

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**OZON, UV, ULTRASON TEKNOLOJİLERİ VE
KOMBİNASYONLARININ ÖN TERBİYE
İŞLEMLERİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Seher Dereli PERİNCEK

Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 621.01.04

Sunuş Tarihi: 15.08.2006

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kerim DURAN

Bornova – İZMİR

ÖZET

**OZON, UV, ULTRASON TEKNOLOJİLERİ VE
KOMBİNASYONLARININ ÖN TERBİYE İŞLEMLERİNE
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

PERİNCEK, Seher Dereli

Yüksek Lisans Tezi, Tekstil Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Kerim DURAN

Ağustos 2006, 194 sayfa

Bu çalışmanın amacı, jüt ve pamuklu kumaşların ön terbiyesinde yenilikçi terbiye tekniklerinin (ultrason, ozon, ultraviyole teknolojilerinin) etkilerini araştırmaktır. Ozon teknolojisi uzun bir süredir tekstil hariç bazı endüstrilerde bir oksidasyon tekniği olarak kullanılmaktadır. Ultrason ve ultraviyole teknolojileri ise tekstil sektörü açısından hala olgunlaştırılmaya çalışmakta ise de, bu teknolojilerin birçok uygulamaları bilim ve teknolojiye bulunmaktadır. Bu amaçla, ozon ağartmasında kumaş pH'ının, neminin ve ortam sıcaklığının, ultrason ve ultraviyolenin tekstil ön terbiyesine etkileri hakkında kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen denemeler neticesinde, ozon, ultrason ve ultraviyole teknolojileri kullanımı ile ısıtma enerjisi, su ve kimyasal madde tasarruflarının rahatlıkla sağlanabileceği bulunmuştur. Ayrıca bu prosesler klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında, ekolojik olmaları açısından yeşil prosesler olarak adlandırılmaktadır.

Anahtar kelimeler: ozonlama, ultrason, ultraviyole, ileri oksidasyon yöntemleri, terbiye, pamuk, jüt

VII

ABSTRACT

AN INVESTIGATION ON THE APPLICABILITY OF ULTRASOUND, ULTRAVIOLET, OZONE AND COMBINATION OF THESE TECHNOLOGIES AS A PRETREATMENT PROCESS

PERİNCEK, Seher Dereli

MSc in Textile Eng.

Supervisor: Prof. Dr. Kerim DURAN

August 2006, 194 page

The aim of this study is to investigate the effects of new advanced treatment techniques (ultrasound, ozonation and ultraviolet technologies) on pretreatment of jute and cotton fabrics. Ozonation technology is in use as an oxidation technique in some industries except textile industry quite a while. The field of ultrasonic and ultraviolet technology is still making strides towards perfection for textile industry, but already many applications of ultrasonic energy have been found in science and technology. For this purpose, a detailed investigation has been carried out about the role of the fabric's moisture, pH and medium temperature during ozone bleaching and the effects of ultrasound and ultraviolet on textile pretreatment processes. At the end of the experiments, it was found that such savings "thermal energy, water and chemicals" can be ensured easily with the use of ozone, ultrasound and ultraviolet. Moreover these processes are called as a green process because of being ecological when compared with that of conventionally processes.

Keywords: ozonation, ultrasound, ultraviolet, advanced oxidation processes, finishing, cotton, jute.

IX

TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçimi, denemelerin yönlendirilmesi, tezin düzenlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi sırasında yol gösteren, destek olan kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Kerim DURAN'a , akademik katkılarından dolayı Sayın Yrd. Doç Dr. Ayşegül Ekmekçi KÖRLÜ' ye, bu konuda araştırma yapmamızı destekleyen TÜBİTAK TAM'a, projede fikirleriyle katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Işık TARAKÇIOĞLU'na, tez çalışmamda teknolojik destek sağlayan Faruk TİMUÇİN'e (AGS Group İç ve Dış Ticaret A.Ş.), simülasyon çalışmalarının gerçekleştirilmesine olanak sağlayan Prof. Dr. Aydın DOĞAN'a (Anadolu Üniversitesi öğretim üyesi), çalışmalarımda bana yardımcı olan Arş. Gör. İbrahim BAHTİYARİ'ye, Tekstil Mühendisi Mustafa BAHAR' a ve Duygu Özdemir'e, tekn. Gözde SEPET'e ve Nurşen DÜZGÖREN'e, Kimyasal ve Fiziksel Tekstil Muayeneleri Laboratuvarında görevli tüm arkadaşlarıma, tez çalışmam süresince her yönden destek ve dostluklarını esirgemeyen tüm araştırma görevlisi, tekniker arkadaşlarıma ve terbiye işletmesi çalışanlarına, hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen AİLEM'e ve manen hep yanımda olan eşim Oğuz PERİNCEK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

XI
İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
TEŞEKKÜR	IX
İÇİNDEKİLER	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XX
ÇİZELGELER DİZİNİ	XXVIII
1. GİRİŞ	1
2. OZON TEKNOLOJİSİ	3
2.1 Ozonun Fiziksel Özellikleri	4
2.2 Ozonun Kimyasal Özellikleri	5
2.2.1 Moleküler Ozon Reaktivitesi	7
2.3 Ozon ve Selüloz Arasındaki İlişki	9
2.4 Ozon ve Lignin Arasındaki İlişki	12
2.5 Ozona Etki Eden Faktörler	13
2.5.1 Ozonun Bozunmasına Yol Açan Kimyasal Reaksiyonlar	13
2.5.2 Sıcaklık	14
2.5.3 pH	15
2.5.4 Tuz ve Deterjanlar	20

İÇİNDEKİLER (Devam)

Sayfa

2.6 Ozonun Oluşumu	22
2.6.1 Ozonun Doğada Oluşumu	22
2.6.2 Ozonun Yapay Olarak Üretimi	26
2.6.2.1 Fotokimyasal Olarak Ozon Üretimi	26
2.6.2.2 Elektrolitik Ozon Üretimi	27
2.6.2.3 Radyokimyasal Ozon Üretimi	28
2.6.2.4 Corona Discharge ile Ozon Üretimi	28
2.6.3 Ozon Jeneratörleri	29
2.6.3.1 Ozon Jeneratörü Tipleri	30
2.7 Ozonun Kullanım Alanları	31
2.7.1 Atık-Atık Su Arıtmada Ozon Kullanımı	31
2.7.2 Su Dezenfeksiyonunda Ozon Kullanımı	32
2.7.3 Koku Gidermede Ozon Kullanımı	32
2.7.4 Bakteri ve Virüslerin Dezenfeksiyonunda Ozon Kullanımı	33
2.7.5 Gıda Endüstrisinde Ozon Kullanımı	34
2.7.6 Yıkama İşlemlerinde Ozon Kullanımı	35
2.7.7 Yüzme Havuzu Dezenfeksiyonunda Ozon Kullanımı	35
2.7.8 Kağıt Endüstrisinde Ozon Kullanımı	36

İÇİNDEKİLER (Devam)

Sayfa

2.7.9 Çiçekçilik Sektöründe Ozon Kullanımı	36
2.7.10 Tekstil Sektöründe Ozon Kullanımı	36
2.8 Ozon ve Çevre	38
2.9 Ozonun Sinerjitik Etki Gösterdiği Diğer Kimyasallar ve Teknolojiler ..	40
2.9.1 Ozon-Hidrojenperoksit İlişkisi	40
2.9.2 Ozon-UV İlişkisi	44
2.9.3 Ozon-UV-Peroksit İlişkisi	45
2.9.4 Ozon-US İlişkisi	46
2.9.5 Ozon-UV-US İlişkisi	47
3. ULTRASON TEKNOLOJİSİ	48
3.1 Ultrason Dalgaları	50
3.1.1 Ultrason Gücü ve Şiddeti	51
3.1.2 Ultrason Dalgalarının Elde Edilmesi	51
3.1.3 Piezoelektrik Olay	52
3.2 Ultrason Kavıtasyonu	57
3.2.1 Sıvı-Katı Sistemlerinde Kavıtasyon	60
3.2.2 Kavıtasyonu Etkileyen Parametreler	63

İÇİNDEKİLER (Devam)

Sayfa

3.2.2.1 Sıcaklık	63
3.2.2.2 Çözelti Viskozitesi	63
3.2.2.3 Cihazın Ultrasonik Gücü	64
3.2.2.4 Ultrasonik Frekans	64
3.2.2.5 Kullanılan Kimyasalın Cinsi	66
3.2.2.6 Çözeltinin Yüzey Gerilimi	66
3.2.2.7 Çözelti Buhar Basıncı	67
3.2.2.8 Dışarıdan Uygulanan Basınç	67
3.2.2.9 Sonikasyon Şiddeti	67
3.2.2.10 Sesin Otenasyonu	68
3.2.2.11 Su İçerisindeki Çözünmüş Gaz Miktarı	69
3.3 Ultrason Teknolojisinin Uygulama Alanları	70
3.3.1 Tekstil Sanayinde Kullanımı	75
3.3.1.1 Tekstilde Yardımcı İşlemlerde Ultrason Enerjisinin Kullanımı	75
3.3.1.2 Haşıl Sökme, Pişirme ve Ağartma İşlemlerinde Ultrason Enerjisinin Kullanımı	76
3.3.1.3 Yıkama İşlemlerinde Ultrason Enerjisinin Kullanımı	77
3.3.1.4 Boyama İşlemlerinde Ultrason Enerjisinin Kullanımı	80
3.3.1.5 Yıkama-Durulama İşlemlerinde Ultrason Enerjisinin Kullanımı ...	84
3.3.1.6 Enzimatik İşlemlerde Ultrason Kullanımı	87
4. ULTRAVİYOLE TEKNOLOJİSİ	89

İÇİNDEKİLER (Devam)

Sayfa

4.1 Elektromanyetik Dalgalar	89
4.2 Elektromanyetik Spektrum Bölgeleri	90
4.2.1 Ultraviyole Işığı	92
4.3 Ultraviyole Işığının Selüloz Polimerine Etkisi	95
4.4 UV Teknolojisinin Tekstil Endüstrisindeki Kullanım Alanları	96
4.4.1 Boyarmadde Afinitesinin Değiştirilmesi	99
4.4.2 Yünlü Kumaşların Baskı Öncesi Hazırlanması	99
4.4.3 Pilling Oluşumunun Önlenmesi	100
4.4.4 Boyalı Mamullerin Renginin Açılması	100
4.4.5 Tekstil Atık Sularının Arıtılmasında	101
4.4.6 UV -Hidrojenperoksit Sinerjetik İlişkisi	101
5. MATERYAL ve YÖNTEM	102
5.1 Kullanılan Materyal ve Cihazlar	102
5.1.1 Kimyasal ve Yardımcı Maddeler	102
5.1.2 Kumaş	103
5.1.3 Su	104
5.1.4 Makine ve Cihazlar	104
5.2 Değerlendirmede Kullanılan Test ve Analiz Yöntemleri	109

İÇİNDEKİLER (Devam)

Sayfa

5.2.1 Kumaş Üzerinde Haşıl Sökme Derecesi Tayin Yöntemi	109
5.2.2 Beyazlık Derecesi Ölçümü	109
5.2.3 Hidrofilite Testi	109
5.2.4 Kopma Mukavemeti Testi	110
5.2.5 Ortalama Polimerizasyon Derecesi Tayini	110
5.2.6 İyot Absorpsiyonu Yöntemi	110
5.2.7 Fehling Testi	111
5.2.8 Ozon Titrasyon Yöntemi	112
5.3 Yöntem	114
5.3.1 Laboratuvar Tipi Ozon Cihazında Gerçekleştirilen Denemeler	114
5.3.1.1 Pamuklu Mamullerin Ozon ile Ağartılmasında Optimum Çalışma Koşullarının Belirlenmesine Dair Denemeler	114
5.3.1.2 Jüt Mamullerin Ozon ile Ağartılmasında Optimum Çalışma Koşullarının Belirlenmesine Dair Denemeler	117
5.3.2 Ultrasonik Ortamdaki Optimum Çalışma Koşullarının Belirlenmesine Dair Denemeler	120
5.3.3 Prototip US/UV/Ozon Kombinasyonlu Kontinü Terbiye Makinesinde Gerçekleştirilen Denemeler	121
6. BULGULAR ve TARTIŞMA	124

İÇİNDEKİLER (Devam)

Sayfa

6.1 Ham Pamuklu Dokuma Kumaşların Ozon Gazı ile Ağartılmasına Ait Denemeler	124
6.1.1 Ozonlama İşlemi Sonrası Gerçekleştirilen Durulama İşleminin Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi	124
6.1.2 Ozonlama İşleminde Kumaşın Sahip Olduğu A_F Değerinin ve İşlem Süresinin Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi	125
6.1.3 Ozonlama İşleminde Kumaşın Sahip Olduğu pH Değerinin Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi	134
6.1.4 Ozonlama İşleminde Reaksiyonun Gerçekleştiği Ortam Sıcaklığının Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi	136
6.1.5 Ozonlama İşleminin Kristalinite Derecesine Etkisi	137
6.1.6 Konvansiyonel ve Ozon ile Ağartma Yöntemlerinin Karşılaştırılması	137
6.2 Ham Jüt Dokuma Mamullerin Ozon Gazı ile Ağartılmasına Ait Denemeler	141
6.2.1 Ozonlama İşleminde Kumaşın Sahip Olduğu A_F Değerinin ve İşlem Süresinin Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi	143
6.2.2 Ozonlama İşleminde Kumaşın Sahip Olduğu pH Değerinin Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi	145
6.2.3 Ozonlama İşleminde Reaksiyonun Gerçekleştiği Ortam Sıcaklığının Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi	147
6.2.4 Ozonlama İşlemi ile Ham Jüt Dokuma Mamullerin Ağartılmasında Belirlenen Optimum Çalışma Koşulları	148

İÇİNDEKİLER (Devam)

Sayfa

6.2.5 Ozonla Ağartma Yönteminin Konvansiyonel Ağartma Yöntemleri ile Kıyaslanması	149
6.2.5.1 Beyazlık Derecesine Etkileri Açısından Konvansiyonel ve Ozon ile Ağartma Yöntemlerinin Karşılaştırılması	149
6.2.5.2 Hidrofilite Derecesine Etkileri Açısından Konvansiyonel ve Ozon ile Ağartma Yöntemlerinin Karşılaştırılması	153
6.2.5.3 Kopma Mukavemeti Kaybına Etkileri Açısından Konvansiyonel ve Ozon ile Ağartma Yöntemlerinin Karşılaştırılması	155
6.2.5.4 Yüzey Tüylülüğüne Etkileri Açısından Konvansiyonel ve Ozon ile Ağartma Yöntemlerinin Karşılaştırılması	158
6.3 Ultrasonik Ortamdaki Optimum Çalışma Koşullarının Belirlenmesine Ait Denmeler	160
6.3.1 Ultrason Cihazı ile Çalışmada Materyal ve Transduser Arasındaki Optimum Mesafenin Belirlenmesi	160
6.3.2 Ultrason Cihazı ile Çalışmada Optimum Materyal Formunun Belirlenmesi	161
6.3.3 Ultrason Cihazı ile Çalışmada, Materyalin Banyodan Geçiş Etnasındaki Optimum Açının Belirlenmesi	162
6.3.4 Ultrason Cihazı ile Çalışmada, Flottenin İçerisindeki Çözünmüş Gazların Uzaklaştırılma İşleminin Verimliliğe Etkisi	163
6.3.5 Ultrason Cihazı ile Çalışma Şartlarının Simülasyon Programı ile İncelenmesi	165

İÇİNDEKİLER (Devam)

Sayfa

6.3.5.1 Ultrason Cihazında Kullanılan Transduserlerin Verimliliğinin En Yüksek Olduğu Frekansının Belirlenmesi	165
6.3.5.2 Ultrason Cihazında Yer Alan Transduserler Arasındaki Mesafenin Ultrasonik Enerjiye Etkisi	169
6.3.5.3 Ultrason Cihazında Yer Alan Transduserler ile Materyal Arasındaki Mesafenin Ultrasonik Enerjiye Etkisi	173
6.3.5.4 Ultrason Cihazının Tabanında Yer Alan Transduserler Yanı Sıra Kazan Yan Yüzlerine Yerleştirilecek Olan Transduserlerin Ultrasonik Enerjiye Etkisi	174
6.4 Prototip US/UV/Ozon Kombinasyonlu Kontinü Terbiye Makinesinde Gerçekleştirilen Denemeler	175
6.4.1 Ultrason, Ultraviyole ve Ozonun Tekstil Materyalinin Hidrofilite Derecesi Üzerine Etkisi	176
6.4.2 Ultrason, Ultraviyole ve Ozonun Tekstil Materyalinin Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi	177
6.4.3 Ultrason, Ultraviyole ve Ozonun Tekstil Materyalinin Atkı/Çözümlü Sıklık Değerleri Üzerine Etkisi	179
6.4.4 Ultrason, Ultraviyole ve Ozonun Tekstil Materyalinin Mukavemet Değeri Üzerine Etkisi	180
7. SONUÇLAR	182
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	187
ÖZGEÇMİŞ.....	193

XX
ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil

Sayfa

2.1. Ozon oluşumu	3
2.2. Ozonun organik materyallerle reaksiyona girme şekilleri	6
2.3. M varlığında çözünmüş ozonun reaksiyona girme yolları	7
2.4. Doymamış bağlarda dipolar halka katılması.....	7
2.5. Halka katılması mekanizması.....	8
2.6. Ozon tarafından etki edilmeye uygun organik bileşikler	9
2.7. Ozonun selüloz ile reaksiyonunda suyun etkisi	11
2.8. Ozonun reaksiyon şeması.....	12
2.9. Ozonun bozunma mekanizması	14
2.10. 15 ⁰ C'deki ozon gazına pH'ın etkisi	16
2.11. Sıvı çözeltilerde tuz varlığının ozon gazının çözünürlüğüne etkisi	21
2.12. Ozonun oluşum şeması.....	23
2.13. Kloroflorokarbonun ozon tüketimi.....	24
2.14. Ozonun atmosferde parçalanma mekanizması.....	25
2.15. Corona discharge.....	29
2.16. Sol taraftaki atık su örneğinde , COD* değerlerinin ozon işleminden sonra 8,800 mg./l.'den , 120 mg./l.'ye düştüğü görülmektedir.	31
2.17. Bakteri ve virüslerin ozon ile dezenfeksiyonu	34
2.18. Sebze ve meyve endüstrisinde ozon kullanımı	34
2.19. Çamaşır makinelerinde ozon kullanımı.....	35
2.20. Havuz sularının dezenfeksiyonunda ozon kullanımı	35
2.21. Denim kumaşlarda geri boyamayı önlemek amacıyla ozon kullanımı	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

Sekil

Sayfa

2.22. Ozon gazını soluma açısından insanlardaki toksik limitler.....	39
2.23. Ozon/peroksit kombinasyonunda ozonun reaksiyona girme şekilleri...	41
2.24. Ozon/UV kombinasyonunda meydana gelebilecek reaksiyonlar.....	45
3.1. Enerji ve materyal etkileşimi (3 ayrı eksen mevcut olup bunlar; etkileşim süresi, basınç ve molekül başına düşen enerjiyi temsil etmektedir. belirlenen adalar ise; çeşitli kimyasal reaksiyonlardaki enerji-materyal etkileşiminin kaynağını göstermektedir).....	49
3.2. Kuvars kristalleri	53
3.3. Bir ultrasonik transduser modeli	54
3.4. Piezoelektrik transduser	55
3.5. Proje çalışmalarında kullanılan ultrasonik transduser modeli.....	55
3.6. Magnetostriktive transduser	56
3.7. Akustik basınca bağlı olarak kavitasyon baloncuğunun büyüklüğü	57
3.8. Kavitasyon işlemi	58
3.9. Kavitasyon olayının etkisi	59
3.10. Mikro-jete maruz kalmış kavitasyon baloncuğu	60
3.11. Sıcaklığın, frekansın kavitasyon yoğunluğuna etkisi	65
3.12. Amaca uygun olarak seçilen kimyasal madde ile ultrasonik temizleme etkisinin kombinasyonun sağladığı avantajlar	66
3.13. Çözünmüş gaz içeriğinin etkisi	69
3.14. Ultrasonik işlem sırasında ultrasonik başlık üzerindeki boyarmaddelerde kavitasyon ile sağlanan yönelmeler (görüntüler arası geçen zaman 500 mili san.)	78

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

Sekil

Sayfa

3.15. Ultrasonik yıkama prosesine ait resimler (görüntüler arası geçen zaman 4 mili san.).....	78
3.16. Ultrason cihazı adapte edilmiş boyama makineleri.....	83
3.17. Tekstil ipliği çevresindeki ve içindeki sıvı akışı (noktalar; iplikteki lifleri temsil etmektedir).....	85
4.1. Elektromanyetik spektrumdaki dalgalar ve dalga boyları.....	90
4.2. Elektromanyetik spektrum bölgeleri	90
4.3. Elektromanyetik spektrum bölgelerinin dalga boylarına göre ayrılması	91
4.4. Elektromanyetik Spektrumun Ultraviyole Bölgesi	92
5.1. Denemelerin gerçekleştirildiği laboratuvar tipi ozon jeneratörü cihazı ..	105
5.2. Denemelerin gerçekleştirildiği laboratuvar tipi ultrason kazanı	105
5.3. Kontinü US/UV/Ozon makinesinin üstten görünümü	107
5.4. Kontinü US/UV/Ozon makinesinin yandan görünümü	107
5.5. Kontinü US/UV/Ozon makinesinde yer alan uv lambasının görünümü	108
5.6. Pamuklu kumaşların ozon ile ağartılmasında ozonlama süresinin ve kumaşın içerdiği a _f değerinin beyazlık derecesindeki artışa etkisini inceleyen test planı A	115
5.7. Pamuklu kumaşların ozon ile ağartılmasında ortam sıcaklığının ve kumaşın ph değerinin beyazlık derecesindeki artışa etkisini inceleyen test planı B	116

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

Sekil

Sayfa

5.8. Ham jüt kumaşların ozon ile ağartılmasında ozonlama süresinin ve kumaşın içerdiği a_F değerinin beyazlık derecesindeki artışa etkisini inceleyen test planı A	118
5.9. Ham jüt kumaşların ozon ile ağartılmasında ortam sıcaklığının ve kumaşın ph değerinin beyazlık derecesindeki artışa etkisini inceleyen test planı B	118
5.10. Jüt kumaşların konvansiyonel yöntemlerle ağartılmasına ait deney planı	119
5.11. Ultrasonik işlem sırasında alüminyum folye ile çalışılan konumlar ...	121
5.12. Dokuma kumaş denemelerine ait deney planı.....	122
6.1. Ozonlama sonrası yapılan durulama işleminin beyazlık derecesi üzerine etkisi (Ozon Akış Miktarı = 2 l/dak, Ozon Üretim Kapasitesi = %50, A_F = %60)	125
6.2. Ozonlama süresine ve kumaşın işlem gördüğü A_F değerine bağlı olarak kumaşın beyazlık derecesinde meydana gelen değişimler (Ozon Besleme Miktarı = 1,5 l/dak)	128
6.3. Ozonlama süresine ve kumaşın işlem gördüğü A_F değerine bağlı olarak kumaşın beyazlık derecesinde meydana gelen değişimler (Ozon Besleme Miktarı = 2 l/dak)	128
6.4. Pamuk ipliğinin ve dokuma kumaşın yapısı	131
6.5. Titrasyon yöntemi ile belirlenen ozon üretim ve tüketim değerleri (mg)	133

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

Sekil

Sayfa

6.6. Ozonlama işleminde kumaşın sahip olduğu pH değerinin beyazlık derecesi üzerine etkisi ($A_F = \%60$, Sıcaklık = 23-25 ⁰ C, Süre = 5 dak.).....	134
6.7. Ozonlama işleminde reaksiyonun gerçekleştiği ortam sıcaklığının beyazlık derecesi üzerine etkisi ($A_F = \%60$, pH = 6,5-7,5, Süre = 5 dak.) ..	136
6.8. Farklı ağartma yöntemlerinin ortalama polimerizasyon derecesi ve beyazlık derecesi üzerine etkisi.....	137
6.9. Selülozun oksidasyonu ve hidrolizi sonucu aldehit ve karboksilik asit gruplarının oluşması.....	139
6.10. Farklı ağartma yöntemleri ile ağartılmış kumaşlara uygulanan fehling testi sonuçları.....	140
6.11. Ozonlama süresine ve kumaşın işlem gördüğü A_F değerine bağlı olarak kumaşın beyazlık derecesinde meydana gelen değişimler (Ozon Besleme Miktarı = 1,5 l/dak, pH = 6,5-7,5, Sıcaklık = 23-25 ⁰ C)	143
6.12. Ozonlama işleminde kumaşın sahip olduğu pH değerinin beyazlık derecesi üzerine etkisi ($A_F = \%60$, Süre = 45 dak, Sıcaklık = 23-25 ⁰ C).....	145
6.13. Ozonlama işleminde reaksiyonun gerçekleştiği ortam sıcaklığının beyazlık derecesi üzerine etkisi ($A_F = \%60$, Süre = 45 dak, pH = 6,5-7,5) ..	147
6.14. Konvansiyonel ağartma yöntemlerinde proses sırasının beyazlık derecesi üzerine etkisi	150
6.15. Beyazlık derecesine etkileri açısından konvansiyonel ve ozon ile ağartma yöntemlerinin karşılaştırılması	150
6.16. Konvansiyonel ağartma yöntemlerinde proses sırasının hidrofilite derecesi üzerine etkisi	153
6.17. Hidrofilite derecesine etkileri açısından konvansiyonel ve ozon ile ağartma yöntemlerinin karşılaştırılması	154

