M., (2012). "Cleaning Effect of Alternative Laundry Products A Comparison of Soap Nuts, Laundry Balls, Washing Pellets, Laundry Magnets, Water and Regular Detergent", Household and Personal Care Today-Vol. 7 nr. 4.

[56] Giagnorio, M., Søtoft, L.F., Tiraferri, A., Grüttner, H., (2017). "Ultrafiltration to Reuse Laundering Wash Water: Evaluation of Membranes and Permeate Flux", Desalination and Water Treatment, 62, 22–30.

[57] Senthilmurugan, S., Venkatesh, T., (2016). "Grey Water Treatment and Simultaneous Surfactant Recovery Using UF and RO Process", Separation Science and Technology.

[58] Woo, J.H., Kim, J., Park, C.H., (2014). "Contributing Ratio of the Mechanical and the Physicochemical Actions to Washing Efficiency of Mineral Oil and Protein Soils", Fibers and Polymers 2014, Vol.15, No.3, 645-652.

[59] Olsson, J., Ivarsson, P., Winquist, F., (2008). "Determination of Detergents in Washing Machine Wastewater with a Voltammetric Electronic Tongue", Talanta 76, 91–95.

[60] Nielsen, P.H., Skagerlind, P., (2007). "Cost-Neutral Replacement of Surfactants with Enzymes - A Short-Cut to Environmental Improvement For Laundry Washing", Household and Personal Care Today, nr. 4.

[61] Acikgoz Tufan, H., Gocek, I., Sahin, U.K., Erdem, I., (2017). "A Novel Washing Algorithm For Underarm Stain Removal", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 254, 082001.

[62] Espacenet Patent Research, https://worldwide.espacenet.com/

[63] Zhiqing, L. (2009). European Patent No: EP CN201209215 (Y). China: European Patent Office

[64] Yamanaka, M., Daimon, H. (2012). European Patent No: EP JP5097577 (B2). Japan: European Patent Office

[65] Jing, L. (2009). European Patent No: EP CN201258412 (Y). China: European Patent Office

[66] Goebel, I., Guhl, W., Wieser, H.J. (2001). European Patent No: EP US6306303 (B1). United State: European Patent Office

[67] Back, D.D., Scaringe, R.P., Ramos, C., Samad, N.A., Gann, S.S.D. (1999). European Patent No: EP US5868937 (A). United States: European Patent Office

[68] Lerche, E., Kneist, K., Rohbeck, H., Hillemann, D., Schwarz, R. (1998). European Patent No: EP0749403 (B1). Germany: European Patent Office

[69] WFK Testgewebe GmbH- Test Materials and Concepts, http://www.testgewebe.de/en/products/sbl/sbl-2004/, 10 Mayıs 2018.

[70] Center For Test Mateirals B.V. (CFT), Swatchbook (Version 7.290), http://www.cftbv.nl/downloads/, 10 Mayıs 2018.

[71] EN 60456, (2016). Clothes Washing Machines for Household Use—Methods For Measuring The Performance (IEC 60456:2010, modified), British Standard.

[72] Schmitt, T.M., (2001). Analysıs of Surfactants, Second Edition, Marcel Dekker, Inc. New York

[73] Zhao, X., Dong, D., Li, Y., Zhao, C., (2017). "Detection of Domestic Detergent Residues on Porcelain Tableware Using Laser Induced Breakdown Spectroscopy", RSC Adv., 2017, 7, 28689–28695

[74] CELENEC, TC59X/Sec0664/NP, (2017). Clothes Washing Machines and Washer-Dryers For Household and Similar Use - Method For The Determination of Rinsing Effectiveness by Measurement of The Surfactant Content at Textile Materials, Germarny.

[75] Yeşil, Y., (2010). Melanj Elyaf Karışımlarında Renk Değerlerinin Yeni Bir Algoritma Geliştirilerek Tahmin Edilmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mine ÇELİK

Doğum Tarihi ve Yeri : 27.10.1991 , Edirne

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : minecelik27@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Biyomühendislik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2017
	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lise	Fen Bilimleri	Kadıköy Anadolu Lisesi	2011

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2016-2018	Arçelik, Merkez Ar-Ge	Proje Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. **Çelik, M.,** Dalak, E., Ülger, Z., Özbek, B., (2018). "A Study on the Laundry Powder Detergent Saving by Repetitive Use of Active Detergent Components", Proceedings of Academic Conference Network (ACN) International Conference, International Conference on Environment, Agriculture and Biotechnology (ICEABT), İstanbul, Türkiye, 20-20 Şubat 2018, pp. 3-3.