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

Sekil

Sayfa

6.18. Konvansiyonel ağartma yöntemlerinde proses sırasının kopma mukavemeti kaybı üzerine etkisi.....	155
6.19. Kopma mukavemeti kaybına etkileri açısından konvansiyonel ve ozon ile ağartma yöntemlerinin karşılaştırılması	156
6.20. Konvansiyonel yöntemlerle ve ozon gazı ile ağartılan mamullerin yüzey görünümlerinin kıyaslanması	159
6.21. Transdusere olan mesafeye bağlı olarak ultrasonik enerjinin alüminyum folye üzerinde meydana getirdiği değişiklikler.....	161
6.22. Kumaş formuna sokularak ultrasonda 100 san. işleme tabii tutulan alüminyum folyeye ait fotoğraf.....	162
6.23. Silindirli geçiş sisteminde ultrasonik ses dalgalarının yaratacağı etkiye, alüminyum folyenin geçiş şeklinin etkisi.....	163
6.24. Ultrasonik işlemlerde hava aldırmanın etkisini alüminyum folye ile yapılan çalışmalarla belirleme.....	164
6.25. Ultrasonik kazanda kullanılan tonpilz transduser iki boyutlu modellenmesi ve transduser ve ortam malzemeleri	166
6.26. Ultrasonik kazanda kullanılan tonpilz transduser iki boyutlu modellenmesi ve örgülenmesi.....	166
6.27. Ultrasonik kazanda kullanılan tonpilz transduserin frekansa bağlı admitans değerleri	167
6.28. Ultrasonik kazanda kullanılan tonpilz transduserin 30 cm yarıçaplı kazanda oluşturduğu ultrasonik ses dalgalarının basınçsal şiddetleri (basınç değerleri paskal cinsindendir)	168

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

Sekil

Sayfa

6.29. Ultrasonik kazanda kullanılan tonpilz transduserin 50 cm yarıçaplı kazanda oluşturduğu ultrasonik ses dalgalarının basınçsal şiddetleri (basınç değerleri paskal cinsindendir)	168
6.30. Ultrasonik kazanda kullanılan tonpilz transduserin akustik yönelme paterni.....	169
6.31. Kazanda tek bir transduserin yarattığı ultrasonik ses basıncı	170
6.32. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 20 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç	170
6.33. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 30 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç	171
6.34. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 35 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç	171
6.35. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 40 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç	171
6.36. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 45 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç	171
6.37. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 50 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç	172
6.38. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 60 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç	172
6.39. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 90 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç	172
6.40. Kazan tabanının araları 40 mm olan transduserlerle doldurulduğunda oluşan ultrasonik basınç	172

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

Sekil

Sayfa

6.41. Tekstil materyalinin kazan tabanına olan yüksekliğinin belirlenmesi	173
6.42. Kazanın alt tabanında ve yan tarafında transduser kullanımı	174
6.43. Ultrason, ultraviyole ve ozonun tekstil materyalinin hidrofilite derecesi üzerine etkisi	176
6.44. Ultrason, ultraviyole ve ozonun tekstil materyalinin beyazlık derecesi üzerine etkisi	177
6.45. Ultrason, ultraviyole ve ozonun tekstil materyalinin atkı/çözümlü sıklık değeri üzerine etkisi	179
6.46. Ultrason, ultraviyole ve ozonun tekstil materyalinin mukavemet değeri üzerine etkisi	180

XXVIII
ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Ozonun fiziksel özellikleri	5
2.2. Ozon ile diğer okside edici maddelerin oksidasyon potansiyelleri	6
2.3. Ozonun sudaki çözünürlülüğü.....	15
4.1. Elektromanyetik spektrumdaki ışınlar ve dalga boyları.....	91
4.2. Bazı kimyasal gruplar ve bağlanma enerjileri.....	96
5.1. Laboratuvar tipi ozon cihazında gerçekleştirilen denemelerde kullanılan ham pamuklu dokuma kumaşa ait özellikler	103
5.2. Ham pamuklu dokuma kumaşa uygulanan durulama, hidrojen peroksit ve sodyum hipoklorit ile ağartma reçeteleri.....	117
5.3 Kostik-soda yıkama, soda yıkama, hidrojen peroksit ağartma ve sodyum hipoklorit ağartma reçeteleri	120
5.4. Sadece su bulunan banyoda ultrason, ultraviyole ve ozonun bireysel ve sinerjistik etkilerinin araştırılmasına dair deney planı.....	123
6.1. Dokuma kumaşın ozon gazıyla muamelesi sonrası, ozon konsantrasyonuna, işlem süresine ve kumaşın sahip olduğu A_F değerine bağlı olarak elde edilen beyazlık dereceleri	126
6.2. Ozonlama işlemiyle ham jüt dokuma mamullerin ağartılmasında belirlenen optimum çalışma koşulları	148
6.3. Sadece sulu ortamda, ultrason/ultraviyole/ozon teknolojileri uygulanan ham dokuma kumaşa ait hidrofilite (mm), beyazlık derecesi (stensby), haşa sökme derecesi, mukavemet değerleri ve atkı/çözümlü sıklıkları.....	175

1. GİRİŞ

Ağırlaşan rekabet koşulları üreticileri daha ucuza ve daha temiz ürün üretmeye itmektedir. Bu koşullar altında firmaların hayatta kalmaları için gelişen teknolojiyi iyi takip ederek tekstile uyarlamaları daha da önem kazanmaktadır. Yıkama, boyama, durulama, haşıl sökme, kaynatma, ağartma gibi yaş terbiye işlemlerinin büyük miktarlarda su, enerji ve uzun işlem süreleri gerektirmeleri gibi sakıncaları bulunmaktadır. Kimyasal madde ve yardımcı madde geliştirme ya da mevcut terbiye makinelerinde küçük yenilikler yapma sınırlı çözümler sunduğundan, yeni teknolojilerin tekstil teknolojisine adaptasyon çalışmaları önem kazanır hale gelmiştir. Bu amaçla endüstrinin farklı alanlarında çeşitli fiziksel ve kimyasal reaksiyonlarda uzun yıllardır kullanılmakta olan Ultrason, çeşitli organik, inorganik molekül ve atomlarla reaksiyona girerek onları oksitleyen Ozon ve yüksek enerjili UV teknolojileri dünyada ilk olarak geliştirilen kontinu bir sistemde kombine edilmiştir.

Endüstrideki en yaygın kullanım amacı kirlenmiş makine parçalarının, tıbbi gereçlerin, elektronik komponentlerinin ve klasik yöntemlerle temizlemenin zor olduğu ince girinti ve çıkıntılara sahip yüzeylerin temizliği olan ultrasonik kavitasyon, tekstil sanayinde kullanımı yönünde ise çalışmalar yenidir ve hala uygulamaya yansımış değildir. Ultrason tekstil endüstrisinde, gerek tekstil materyali üzerinde yabancı maddelerin iyi bir şekilde uzaklaştırılmasında kullanılabilecek ayrıca enzimlerle kombine edilerek, enzimlerin büyük molekülü olması nedeniyle hareket kabiliyetlerinin düşük olması dezavantajlarını gidererek enzimden istenilen etkiyi gerçekleştirmesinde ona destek olacaktır. UV ışığı yardımıyla ise hidrojenperoksidi parçalayarak, klasik kimyasal yükseltgenlerden çok daha reaktif olan hidroksil

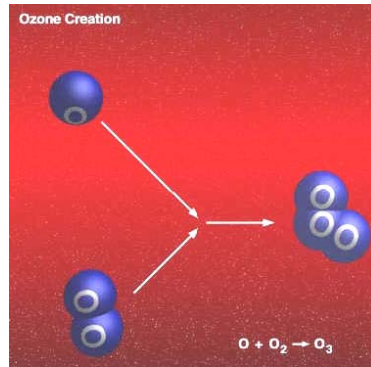
radikallerinin oluşumunu sağlamaktadır. Dolayısıyla da daha kısa sürede ağartma gerçekleşmektedir.

Ozon ise, flordan sonra dünyanın bilinen en güçlü oksitleyici olması nedeni ile yüzyılı aşkın bir süredir dezenfektan olarak bilinmekte ve kullanılmaktadır. Ozon bilinen en etkin su arıtıcısıdır, bakteri ve virüsleri klordan yaklaşık 3000 defa daha hızlı ve etkin bir biçimde öldürür. Aynı zamanda güçlü beyazlatıcı özelliğe sahiptir. Organik maddelerle girdiği reaksiyonun ürünü genellikle oksijen ve karbondioksittir. Ozon, organik moleküllerle reaksiyona girdiğinde onları parçalayarak hava kirlenmesini ortadan kaldırır. Piyasadaki mevcut koku gidericiler gibi var olan kokunun üzerini örtmez, kokunun kaynağını, onu ortaya çıkaran sebepleri yok eder. Bunun yanında yüksek reaktivitesi sayesinde, bakterilerin hücre duvarlarında ve hücre membranlarında mevcut yağ asitlerinin ikili bağlarıyla reaksiyona girerek bunların parçalanmasını sağlayarak bakterilerin öldürülmelerini sağlamaktadır. Ozon, virüslerin kapsül proteinleriyle de reaksiyona girerek onların yapısını değiştirir ve böylece üremelerine engel olur.

Çevre dostu işlemlerin önem kazandığı günümüzde pamuklu kumaşların ön terbiye işlemlerinin sadece su ile yapılabilmesi tekstil terbiyesinde bir çığır açacaktır. Bu gün için artık AB' de IPPC kapsamında üretim yapan firmaların üretim faaliyetleri direk kontrol altında tutulmakta ve firmalara daha az çevreyi kirletecekleri üretim koşulları gösterilmekte ve bu koşullara adapte olmaları istenmektedir. Aday olan ülkelerin de adaylık süreçlerinde gerçekleştirmeleri gereken AB çevre müktesebatı özellikle sektörümüz için zorlayıcıdır. Çevreye duyarlı üretimin önem kazandığı günümüzde ise çevre dostu teknolojilerin kullanımı ve uygulama olanakları araştırılmaktadır. Bu kapsamda çevre dostu Ozon gazının tekstilde kullanım olanaklarının araştırılması önemli ve gereklidir.

2. OZON TEKNOLOJİSİ

Ozonun varlığı ilk olarak 1781 yılında Van Marum adındaki bir kimyager tarafından fark edilmiştir. 1840 yılında Alman kimyager C. F. Schonbein (1799-1868) tarafından ise ozonun varlığı kanıtlanmıştır. Schonbein, elektrik kıvılcımları geçen havada oluşan kokuyu, ozon olarak tanımlamıştır (Iglesias, S.C., 2002). Ozon, yunanca “ozein” (koku) kelimesinden gelmektedir (<http://www.meteor.gov.tr>, 2005). 1856 yılında Thomas Andrews, ozonun sadece oksijenden oluştuğunu; 1863 yılında ise Soret 3 oksijen molekülünden 2 ozon molekülü oluştuğunu göstererek ozon ile oksijen arasındaki ilişkiyi açıklamıştır. Ozonun oluşumu endotermik bir olaydır: $3\text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{O}_3 \quad \Delta H_f^0 (1 \text{ atm}) = +284,5 \text{ kJmol}^{-1}$



Şekil 2.1. Ozon oluşumu (www.solcomhouse.com/ozone.htm, 2006)

Ozon termodinamik olarak kararlı olmayıp, kendiliğinden oksijen molekülü haline dönebilmektedir (Iglesias, S.C., 2002).

Ozonun ağartma maddesi olarak ağaç hamurunda kullanılması ilk olarak 1871 yılında önerilmiştir. Günümüzde ise ozon, birçok kağıt hamuru ağartma yöntemine alternatif olarak işletmelerde kullanılmaktadır. Ozon

ekolojik olmasının yanı sıra ekonomik açıdan da bakıldığında birçok kimyasal ağartma maddesine oranla ucuz olduğu görülmektedir. Örneğin; ozon, klordioksite oranla 1,2/1,5 kat daha ucuz olmaktadır (Balousek P.J., 1979; Govers T., Homer, G., and Scheeff, D., 1995).

Ozonun yüksek temizleme ve dezenfeksiyon gücü nedeniyle, sıcak suya ihtiyaç duyulmamaktadır. Su kullanımı da konvansiyonel yıkamalara oranla daha düşük olup kimyasal tüketimi de azalmaktadır. Ozon kullanımı ile çözünemeyen birçok kirlilik çözünür forma dönüştürülebilmekte ve birçok tekstil materyalinde kullanılabilir (Fouche E., 2002). Ozonlama işlemi literatürde renk giderme yöntemlerinden birisi olarak önerilmektedir, ayrıca literatürde ozonla boyarmadde arasındaki ilişkiyi açıklayan birçok makale yer almaktadır. Her bir boyarmadde kendi yapısının farklılığından dolayı ozonla reaksiyonu farklı olmaktadır (Adams, C.D., Gorg, S., 2002; Sevimli, M.F., Sarikaya, H.Z., 2002; Selcuk H., 2005; Hsu, Y.C., Chen, J.T., Yang, H.C., 2001; Koch M., Yediler, A., Lienert, D., Insel, G., Kettrup, A., 2002; Neamtu M., Yediler, A., Siminiceanu, I., Macoveanu, M., Kettrup, A., 2004).

2.1 Ozonun Fiziksel Özellikleri

Ozon; soluk mavi renkte bir gaz olup havadan daha ağırdır, çok reaktif ve kararsızdır. Saklanamadığı ve taşınmadığı için, gerekli olduğu yerde ve zamanda üretilmelidir. Düşük konsantrasyonlarda dahi toksik özelliktedir. Dünyada stratosferde 5 ile 10 ppm arasındaki konsantrasyonlarda doğal olarak oluşmaktadır ve gezegen ile gezegende bulunan canlıları 290-320 nm dalga boyundaki UV ışınlarının zararlarından korumaktadır.

Çizelge 2.1’de ozonun bazı fiziksel özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Ozonun fiziksel özellikleri (Iglesias, S.C., 2002)

Fiziksel Özellik	Değeri
Moleküler Ağırlık	48
Kaynama Noktası (101 kPa)	-111,9
Erime Noktası	-192,7
Kritik Sıcaklık	-12,1
Kritik Basınç	5,53 MPa
Yoğunluğu (Gaz Olarak)	2,144 kg.m ³
Yüzey Gerilimi	3,84 * 10 ⁻² N.mm ⁻¹
Isı Kapasitesi (Sıvı Olarak)	1884 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Isı Kapasitesi (Gaz Olarak)	818 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Buharlaşma Enerjisi	15.2 kJ.mol ⁻¹

2.2 Ozonun Kimyasal Özellikleri

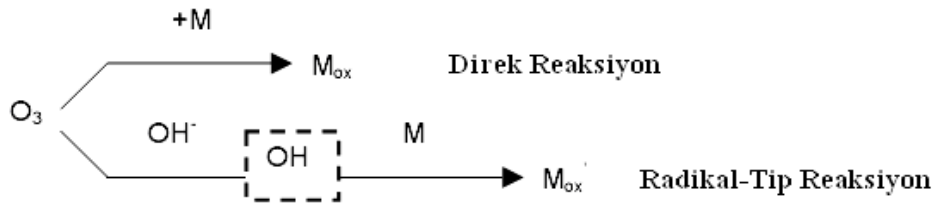
Ozonun kimyasının büyük bir kısmını kuvvetli elektrofilik doğası oluşturmaktadır. Çizelge 2.2’de ozon ile diğer kuvvetli okside edici maddelerin oksidasyon potansiyelleri kıyaslanmaktadır.

Çizelge 2.2. Ozon ile diğer okside edici maddelerin oksidasyon potansiyelleri (Iglesias, S.C., 2002)

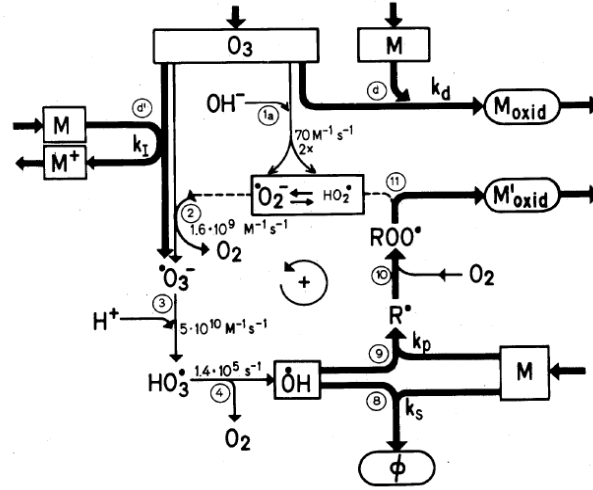
Okside Edici Madde Tipi	Oksidasyon Potansiyeli (eV)
Florür	3,06
Hidroksil Radikali	2,80
Atomik Oksijen	2,42
Ozon	2,07
Hidrojenperoksit	1,77
Perhidroksil Radikali	1,70
Hipoklorik Asit	1,49
Klorür	1,36

Ozon, çeşitli bileşiklerle (M) aşağıda da belirtildiği gibi iki şekilde etkileşime girebilmektedir;

- Ozon molekülü ile direk reaksiyon
- Ozon suda çözündüğünde oluşan radikal gruplarla indirek reaksiyon



Şekil 2.2. Ozonun organik materyallerle reaksiyona girme şekilleri (Iglesias, S.C., 2002)

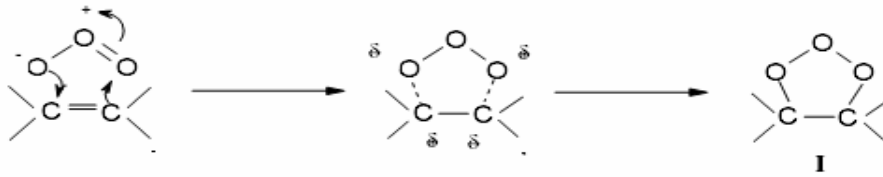


Şekil 2.3. M varlığında çözünmüş ozonun reaksiyona girme yolları (Staelheld, J. and Hoigne, J., 1988)

2.2.1 Moleküler Ozon Reaktivitesi

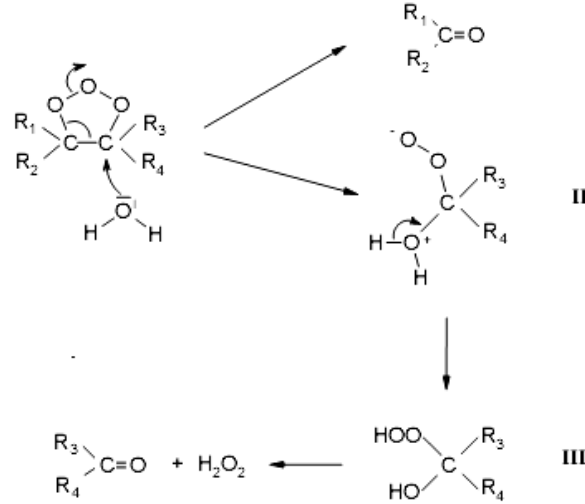
Ozon moleküllerindeki rezonans yapılarının ekstrem durumları Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Bu yapı; ozon molekülünün dipol, elektrofilik veya nükleofilik bir madde gibi etki edebileceğini göstermektedir.

Halka Katılması Reaksiyonu: Dipolar yapısının sonucu olarak ozon molekülü, doymamış bağlarda 1-3 dipolar halka katılmasına neden olabilmekte, sonuç olarak primer ozonide (I) oluşmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.4. Doymamış bağlarda dipolar halka katılması (Iglesias, S.C., 2002)

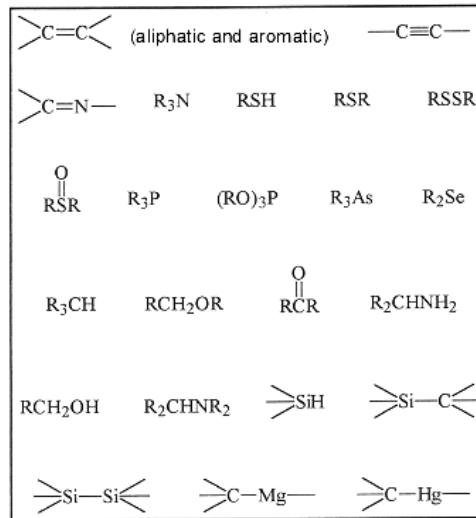
Su gibi protonik çözgünde, bu ozonide yapı karbonil bileşiklerine (aldehit veya keton) ve zwitteriona (II) parçalanmaktadır. Zwitterion, hızlı bir şekilde hidroksi-hidroperoksit (III) adımının gerçekleşmesini ve bunun da karbonil bileşiğiyle hidrojen peroksit ayrışmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.5. Halka katılması mekanizması (Iglesias, S.C., 2002)

Elektrofilik Reaksiyon: Elektrofilik reaksiyon, güçlü elektronik yoğunluğa ve bazen de bazı aromatik bileşiklere sahip moleküler kısımlarca sınırlandırılmaktadır. Elektron veren gruplara sahip (OH, NH₂ ve benzer bileşikler) aromatikler; orto ve para konumlarına yerleşmiş karbonlar da yüksek elektronik yoğunluğa sahiptirler. Bu yüzden bu konumlar da ozonla yüksek etkileşim göstermektedir. Elektron alan gruplara (-COOH, -NO₂) sahip aromatikler ise ozonla zayıf bir şekilde etkileşime girmektedir.

Nükleofilik Reaksiyon: Nükleofilik reaksiyon, daha sık olarak elektron alan grupları taşıyan karbon atomlarında görülmektedir. Şekil 2.9’da ozon tarafından etki edilebilen organik gruplar yer almaktadır.



Şekil 2.6. Ozon tarafından etki edilmeye uygun organik bileşikler (Iglesias, S.C., 2002)

2.3 Ozon ve Selüloz Arasındaki İlişki

Ağartma esnasında ozon selülozla reaksiyona girdiği gibi, kumaşa yer alan nişasta/yağ gibi selülozik olmayan materyallerle de reaksiyona girmektedir. Nişasta kimyasal olarak bir α -glukopiranozdur. Yani düz zinciri amiloz, yan dalları ise amilopektin polimerlerinden oluşmaktadır. Bu polimerler suda çözünmemekte ancak oksidasyon yolu ile çözünebilmektedirler. Kuvvetli bir oksidasyon potansiyeline sahip olan ozon gazı da bu materyalleri okside etmekte ve çözünebilmelerini sağlamaktadır.

Oksidasyon esnasında nişastada yer alan 1,4 D-glukopiranoz bağı parçalanmakta ve sonuçta glikozidik bağların kopmasının yanı sıra karbonil ve karboksil grupları açığa çıkmaktadır. Nişastanın parçalanmasına dayanak olarak; eter bağlarına gerçekleştirilen saldırı gösterilmektedir. Yağların, yüksek yağ alkollerinin ve yağ asitlerinin esterleri olduğu çok iyi

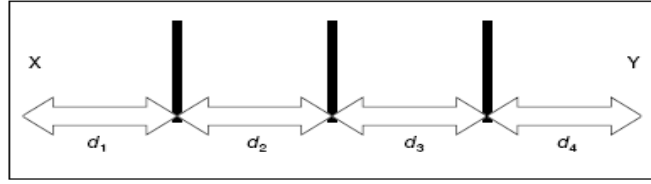
bilinmektedir. Yağları oluşturduğu düşünölen bileşikleri sıralayacak olursak; uzun zincirli alkoller ve asitler, doymuş ve doymamış hidrokarbonlar, reçine ve reçine asitleri, steroller ve sterol glukozitlerdir. Yağların, ozona karşı aktiviteleri daha çok kimyasal yapılarına bağılı olarak değişmektedir. Yağıdaki doymamış hidrokarbonlarla ozon reaksiyona girdiğinde, ozonun sudaki hidrolizi gibi reaksiyon gerçekleşmekte ve ozon bağları parçalayarak aldehit ve asit oluşumuna neden olmaktadır.

Aynı zamanda ozon, doymuş yağlarda yer alan karbonil ve alkoksil grupları arasındaki bağlara da etki ederek aldehit ve asit tipi ürünlerin oluşmasına yol açabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı pamuk liflerinin ağartılmasında ağırlık kayıpları meydana gelebilmektedir.

Pamuklu kumaşların ozon ile ağartma işlemi sırasında, selöloz moleküllerinin oksi-selöloza okside olduğı kabul edilmektedir. Ağartma sırasında hidroksil grupları, karboksil veya aldehit gruplarına dönüşmektedir. Yüksek beyazlık derecelerini elde etmek için ozon gazı ile ağartma işlemi süresi uzatılacak olunursa meydana gelecek olan mukavemet kaybı da süre ile orantılı olarak artacaktır. Bu nedenle yüksek beyazlık derecesini minimum mukavemet kaybı ile sağlamak için ozon+hidrojenperoksit gibi ikili ağartma kombinasyonları denenmektedir (Prabaharan, M. and Rao, J.V., 2002).

Selölozik materyaller belli bir nem değerine kadar ozon gazı ile işleme tabi tutulduğunda, beyazlık derecesinde artış meydana gelmektedir. Bu selölozun suyu absorblama yeteneğı ile ilişkilendirilmektedir. Doree ve Healey, selölozun ozon gazı ile oksidasyonunda selölozdaki su varlığının ozonun reaksiyon mekanizmasının çeşitlenmesine yol açtığını bulmuşlardır. Su ozon için katalizatör veya çözgen gibi etki gösterebilir, hidrojenperoksit oluşumuna destek olabilir veya selölozdaki hidroksil gruplarını hidrolize edebilir. Su içeriğı %15'in altına düştüğünde selölozun oksidasyonunun

güçleştiğini, %45-50'ye doğru arttıkça oksidasyonun da hızlı bir şekilde gerçekleştiğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.7. Ozonun selüloz ile reaksiyonunda suyun etkisi (Prabaharan, M. and Rao, J.V., 2001)

X = Ozon gazı

Y = Selüloz polimer matriksindeki reaksiyonun gerçekleştiği bölge

d_1 = Ozon gazının yer aldığı bölge

d_2 = Hareketli suyun bulunduğu bölge

d_3 = Sabit suyun bulunduğu bölge (Su molekülleri selülozun hidroksil gruplarına saldırılmaktadır)

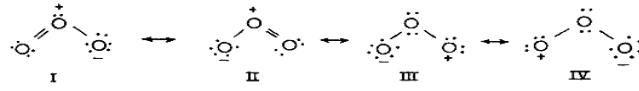
d_4 = Sabit suyun bulunduğu bölge ile reaksiyonun gerçekleşeceği bölge arasındaki mesafe

Selüloz su ile tamamen ıslanmadığında, d_2 kısmı boş kalmakta dolayısıyla ozon gazı d_1 bölgesinden d_3 bölgesine kadar konveksiyon yolu ile iletilmekte, d_3 ve d_4 bölgesine difüzyon yolu ile taşınmaktadır. d_2 de su ile dolu olduğunda ise ozon gazı d_2 'ye kadar konveksiyon yolu ile, d_2 , d_3 ve d_4 'e ise difüzyon yolu ile taşınmaktadır. Ozon gazı d_2 'den difüzyon yolu ile geçerken bir kısmı buradaki su içerisinde çözünmekte sonuçta d_4 'e ulaşan reaksiyona girecek olan ozon gazı miktarında bir düşüş meydana gelmektedir. Gereğinden fazla su içeren selüloz liflerinde, su reaksiyona girmeye hazır ozon gazına bariyer etkisi göstermektedir (Prabaharan, M. and Rao, J.V., 2001)

2.4 Ozon ve Lignin Arasındaki İlişki

Ağaç hamurunun ağartılmasında ozon kullanımı ilk olarak 1871 yılında düşünülmüştür. Ağaç hamurunun ağartılmasında ozon kullanımının esası ağaçta yer alan ligninin uzaklaştırılması veya modifiye edilmesidir.

Ozon, Şekil 2.11’de belirtilen I-IV rezonans hibrid yapı olarak tanımlanmaktadır. III ve IV yapıları ozonun 1,3-dipolar bileşik olarak sınıflandırılmasına imkan tanımaktadır. Ozon aşağıdaki şekilde belirtilen reaksiyon sırasını izlemektedir.



Şekil 2.8. Ozonun reaksiyon şeması (Lyse T.E., 1979)

Greenwood, ozon ile çeşitli çözenler arasındaki reaksiyonları incelemiş ve diğerlerine oranla ozona en dayanıklı çözenler olarak etilklorit ile asetik asiti bulmuştur. En az dayanıklı çözenler olarak da metanol ve etanolü bulmuştur.

Ligninde yer alan monomerler arası bağların %65’ini α - ve β -aril eter tipi bağların oluşturduğu tahmin edilmektedir. Ozon, ligninde yer alan bu eter bağlarına etki etmektedir. Ligninde en fazla bulunan bağ β -aril eter bağıdır. Ozonun etki ettiği bağlarda alkil eter bağları olduğu için ozonun β -aril eter bağlarını parçaladığı düşünülmektedir. β -aril eter bağının alifatik kısmına etki ettiğinde 2-metoksi-4-metilfenol oluşurken, aril kısmına etki ettiğinde 1-(3,4-dimetoksifenil)propan-1,2-diol oluşmaktadır.

2.5 Ozona Etki Eden Faktörler

2.5.1 Ozonun Bozunmasına Yol Açan Kimyasal Reaksiyonlar

Çözünmüş ozonun stabilitesi; pH'dan, ultraviyolede ve radikal iyonu konsantrasyonundan etkilenmektedir.

Ozonun bozunması, aşağıda belirtilen temel zincir reaksiyonları tarafından gerçekleştirilmektedir ve iki önemli modele dayanmaktadır. Bu modeller, başlangıç adımını [1-2], gelişme adımını [3-7] ve zincir reaksiyonundaki kopma adımını [8-12] içermektedir.



($\text{HO}_2^\bullet$ = Hidroperoksit radikali)



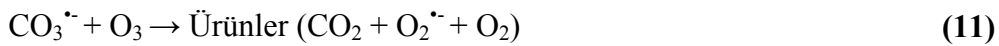
($\text{O}_2^{\bullet-}$ = Süperoksit radikal iyonu)



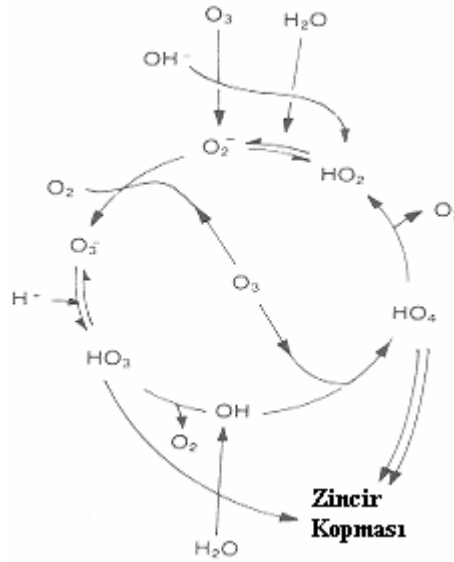
($\text{O}_3^{\bullet-}$ = Ozonide radikal iyonu)



$$k^{-3} = 2.3 \cdot 10^2 \text{ s}^{-1}$$



Ozon bozunma mekanizmasının tamamı Şekil 2.14’de gösterilmektedir. Reaksiyonda bozunma oranını tanımlayan adım; serbest-radikallerin bulunduğu adımdır. Süperoksit radikal iyonları oluşturmada hidroksil radikalleri tüketebilen özel maddeler, suda ozon molekülü üzerinde kararlılık etkisi yaratmaktadır.



Şekil 2.9 Ozonun bozunma mekanizması (Iglesias, S.C., 2002)

2.5.2 Sıcaklık

İstenen verimin alınabilmesi için, ozonun su içerisinde çözünmesi çok önemlidir. Ozonun suda çözünmesinde, uygulanan karıştırma metodu kadar suyun sıcaklığı, pH'ı, içerdiği toplam çözünmüş madde miktarı ve uygulanan basınç da göz önünde bulundurulmalıdır (Stover, E.L., 1986).

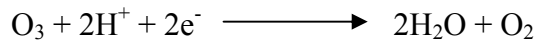
Çizelge 2.3’de 0-60⁰C arasındaki saf suda, %100 ozonun çözünürlük miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Ozonun sudaki çözünürlüğü (Iglesias, S.C., 2002)

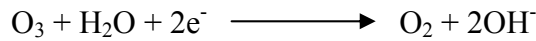
Sıcaklık (⁰ C)	Çözünürlük (kg.m ⁻³)
0	1,09
10	0,78
20	0,57
30	0,40
40	0,27
50	0,19
60	0,14

Ozon gazının parçalanması sıcaklık artışı ile birlikte artmaktadır. Oda sıcaklığındaki temiz bir kaptaki ozon gazının parçalanma ömrü 20 ile 100 saat arasında değişmektedir. Sıcaklık 120⁰C’ye çıktığında ise yarılanma ömrü 11 ile 112 dakikaya kadar düşmektedir. 300-350⁰C’de ise bu süre 5 saniyeye kadar azalmaktadır (<http://www.usace.army.mil/usace-docs/eng-tech-ltrs/etl1110-1-161>, 2006).

2.5.3 pH

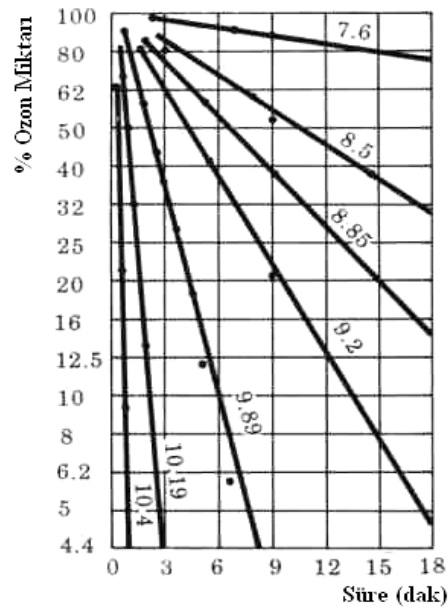


Oksidasyon Potansiyeli: 2,07 eV



Oksidasyon Potansiyeli: 1,24 eV

Yukarıdaki denklemlerden de anlaşıldığı üzere asidik pH ozonun etkisini arttırırken, bazik pH olumsuz etki etmektedir (<http://www.usace.army.mil/usace-docs/eng-tech-ltrs/etl1110-1-161>, 2006). Örneğin pH 2’de ozon, pH 7’ye göre 2,2 kat daha fazla çözünmektedir (Roncero, M.B., Colom, J.F., Vidal, T., 2003).



Şekil 2.10. 15°C’deki ozon gazına pH’ın etkisi (<http://www.lenntech.com/ozone.htm>, 2006)

pH’a bağlı olarak ozon gazı pamuktaki renkli pigmentlerle ya direk molekül olarak ya da ozonun suda parçalanması sonucu oluşan radikal gruplarla reaksiyona girmektedir. Asidik, nötral ve hafif alkali (pH<9) koşullarda genellikle baskın olarak direk ozon molekülü reaksiyona girmektedir. Bu reaksiyonlar genel olarak yavaş gerçekleşmektedir ve renkli

pigmentin cinsine ve aralarındaki bağın tipine bağlı olarak spesifiklik göstermektedir. Kuvvetli alkali koşullarda ise ($\text{pH} > 10$) reaksiyon $\bullet\text{OH}$ radikalleri ve süperoksit iyonları üzerinden gerçekleşmektedir.

pH 9'un altında yüksek seçici özellikte olan ozon molekülleri, alifatik/aromatik çift bağlar gibi elektron yoğunluğunun bulunduğu bölgelerde hızlı reaksiyona girmekte, ancak daha az reaktif (hidrokarbonların C-H bağları) bölgelerde daha yavaş reaksiyona girmektedir. pH 9'un üzerinde ise daha az seçicidir ve yüksek oksidasyon potansiyeline sahiptir bu yüzden sadece pamuktaki renkli pigmentlerle reaksiyona girmemekte aynı zamanda ozonun parçalanması esnasında oluşan diğer maddelerle de reaksiyona girmektedir. Bu noktadan bakıldığında en iyi beyazlık derecelerinin asidik, nötral ve hafif alkali pH 'larda elde edilebileceği görülmektedir (Prabaharan, M. and Rao, J.V., 2001).

Ozon, ağartma işlemlerinde kullanılan birçok maddeden daha yüksek oksidasyon potansiyeline sahiptir, ancak pH 'daki artış ile birlikte bu gücü düşmektedir. Ozon, esas olarak çift bağlar ve aromatik bileşiklerle reaksiyona girmektedir. Karbonhidratlarla ya hiç reaksiyona girmemekte ya da çok az istekli olarak girmektedir. Dolayısıyla karbonhidratlarla reaksiyonlarda ozon seçici olmamakta, OH radikalleri seçici olmaktadır.

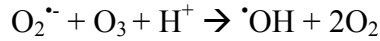
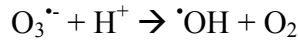
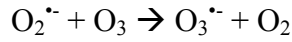
Bazı araştırmacılara göre ozon oksalik asit ile reaksiyona girmemekte aynı zamanda ozonun parçalanmasını da güçleştirmektedir. Bu durum şu şekilde de açıklanabilmektedir; oksalik ait ozonu stabilize etmekte (ozonun parçalanması azaldığı için açığa çıkan $\bullet\text{OH}$ radikali miktarı da azalmakta, dolayısıyla selülozun zarar görmesi de azalmaktadır) ve/veya çözünürlüğünü arttırmaktadır ayrıca, ozon oksalik asit tarafından tüketilmemektedir. Aynı zamanda selüloz lifleri oksalik asit kullanıldığı için daha az şişmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda ozonun kristalinite miktarını etkilediği bulunmuştur. pH 2,5'da ve yüksek ozon konsantrasyonlarında çalışıldığında

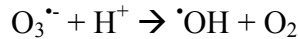
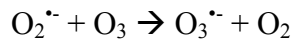
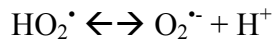
ozon esas olarak kristalin bölgelerle reaksiyona girerken, pH 10 da ayırım yapmaksızın hem amorf hem de kristalin bölgelerle reaksiyona girmektedir. pH 2,5’da gerçekleştirilen ozonlamada oksalik asit kullanıldığında, oksalik asit ozonun kristalin bölgelere nüfuz etmesini zorlaştırmakta, dolayısıyla kristalin bölge miktarı sabit tutulmakta ve zarar azaltılmaktadır. Ozonun lif yüzeyine yakın olan heterojen bölgelere (amorf bölgelere) nüfuzu için oksalik asit yol gösterici olmaktadır.

Oksalik asit, ozonun karbonhidratlarla reaksiyonunu sınırlandırırken ligninle reaksiyonunu katalizlemektedir.

Ozonun parçalanması sonucu hidroksil radikalleri oluştuğu iyi bilinmektedir. Peki oluşan ilk radikaller bunlar mıdır? Bazı araştırmacılara göre oluşan ilk radikal süperoksit anyonu radikalidir. Süperoksit radikali ozon ile reaksiyona girerek, hidroksil radikallerini oluşturmaktadır.



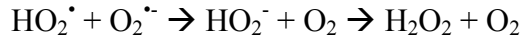
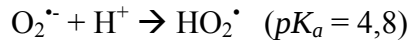
Ardından bu şekilde oluşan hidroksil radikalleri ozon ile reaksiyona girmekte ve daha fazla hidroksil radikali oluşması sağlanmaktadır.



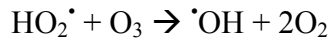
Bazı araştırmacılara göre ise $\cdot OH$ radikalleri, yarılanma ömürleri çok kısa olduğundan difüzyona uğrayamamaktadır. Çözeltide ilerleyememekte,

lif içerisine penetre olamamakta, dolayısıyla oluştukları yerdeki gruplarla reaksiyona girmektedir. Ancak süperoksit radikalleri, çözeltide hareket edip lif içerisine difüze olabilecek kadar uzun yarılanma ömrüne sahiptir. Aynı zamanda süperoksit radikalleri seçicidirler, karbonhidratlarla reaksiyona girmezler ya da önemsenmeyecek düzeyde girerler. Ancak süperoksit radikali lif içerisine ulaşırsa burada hızlı bir şekilde hidroksil radikalleri oluşturacak bu da selülozda zarara neden olacaktır. Eğer süperoksit radikalleri elemine edilirse çok az miktarda hidroksil radikali oluşacaktır. Selülozdaki kristalin bölgeler genel olarak lifin iç kısımlarında yer alırken amorf bölgeler daha çok lif yüzeyine yakın bölgelerde yer almaktadır. Eğer süperoksit radikalının lif içerisine girişi engellenir, hidroksil radikali oluşumu sınırlandırılırsa, selülozun kristalin bölgeleri zarar görmeyecek, böylece ağırlık kaybı da az olacaktır. Diğer yollardan oluşan hidroksil radikalleri ise lif yüzeyinde yer alacak, difüze olamadıkları için de bulundukları yerde yani genelde amorf bölgelerde reaksiyona gireceklerdir.

Süperoksit radikallerini sınırlandırmak için ortama asit ilave edilerek, proton ilavesi ile, süperoksitlerin hidrojenperoksite dönüşmesi desteklenebilir.



İlk denklemin kinetik sabiti $10^9 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ iken aşağıdaki denklemin kinetik sabiti $10^4 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ gibi düşük bir değer olup reaksiyona girme isteği daha azdır.



Sonuç olarak süperoksit radikallerini etkili bir şekilde elemine etme yolu, banyodaki proton miktarını arttırmaktan geçmektedir. Ancak bu

noktada şu unutulmamalıdır; çok düşük pH'larda karbonhidratlar da hidrolize olabilmektedir. Oksalik asitin koruyucu etkisi bu noktada önem kazanmaktadır (Roncero, M.B., Colom, J.F., Vidal, T., 2003).

2.5.4 Tuz ve Deterjanlar

Tuzlar ozon oksidasyonunu fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki şekilde etkilemektedir. Fiziksel etki, ozonun çözünürlüğünde ve ozonun kütle transferinde görülmektedir. Ortamda tuz varlığı ozon gazının çözünürlüğünü azaltmaktadır. 2 M'a kadar tuz içeren çözeltilerde bu etki Sechenov ilişkisi ile açıklanmaktadır;

$$\log\left(\frac{H}{H_0}\right) = \sum K_s(\text{salt})$$

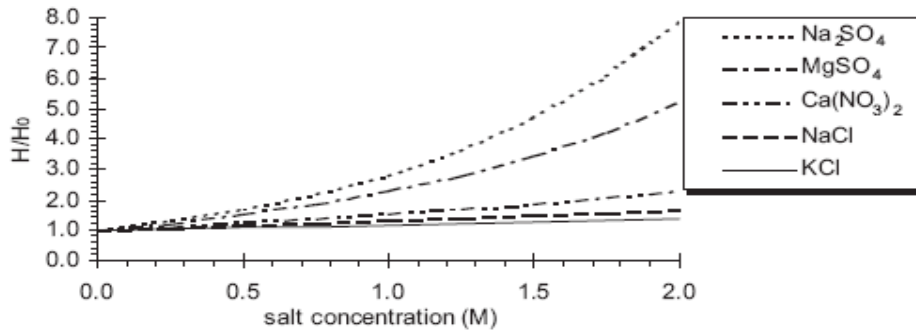
H: Kullanılan gaz için geçerli olan Henry kanunun sabiti

H₀: Standart koşullardaki Henry kanunun sabiti

K_s: Sechenov sabiti

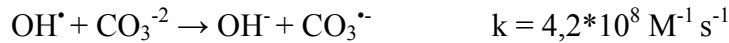
Σ [salt]: Toplam tuz konsantrasyonu

Bileşiğe bağlı olarak K_s değeri 0,1 M⁻¹ ile 0,5 M⁻¹ arasında değişmektedir. Buradan hareketle, banyoda 0,5 M tuz konsantrasyonu mevcut olduğunda, yukarıdaki formül yardımıyla, ozon gazının çözünürlüğünün yaklaşık olarak %50 oranında azaldığını görebilmekteyiz (Şekil 2.17.) (Boncz, M.A., Bruning, H., Rulkens, W.H., Zuilhof, H. and Sudholter, E.J., 2005).



Şekil 2.11. Sıvı çözeltilerde tuz varlığının ozon gazının çözünürlüğüne etkisi (Rischbieter, E., Stein, H. and Schumpe, A., 2000)

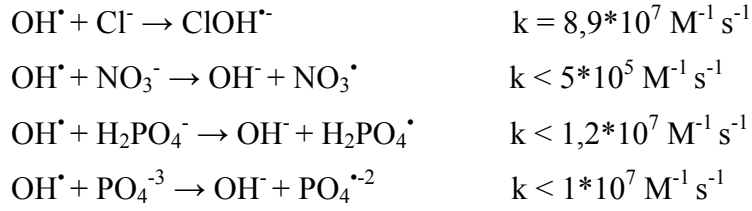
Tuzlar, baloncukların büyüklük dağılımlarını etkilemektedir (Christenson, H.K. and Yaminsky, V.V., 1995). Elektrolitler, baloncukların birleşmelerini engelleyerek büyümelerini sınırlandırmaktadır. Sonuç olarak da kütle transfer hızı artmakta ve ozon oksidasyon kinetiği değişmektedir. İnorganik tuzların ozon oksidasyonunda en önemli etkileri kimyasal reaksiyonla gerçekleşmektedir. Ozon parçalanmasında yer aldığı bilinen iyonlardan birisi karbonat iyonlarıdır. Bununla ilgili olası iki reaksiyon şu şekildedir;



Bruning, H., Rulkens, W.H., Zuilhof, H. and Sudholter, E.J., 2005)

Bu reaksiyonlar hidroksil radikali konsantrasyonunun düşmesine ve oksidasyon mekanizmasının verimliliğinin azalmasına neden olmaktadır (Christenson, H.K. and Yaminsky, V.V., 1995). Hoigne'ye göre sülfat, fosfat,

nitrat ve klorür iyonlarının oksidasyona etkileri ihmal edilebilir düzeyde olmaktadır.



Ancak daha sonra Sotelo'nun yaptığı araştırmalar neticesinde görülmüştür ki; düşük pH değerlerinde fosfat ve klorür iyonları ozonun parçalanma hızını arttırmaktadır (Boncz, M.A., Bruning, H., Rulkens, W.H., Zuilhof, H. and Sudholter, E.J., 2005).



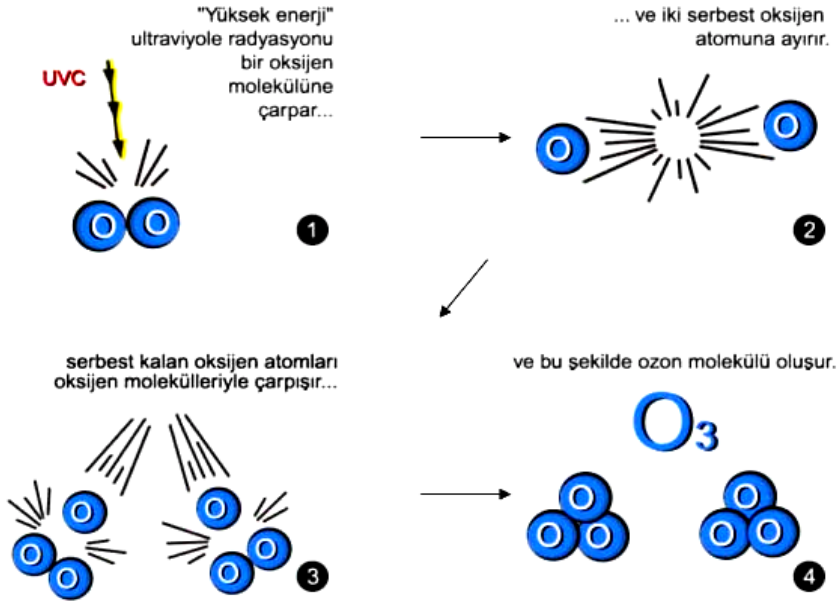
2.6 Ozonun Oluşumu

2.6.1 Ozonun Doğada Oluşumu

Ozon, atmosferde en yoğun olarak troposfer ve stratosfer tabakaları olmak üzere iki ayrı tabakada ve ayrı şekilde bulunmaktadır. Bunlardan ilki, stratosfer tabakası içerisinde, yerden yaklaşık 10-50 km'ler arasında doğal olarak bulunan ve atmosferdeki toplam ozonun %90'ını oluşturan stratosferik ozondur. Güneşten gelen zararlı ultraviyole radyasyonunu emmesi (tutması) nedeniyle hayati önem taşır ve iyi huylu ozon olarak isimlendirilmektedir.

İkincisi ise; yer yüzeyi ile 10-15. km'ler arasında bulunan, atmosferdeki toplam ozonun %10'unu oluşturan ve insan kaynaklı olan troposferik ozondur. Özellikle azotoksit (NO_x) türevlerinin güneş ışığı ile tepkimeye girmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. İnsan sağlığını olumsuz yönde etkilediğinden kötü huylu ozon olarak isimlendirilmektedir. Toplam ozon ise, bu iki farklı huylu ozonun birleşmesinden oluşmaktadır (<http://www.meteor.gov.tr>, 2005). Ozon doğada iki şekilde oluşmaktadır. Bu oluşumlardan ilki;

Güneşin ultraviyole (mor ötesi) ışınları ile;



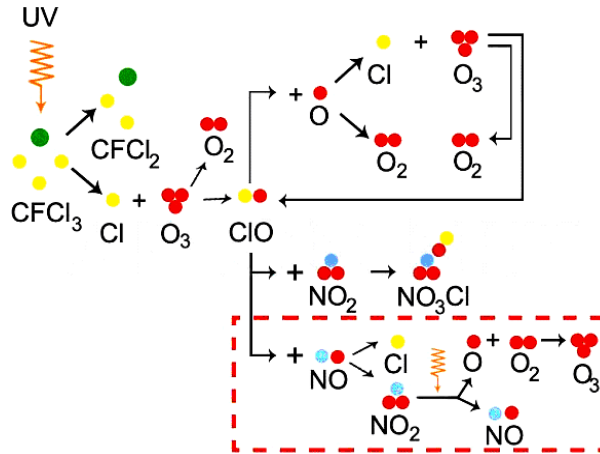
Şekil 2.12. Ozonun oluşum şeması (Iglesias, S.C., 2002)

İkinci oluşum yolu ise;

Yıldırım sırasında oluşan yüksek voltajlı elektrik boşalımıdır (Iglesias, S.C., 2002). Her yıldırım ve sağanak sonrasında taze ve temiz bir koku fark edilir. Bu koku havada oluşan ozonun kokusudur (<http://www.meteor.gov.tr>, 2005).

Ozonun atmosferde yok edilmesi ise, çeşitli aşamalardan sonra meydana gelmektedir. Bu aşamaları şu şekilde sıralayabiliriz:

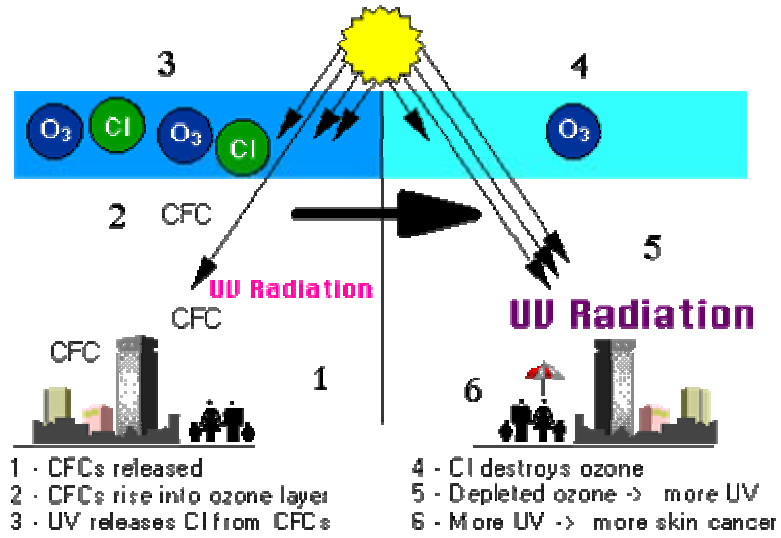
a) Yeryüzünde günlük yaşamın bir parçası olan ve içerisinde ozonu parçalayan klor, brom, metan gibi zararlı kimyasal maddeleri bulunduran soğutucular, klimalar, deodorant ve sanayide temizleyici olarak kullanılan kimyasal çözücüler, insanlar tarafından sürekli kullanıldıkça, atmosfere CFC'lar ve bunların türevleri gibi çeşitli maddeler salıverilmektedir (1) (<http://www.meteor.gov.tr>, 2005).



Şekil 2.13. Kloroflorokarbonun ozon tüketimi (www.aflon.net, 2005)

b) Atmosfere salıverilen bu zararlı klor bileşenleri atmosferin üst katlarına kadar taşınmakta ve ozonun en yoğun bulunduğu ozon tabakasına kadar ulaşabilmektedir.(2)

c) Burada yüksek enerjili ultraviyole radyasyonunun katkısıyla ozon molekülü (O_3) parçalanmakta, oksijen molekülü (O_2) ve oksijen atomu (O) şekline dönüştürülmektedir (3,4) (<http://www.meteor.gov.tr>, 2005).

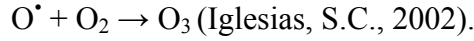
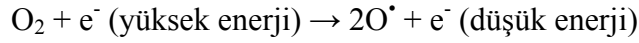


Şekil 2.14. Ozonun atmosferde parçalanma mekanizması (<http://www.epa.gov/ozone>, 2006)

d) Sonuç olarak; parçalanmış ozon atomları nedeniyle ozon tabakası içerisindeki ozonun yoğunluğu azalmakta ve güneş radyasyonunun zararlı etkilerinin yeryüzüne kadar ulaşmasına neden olmaktadır.(4,5)

2.6.2 Ozonun Yapay Olarak Üretimi

1857 yılında, Siemens ilk endüstriyel ozon jeneratörünü geliştirmiştir. Geliştirilen bu jeneratör corona discharge esasına dayanmaktadır. Ortak merkezli iki cam tüp kullanılmıştır; dıştaki tüpün dış kısmı kalay ile kaplanırken, içteki tüpün iç kısmı kalay ile kaplanmaktadır. Hava dairesel alanda sirküle olmaktadır. Bu teknoloji daha sonra, kullanılmakta olan havanın soğutma suyu sirkülasyonu ile soğutulması tekniğinin ilave edilmesi ile geliştirilmiştir. Bu da daha düşük sıcaklık artışına ve dolayısıyla ozonun sıcaklıktan dolayı daha az bozuşmasına yol açmaktadır. Ozon üretimi; ara bir basamak olan atomik oksijen radikallerinin oluşmasını (oksijen molekülü ile reaksiyona girebilen) kapsamaktadır:



2.6.2.1 Fotokimyasal Olarak Ozon Üretimi

140-190 nm'deki UV ışığına maruz kalmış oksijenden ozon üretimi 1900 yılında Lenard tarafından ilk kez bahsedilmiştir ve 1903 yılında Goldstein tarafından da tamamen kabul görmüştür. Teknik üretim için etkin dalga boyunun 200 nm'nin altında olduğu fark edilmiştir. Bu konudaki en son araştırma 1982 yılında Du Ron tarafından gerçekleştirilmiştir. Mercury esaslı UV emisyon lambalarıyla ilgili en son teknolojilerde, 254 nm dalga boyuyla birlikte 185 nm dalga boyu da yayılmaktadır. Ozonun fotolizi ile üretimi eş zamanlıdır. 254 nm dalga boyu ile 185 nm dalga boyu

kıyaslandığında görelî olarak emisyon yoğunluğu 5-10 kat daha yüksek olmaktadır.

Bu lambalarda ozon üretimi önemini yitirmiştir. Sebebi ise; ozon oluşumu ile birlikte ozonun termal bozunmasının da meydana gelmesidir. Küçük uygulamalar dışında UV-ozon işlemi (UV-Fotokimyasal ozon üretimi) olgunlaşmamıştır. Bu yeni teknoloji; 200 nm'nin altındaki dalga boylarında yüksek emisyon yoğunluğuna ve daha az eskime özelliklerine sahip yeni lamba teknolojilerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (Iglesias, S.C., 2002).

2.6.2.2 Elektrolitik Ozon Üretimi

Elektrolitik olarak ozon üretimi tarihi bir öneme sahiptir. Çünkü sentetik ozon ilk olarak 1840 yılında Schönbein tarafından sülfirik asitin elektrolizi sırasında keşfedilmiştir. Elektrolitik üretim tekniğı beraberinde birçok avantajı da getirmektedir; düşük voltaj DC varlığında çalışma, gaz hazırlama adımına ihtiyaç duyulmaması, ekipmanın boyutlarının küçük olması, yüksek konsantrasyonlarda ozon üretiminin mümkün olması, suda üretimin mümkün olması gibi. Başlıca dezavantajları ise; elektrotlarda meydana gelen korozyon ve erozyon, yüksek yoğunluktan ve anodic voltaj fazlalığından dolayı termal ısınmanın meydana gelmesi, özel elektrotlara ihtiyaç duyulması veya suyla temasın az tutulması, gerekli olduğu zamanda ve yerde üretiliyor olması, elektrotların kireçlenmesi, suda klor iyonları var olduğunda serbest klor gazı açığa çıkabilmesidir (Iglesias, S.C., 2002).

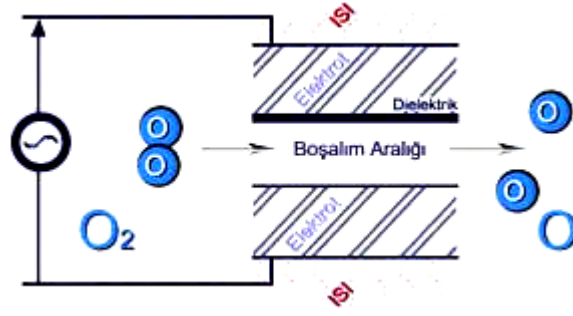
2.6.2.3 Radyokimyasal Ozon Üretimi

Radyoaktif ışınlarla oksijenin yüksek enerjili saçılması ozon oluşumunu desteklemektedir. Su işlenmesi için kimyasal-nükleer ozon üretimine dair çalışmalara ilişkin en iyi bilgiler Brookhaven projesine aittir. Kimyasal-nükleer ozon üretim işlemi, su veya atık su işlemlerinde yeterli derecede öneme sahip değildir. Bu durum, komplike işlem koşullarından kaynaklanmaktadır (Iglesias, S.C., 2002).

2.6.2.4 Corona Discharge ile Ozon Üretimi

Corona discharge tekniği, su arıtma veya dezenfeksiyon işlemleri için en fazla kullanım alanına sahip ozon üretim tekniğidir. Üretim basamakları şu şekildedir; gaz kaynağı (kompresör ve sıvılaştırılmış gaz), toz filtresi, gaz kurutucusu, ozon jeneratörü, temas bölgesi, uzaklaştırılan gazın yok edilmesi.

Oksijen kullanımıyla veya havayı oksijence zenginleştirerek, ozon jeneratörünün üretim kapasitesi arttırılabilir. Bu durumu tasarım parametreleri de etkilemektedir. Oksijence zenginleştirilmiş gaz kullanılarak elde edilen sonuç; gaz alanının daraltılması ve elektriksel frekansın arttırılması ile yükseltilebilmektedir. İşlem gazının soğutulması bir diğer önemli parametredir. En etkili soğutma sistemi, çift taraflı soğutma sistemidir (yüksek voltaj alanında ve toprak hattında soğutma). Ancak en güvenli soğutma; sadece toprak hattının soğutulmasıdır (Iglesias, S.C., 2002).



Şekil 2.15. Corona discharge (www.aflon.net, 2005)

2.6.3 Ozon Jeneratörleri

Ozon üretimi, oksijen molekülünün oldukça kararsız iki oksijen atomuna parçalanmasına dayanan çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Bu reaktif oksijen atomları, hemen ozonu oluşturmak üzere oksijen molekülü ile reaksiyona girmektedir (www.opalsu.com.tr, 2005).

Oksijen molekülünü parçalayarak, elde edilen atomlardan birini, bir başka oksijen molekülüne bağlayarak ozon elde edilmesini sağlayan makinelere genel olarak ozon jeneratörleri adı verilmektedir (http://www.yagmurteknik.com.tr, 2005). Ozon jeneratörleri prensip olarak 3 ana yönetime dayanmaktadır;

Ultraviyole ozon jeneratörleri: 220 nm'den kısa dalga boyunda ışın veren UV lambalarının etrafından hava geçirilmesi sonucunda üretilen ozon gazı, gıdaların korunmasında, bira fabrikalarında, otel ve hastahanelerde ortam havasını temizlemede kullanılmaktadır. UV jeneratörlerinden elde edilen ozon miktarı, su dezenfeksiyon/arıtma işlemleri için yeterli değildir.

Yüksek konsantrasyonda ve daha fazla ozon üretimi için corona-discharge teknolojisinin kullanılması gerekmektedir (www.opalsu.com.tr, 2005).

Düşük frekans ozon jeneratörleri: Yüksek frekans ozon jeneratörlerine göre aynı miktar ozon üretimi için 2 kat fazla elektrik enerjisi tüketmektedirler (<http://www.yagmurteknik.com.tr>, 2005).

Corona-discharge esaslı ozon jeneratörleri: Sabit elektrik akımı vererek elektronları hızlandırmak suretiyle kinetik enerji kazandırarak, oksijen molekülündeki oksijen-oksijen çift bağını parçalamak esasına dayanmaktadır. Bu işlem sonunda açığa çıkan iki oksijen atomu; ozonu oluşturmak üzere diğer oksijen molekülü ile reaksiyona girmektedir. Ozon gazı ısındığında, hemen oksijene dönüşeceğinden, jeneratörü yüksek derecede ısıdan korumak için etkili bir şekilde soğutmak gerekmektedir. Ozon reaktöründe yeterli soğutma yapılamadığı zaman üretilen ozonun bir kısmı da o oranda tahrip olmaktadır.

2.6.3.1 Ozon Jeneratörü Tipleri

Ozon üretimi için başlıca iki tip cihaz kullanılmaktadır:

- a. Plaka tip ozon jeneratörü (Plate-type):** Bu cihazlarda dielektrik olarak kalın düz plakalar ve metal elektrotlar kullanılmaktadır. Kullanma gücü nedeniyle plaka tip ozon jeneratörleri, fazla kullanım alanı bulamamıştır.
- b. Tüplü tip ozon jeneratörleri:** Bu cihazlarda ise, kalınlığı daha az olan cam tüpler ve tüplerin ortasında madeni ayrı bir tüp kullanılmaktadır (<http://www.epa.gov/ozone>, 2006)

2.7 Ozonun Kullanım Alanları

2.7.1 Atık-Atık Su Arıtmada Ozon Kullanımı

Sanayide yaşanan en büyük problemlerden biri de, işletmelerde atık ve atık su kimyasal değerlerinin, insan ve çevre için tehdit edici boyutlara ulaşmasıdır. Ozon, zehirli kimyasallar ihtiva eden atık ve atık sularda etkili bir dezenfeksiyon sağlarken, insan ve doğa için koruyucu bir görev üstlenmektedir. Pek çok endüstri kuruluşu, yüksek maliyetler ile arıtma tesisleri kurmalarına rağmen, yeterli ve etkili bir işlem yapamamaktadırlar. Ozon, bilinen tüm yöntemlerden daha etkili ve daha ucuz bir yöntemdir, işletme maliyeti çok düşüktür. Ozon atık suda %99'a varan oranda koku ve renk giderimi sağlamaktadır (<http://www.yagmurteknik.com.tr>, 2005).



Şekil 2.16. Sol taraftaki atık su örneğinde , COD* değerlerinin ozon işleminden sonra 8,800 mg./l.'den , 120 mg./l.'ye düştüğü görülmektedir. (COD: Kimyasal oksijen ihtiyacı)
(<http://www.yagmurteknik.com.tr>, 2005)

Reaktif, katyonik ve asidik boyarmaddeler gibi hidrofilik boyarmaddeleri parçalamada oldukça etkili iken, suda çözünmesi güç olan küp, sülfür, naftol gibi boyarmaddeleri parçalamada daha az etkili olabilmektedir (Miyoshi, Y., 1999).

2.7.2 Su Dezenfeksiyonunda Ozon Kullanımı

Ozon gazının, şişelenmiş suyun içerisinde konsantrasyonuna bağlı olarak belirli bir süre kalması, hem suyun dezenfeksiyonunu sağlaması hem de şişe ve kapaklardan gelen kirlilikleri yok etmesi açısından önemli bir avantajdır (www.opalsu.com.tr, 2005).

Sulardaki bulanıklık, kimyasal oksidasyon ve elektrik nötralizasyonu ile birlikte uygulanan ozonlama işlemi ile giderilebilmektedir. Ozon, suyun pH değerini değiştirmemektedir. Çünkü ozonun pH'ı nötrdür. Ozon sudaki bağlı kloru da yok etme gücüne sahiptir (www.akuzman.com.tr, 2005). Su tesislerinde, suda iyon halinde bulunan demir ve manganın en düşük miktarlara indirilmesi amacıyla ozon ticari olarak kullanılmaktadır. Kirli sulardan filtrasyon ve ozon oksidasyonu vasıtasıyla giderilmesi mümkün olan diğer ağır metaller ise kurşun, gümüş, kadmiyum, civa ve nikeldir.

Sularda bazı bakteriyolojik faaliyetler sonucu veya doğal olarak bulunabilen nitrit, ozon ile kolaylıkla okside olarak nitrata dönüşürken, amonyağın ozonla oksidasyon sonucu giderilmesi oldukça zor olmaktadır. Siyanid, siyanat ve tiyosiyanat gibi nitrojen anyonları, ozonla kolaylıkla okside olmaktadır (www.opalsu.com.tr, 2005).

2.7.3 Koku Gidermede Ozon Kullanımı

Havada ve suda oluşan kötü kokuların kaynağı olan sentetik yada organik bileşikler, ozon ile okside olarak, koku giderme noktasında ozonun üstün bir temizleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Koku giderme noktasında ozon, çok geniş uygulama alanlarına benzersiz çözümler sunmaktadır. Gece kulüplerinde, otellerde, evlerde, süt ve süt ürünleri işletmelerinde, ilaç fabrikalarında, yağ fabrikalarında, kauçuk fabrikalarında, balıkçılıkta, deri endüstrisinde, yemek fabrikalarında, tavuk çiftliklerinde, benzin istasyonlarında, soğuk hava depoları ve kulelerinde, ozon başka hiçbir materyalin veremeyeceği inanılmaz sonuçlar ortaya koymaktadır (<http://www.yagmurteknik.com.tr>, 2005).

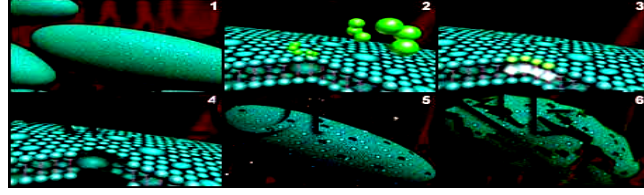
Sulardaki koku ve tat kaynağı ya tabii olarak bulunan organik maddelerden ya da sentetik organik bileşiklerden kaynaklanmaktadır. Bitkilerin çürümeleri, bakteriyel metabolik işlemlerle yüzey sularında tadın bozulmasına sebep olmaktadır. Ozon bu bileşikleri okside ettiğinden suyun tadında hissedilir derecede düzelmeye sebep olmaktadır.

Koku özelliği, yüksek elektron dansiteli sülfid, amin ve olefin gibi fonksiyonel grup maddelerle birlikte meydana gelmektedir. Ozon bu fonksiyonel grupları, kokusuz olan oksijenli gruplara okside etmektedir (www.opalsu.com.tr, 2005).

2.7.4 Bakteri ve Virüslerin Dezenfeksiyonunda Ozon

Kullanımı

Ozon dezenfeksiyonu, mikrop hücrelerini eriterek (lysing) veya hücre zarını yırtarak meydana gelmektedir. Yaygın bir dezenfektan olan klor ise hücre zarından girerek mikrop enzimlerini inaktive etmektedir. Yaklaşık 0,1-0,5 mg/lit ozon, hemen hemen tüm bakterileri öldürmektedir (www.opalsu.com.tr, 2005).



Şekil 2.17. Bakteri ve virüslerin ozon ile dezenfeksiyonu (www.aflon.net,2005)

2.7.5 Gıda Endüstrisinde Ozon Kullanımı

Et ve tavuk kesimhanelerinde yıkama, soğutma ve ekipmanların temizliğinde kullanılan suların dezenfeksiyonunda ozon gazı uygulaması, dirençli mikroorganizmaları kısa sürede etkisiz hale getirmektedir.

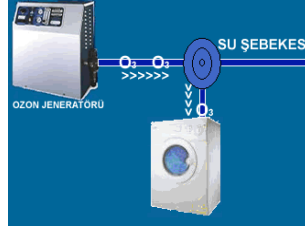
Gıdaların üretim süreçleri ve depolanması sırasında ortamdan bulaşan küf ve benzeri mikroorganizmalar, gıdaların çabuk bozulmasına neden olmaktadır. Ozon gazı; küf oluşumunu engellemekte ve yüzde yüz gıda güvenliğini sağlayarak gıdaların raf ömrünü artırmaktadır. Her türlü istenmeyen kokuları gidermektedir.



Şekil 2.18. Sebze ve meyve endüstrisinde ozon kullanımı (www.opalsu.com.tr, 2005;
http://www.yagmurteknik.com.tr, 2005)

2.7.6 Yıkama İşlemlerinde Ozon Kullanımı

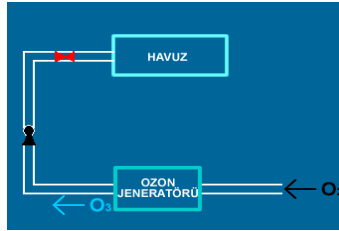
Ozon ile yıkama işleminde sadece 1 yıkama ve durulama işlemi yapılırken, sıcak suya ihtiyaç duyulmamaktadır (<http://www.yagmurteknik.com.tr>, 2005). Su ısıtma maliyeti azaldığı için enerji veya gaz tüketiminde düşüşe neden olmaktadır. Yıkamada kullanılan kimyasal madde miktarında da tasarruf sağlamaktadır (Fouche, E., 2002).



Şekil 2.19. Çamaşır makinelerinde ozon kullanımı (www.opalsu.com.tr, 2005)

2.7.7 Yüzme Havuzu Dezenfeksiyonunda Ozon Kullanımı

Ozon doğal bir flokülör olduğundan, sudaki filtreye takılmayan maddeleri, takılabilecek büyüklüğe getirerek suya kristal berraklık kazandırmaktadır (<http://www.yagmurteknik.com.tr>, 2005).



Şekil 2.20. Havuz sularının dezenfeksiyonunda ozon kullanımı (<http://www.yagmurteknik.com.tr>, 2005)

2.7.8 Kağıt Endüstrisinde Ozon Kullanımı

Kağıt endüstrisinin karşılaştığı en büyük problemlerden biri, zehirli atıkların yok edilmesidir. Yaygın yöntemler olan alkali kraft ve asidik sülfite, kimyasal kağıt hamuru üretiminde çevre için zararlı kimyasallar barındırmaktadırlar. Kağıt endüstrisinde gerek beyazlatma, gerekse atık ve atık su gideriminde kullanılacak ozon, çevre ve insan için güvenli bir ortam sağlarken, üreticinin toplam maliyetini %50'ye varan oranda düşürmektedir.

2.7.9 Çiçekçilik Sektöründe Ozon Kullanımı

Çiçekçilikte ürünlerin belli hava şartlarında tutulması, çiçeklerin görünüşleri ve ömürleri açısından çok önemlidir. Uygun olmayan şartlarda çiçekteki bozulmalar oldukça hızlı olurken, eğer şartlar yerine getirilirse çiçeğin ömrü uzatılabilmektedir. Çiçeklerin ömürlerini uzatma ve sağlıklı görünüşte kalma süresini 2 katına varan oranda arttırmak, ozon ile mümkün olmaktadır. Daha uzun sağlıklı kalan çiçekler, işletmelerin mal zararlarını yarı yarıya indirmektedir (<http://www.yagmurteknik.com.tr>, 2005).

2.7.10 Tekstil Sektöründe Ozon Kullanımı

Ozon tüm boyalı ürünlerde, özellikle denimde kullanılan dispergatör ve lakkaza dayalı çalışmaları tamamen doğal yollarla yapmaktadır. Ozonla ağartma işlemi; yıkama sektöründe sıkıntı yaratan toksik etkisi bulunan kimyasalların ortadan kalkması, sodyumhipoklorit yerine kullanılması açısından son derece önemlidir. Ayrıca sodyumhipoklorit ile renk açmaya

oranla daha güvenilir ve hiçbir risk olmamasından dolayı çok daha önem kazanmaktadır.

Parça yıkama özellikle denim yıkamada geri boyamayı tamamen yok etme, lakkaz enzimi ve türevi kimyasallarla yapılan ürünleri masrafsız elde etme, ürünlerde birbirine yakın renk farklılıklarını dengelemek amacıyla kullanıldığı gibi opsiyonlar ilave edilerek hipokloritlerin yaptığı tüm işlevleri yapabilir konuma getirebilmektedir.

Günümüzde ozon yaygın olarak denim mamullerin yıkanması sırasında oluşan ve sıklıkla karşılaşılan problemlerden biri olan geri boyama problemini giderme amacıyla kullanılmaktadır. Denim mamullerin yıkanması sırasında ceplik, etiket gibi aksesuarların banyodaki indigo boyarmaddesi ile kirlenmesi ve banyodaki indigo boyasının mamul üzerine çökerek beyaz olan atkı ipliklerinin kirlenmesine ve mamul görünümünün bozulmasına neden olan geri boyama problemi kuru ortamda tamburlu yıkama makinelerinde ozon gazı ile 5-10 dakika gibi kısa bir işlem süresinde etkili şekilde giderilebilmektedir.

Piyasada denim mamullerinin ağartılması için ozon gazının kullanımı konusunda çalışmalar sürmektedir. Denim mamullerde etkili bir ağartma efekti eldesi için gaz fazında çalışabilmek için mamulün homojen olarak nemlendirilmesi gerekmektedir. Piyasada mevcut makinelerde bu şekilde mamulün homojen olarak nemlendirilebilmesi için gerekli düzeneğin bulunmamasından dolayı denim mamullerin ağartma işlemi için kullanımı henüz yaygınlaşamamıştır. Nemlendirme işleminin homojenliği bu aşamada çok büyük önem taşımaktadır aksi halde abrajlı ağartma efektleri elde edilecektir.



Şekil 2.21. Denim kumaşlarda geri boyamayı önlemek amacıyla ozon kullanımı
(www.opalsu.com.tr, 2005)

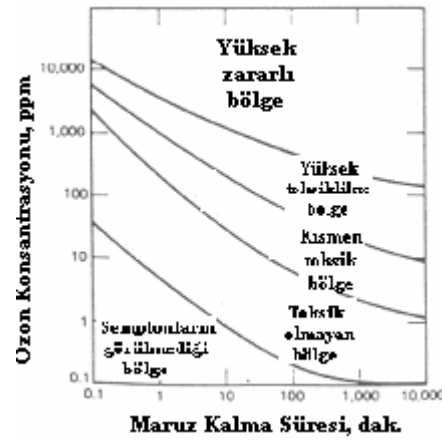
2.8 Ozon ve Çevre

Güney kutbu üzerindeki ozon katmanının delinmesi geniş halk kitlelerinin bir anda “ozon” ile tanışmasını sağlamıştır. Sanayide kullanılan floroklorokarbonlar, iklimin temel biyolojik etkeni olduğu ileri sürülen atmosferdeki ozon oranının azalmasına neden olmaktadır. Ozon, kısa bir sürede medyanın en sevdiği konulardan biri haline dönüşmüştür.

Ozon, güneşin ultraviyole ışınlarının etkisiyle atmosfer yüzeyinde veya elektrik yüklerinin kuru-gaz oksijenle teması sonucu oluşmaktadır. Atmosferin üst katmanlarındaki ozon, yerkabuğunun soğumasını engellemekte ve dünyamızı güneşin tehlikeli ultraviyole ışınlarından korumaktadır. Karakteristik bir kokusu vardır. Yağmurlu ve fırtınalı havalardan sonra, güneşli günlerde deniz kenarlarında içimize çektiğimiz “ferah ve temiz” kokuyu havaya veren ozondur (www.aflon.net, 2005).

Ozon gazının özellikle yüksek konsantrasyonlarda yarattığı toksik etkisi bahsedilmeye değerdir. Toksik etkisi ozon gazının konsantrasyonuna ve maruz kalma süresine bağlı olarak değişmektedir. Şekil 2.32., insanların farklı konsantrasyon ve sürelerde ozon gazına maruz kaldıklarında açığa çıkan etkileri göstermektedir. $0,2 \text{ mg.m}^{-3}$ ’den daha düşük konsantrasyonlarda ozon gazına sınırsız süreli maruz kalılabilmekte her hangi bir sorun ile

karşılaşılmamakta ancak konsantrasyon oranı 2 mg.m^{-3} (1 ppm) olduğunda ise süre 8 dakikaya, 8 mg.m^{-3} (4 ppm) olduğunda ise 1 dakikaya kadar inmektedir. Belirtilen bu kritik sürelerin üzerine çıkıldığında ise öksürme, gözlerde sulanma, solunum yollarında iritasyon gibi bazı semptomlar meydana gelmektedir. ACGIH, TLV adı verilen bir standart geliştirmiştir. Bu standarda göre maruz kalınabilecek maksimum ozon gazı konsantrasyonu $0,2 \text{ mg.m}^{-3}$ (0,1 ppm) olarak belirlenmiştir. TLV standardına eşdeğer bir standartta İspanya'da geliştirilmiştir. Bu standarda göre maruz kalınabilecek ozon gazı konsantrasyonu çalışma koşullarına bağlı olarak sınıflandırılmıştır; ağır koşullarda çalışan işçiler için üst sınır 0,05 ppm ($0,1 \text{ mg.m}^{-3}$), normal koşullarda çalışan işçiler için 0,08 ppm ($0,16 \text{ mg.m}^{-3}$), hafif koşullarda çalışan işçiler için 0,1 ppm ($0,2 \text{ mg.m}^{-3}$) ve maruz kalma süresi 2 saatten az olan işçiler için 0,2 ppm ($0,4 \text{ mg.m}^{-3}$) olarak belirlenmiştir. Bu kritik konsantrasyonların üzerine çıkıldığında ilk başta toksik etki gözlenmese bile bazı semptomlar ortaya çıkmaya başlamaktadır (Iglesias, S.C., 2002).



Şekil 2.22. Ozon gazını soluma açısından insanlardaki toksik limitler (Iglesias, S.C., 2002)

2.9 Ozonun Sinerjitik Etki Gösterdiği Diğer Kimyasallar ve Teknolojiler

2.9.1 Ozon-Hidrojenperoksit İlişkisi

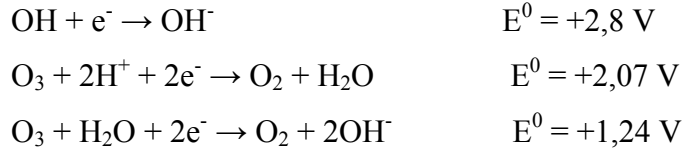
Ozon/hidrojenperoksit kombinasyonu ilk olarak, oksidasyonu çok zor olan ve yüksek miktarlarda oksidasyon maddesi gerektiren bileşiklerin oksidasyonu amacıyla kullanılmıştır. Ozon üretim maliyetinin yüksek olması nedeniyle sadece ozon kullanımı yerine, hidrojenperoksit ile kombinasyonunun kullanımı işlemin ekonomikliğini arttırmıştır (Mokrını, A., Oussi, D., Esplugas, S., 1997).

Ortama hidrojen peroksit veya UV enerjisi ilave edildiğinde, ozonun parçalanması hızlanmakta ve oluşan hidroksil radikal iyonu konsantrasyonu artmaktadır. Ortama hidrojen peroksit ilave edildiğinde, 1 mol ozon başına 1 mol hidroksil radikali oluşmaktadır.

Peroxone sistemi olarak adlandırılan ozon-hidrojenperoksit sistemindeki reaksiyonlar iki şekilde meydana gelmektedir;

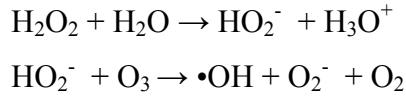
- Suda çözünmüş bulunan ozon tarafından bileşiklerin direk okside edilmesi
- Ozonun parçalanması sonucu oluşan hidroksil radikalleri tarafından bileşiklerin okside edilmesi

Hidroksil radikalının ve ozonun oksidasyon potansiyelleri aşağıda yer almaktadır;



Hidroksil radikallerinin oksidasyon potansiyelleri ozonunkinden daha yüksek olmasının yanı sıra, hidroksil radikalleri özellikle aromatik hidrokarbonlar, doymamış bileşikler, alifatik alkoller ve formik asit gibi suda çözünebilen bileşikler için daha reaktiftir.

pH ve bikarbonat miktarı peroxone sisteminin etkisi için oldukça önemlidir. Özellikle yüksek alkali pH değerlerinde bikarbonat ve karbonat iyonları hidroksil radikalleri ile yarışma içinde olacağından peroxone sisteminin etkisini sınırlamakta ve hidroksil iyonu oluşumunu azaltmaktadır (<http://www.epa.gov/ozone>, 2006).



HO_2^- ve O_3 arasındaki hız sabiti $5,5 \cdot 10^6 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ iken, $\bullet\text{OH}$ ve O_3 arasındaki hız sabiti $7 \cdot 10^1 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 'dir. pH'daki artış ile birlikte daha fazla miktarda H_2O_2 , HO_2^- 'ye dönüşmektedir. Sonuçta HO_2^- de, $\bullet\text{OH}$ oluşumunu desteklemektedir. Atık su arıtma amacıyla kullanılan ozon/peroksit kombinasyonundaki optimum oran 0,3 ile 0,6 arasında değişmektedir (Zhou, H. and Smith, D.W., 2002).

Peroxone Sisteminin Avantajları

- Direk reaksiyon ile kıyaslandığında, peroxone sisteminde oksidasyon daha hızlı ve reaktif gerçekleşmektedir.
- Tat-koku bileşikleri gibi muamelesi güç olan bileşikleri etkili bir şekilde giderebilmektedir.
- Halojenli bileşikler için de etkili bir sonuç vermektedir.
- Peroksit ilavesi ile organik karbon esaslı biyolojik olarak parçalanabilen bileşikleri uzaklaştırmak oldukça kolay gerçekleşmektedir.
- İhtiyaç duyulan sistem için gerekli alanın küçük olması yeterlidir, dolayısıyla yer avantajı sağlamaktadır.

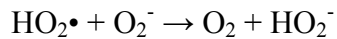
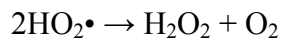
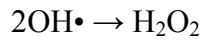
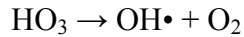
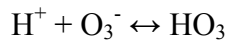
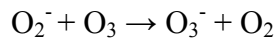
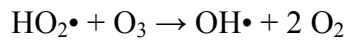
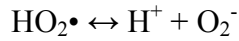
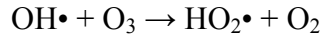
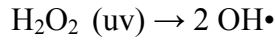
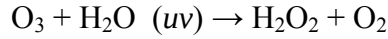
Peroxone Sisteminin Dezavantajları

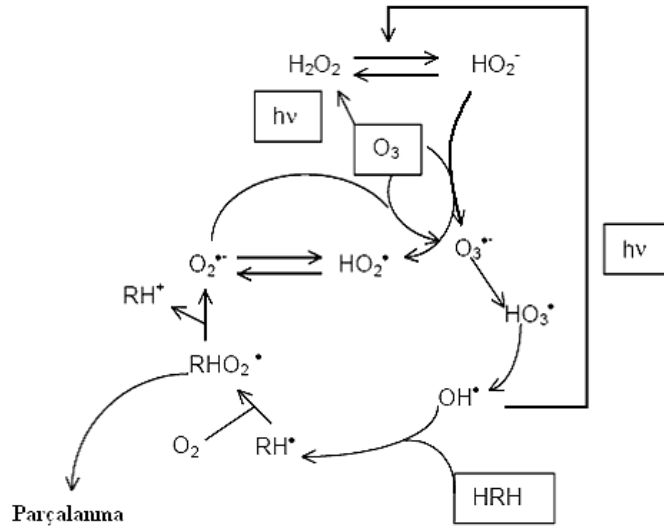
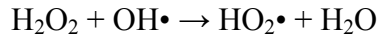
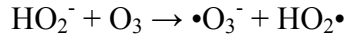
- Peroksit güçlü bir okside edici madde olduğundan çalışanların dikkatli olması gerekmektedir.
- Peroksit saklanabilir ancak doğru saklandığında bile kısmen bozulmaktadır.
- Peroxone sistemi bir tür dezenfeksiyon sistemidir ancak diğer yöntemlerde olduğu gibi burada da CT değerini ölçmek mümkün değildir.
- Peroxone'nun bakır ve mangani okside etme etkisi ozona oranla daha az etkilidir (<http://www.epa.gov/ozone>, 2006).

2.9.2 Ozon-UV İlişkisi

Ozon/UV kombinasyonu ilk olarak 1970'lerin başında kullanılmıştır. O yıllarda kullanım alanı sadece su arıtma olarak sınırlı kalırken, günümüzde çok farklı sektörlerde kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle atık sulardaki peroksit ile parçalanmayan organik kirliliklerin ozon/UV kombinasyonu ile çok rahat bir şekilde parçalanabildiği görülmüştür (<http://www.usace.army.mil/usace-docs/eng-tech-ltrs/etl1110-1-161>, 2006).

UV fotonları, ozon moleküllerini aktive etmekte ve hidroksil radikallerinin oluşumunu desteklemektedir. Ozon moleküllerinin maksimum absorpsiyonu 253,7 nm'de gerçekleştiğinden dalga boyu 200-280 nm olan ultraviyole lambaları kullanılmaktadır. Reaksiyon, UV tarafından ozon moleküllerinin aktive edilmesi ve sonuçta oksijen radikallerinin oluşması ile başlamaktadır. Oluşan bu oksijen radikalleri de daha sonra su ile reaksiyona girmekte ve •OH radikalleri oluşmaktadır (Zhou, H. and Smith, D.W., 2002). Ozon/UV kombinasyonundaki reaksiyon adımları aşağıda yer almaktadır (Iglesias, S.C., 2002);

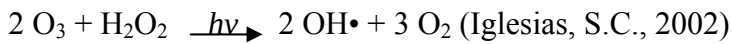




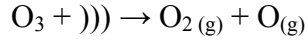
Şekil 2.24. Ozon/UV kombinasyonunda meydana gelebilecek reaksiyonlar (Iglesias, S.C., 2002)

2.9.3 Ozon-UV-Peroksit İlişkisi

Asidik pH değerlerinde ozon, bileşiklerle direkt olarak reaksiyona girmektedir. Ortama radikal oluşumunu destekleyen her hangi bir madde (H₂O₂ ve/veya UV) ilavesi ile ozonlamanın etkisi artmaktadır. Nötr veya bazik pH değerlerinde ise ozonun reaksiyonu serbest radikaller üzerinden devam ettiği için, ortama H₂O₂ ve/veya UV ilavesi reaksiyonu ya ilerletmekte ya da inhibe etmektedir.

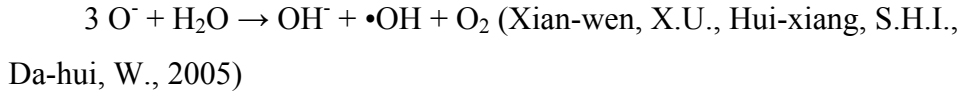
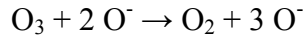
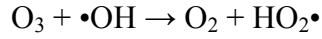
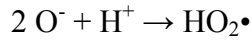
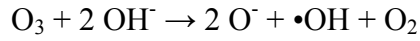
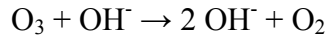
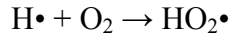
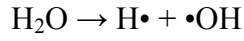


2.9.4 Ozon-US İlişkisi



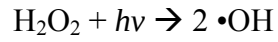
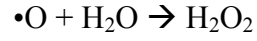
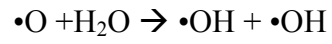
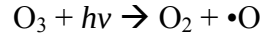
Ultrason ozonu parçalayarak serbest radikallerin aktivitelerini arttırmaktadır, ayrıca çözeltideki ozon gazı konsantrasyonu arttıkça ultrasonik dalgalar da artmaktadır.

Akustik kavitasyon esnasında su, hidroksil ve hidroperoksil radikalleri oluşturmaktadır;

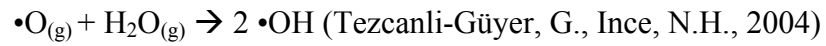
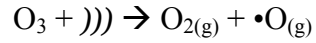


2.9.5 Ozon-UV-US İlişkisi

Ozonun UV ile kombinasyonu sonucu organik kirliliklerin parçalanması önemli ölçüde artmaktadır.



Eğer ozonlu su aynı zamanda ultrasonik etkiye tabi tutulur ise, ozon termal olarak parçalanmakta ve kavitasyon sonucu oluşan $\bullet\text{OH}$ radikallerinden daha fazla $\bullet\text{OH}$ radikali oluşmaktadır.



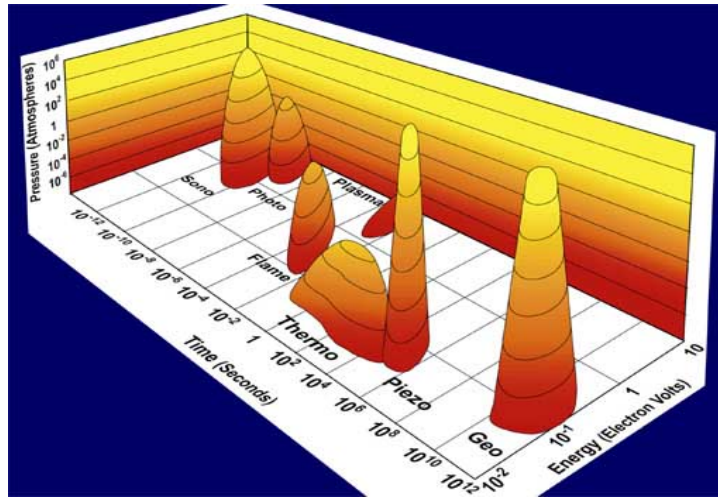
3. ULTRASON TEKNOLOJİSİ

Ultrasonun kimyasal uygulamaları diye adlandırılan sonokimya, son yıllarda yeni ve ilginç bir araştırma alanı olmuştur (Suslick, K.S., 1994). Sonokimya (sonoluminescence) adı verilen fizikî işlem sırasında ses enerjisi, hava kabarcıkları sayesinde ışık enerjisine dönüştürülmektedir (<http://www.fesih.com>, 2006). Sonokimyanın tarihi, 1800'lü yıllara dayanmaktadır. 1894 yılında ilk yüksek hızlı torpido gemilerinin denenmesi sırasında, John I. Thornycroft ve Sydney W. Barnaby geminin pervanesinde fazla miktarda titreşim hareketi ve hızlı bir erozyon keşfetmişlerdir. Pervaneyi büyüterek ve dönüş hızını azaltarak, kavitasyon olarak adlandırılan problemi minimize etmişlerdir. Ancak geminin hızındaki artış, bu ciddi kaygıyı tekrar gündeme getirmiştir. Krala ait donanma bu durumu araştırması için Lord Rayleigh'i görevlendirmiş, Lord Rayleigh de kavitasyon baloncuklarının pervane yüzeyinde patlamasıyla inanılmaz bir türbülans, ısı ve basınç oluştuğunu keşfetmiştir.

Alfred L. Loomis, 1927 yılında ultrasonun ilk kimyasal etkisini fark etmiştir (Suslick, K.S., 1994). Daha sonraki yıllarda ise; inorganik ve organik bileşiklerin sentezi, polimerizasyonu ve elektrokimyası ile ilgili çok çeşitli sonokimyasal reaksiyonlar gelişmiştir. Ultrasonun bu kimyasal reaksiyonları desteklediği bulunsa da, reaksiyon alanının sınırlı olması, sentez esnasında kontrolün gerçekleştirilememesinden kaynaklanan zorluklar ve nispeten daha yüksek işlem maliyeti gibi dezavantajlar bu tekniğin yaygınlaşmasını engellemiştir (Price G., 2003). Sonokimyanın uygulama alanı 1960'lı yıllara dayansa da 1980'lerde yeniden doğmuştur. Bugün ise bu kabarcıklar, bilim adamlarını hayrete düşürmekte ve gözlerini kamaştırmaktadır (Suslick, K.S., 1994). Bugün, kabarcıklar, endüstriden tıbbı kadar birçok alanda

kullanılmaktadır. Hattâ ileride muhtemelen hayat bile kurtarabileceklerdir (<http://www.fesih.com>, 2006).

Ultrason etkisiyle oluşan enerji, diğer bilinen enerji kaynaklarından (ısı, ışık vb.) stabilite, basınç ve molekül başına düşen enerji açısından ayrılmaktadır. Çünkü bahsedilen sıcaklık, basınç, ani ısınma ve soğuma hızları kavitasyon baloncuklarının içeriye doğru küçülerek patlaması sonucu oluşmaktadır. Yani ultrason; yüksek enerjili kimyasal reaksiyon sağlayabilen bir tekniktir (Suslick, K.S., 1994).



Şekil 3.1. Enerji ve materyal etkileşimi (3 ayrı eksen mevcut olup bunlar; etkileşim süresi, basınç ve molekül başına düşen enerjiyi temsil etmektedir. belirlenen adalar ise; çeşitli kimyasal reaksiyonlardaki enerji-materyal etkileşiminin kaynağını göstermektedir) (Suslick, K.S., 1994)

Sonokimya, ultrason tarafından gerçekleştirilen bütün kimyasal ve fiziksel etkileri kapsamaktadır. (https://w3.chem.tue.nl/fileadmin/st/SPD/Poster_Martijn.pdf). Ultrasonun kimyasal etkisi; radikal oluşturması ve oda sıcaklığında reaksiyon hızını

artması ile ilişkilidir. Kavitasyon baloncuğunun oluşumu, büyümesi ve patlaması yaklaşık olarak 0,1 milisaniyede gerçekleşmektedir. Bu kavitasyon baloncuklarının içeriye doğru küçülerek patlaması yaklaşık olarak 5000 K sıcaklık ve 200 bar basınç oluşturmaktadır (https://w3.chem.tue.nl/fileadmin/st/SPD/Poster_Martijn.pdf).

3.1 Ultrason Dalgaları

Ultrason, frekansı insanların duyma sınırının üzerinde bulunan mekanik titreşimlerden meydana gelmiş bir enerji şeklidir. İnsanlar 18 kHz'den (yani saniyede 18000 titreşimden) fazlasını duyamazlar. Ancak yarasa, köpekbalığı gibi bazı memeliler 100 kHz'e kadar frekansı duyabilmektedir (www.bk.psu.edu/faculty/cooper/ultrasnd.html, 2005).

Ultrason frekansının alt sınırı genellikle 20 kHz'dir. Yani frekansı 20 kHz'den daha büyük sesler, ses ötesi veya ultrason olarak tanımlanmaktadır. Ultrason; 20 kHz ile 10 MHz arasında değişen sonik spektrum aralığına sahiptir, ve bu aralık 3 ana gruba ayrılmaktadır; düşük frekans-yüksek ultrasonik güç (20-100 kHz), yüksek frekans-orta ultrasonik güç (100 kHz-1 MHz), yüksek frekans-düşük ultrasonik güç (1-10 MHz). Sonokimyada genelde 20 kHz ile 1 MHz arasındaki aralık kullanılırken, 1 MHz'in üzerindeki frekanslar genelde medikal alanda uygulama alanına sahiptir (www.fb-chemie.uni-rostock.de, 2005).

3.1.1 Ultrason Gücü ve Şiddeti

Ultrason gücü çeşitli birimlerle ifade edilebilmektedir. Pratikte bu Watt (W)'dır. 1 W'lık bir güç saniyede 1 joule'lük bir enerji akışına karşılık gelmektedir. Ultrason şiddeti bir zaman biriminde birim yüzeyden akan enerji miktarına eşittir ve her santimetre kareye düşen watt cinsinden ifade edilmektedir (Kalender, O., Kavalcı, R., 2001).

3.1.2 Ultrason Dalgalarının Elde Edilmesi

Ultrasonik frekansları üretmek, bir titreşim hareketi üretmek ve algılamak da titreşim enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek demektir.

Düşük frekanslarda ultrason enerjisi üretiminde magnetostriktiv olay denilen metot kullanılmaktadır. Bazı malzemeler, örneğin nikel, nikel alaşımları, çelik ve ferritler, magnetik etki ile boyut değiştirmektedirler. Üzerinden alternatif akım geçen bir bobinin içine konan nikel çubuğun boyu akım yön değiştirdikçe uzamakta veya kısalmaktadır. Akım yüksek frekansa çıktığında çubuk aynı frekansla titreşmektedir. 20-40 kHz frekanslar ve azalan verimle 100 kHz'e kadar olan frekanslar bu metotla üretilmektedir. Magnetostriktiv problemler dış etkenlere dayanıklıdır. Bu nedenle betonun ve kayaların muayenesinde, denizaltı sonar sisteminde ve düşük ultrasonik frekanslar gerektiren diğer uygulama alanlarında, ultrasonla temizleme için magnetostriktiv problemler tercihen kullanılmaktadır. Daha yüksek frekanslar için başka bir ultrason üretim metoduna ihtiyaç duyulmaktadır.

3.1.3 Piezoelektrik Olay

Yüksek frekanslarda enerji üretimine uygun tek temel olay piezoelektriktir. Bilindiği gibi katı maddeler yüklü parçacıklardan oluşmakta ve bir katı madde içindeki negatif ve pozitif yüklü parçacıklar dengede bulunmaktadır. Ancak mekanik bir yolla malzeme üzerine bir kuvvet uygulamak, yüzey yüklerinin oluşmasına neden olabilmektedir. Bir kristalde piezoelektrik özelliğin gözlenmesi, bu yüzey yüklerinin oluşmasına bağlıdır. Fakat simetri özellikleri, bu yüklerin oluşması için gerekli koşulları kısıtlamaktadır. Bu nedenle simetri merkezi olmayan kristaller bu iş için en uygun malzeme grubunu oluşturmaktadır.

Elektriksel olarak yüksüz ve yapısal simetri merkezi bulunmayan bir kristale uygulanan basınç, artı yüklerin merkezi ile eksi yüklerin merkezinin birbirlerinden hafifçe ayrılmasına ve kristalin karşılıklı yüzeylerinde zıt yüklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Yüklerin bu şekilde ayrılması bir elektrik alan yaratmakta ve kristalin karşılıklı yüzeyleri arasında ölçülebilir bir potansiyel fark oluşturmaktadır. Piezoelektrik etkiyi ifade eden bu sürecin tersi de geçerli olmaktadır. Ters piezoelektrik etkide de, karşılıklı yüzeyleri arasına bir elektrik gerilimi uygulanan bir kristalde boyutsal bir şekil değişimi oluşmakta ve dik olarak yüksek frekanslı ultrason dalgaları açığa çıkmaktadır (<http://stu.inonu.edu.tr/~mustundag/piezo.htm>, 2004).

Piezoelektrik malzemeler kuvars ve turmalin gibi doğal olarak piezoelektrik etki gösteren kristaller ile kutuplanma sonrasında piezoelektrik etki gösteren ferroelektrik malzemeler olmak üzere başlıca iki malzeme grubundan oluşmaktadır.

Şekil 3.6.'da görülen doğal kuvars kristali uçları piramit şeklinde son bulan hegzagonal bir yapıdadır. Doğada, birkaç metre ile birkaç cm arasında

değişen kuvars kristallerine rastlanmaktadır. 10-25 cm'lik bir boyut ultrason üretimi bakımından uygun olmaktadır.

Kuvars kristali ile 150 kHz'dan 1000 MHz'e kadar ultrason dalgaları elde edilebilmektedir. Kuvars kristali elektrik enerjisini mekanik enerjiye, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilen bir sistemdir.



Şekil 3.2. Kuvars kristalleri

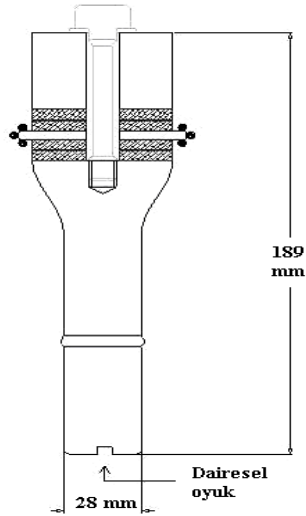
a) Ultrason Probu

Ultrason probu, elektrik enerjisinin ultrasonik enerjiye dönüştüğü veya bunun tersinin yapıldığı yerdir. Yani bir ultrason devresinde, ultrason enerjisi devrenin en uç elemanı olan probda üretilmektedir. Buradan istenilen bölgeye gönderilmekte ve gelen yankı yine bu elemanda ultrason enerjisinden elektrik enerjisine çevrilmektedir. Başka bir deyişle prob ultrason enerjisinin vericisi ve alıcısıdır. Dolayısıyla probun gerisinde yer alan ve ultrasonik cihaz diye adlandırılan devre gerçekte bütünüyle bir elektronik cihazdır. Yani ultrasonik sistemdeki enerji dönüşümü sistemini özetleyecek olursak; önce elektrik enerjisi voltaj ve akım halinde transdusera uygulanmakta, transduserde bu enerji mekanik enerjiye dönüştürülmekte, transduser tarafından yayılan ses dalgaları bir akustik enerji oluşturmakta ve son olarak da sıcaklık ve basınç şartlarıyla oluşan kavitasyon baloncuklarının oluşturduğu kavitasyon enerjisi ortama yayılmaktadır (Moholkar, V.S., Nierstrasz, V.A. and Warmoeskerken, M.M.C.G., 2003).

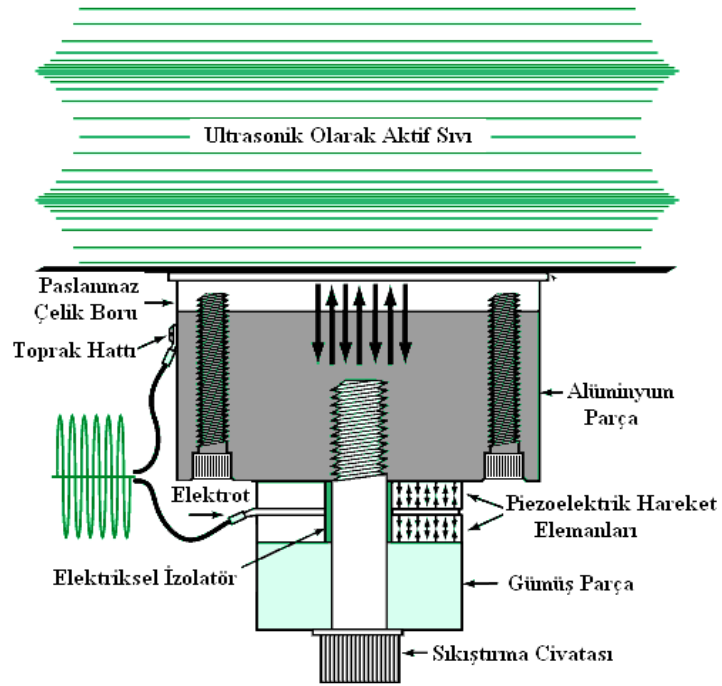
Bir piezoelektrik kristale gerilim uygulandığında, uygulanan voltajın polaritesine, kristalin geometrisine ve ilk polarizasyonuna bağlı olarak boyuna, enine veya radyal olarak çevresine doğru genişler ya da daralır. Bu daralıp genişleme sonucunda ultrason dalgaları meydana gelmektedir. Günümüzde kullanılan problemlerin büyük bir bölümünde polarize edilmiş seramik kristaller kullanılmaktadır.

b) Piezoelektrik Transduser

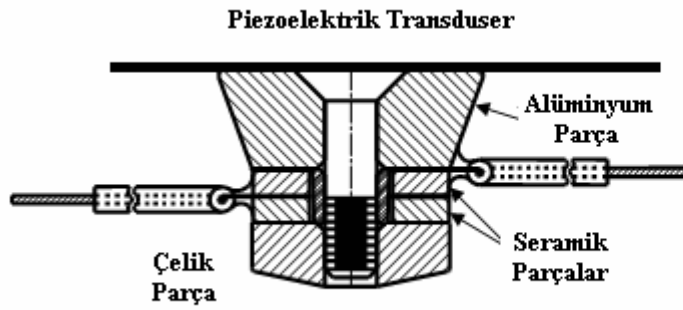
Probun duyarlı bir elemanıdır. Elektrik enerjisini ultrason enerjisine veya tersine olarak ultrason enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren elemandır. Prob içinde bir veya iki transduser bulunabilmektedir. Tek transduser varsa bu hem alıcı hem de verici olarak çalışmaktadır. Çift transduser varsa birisi verici, öbürü alıcı olarak çalışmaktadır. Ultrason cihazının çıkışına takılmış olan verici, girişine takılmış olan alıcı rolü oynamakta, uçlar değiştirilirse rollerde değişmektedir.



Şekil 3.3. Bir ultrasonik transduser modeli



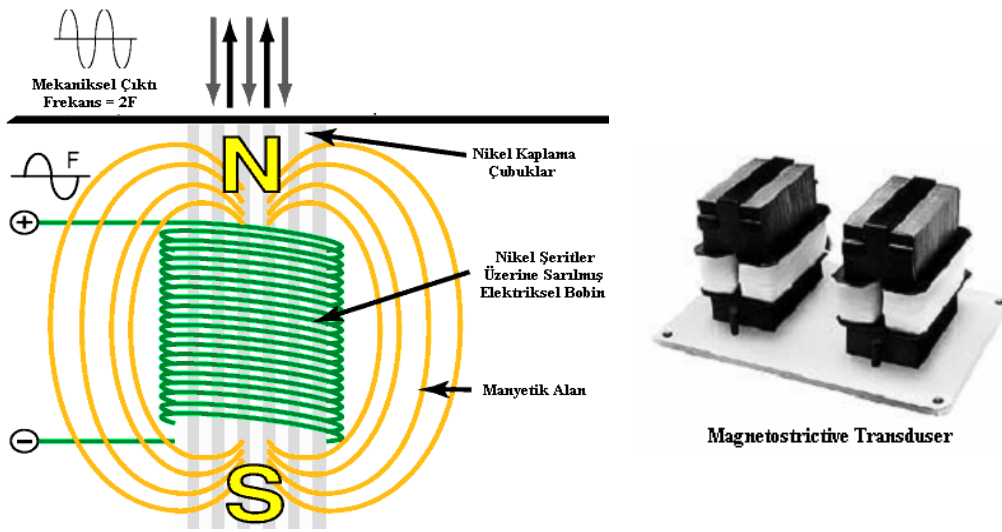
Şekil 3.4. Piezoelektrik transduser (<http://www.pmrsystems.com/contents.html>, 2005)



Şekil 3.5. Proje çalışmalarında kullanılan ultrasonik transduser modeli (www.blackstone-ney.com, 2005)

c) Magnetostrictive Transducer

Piezoelektrik transduser ile aynı esasa dayanmaktadır (<http://www.pmrsystems.com/contents.html>, 2005). Genel olarak ultrasonik frekanslar 20 ile 200 kHz arasında değişmektedir. Ancak magnetostrictive transduserlerde boyutsal sınırlama mevcut olduğu için genellikle ancak 30 kHz'in altında kullanım alanı bulabilmektedir. Ancak piezoelektrik transduserlerde bu tür bir sınırlama mevcut değildir (www.blackstone-ney.com, 2005).

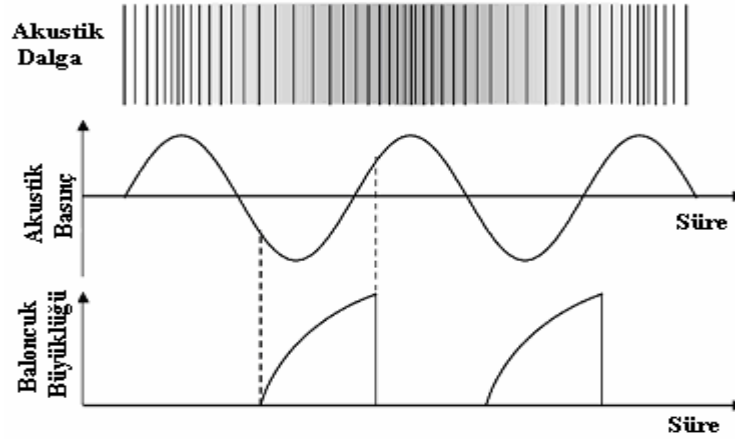


Şekil 3.6. Magnetostrictive transduser (www.blackstone-ney.com, 2005;
<http://www.pmrsystems.com/contents.html>, 2005)

3.2 Ultrason Kavitasyonu

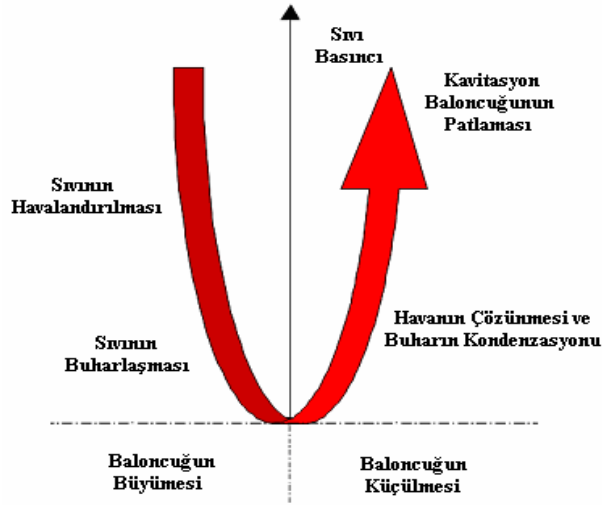
Kavitasyon kelimesi Latin kökenli “cavus” kelimesinden gelmektedir (www.fb-chemie.uni-rostock.de, 2005). Kavitasyon; sıvının buharlaşması ve yoğunlaşmasını içermektedir. Kavitasyon normal olarak sıvı, sabit sıcaklıkta buhar basıncına maruz kaldığında meydana gelmektedir. Sıvının akış hızı etkili bir şekilde arttığında buhar basıncına ulaşılmaktadır. Sıvı materyallerin yapılarındaki komplikelikten ötürü, kavitasyonun direk etkisinin tespiti genellikle imkansız olmaktadır.

Kavitasyon; buhar veya gaz dolu baloncukların oluşması, büyümesi ve patlaması şeklinde gerçekleşen işlemi tanımlayan terimdir. Bu baloncuklar; belirli bir sıcaklıktaki sıvının statik basıncı, buhar basıncının altına düştüğünde oluşmaktadır. Bu baloncukların daha yüksek basınçtaki alanlara kayması ile, baloncuklar şiddetli bir şekilde patlamakta ve çok yüksek basınçlar oluşmaktadır (KOIVULA, T., 2000).



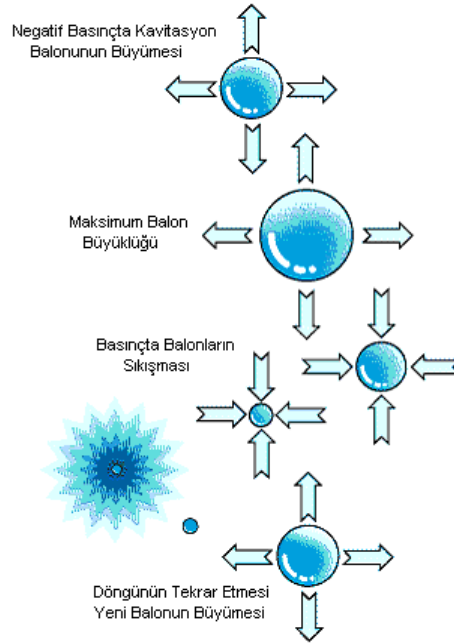
Şekil 3.7. Akustik basınca bağlı olarak kavitasyon baloncuğunun büyüklüğü (Moholkar, V.S., Nierstrasz, V.A. and Warmoeskerken, M.M.C.G., 2003)

Sıvının varolan basıncı yeterli derecede azaldığında, içerideki çözünmüş hava sıvıdan uzaklaşmaya başlamaktadır. Bu esnada, hava kavitasyon baloncuğunun duvarına doğru nüfuz etmektedir. Sıvıdaki basınç daha da azaldığında, sıvının buharlaşma basıncına ulaşılmaktadır. Bu noktada sıvı buharlaşmaya ve kavitasyon baloncukları buharla dolmaya başlamaktadır. Bu tür bir kavitasyon baloncuğu basınç ile karşılaştığında ise büyümesi durmakta, basıncın daha da artması ile birlikte kavitasyon baloncukları küçülmeye başlamaktadır. Buharın yoğunlaşmasına ve havanın çözünmesine bağlı olarak, kavitasyon baloncukları kaybolmaktadır. Ancak buharla dolu kavitasyon baloncuğu hızlı bir şekilde basınçla karşılaşırsa şiddetli bir şekilde içeriye doğru küçülüp patlamakta ve çok yüksek basınç pikleri oluşmaktadır. Baloncuğun içindeki gaz miktarı fazla olduğunda patlama daha az şiddetli olmaktadır (KOIVULA, T., 2000). Basınç arttıkça ve sıcaklık düştükçe kavitasyon baloncuklarının oluşması artmaktadır (Busnaina, A.A., Gale, G.W.,1995).



Şekil 3.8. Kavitasyon işlemi (KOIVULA, T., 2000)

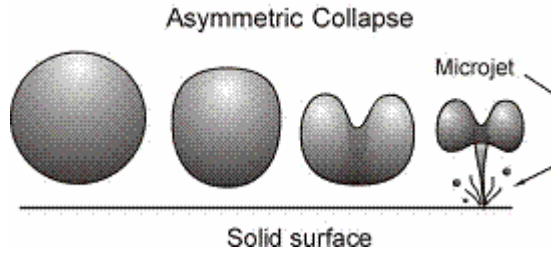
Ultrason dalgaları insan kulağının duyamadığı, güçlü, yüksek titreşimli seslerdir. Ultrason, silindir içerisindeki suya uygulandığında, ses dalgaları, suda kabarcıklar oluşturmakta ve kabarcıklar titreşmeye başlamaktadır. En fazla 50 mikron çapı olan bu kabarcık bir büzülüp, bir genişlemektedir. İç ve dış basınç farkından dolayı kabarcık patlamaktadır. Bu sırada boyut 0,1 mikrondur. Bu sıkıştırma fazında kabarcıktan ışık çıkmaktadır. Çıkan ışık ultraviyole ışığa benzemektedir. Infrared (kızılötesi) ışık dediğimiz görünür ışıktan daha fazla enerji taşımaktadır (<http://www.fesih.com>, 2006). Örneğin, böyle bir kabarcık geminin pervanesine, saatte 700 km hızla çarpmaktadır. 100 mikron boyutunda olan kabarcığın bir şişme-büzülme periyodu saniyenin 50 milyonda birinde olmaktadır. Böylece gemi pervanesi birkaç günde hurdaya çıkabilmektedir. Boşluğun bu gücü, bugün tıpta böbrek taşlarının ve tümörlerin parçalanmasında da kullanılmaktadır (<http://www.fesih.com>, 2006).



Şekil 3.9. Kavitasyon olayının etkisi (<http://www.pmrystems.com/contents.html>, 2005)

3.2.1 Sıvı-Katı Sistemlerinde Kavitasyon

Kavitasyon sıvı içerisinde katı yüzey yakınında meydana geldiğinde, kavitasyon baloncuğunun dinamik yapısı önemli ölçüde değişmektedir. Saf sıvılarda, kavitasyon baloncuğu, çevresi uniform olduğu için küresel bir yapı kazanmaktadır. Katı yüzeyine çok yakın olduğunda veya temas ettiğinde ise; kavitasyon baloncuğu asimetrik bir yapı kazanmakta ve yüksek hızlı sıvı jetleri oluşmaktadır. Şişmiş olan baloncuğun potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüşmüş olmakta ve sıvı jeti baloncuğun içerisine nüfuz etmektedir. Technische Hochschule (Darmstadt, Almanya)'deki Werner Lauterborn yüzeye doğru hareket eden sıvıların hızının 400 km/saat olduğunu bulmuştur. Bu jetler korkunç bir güçle yüzeye çarptığı için yüzeyde aşınma, erozyon meydana gelmektedir (Suslick, K.S., 1994).



Şekil 3.10. Mikro-jete maruz kalmış kavitasyon baloncuğu

(http://physchem.ox.ac.uk/~rgc/research/sonoelsynth/surf_acoust.htm)

20 kHz sonik etkinin kimyasal bağları nasıl kopardığına dair birçok teori mevcuttur. Tüm teorilerin ortak noktası ise; sıvı içerisinde oluşan kavitasyon baloncuklarının oluşumu ve büyümesidir. Dikkat edilmesi gereken ilk nokta; baloncukların nasıl oluştuğudur. Bu noktada su moleküllerini birbirinden ayırmak yani Van der Waals bağlarını parçalamak için gerekli enerjinin 105 W/cm^2 olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

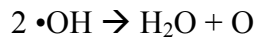
Diğer taraftan, sonikasyon banyosunda 0,3 W/ cm² güçle suyun tamamen hidrojen peroksit oluşturduğu iyi bilinmektedir. Bütün bu açıklamalar; moleküler arası güçleri azaltan gaz kabarcıklarının veya keşfedilmemiş parçaların varlığına dayandırılmaktadır. Eğer çözelti ultrasonik işlemde önce ultrafiltrasyona tabi tutulursa, sonokimya gözlenmemektedir. Bu durum da bu görüşü desteklemektedir.

İkinci nokta ise; çözünmüş buharın baloncuğun içerisine difüzyonu ile baloncuğun büyümesidir. Üçüncü nokta ise; maksimum hacime ulaşan baloncuğun içeriye doğru küçülmesidir. Küçülüp patlama sonucu oluşan yüksek sıcaklık ve basınçla kimyasal bağlar parçalanmaktadır.

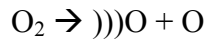
1993 yılında yapılan bir araştırmada ultrasonik işleme tabi tutulmuş ürünlerin amorf yapıda olduğu görülmüştür. Amorf yapıda olmasının nedeni olarak; baloncuğun patlamasından sonra 10³ K/sn'den daha yüksek bir hızda soğumanın meydana gelmesi ve ürünün kristalleşmesi için gerekli zamanın olmaması düşünülmektedir

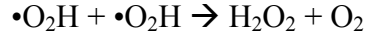
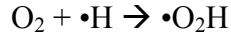
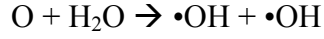
(<http://www.weizmann.ac.il/ICS/booklet/9/pdf/gedanken.pdf>).

Kavitasyon baloncuklarının patlaması sonucu açığa çıkan kimyasal etki, tamamen baloncukların termolitik parçalanması ile ilgilidir yani, ya serbest radikaller oluştururlar ve/veya gaz-sıvı ara yüzeyindeki çözeltilerin serbest radikallere okside olmasına yol açarlar. Saf suyun sonikasyonu esnasında meydana gelen reaksiyon zinciri şu şekilde yer almaktadır;

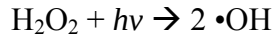
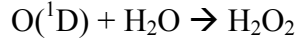
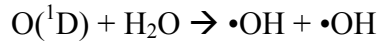
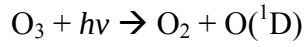


Eğer çözelti içerisine oksijen beslenir ve homojen dağılımı sağlanır ise, gaz fazında başka radikaller de oluşmaktadır;

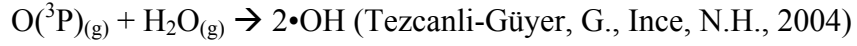
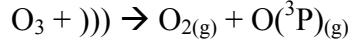




Organik bileşik içeren suyun sonikasyonu, termal veya kimyasal parçalanma ile sonuçlanmaktadır. İşlem pH'ına bağlı olarak ozon organik bileşiklerle, ya elektrofilik etki ile direk reaksiyona girmekte ya da radikal tip zincir reaksiyonu ile indirekt reaksiyona girmektedir. Ozonun tek başına kullanıldığı denemelerle ozonun UV ile kombine edildiği denemler kıyaslanacak olursa, kombinasyonun organik maddeleri parçalama açısından verimlilikte artışa neden olduğu açık bir şekilde görülmektedir.



Ozonlanmış su ultrasonik etkiye tabi tutulduğunda ise baloncuk içerisindeki ozon termal olarak parçalanmakta ve fazladan $\bullet OH$ radikali oluşmaktadır;



3.2.2 Kavitasyonu Etkileyen Parametreler

3.2.2.1 Sıcaklık

Maksimum kavitasyon yoğunluğuna ulaşmada etki eden parametrelerden en önemlisi; sıcaklıktır. Sıcaklıktaki değişim; viskozitede, sıvı içerisindeki çözünmüş gaz miktarında, sıvı içerisinde çözünmüş gazın difüzyon oranında, buhar basıncında dolayısıyla kavitasyon yoğunluğunda değişim yaratmaktadır. Saf suda, maksimum kavitasyon etkisi 71⁰C’de gözlemlenmektedir (<http://www.pmrsystems.com/contents.html>, 2005).

Sıcaklık, sonokimyasal reaksiyonu iki şekilde etkilemektedir; düşük sıcaklık viskozitenin artmasına dolayısıyla baloncukların daha zor oluşmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan ise düşük sıcaklıkta sonokimyasal reaksiyonun hızı artmaktadır (<http://www.weizmann.ac.il/ICS/booklet/9/pdf/gedanken.pdf>).

3.2.2.2 Çözelti Viskozitesi

Maksimum kavitasyon etkisi elde etmek için, sıvının viskozitesi minimize edilmelidir. Birçok sıvının viskozitesi sıcaklık artışıyla birlikte azalmaktadır (<http://www.pmrsystems.com/contents.html>, 2005). Kavitasyonun elde edilmesi, genleşme bölgesindeki negatif basıncın sıvı içerisindeki doğal kohezyon kuvvetlerine üstün gelmesini gerekli kılmaktadır. Bu yüzden böyle kuvvetlerin büyük olduğu viskoz sıvılarda kavitasyonun elde edilmesi daha zor olmaktadır (Koçak, D., Merdan, N., 2002).

3.2.2.3 Cihazın Ultrasonik Gücü

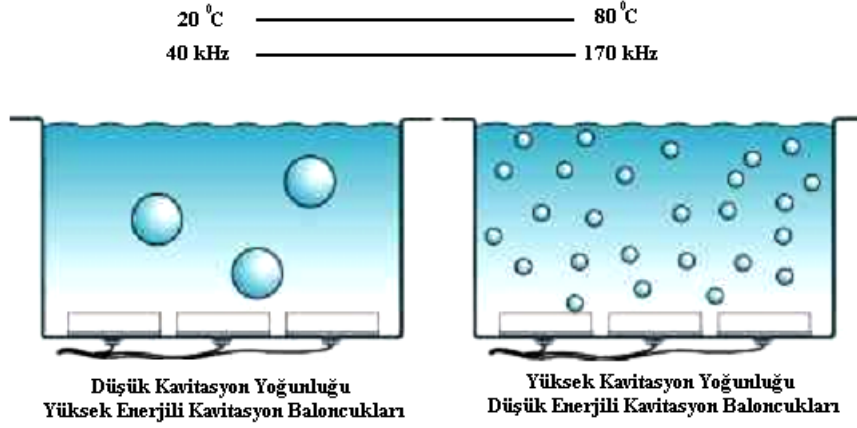
Kavitasyon yoğunluğu aynı zamanda kullanılan cihazın ultrasonik gücü ile de direk ilişkilidir. Güç arttıkça kavitasyon yoğunluğu da artmaktadır (<http://www.pmrsystems.com/contents.html>, 2005).

3.2.2.4 Ultrasonik Frekans

Kavitasyon yoğunluğunu etkileyen bir diğer parametre de ultrasonik frekansıdır. Ultrasonik frekans arttıkça, kavitasyon baloncuklarının boyutu küçülmekte dolayısıyla patlamaları sonucu oluşan etki azalmakta yani kavitasyon yoğunluğu azalmaktadır. Yüksek frekanslarda çalışma zorunluluğu olduğunda, ultrasonik güç artırılarak bu dezavantaj kısmen giderilebilmektedir (<http://www.pmrsystems.com/contents.html>, 2005).

Çoklu frekanslarla çalışarak ultrasonik etkiyi artırma çalışmaları, yaklaşık olarak 40 yıllık bir geçmişe sahiptir. İlk çalışmalar 1959 yılında başlamış ancak optimum sonuç bir türlü alınamamıştır. En son geliştirilen çoklu frekans sisteminde ise, belli sürelerde farklı frekanslarda çalışan tek bir transduser kullanılmış ve böyle bir çalışma ile etkili bir ultrasonik temizlik elde edildiği görülmüştür. Bu sistemin başlıca avantajları şunlar olmuştur; temizlenecek materyal üzerinde farklı büyüklükte ve yapıda kirlilikler bulunabilmektedir, ultrasonik cihaz farklı frekanslarda çalışacağı için tüm kirliliklere etkili olabilecek ve temizleme etkisi sağlanabilecektir. Ayrıca farklı frekanslarda çalışılmasına rağmen homojen bir temizleme etkisi elde edilmektedir. Düşük frekanslarda çalışırken kavitasyon zararını önlemek amacıyla çok kısa işlem sürelerinde çalışılmaktadır. Çok farklı materyallerle,

kimyasallarla ve kirliliklerle çalışılabilmektedir, çünkü çok farklı frekanslarda çalışılmaktadır.



Şekil 3.11. Sıcaklığın, frekansın kaviteasyon yoğunluğuna etkisi (www.blackstone-ney.com, 2006)

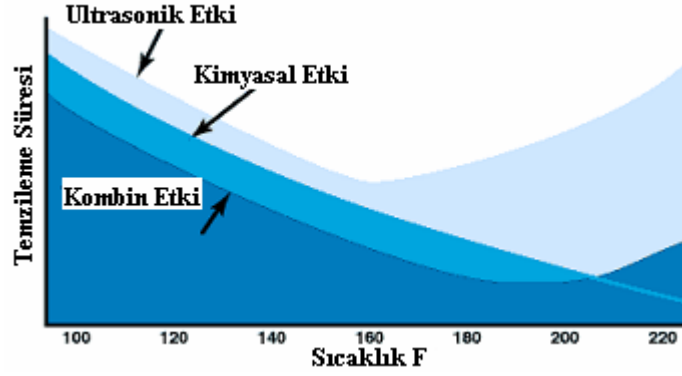
Flottenin sıcaklığı arttıkça, sıvının yüzey gerimi azaldıkça ve ultrasonik cihazın frekansı arttıkça kaviteasyon baloncuklarının büyüklükleri küçülmekte, patlama sonucu yaratacakları etkileri azalmaktadır.

Kaviteasyon yoğunluğu, birim zamanda, birim hacimde oluşan kaviteasyon baloncuğunun patlaması sonucu oluşan enerjidir. Yüksek ultrasonik frekanslar, yüksek kaviteasyon yoğunluğu sağlamaktadır.

Ultrasonik etki sonucu banyoda oluşan OH radikallerin etkisi tamamen kullanılan ultrasonun frekansına bağlıdır. Yüksek frekanslarda radikal oluşumu hızlanmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde en fazla OH radikali oluşumuna imkan tanıyan frekansın 400-500 kHz olduğu belirlenmiştir (Vinodgopal, K., Peller, J., Makogon, O., Kamat, P.V., 1998).

3.2.2.5 Kullanılan Kimyasalın Cinsi

İyi bir ultrasonik temizleme etkisi elde etmek için kullanılacak kimyasal da dikkatli seçilmeli; kavitasyon özelliği gösterebilecek, kirlilikleri uzaklaştırabilecek özellikte olan kimyasallar tercih edilmelidir.



Şekil 3.12. Amaca uygun olarak seçilen kimyasal madde ile ultrasonik temizleme etkisinin kombinasyonunun sağladığı avantajlar (<http://www.pmrsystems.com/contents.html>, 2005)

Her ne kadar saf suda 71°C 'de maksimum kavitasyon etkisi elde edilse de kimyasal maddelerin temizleme etkisi sıcaklık artışı ile daha da arttığı göz önünde bulundurulursa, daha çok 88°C 'de çalışma yapılmaktadır (<http://www.pmrsystems.com/contents.html>, 2005).

3.2.2.6 Çözeltilerin Yüzey Gerilimi

Düşük yüzey gerilimine sahip sıvılar kullanıldığında, kavitasyonun başlatılmasında bir azalıma yol açabileceği beklenebilir. Fakat sulu çözeltiler

söz konusu olduğunda yüzey aktif bir maddenin ortama ilave edilmesi kavitasyona yardımcı olmaktadır (Koçak, D., Merdan, N., 2002).

3.2.2.7 Çözelti Buhar Basıncı

Düşük buhar basıncına sahip olan bir çözücünde kavitasyonu başlatmak daha zor olmaktadır. Kavitasyonun kolayca oluşturulabilmesi için çözücünün daha uçucu olması gerekmektedir. Bu durumda ise daha fazla buhar baloncukların çözücünün içine girmesi söz konusu olmakta ve bu nedenle çarpışmadaki şiddet azalmaktadır (Koçak, D., Merdan, N., 2002).

3.2.2.8 Dışarıdan Uygulanan Basıncı

Dış basıncın artırılması, kavitasyonun başlatılması için daha büyük bir ultrasonik enerjiye ihtiyaç olduğunu ifade etmektedir. Daha önemli bir nokta ise dış basıncın artırılması halinde, çarpışma şiddetinin artması ve bunun sonucunda sonokimyasal etkinin yükselmesidir (Koçak, D., Merdan, N., 2002).

3.2.2.9 Sonikasyon Şiddeti

Sonikasyonun şiddeti, direkt olarak ultrasonik vibrasyon genliği ile bağıntılıdır. Genel olarak şiddetteki bir artış, sonokimyasal etkide bir artışa yol açmaktadır. Fakat sisteme giren ultrasonik enerji üç nedenden dolayı kesin olarak arttırılmamaktadır. Bu nedenler şunlardır:

- Sonikatörde kullanılan transduserin boyut değişiminin artırılması, malzemeyi çatlatarak bozunmaya neden olmaktadır.
- Yüksek vibrasyonel genlikte ultrasonik enerji kaynağı tam bir çevrim boyunca sıvı ile temasa girmemektedir. Bu durum teknik olarak "Yeniden Birleşme" olarak bilinmektedir ve enerji kaynağından ortama gücün transferinde büyük bir verim kaybına sebep olmaktadır.
- Büyük miktarlardaki ultrasonik güç sisteme uygulandığında, çözelti içinde çok fazla sayıda kavitasyon baloncuğu oluşmaktadır. Bu baloncukların büyük bir çoğunluğu birleşecek ve daha kararlı baloncuklar oluşturmaktadırlar. Bunlar sıvı içinde ses enerjisinin geçişini yavaşlatabilecek ve sonokimyasal etkiyi vermek üzere çarpışacak olan daha küçük baloncukların çoğunu uzaklaştırabilmektedirler.

3.2.2.10 Sesin Otenasyonu

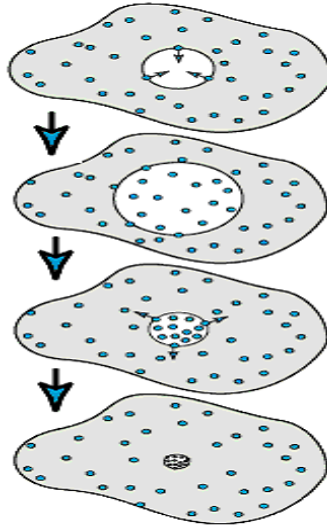
Çeşitli nedenlerden dolayı, ortam içinden geçerken sesin şiddeti azalmaktadır. Bu enerjinin bir kısmı ısı şekline dönüşmektedir. Bununla beraber sonikasyon süresince ortamda oluşan ısınma çok az olmaktadır. Sesin zayıflama derecesi, frekansla ters orantılı olmaktadır. 118 kHz sesin şiddeti, 1 km uzunluğundaki su kütlesi içinden geçirilmesiyle yarıya inmektedir. 20 kHz'lik sesin şiddetinin yarıya indirilmesi için gerekli mesafe ise çok daha fazladır ve yaklaşık 30 km kadardır. Bu hesaplamalar, belirli bir mesafede aynı şiddetlerin elde edilebilmesi için, daha yüksek başlangıç gücünün kullanımın gerekli olacağını, açıkça göstermektedir (Koçak, D., Merdan, N., 2002).

3.2.2.11 Su İçerisindeki Çözünmüş Gaz Miktarı

Daha etkili bir kavitasyon için sıvı içerisindeki çözünmüş gaz içeriği minimum olmalıdır. Sıcaklık artışıyla birlikte sıvı içerisindeki çözünmüş gaz miktarı da azalmaktadır. Ancak çözünmüş olan bu gazların difüzyon hızı artmaktadır.

Su ve Tekstil Materyalinin Gazını Giderme Teknikleri

Hakikaten her sıvı özellikle su, bünyesinde çözünmüş çeşitli maddeler bulundurmaktadır. Bunlara sıvılar içinde çözünmüş gazlar da dahildir. Bunlar yerel sağlamlığı azaltan kavitasyon çekirdekleridir. Kavitasyon üzerinde sıvı içindeki çözünmüş gaz içeriğinin yanında sıvı yüzey geriliminin de etkisinin olduğu bilinmektedir (<http://www.pmrsystems.com/contents.html>, 2005).



Şekil 3.13. Çözünmüş gaz içeriğinin etkisi (<http://www.pmrsystems.com/contents.html>, 2005)

Suyun gazını gidermek için kimyasal bir yöntem uygulanmaktadır. CO₂ su içerisinde dağıtılarak, tüm havanın su içerisinde uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Daha sonra çözünmüş olan tüm karbondioksiti karbonata dönüştürmek için NaOH ilave edilerek pH 9-10 yapılmaktadır. Bu yöntemle çözünmüş oksijen içeriği 1 ppm'in altına düşmektedir. Basınçlı kaplar ise kumaşın gazını gidermede kullanılmaktadır. Bir parça kumaş kesilip, saf su ile dolu plastik kaba yerleştirilmektedir. Bu kaplar da 7 atm basınca sahip basınçlı kaba yerleştirilip 12 saat bekletilmektedir. Plastik kaplar sonra gazı giderilmiş su içerisinde açılmaktadır (Moholkar, V.S., Nierstrasz, V.A. and Warmoeskerken, M.M.C.G., 2003).

Sanayi uygulamalarında tercih edilen ise; kimyasal madde ilave edildikten sonra sıcaklığın artırılarak cihaz kapasitesine bağlı olarak 10-30 dakika çalıştırılmasıdır. Amaç flotte içerisindeki küçük kabarcıklar görünmeyinceye kadar cihazın çalıştırılmasıdır (http://www.zenith-ultrasonics.com/about_sonics.htm).

3.3 Ultrason Teknolojisinin Uygulama Alanları

İnsan kulağı tarafından algılanamayacak kadar yüksek frekanstaki seslerle ilgilenen ultrason teknolojisinin, tıpta ve endüstride pek çok ilginç kullanım alanı mevcuttur. Bu konuyla ilk kez, Viktorya döneminin ciddi biyologlarından Francis Galton ilgilenmiştir.

Yaklaşık bir yüzyıl kadar önce, çoğu insan için 15 000 hertz civarında olan işitme eşiğinin çok üzerinde frekanslarda oldukça iyi ses üreten, pirinçten küçük bir düdük yapmıştır. Galton, bir bastonun içine gizlediği ve bastonun sapındaki lastik bir körüğün üflediği hava ile öten düdüğünü kullanarak, hayvanat bahçelerinde ve sokaklarda özenli deneyler

gerçekleştirmiştir. Üzerinde deney yaptığı hayvan kulaklarını dikerse, büyük olasılıkla ultrasonik sinyali duyabildiğini iddia etmiştir. Galton, en iyilerin kediler olduğu, köpeklerin fena sayılamayacağı, böceklerin ise hiç tepki vermediği sonucuna varmıştır.

Titanic'in 1912'de batmasından sonra, ses dalgalarıyla buzdağlarını saptamak için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, karanlıkta veya sisli havalarda görülemeyen büyük nesnelerin varlığını ortaya çıkarmak için, sesin bir yere çarpıp geri dönme özelliğinden yararlanılmıştır. Patlama sesleri ve başka yüksek sesler kullanılarak yapılan ilk deneylerde pek başarı elde edilememiştir. Bunun ana nedeni, yansıyan sesin çok zayıf olması ve bir gemide epey yüksek olan sürekli gürültüden kolayca ayırt edilememesi olmuştur.

1917 yılında Fransız fizikçi Langevin, frekansı işitme eşiğinin üzerinde olan bir ses kullanmanın daha iyi olacağını fark etmiştir. Kullandığı ses kaynağı, yıllarca Paris'teki bir mağazanın vitrin dekorasyonunda kullanılmış, bol miktarda bulunan bir kristalden elde edilen bir kuvars parçasıydı. Uygun şekilde kesilmiş bir kuvars parçası piezoelektrik özelliği göstermektedir. Yani, kristale belli bir doğrultuda basınç uygulandığında, buna dik bir doğrultuda bir elektrik sinyali oluşmaktadır. Bunun tersi de geçerli olup, kristale alternatif bir gerilim uygulandığında kristal titreşmeye başlamaktadır. Kristalin büyüklüğü, doğal titreşim frekansı uygulanan elektrik sinyalinin frekansına eşit olacak şekilde ayarlanırsa, titreşimler çok büyük olabilmekte ve yoğun bir ses dalgası veya ultrasonik dalga üretilebilmektedir.

Ultrasonik uygulamalarının pek çoğu iki olgudan yararlanmaktadır. İlki, ultrasonik bir ses dalgasının, iki maddeyi birbirinden ayıran yüzeye ulaşır ulaşmaz geri yansmasıdır. Bu etki, hem mühendislikte hem de tıpta kullanılan kusur dedektörünün temelini oluşturmaktadır. Bir kuvars kristali osilatöründen (alternatif akım üretici), kalın bir metal levhaya uygulanan

ultrasonik bir sinyal, normalde levhanın içinden dosdoğru geçmektedir. Ancak, metal levhanın içinde bir çatlak, bir hava kabarcığı, bir cüruf veya başka bir kusur varsa, ultrasonik sinyalin bir kısmı geri yansımakta ve vericinin yanına yerleştirilen uygun bir alıcı tarafından saptanabilmektedir. Ayrıca, ilk ultrasonik titreşimi yolladıktan sonra kristal, geri dönen yankıları toplayan bir mikrofon olarak da kullanılabilir.

Kafatasının bir tarafından ultrasonik bir sinyal yollandığında, sinyalin büyük kısmı diğer taraftan geri yansımakta ve kafatası içinde orta hattaki anatomik yapılardan gelen algılanabilir bir yankı saptanmaktadır. Bu test kimi zaman kaza geçiren insanlara uygulanmaktadır. Yankı, iki kenar arasında beklenen şekilde oluşmazsa, cerrah iç kanamanın beyni yerinden ittiği kuşkusuna kapılabilmektedir. Bu tekniğin daha karmaşık biçimi, özellikle gebelik sırasında karın bölgesini incelemek için kullanılmaktadır.

Ultrasoniğin ikinci yararlı uygulaması da, hâlâ tam olarak anlaşılmayan, ancak kesinlikle çok etkili olan kavitasyon işlemidir. Bir ses dalgası art arda meydana gelen sıkışma ve genişlemelerden oluşmaktadır. Bir sıvı, sıkışmalara kolaylıkla dayanabilmektedir, ancak genişleme, yani basıncın şiddetli bir biçimde düşmesi, sıvının içinde bir boşluk meydana gelmesine neden olmaktadır. Boşluk, buharla veya sıvıdaki çözünmüş gazın ortaya çıkışıyla hemen doldurularak küçük bir kabarcığa dönüşmektedir. Bu kabarcık dağıldığında şiddetli bir şok dalgası meydana gelmekte ve açık etkilere yol açabilmektedir.

İster büyük isterse küçük olsun, mühendislikte kullanılan parçalar, içinden ultrasonik bir ses dalgasının geçtiği bir sıvı banyosuna batırılarak çok iyi temizlenebilmektedir. Kavitasyon işleminden kaynaklanan sarsıntılar, metal yüzeylerdeki kirleri ovarak temizlemekte ve başka herhangi bir biçimde kolaylıkla sağlanamayacak bir temizlik sağlamaktadır.

Kavitasyon ve onunla ilgili işlemlerden cerrahlar da, çevre dokulara zarar vermeden küçük bir bölgeye zarar vermeleri gerektiğinde yararlanmaktadırlar

(http://www.1001kitap.com/Bilim/Lenihan/bilim_is_basinda/bib1_nedenboyle02.html, 2005).

Petrol rafinerilerinde, ham petrolden kükürdüyü ayırtmak için hava kabarcıkları kullanılmaktadır. Mürekkep püskürtmeli bilgisayar yazıcılarında, mürekkep, kabarcık gücü ile yazıcının mikroskopik deliklerine fişkırtılmaktadır. Plâstik cerrahlar cildi güzelleştirmek ve yağ tabakalarını almak için ultrason ile oluşturulan kabarcıklardan yararlanmaktadırlar. Gelecekte, kabarcıkların ameliyatlarda kullanılan cerrahî âletlerin sterilizasyonunda ve böbrek taşlarının parçalanmasında kullanılabilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir. Bazı fizikçilere göre, ses dalgaları ile kabarcığın ısıtılması, füzyon (birleştirme, kaynaştırma) reaksiyonlarının başlaması için kullanılacaktır. Füzyon, uzmanlarca yenilenebilir, temiz ve ucuz enerji için başarılması zor olan bir reaksiyondur (<http://www.fesih.com>, 2006).

Ultrason teknolojisi kimyasal tepkimeleri hızlandırmak, iki plastiği birbirine kaynatmak, marstaki kayaları delerek örnek toplamak, su altında haberleşmek ve çarpışma algılamak, havayı ve suyu arıtmak ve nemlendirmek gibi birçok alanda kullanım imkanına sahiptir (<http://sozluk.sourtimes.org/show.asp?t=ultrasonik>, 2005). Başlıca kullanım alanlarına örnek verilecek olunursa;

Maden Bilimi ve Makine Teknolojisinde Kullanımı

- Erimiş metalleri saf hale getirme
- Ultrasonik şekillendirme, yüzey temizleme
- Ultrasonik kaynak
- Kesme
- Gözenekli materyallerin sıvılarla emdirilmesi

Kimyasal ve Bio-Kimyasal Teknolojilerinde Kullanımı

- Ekstraksiyon, sorpsiyon, filtrasyon ve kurutma
- Emülsiyon-süspansiyon hale getirme, karıştırma, dispersiyon yapma, homojenizasyon
- Parçalama, çözme, flotasyon ve kuagülasyon
- Gaz giderme, buharlaştırma
- Yüzey temizleme
- Polimerizasyon ve depolimerizasyon
- İlaçların hazırlanması
- Biomateryallerin sentezi

Çevre Teknolojisinde Kullanımı

- Su işletmelerinde
- Kontamine katı materyallerin saflaştırılmasında
- Sigaradaki dumanın kuagülasyonunda

Yağ ve Gaz Endüstrisinde Kullanımı

- Petrol ve gazın üretiminde, işlenmesinde, taşınmasında ultrason kullanımı

Gıda Endüstrisinde Kullanımı

- Meyve sularının ekstraksiyonu
- Süt tozlarının hazırlanması

Enerji Sanayinde Kullanımı

- Akustik brülör
- Isı değıştircilerin duvarlarındaki tortuların uzaklaştırılması (<http://www.tech-sonic.com/applications.htm>)

Tıp Sektöründe Kullanımı

Demiryolu raylarındaki çatlakları belirlemek maksadıyla kullanılan ultrason dalgaları, tıpta da kullanılmaya başlanmış ve geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bunların başlıcaları;

- Fizik tedavi maksadıyla düşük frekanslı ses dalgalarıyla dokunun ısıtılması,
- Özellikle üst solunum yolu rahatsızlıklarında ihtiyaç duyulan soğuk buhar üretimi,
- Cerrahide suyu titreştirmek suretiyle tıbbi cihazların mikro seviyede temizliği,
- Teşhis maksatlı diagnostik görüntülemelerdir.

3.3.1 Tekstil Sanayinde Kullanımı

3.3.1.1 Tekstilde Yardımcı İşlemlerde Ultrason Enerjisinin Kullanımı

Bu işlemler, haşıl banyolarının, emülsiyonların, baskı patı için kıvamlaştırıcıların hazırlandığı banyolar gibi, temel işlemlerde kullanılacak olan yardımcı banyoların hazırlanmasına aittir. Konvansiyonel olarak nişasta haşılının hazırlanmasında, nişasta suyla karıştırılmakta, yaklaşık olarak 95°C'de ısıtılmakta ve kullanmadan önce 1 saat kadar bu sıcaklıkta bekletilmektedir. Ultrasonik enerjinin kullanımı ile aynı işlem, daha hızlı ve düşük sıcaklıkta yapılabilmektedir. Haşılanmış ipliklerin performansı üzerinde yapılan deneyler göstermiştir ki; ultrasonik enerjinin kullanımı ile

hazırlanan nişasta haşılı, konvansiyonel olarak hazırlanmış olan nişasta ve modifiye nişastadan daha iyi özelliğe sahiptir.

Ultrasonik enerji, emülsiyonların ve lif içindeki sürtünmeyi ve statik elektriği azaltmak üzere uygulanan yağlayıcı karışımın hazırlanmasında kullanılmaktadır. Ultrasonik enerji kaynağının kullanımı ile hazırlanan su-y yağ karışımları 2-12 saatten daha fazla süre boyunca kararlı halde kalmasına rağmen, konvansiyonel şekilde mekanik karıştırma ile hazırlanan emülsiyonun yalnızca 12 saat süreyle faz ayırımı olmadan kalabildiği literatürde belirtilmektedir. Bu şekildeki uygulamalar, ultrasonik enerjinin dispersleme etkisinin ticari boyutlarda en yaygın şekilde kullanımı, örme makinelerinin iğneleri ve düseler gibi makine parçalarının temizlenmesidir (Koçak, D., Merdan, N., 2002).

3.3.1.2 Haşıl Sökme, Pişirme ve Ağartma İşlemlerinde Ultrason Enerjisinin Kullanımı

Nişasta ile haşılanmış tekstil mamullerinden, haşılın sökülmesi konusunda yapılmış bir çalışmada, haşıl maddesinin uzaklaştırılması, ultrason tekniğiyle yapılmıştır. Ultrasonik haşıl sökme ile nişastanın bozumunda konvansiyonel haşıl sökme yöntemine göre enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca, kimyasal maddelerin tasarrufu da söz konusu olmuştur. İşlemlerin sonucunda elyaf degradasyonu da azalmıştır. Ulaşılan beyazlık ve kumaşın ıslanma özelliği, ultrasonik metodun uygulanmadığı metodlarla karşılaştırıldığında aynıdır. Ultrasonik yöntem ile yünlü kumaşların temizlenmesinde, nötral veya hafif alkali banyolarda daha az lif hasarı olduğu gözlenmiştir. Pamuklu kumaşlarda H₂O₂ ağartması için 20 kHz'lik bir frekans kullanıldığında, ağartma hızının arttığı, işlem süresinin de azaldığı

görülmüştür. Kumaşın beyazlığının konvansiyonel yöntemle yapılan ağartma işleminden daha iyi olduğu da belirtilmiştir (Koçak, D., Merdan, N., 2002).

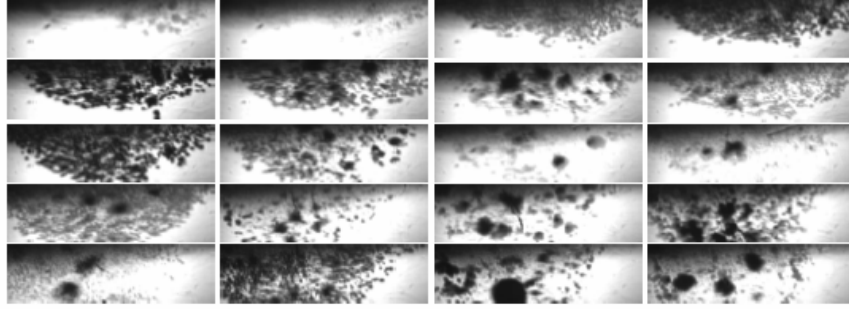
3.3.1.3 Yıkama İşlemlerinde Ultrason Enerjisinin Kullanımı

Yıkama işlemlerinde ultrasonik enerjinin kullanımı, araştırılmakta olan bir konudur. Bu konuda yapılan laboratuvar testlerine göre, konvansiyonel yöntemle 3 saat yıkama işlemi yapılmış yünde elde edilen beyazlık, ultrasonik yöntemde 15-30 dakikada sağlanmıştır. Literatürde kömür, mineral yağı, yemek yağı ve kahve ile kirletilmiş %100 pamuklu ve %100 PES kumaşların yıkama işlemleri üzerinde çalışıldığı belirtilmektedir. Ultrasonik enerjinin, yalnızca temizleme özelliğinden yararlanılarak, reaktif boyarmaddelerle boyama sonrası yapılan yıkama işlemlerinde kullanıldığı bir çalışmada, ultrasonik yıkamada su tüketiminin yarı yarıya azaldığı, işlem süresinin kısaldığı ve enerji tasarrufu sağladığı belirtilmektedir (Koçak, D., Merdan, N., 2002).

Kütle transferini gerektiren kir uzaklaştırma, konvansiyonel yöntemlerle yapıldığında oldukça yavaş olmakta ve yüksek bir enerji potansiyeli gerektirmektedir. Oysa yıkama mekanizması ultrasonik ortamda çok daha az enerji gereksinimi ile daha kısa sürede sağlanabilmektedir. Burada önemli bir nokta da ultrasonik kavitasyonun lif yüzeyinde gerçekleşmesi nedeniyle, etkisini yüzeyde göstermesi ve lif içinde herhangi bir zarara yol açmamasıdır (Moholkar, V.S., 2002).

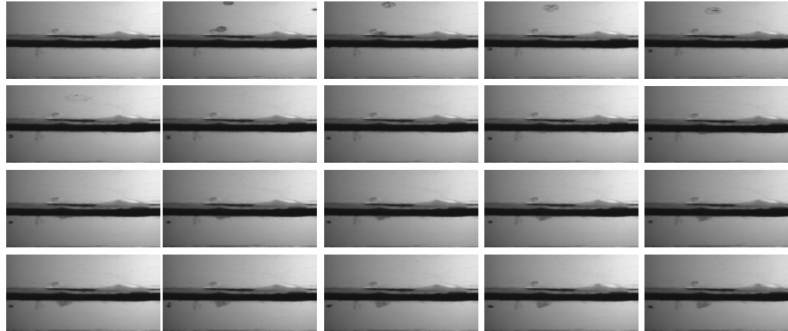
Ultrasonik kavitasyon ile oluşan etkiyi başka bir örnek ile inceleyecek olursak; pamuk lifinin dispers boyarmadde ile boyandığı (dispers boyarmadde pamuklu kumaşa herhangi bir kimyasal bağ ile bağlanmadığı için, ultrasonik etkiyi daha iyi gözlemlemek için seçilmiştir) kumaşın

ultrasonik işlem sırasında gösterdiği değişimler izlenmiş ve belirli sürelerde ultrasonik başlıkta bulunan kumaş üzerinde boyarmaddelerin davranışları görüntülenmiştir.



Şekil 3.14. Ultrasonik işlem sırasında ultrasonik başlık üzerindeki boyarmaddelerde kavitasyon ile sağlanan yönelmeler (görüntüler arası geçen zaman 500 mili san.)

Burada bir ultrasonik başlıktan çok kısa aralıklarla alınan görüntüler görülmektedir. Şekillerden de görülebileceği gibi periyodik olarak boyarmaddeleri içeren kavitasyon baloncukları oluşmakta, bunlar büyümekte ve bir süre sonra kumaş üzerinden sıvı ortama yönelmektedirler. Yine aşağıdaki şekil de ultrasonik yıkama prosesine ait resimler görülmektedir.



Şekil 3.15. Ultrasonik yıkama prosesine ait resimler (görüntüler arası geçen zaman 4 mili san.)

Şekilden de görüldüğü gibi oluşan kavitasyon baloncukları sıkışma fazında kumaş yüzeyine ulaşmakta, seyrelme fazında ise karşılaştıkları gittikçe artan akustik basıncın etkisi altında, başlangıç büyüklüklerine göre değişen sürelerde patlamaktadırlar. Şekil 2.36'daki ikinci görüntüde 2 kavitasyon baloncuğu gözle ayırt edilebilmektedir. Görüntüler izlenmeye devam edildiğinde bunlardan birinin (büyük olanı) tekstil yüzeyine ulaşırken diğerinin yüzeye ulaşmadan ortamda bozunduğu görülmektedir. Burada göze çarpan nokta kumaş yüzeyinden boya uzaklaşmasının (daha önce bahsedilen dispers boya) onuncu görüntüden itibaren ve baloncuğun ulaştığı noktanın hemen altından başlamasıdır. İlk dokuz görüntüde henüz boya uzaklaşması söz konusu değildir. Sonuç olarak ultrasonik yıkamanın tekstil yüzeyinde oluştuğu ve bu noktalardan yabancı maddelerin uzaklaştığı görülmektedir (Moholkar, V.S., 2002).

Ultrasesin tekstildeki diğer kullanım alanlarını maddeler halinde inceleyecek olursak:

- Haşılın ve yağın mamulden uzaklaştırılmasında
- Ultrases dalgalarıyla naylon kalitesinin geliştirilmesi
- Ultrasesle kurutma
- Ultrases dalgalarının çeşitli boyama metotlarında kullanılması
- Ultrases dalgalarının bağlama tekniğinde (iplikleri,lifleri) kullanılması
- Tekstilin aşırı temizlik isteyen kollarında makine parçalarının temizleme işleminde kullanılması (Moholkar, V.S., 2002).

3.3.1.4 Boyama İşlemlerinde Ultrason Enerjisinin Kullanımı

Tekstil materyallerinin boyanması, birçok çalışmanın konusunu teşkil etmiştir. Bu çalışmalarda düşük ve yüksek frekanslı ses dalgaları kullanılmıştır. Bu ses dalgalarının her ikisi de boyarmaddelerin çözünürlüğünü değiştirmede ve boyarmaddenin tekstil materyaline çektirilmesi işlemlerinde kullanılmıştır.

Düşük sıcaklıklarda PES'in dispers boyarmaddelerle boyanmasında ultrasonik enerjinin kullanıldığı literatürde yer almaktadır. Kaynama sıcaklığında carrier ile yapılan konvansiyonel boyamalarla, bu yöntemle yapılan boyamalar karşılaştırıldığında iyi sonuçlar alındığı, enerji tasarrufu açısından ultrasonik boyamanın ümit verici olduğu belirtilmektedir. Ultrasonik enerjinin reaktif boyarmaddelerle boyamada kullanıldığı bir araştırmada, boyarmadde ile selüloz arasındaki reaksiyonun hızlandığı belirtilmektedir. Ultrasonik enerji kullanılarak reaktif boyarmaddelerle yapılan boyamalara ait diğer bir çalışmada, boyama sonrasında yapılan yıkama işlemlerinde yıkama flottelerine transfer edilen toplam boyarmadde miktarını düşürdüğü ve haslık özelliklerini etkilemediği ifade edilmektedir. Pamuklu kumaşların direkt boyarmaddelerle ultrasonik enerji kullanılarak boyanmasında boyama kinetiğinin incelendiği başka bir kaynakta, ultrasonik kavitasyonun boyama hızını arttırdığı ve kumaş üzerine adsorblanan boyarmadde miktarının daha fazla olduğu belirtilmektedir. Lif üzerine adsorblanan boyarmadde miktarının kavitasyonun şiddetine bağlı olarak değiştiği ifade edilmektedir.

İki farklı direkt boyarmaddenin kinetik değişkenlerine bağlı olarak ultrasonik ve konvansiyonel yöntemlere göre yapılan boyamalara ait difüzyon katsayılarının incelendiği diğer bir araştırmada, ultrasonik

yöntemde, kavitasyona bağlı olarak difüzyon katsayısının daha yüksek olduğu ifade edilmektedir (Koçak, D., Merdan, N., 2002).

Literatürde yün liflerinin ultrasonik ortamda boyanmasına ilişkin çalışmalar da yer almaktadır. Bu çalışmalardan bir tanesinde ultrasonun, yün liflerinin doğal lac boyarmaddesi ile boyanabilirliğini arttırdığına değinilmektedir. Ultrasonun; boya flottesinde yer alan büyük moleküllü boyarmadde agregatlarını parçalayarak banyoda homojen bir dispersiyon dağılımını sağladığına, banyodaki çözünmemiş gazların ve lifler arasında bulunan havanın uzaklaştırılmasına yardımcı olduğuna dolayısıyla lif/boyarmadde etkileşiminin arttığına, boyarmaddenin lif içerisine difüzyonunun arttığına değinilmektedir (Kamel, M.M., El-Shishtawy, R.M., Yussef, B.M., Mashaly, H., 2005).

PA/Lycra karışımı kumaşların boyanmasına ilişkin literatür çalışmasında, ultrasonun etkisini incelemek amacıyla boyamalar konvansiyonel ve ultrasonik olarak iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ultrasonun boya alımına olumlu etkisi olduğunu, yıkamalarda ise ultrasonik olarak boyanmış kumaştan banyoya daha fazla boyarmadde geçtiği gözlemlenmiştir. Ayrıca haslıklara da hiçbir olumsuz etkisi olmadığı görülmüştür (Merdan, N., Akalin, M., Kocak, D., Usta, I., 2004).

Naylon 6,6'nın ultrasonik ortamda reaktif boyarmadde ile boyanmasına ilişkin bir çalışmada, Naylon 6,6'nın konvansiyonel yöntemle göre ultrasonik ortamda daha verimli bir şekilde boyandığı belirlenmiştir. Boyama, boyarmaddenin lif yüzeyine adsorbsiyonu ve oradan da lif içerisine difüzyonu olmak üzere iki adımdan oluşmaktadır. Yapılan denemeler neticesinde naylon 6,6'nın boyanmasında, boyamanın ilk 20 dakikasında ultrasonik ve konvansiyonel boyama arasında bir fark görülmez iken, ultrasonun difüzyon adımıyla fark yarattığı belirlenmiştir. Hatta ilk 20 dakikada boyarmadde alımı açısından ultrasonik boyamanın daha kötü

olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak; ilk dakikalarda ultrasonun ortamdaki gazı uzaklaştırmaya çalışması, boyarmadde agregatlarını parçalamaya çalışması düşünülmektedir. Bunu destekleyen bir diğer düşünce de şudur; ultrasonun lif yapısında her hangi bir değişime neden olup olmadığını anlamak için naylon 6,6 konvansiyonel ve ultrasonik olarak ön terbiye işlemine sokulmuş ve X-ray görüntüleri yorumlanmıştır. Sonuç olarak, ultrasonik işlem sonrası konvansiyonel göre lif yapısının daha kristalin ve daha az amorf yapıda olduğu bulunmuştur (El-Shishtawy, R.M., Kamel, M.M., Hanna, H.L., Ahmed, N.SE, 2003).

Naylon 6'nın boyanmasında ultrasonik enerjinin etkilerinin araştırıldığı diğer bir çalışmada, dispers, asit, asit-mordan ve reaktif boyarmaddeleri ile çeşitli sıcaklıklarda yapılan boyamalarda, ultrasonik enerji, boyarmadde çekim hızının artmasında etkili olduğu belirtilmektedir (Koçak, D., Merdan, N., 2002).

North Caroline State üniversitesinin yaptığı bir çalışmada ultrasonik boyamanın şu avantajları sağladığı belirtilmektedir;

- Daha düşük işlem sıcaklığında ve daha kısa işlem süresinde gerçekleştirildiğinden enerji kazancı sağlanmaktadır,
- Yardımcı kimyasallar daha az kullanıldığından çevre dostudur,
- Süre kontrolü ile renk derinliğinin kontrol edilebilmektedir,
- Artan rekabet koşullarında bile daha düşük maliyete neden olmaktadır.

Ultrasonik işlemde şu mekanizmalar yer almaktadır;

- Suda lifin şişmesinin artması,
- Lifin camlaşma noktası sıcaklığının düşmesi,

- Boyarmadde molekülünün difüzyon katsayısının artması,
- Lif/boyarmadde oranı katsayısının artması,
- Boyarmadde moleküllerinin lif yüzeyine hareketinin gelişmesi,
- Flottedeki yüksek moleküler ağırlıktaki agregatların parçalanması (Beckham, H.W., Carr, W.W., Michielsen, S., Good, J., Merriman, T., Zhan, J., 1996)

Ultrasonik dalgalar tekstil boyama prosesine tatbik edildiğinde, kavitasyona etki ettiği görülmektedir. Bu etki flotte içerisindeki boya ve kimyasal partiküllerinin su içerisinde pulvarize olması ve boyanacak malzemeye daha kısa sürede daha etkili bir biçimde tutulması şeklinde görülmektedir. Bu durumda çok daha kaliteli boyama çok daha kısa sürede gerçekleşmektedir.

Aynı boyama daha az zamanda yapılacağı için, daha az enerji harcanacak, daha az kimyasal ve boya kullanılacak, daha az atık boya ve kimyasal olacağından dolayı da daha az çevre kirliliği olacak ve arıtma maliyetleri de aynı oranda azalacaktır.

Ultrasonik dalgalar tekstil ürününün suyla temas ettiği her türlü boyama veya yıkama makinelerinde kullanılabilir; Polyester boyama kazanları, yıkama makineleri, HT'ler, yüksek basınçlı rotary yıkayıcılar bunlardan bazılarıdır (www.desteknik.com.tr, 2005).



Şekil 3.16. Ultrason cihazı adapte edilmiş boyama makineleri (www.desteknik.com.tr, 2005)

3.3.1.5 Yıkama-Durulama İşlemlerinde Ultrason Enerjisinin

Kullanımı

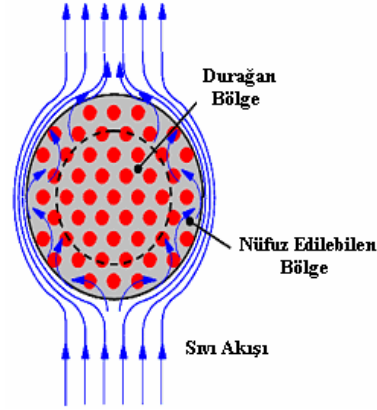
Tekstil sanayi su ve enerji yoğun bir sanayi dalıdır. Yıkama, boyama, durulama, haşıl sökme, hidrofilleştirme ve ağartma gibi yaş tekstil işlemlerinin iki büyük dezavantajı mevcuttur. Bunlar; çok yüksek miktarda enerji ve su tüketmeleri ile uzun işlem sürelerine ihtiyaç duymalarıdır. Birçok yaş tekstil işleminde, kumaşın iplikleri ve lifleri arasındaki difüzyon ve konveksiyon kütle transferi mekanizması esastır. Kütle transferinin etkisini artırma, yaş tekstil işlemlerinin etkisini artırma açısından oldukça önemlidir. Tekstilde kütle transferini arttırmak için yapılan, sıcaklığı artırma gibi ticari yöntemler kumaş zararı gibi istenmeyen etkilere yol açtığı için uygulanabilir değildir. Tekstil materyalinin kompleks yapısından dolayı kumaşa doğru olan akışı arttırmak da etkili bir çözüm yolu değildir.

Son yıllarda kütle transferi etkisini arttırması nedeniyle ultrason gücü, boyama, yıkama, enzimatik hidrofilleştirme gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu alanlarda kullanılmaya başlanmasına rağmen tekstil materyallerindeki kütle transferine ultrasonun nasıl bir etkisi olduğu henüz tam olarak bilinmemektedir.

Bir parça tekstil materyali; homojen olmayan gözenekli bir ortamdır. Dokunmuş tekstil materyali, iplikler arası ve lifler arası olmak üzere iki farklı gözeneğe sahiptir. Tekstil materyallerindeki kütle transferinin ana adımları şu şekildedir;

- Lifler arasındaki gözeneklerden iplikler arasındaki gözeneklere doğru kütle transferi
- İplikler arasındaki gözeneklerden tekstil materyali/sıvı ara yüzeyine doğru kütle transferi

- Tekstil materyali/sıvı ara yüzeyinden sıvıya kütle transferi (Moholkar, V.S., Nierstrasz, V.A. and Warmoeskerken, M.M.C.G., 2003)



Şekil 3.17. Tekstil ipliği çevresindeki ve içindeki sıvı akışı (noktalar; iplikteki lifleri temsil etmektedir) (Moholkar, V.S., Nierstrasz, V.A. and Warmoeskerken, M.M.C.G., 2003)

Van del Brekel ve sonrasında da Gooijer; sıvı akışının büyük bir kısmının lifler arasındaki gözeneklere nüfuz etmeden iplikler arasındaki gözeneklerden geçtiğini göstermiştir. Bunun nedeni ise; lifler arasındaki gözenekler daha küçük olduğundan sıvı akışına karşı daha fazla direnç göstermektedir.

İplikler arasındaki kütle transferi konveksiyon ile gerçekleşirken, ipliklerden flotteye doğru olan kütle transferi difüzyon işlemi ile gerçekleşmektedir. Difüzyon konveksiyondan daha yavaş gerçekleştiğinden dolayı; kütle transferinde hızı belirleyen tanımlayıcı adım difüzyondur.

Warmoeskerken, ipliklere doğru olan akışı ve kütle transferini tanımlamak için durağan bölge ve nüfuz edilebilen bölge diye iki terimden bahsetmektedir. İplik içindeki durağan bölge, akışın olmadığı bölgedir. Nüfuz edilebilen bölge ise; akışın belli bir derece nüfuz edebildiği ipliğin dış

kısımındaki bölgedir. Şematik gösterim Şekil 3.39’da yer almaktadır. Durağan bölgede kütle transferi moleküler difüzyonla gerçekleşirken, nüfuz edilebilir bölgede konvektif difüzyon ile gerçekleşmektedir. Konvektif difüzyon, moleküler difüzyondan daha hızlı olduğundan kirliliklerin uzaklaştırılma hızını; durağan bölgenin büyüklüğü belirlemektedir. Yani bu, ipliklerdeki durağan bölgeyi mümkün olabildiğince mekanik enerji ile küçültmek demektir. Ultrasonik enerji uygulamaları bunu sağlamaktadır (Moholkar, V.S., Nierstras, V.A. and Warmoeskerken, M.M.C.G., 2003).

Suda çözünebilen kirlilikleri temizlenecek malzeme yüzeyinden uzaklaştırmak için, kirlilikleri uzaklaştıracak çözeltinin kirlilikler ile birebir temas etmesi gerekmektedir. Çünkü temizleme etkisi kirlilikler ile çözgen arasındaki ara yüzeyde gerçekleşmektedir.

Çözelti zamanla kirlilikleri çözmekte ancak çözünen kirlilikler ara yüzde birikmekte ve çözeltinin kirliliklerle daha fazla temas etmesine engel olmaktadır. Bu noktada temizleme işlemi daha fazla devam edememektedir.

Ultrasonik temizlikte ise; ultrasonik enerji çözünmüş kirlilikleri ara yüzeyden uzaklaştırarak temiz çözeltinin içindeki kirliliklerle nüfuz etmesini sağlamaktadır. Böylece etkili bir temizleme etkisi sağlanmaktadır.

Herhangi bir çözgüde çözünmeyen bazı kirlilikler materyale iyonik veya kohezif güçlerle bağlanmaktadır. Bunları uzaklaştırmak için bu bağların koparılması gerekmektedir.

Ultrasonik işlemde meydana kavitasyon etkisi ile çözünmeyen kirlilikler çözeltiye geçerek yüzeyden uzaklaşmakta böylece temizleme etkisi sağlanmaktadır (<http://www.pmrsystems.com/contents.html>, 2005).

3.3.1.6 Enzimatik İşlemlerde Ultrason Kullanımı

Biyo-kimyanın yüksek spesifiklikteki enzimleri keşfetmesi ve tanıtmaya başlaması ile tekstil sektöründe enzim kullanımı, her geçen gün daha da popüler hale gelmektedir. Tekstil yaşı işlemlerinde enzimler, kompleks kimyasal reaksiyonlarda (selüloz tarafından selülozun, pektinaz tarafından pektinlerin ve/veya amilaz tarafından nişastanın hidrolizi gibi), katalizör gibi davranmaktadır. Katalizör etkisi gösterdiklerinden çok az miktarları bile yeterli olabilmektedir. İşlem şartları uygun olduğunda enzimler, hidroliz reaksiyonunu işlem süresince birçok kez tekrarlayabilmektedir. Enzimatik biyo-işlem sonrası elde edilen atık flotte, biyolojik olarak parçalanabilmekte ve çevreye hiçbir zarar vermemektedir.

Pamuklu mamullerin enzimatik biyo-işlemleri beraberlerinde birçok avantaj getirir de, maliyetlerin yüksek olması ve reaksiyon hızının nispeten düşük olması gibi dezavantajlar da mevcuttur.

Enzim makromoleküllerinin ve hidroliz sonucu oluşan ürünlerin transferini içeren her iki adım da difüzyon esasına dayanmakta olup, hidroliz reaksiyonunun hızını difüzyon hızı belirlemektedir. Genelde büyük enzim makromolekülleri (12 000-150 000 Dalton) düşük difüzyon hızına sahiptir ve pamuk ipliğinin dış selülozik lifleriyle reaksiyona girme eğilimindedir. Sonuç olarak aşırı lif zararları oluşabilmektedir.

Enzimlerin difüzyonu mekanik hareket kazandırılarak iyileştirilebilmektedir. Ancak enzimatik reaksiyonun gerçekleştiği sıvı/lif arayüzeyinde mekanik hareket kazandırmak bu şekilde çok mümkün olmamaktadır. Bu durumda ultrason teknolojisi alternatif olarak görülmektedir.

Genel olarak sıvıların sonikasyonu; kavitasyon ve ısınma gibi iki etkiye yol açmaktadır. Mikroskobik kavitasyon baloncukları katı yüzeyinde

patladıklarında, sıvı/katı ara yüzeyinde güçlü şok dalgaları etkili bir mekanik hareket kazandırmaktadır. (Yachmenev, V.G., Blanchard, E.J. and Lambert, A.H., 2004).

İşitilen melodiler (şair John Keats'in dediği gibi) tatlıdır, ancak işitilmeyenler daha tatlıdır. Ultrasonografi mühendisi, gürültü yaptığına dair şikayetlerle hiç karşılaşmaz, oysa kimsenin işitemeyeceği seslerle pek çok yararlı şey yapabilir

(http://www.1001kitap.com/Bilim/Lenihan/bilim_is_basinda/bib1_nedenboyle02.html, 2005).

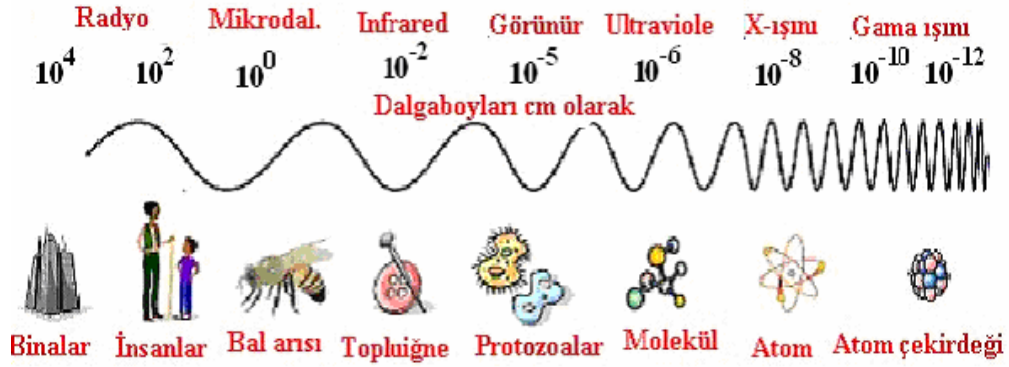
4. ULTRAVİYOLE TEKNOLOJİSİ

4.1 Elektromanyetik Dalgalar

Modern fizikte, ışık veya elektromanyetik dalga, kuramsal olarak bir elektromanyetik alandaki bir dalga ve diğer bir tanımı da, foton olarak isimlendirilen kütesiz bir parçacık akışı olmak üzere birbirini tamamlayan iki biçimde tanımlanmaktadır. (<http://astom.omu.edu.tr>, 2006).

Elektromanyetik dalgalar, boşlukta (vakumda) çok hızlı yayılan bir enerji türüdür (Henden, E.). Güneş ışığının doğması, mikrodalganın yemeklerimizi pişirmesi ve aynı zamanda elektromanyetik alan oluşturması nedeniyle radyoları ve televizyonları çalıştırması gibi daha çok sayıda günlük olarak yaşadığımız fiziksel olaylar bize, elektromanyetik dalganın varlığını hissettiren durumlardır (<http://astom.omu.edu.tr>, 2006). X-ışınları, ultraviyole (mor ötesi) ışınları, mikro dalgalar ve radyo dalgaları başlıca elektromanyetik dalgalar arasında sayılabilmektedir (Henden, E.). Radyo dalgaları, TV dalgaları ve mikrodalgalar elektromanyetik dalgaların tipleridir. Onlar birbirlerinden sadece dalga boyları ile ayrılmaktadırlar.

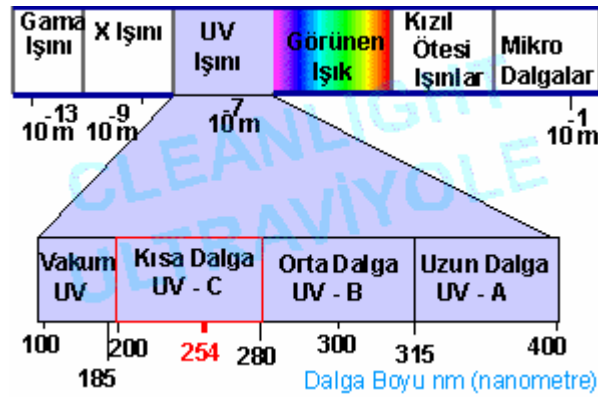
Elektromanyetik spektrumda dalgalar binalar büyüklüğündeki çok uzun radyo dalgalarından bir atomun çekirdeğinin boyutundan daha kısa gama dalgalarına kadar değişmektedir.



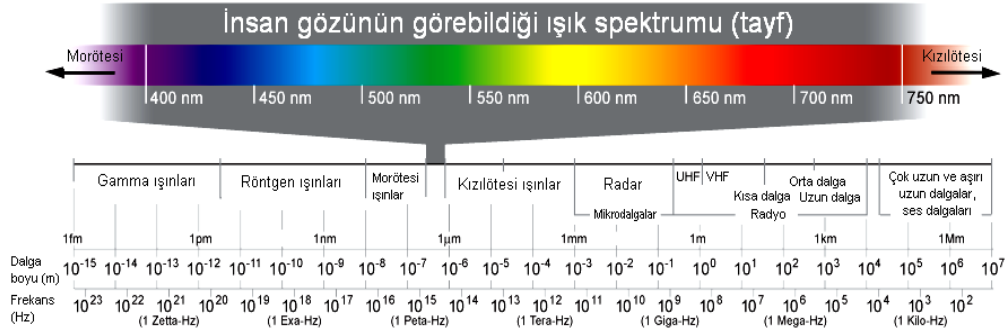
Şekil 4.1. Elektromanyetik spektrumdaki dalgalar ve dalga boyları
(<http://www.meteor.gov.tr/2005/sorular/elektromanyetik/elektromanyetik.htm>)

4.2 Elektromanyetik Spektrum Bölgeleri

Elektromanyetik dalgalar, dalga boylarına veya enerjilerine göre çok geniş bir alana yayılırlar. Elektromanyetik spektrum bölgeleri Şekil 4.4.'deki gibi gösterilebilir. Şekil 4.5'de ise bu spektral bölgeler frekans aralıkları ve dalga boyları ile belirtilmişlerdir.



Şekil 4.2. Elektromanyetik spektrum bölgeleri



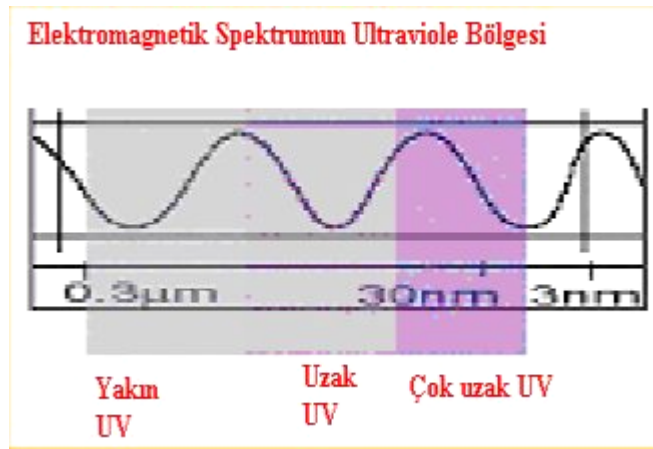
Şekil 4.3. Elektromanyetik spektrum bölgelerinin dalga boylarına göre ayrılması
(<http://tr.wikipedia.org>, 2006)

Çizelge 4.1. Elektromanyetik spektrumdaki ışınlar ve dalga boyları

İŞINLAR	DALGA BOYLARI
Kozmik Işınlar	
Gama Işınları	<0,1Å°
X Işınları	0,1-100Å°
Vakum	10-200 nanometre(nm)
UV-C(far-UV)	200-280 nanometre(nm)
UV-B(mid-UV)	280-320 nanometre(nm)
UV-A(near-UV)	320-400 nanometre(nm)
Görünür Işınlar	400-700 nanometre(nm)
IR Civarı	0,74-1,5 mikrometre(µm)
IR	1,5-5,6 mikrometre(µm)
IR Ötesi	5,6-1000 mikrometre(µm)
Mikrodalgalar	1-5 milimetre(mm)
Radyo Dalgaları	>5milimetre(mm)

4.2.1 Ultraviyole Işığı

Ultraviyole (UV) dalgaları görünür ışıktan daha kısa dalga boyuna sahiptir. Bu dalga boylarını insan gözü göremez, ancak bazı yaban arısı türlerinin bu dalgaları görebildikleri fark edilmiştir. Bilim adamları spektrumun ultraviyole kısmını üçe ayırmışlardır; yakın UV, uzak UV ve çok uzak UV. Bu ayırım UV radyasyonun ne kadar enerjik olduğuna göre yapılmıştır. UV ışığının dalga boyu enerjisi ile ifade edilmektedir.



Şekil 4.4. Elektromanyetik Spektrumun Ultraviyole Bölgesi

Yakın UV ışığı görünür ışığa yakın, çok uzak UV ışığı da X-ışınlarına yakındır ve uzak UV bu ikisi arasında yer almaktadır. Güneşimiz elektromanyetik spektrumdaki tüm dalga boylarından ışın yaymaktadır. Güneşten gelen bazı UV dalgaları yerküre atmosferini geçmekte ancak ozon tabakası gibi bazı gazlar tarafından tutulmaktadır. Bazı günler daha fazla UV radyasyonu dünyaya ulaşmaktadır. Bilim adamları UV radyasyonunun zararlı etkilerinden insanların korunmasında, yardımcı olacak UV İndeksini

geliştirmişlerdir

(<http://www.meteor.gov.tr/2005/sorular/elektromanyetik/elektromanyetik.htm>).

Ultraviyole ışınları da kendi arasında farklı dalga boylarına sahip gruplardan oluşmaktadır:

- 1) **UV-A:** 320-400 nm dalga boylarında,
- 2) **UV-B:** 280-320 nm dalga boylarında,
- 3) **UV-C:** 185-280 nm dalga boyundadır.

Bu sınıflandırma aynı şekilde fizikçiler tarafından, yakın UV (320-380 nm), orta UV (200-320 nm) ve vakum UV'si (10-200 nm) olarak da uygulanabilmektedir (msp.rmit.edu.au, 2006).

1) UV-A Işını

Dalga boyu 320-400 nm arasındadır. UV ışınları içinde dalga boyu en fazla ve enerjisi en az olan ışınlardır. Güneş kaynaklı UV-A ışınları atmosfer tarafından tutulmamakta, camdan geçebilmektedir. Dermis olarak bilinen iç deriye kadar nüfuz edebilmektedir. Bu yüzden erken yaşlanmaya ve deride kırışıklıklara, deri kanserinin ilerlemesine neden olmaktadır. Endüstride genellikle ışıklandırma sistemlerinde kullanılmaktadır (<http://www.meteor.gov.tr/2005/sorular/elektromanyetik/elektromanyetik.htm>).

2) UV-B Işını

Dalga boyu 280-320 nm arasında olan ve hem enerji hem de dalga boyu açısından UV bandının ortasında yer alan ışınlardır. UV-A'dan yaklaşık 1000 kez daha güçlüdür

(<http://www.meteor.gov.tr/2005/sorular/elektromanyetik/elektromanyetik.htm>).

Biyolojik olarak zararlı olan UV-B radyasyonu stratosferik ozonun konsantrasyonuna bağı olarak yer yüzeyine ulaşmaktadır. UV-B'yi absorbe ederek yer yüzeyine ulaşmasını engelleyen sadece stratosferik ozon değildir. UV ışınlarının büyük bir kısmı da bulutlar tarafından absorbe edilmektedir. Atmosferik kirlilik, UV ışınlarına maruz kalmayı yerel ve küresel olarak etkileyebilmektedir.

En önemli etkisi insanların bağışıklık sistemini zayıflatmasıdır. Diğer bir önemli etkisi, insanlarda geçici körlük, korneanın zedelenmesi ve ileri yaşlarda katarakta sebep olmasıdır. UV-B ışınlarının insanlar üzerine bir başka zararlı etkisi de deri kanseridir. Uzun süreli UV-B ışınları altında kalındığı takdirde önce deri hücrelerinde bozulma, 40 yaşlarında tümör oluşumu ve 50 yaşlarında da ileri safhada kanser görülebilmektedir (<http://www.meteor.gov.tr/2006/arastirma/files/uvradetki.pdf>). Endüstride ışııklandırma sistemlerinde ve solaryum lambalarında kullanılmaktadır (<http://www.meteor.gov.tr/2005/sorular/elektromanyetik/elektromanyetik.htm>).

3) UV-C Işını

Dalga boyu 200-280 nm arasında UV'nin C bandında, dalga boyu en kısa, enerjisi en yüksek olan ışınlardır. Deri veya göz ile teması sonucunda kansere yol açmaktadır. Koruyucu önlemler alınmadan hiçbir şekilde UV-C radyasyonuna maruz kalınmamalıdır.

Güneş kaynaklı UV-C ışınları ozon tabakası tarafından filtre edilir ya da atmosferdeki gazlar tarafından tutulmaktadır. Bu yüzden ancak elektronik-endüstriyel işlemler sonucunda elektrik enerjisi kullanılarak üretilmektedir.

Herhangi bir yüzeye değer değmez enerjisini kaybettiği için özellikle son zamanlarda yüzey modifikasyonlarında kullanılmaktadır (<http://www.meteor.gov.tr/2005/sorular/elektromanyetik/elektromanyetik.htm>).

4.3 Ultraviyole Işığının Selüloz Polimerine Etkisi

Dış atmosferik ortamlarda güneş ve morötesi ışınlarının (UV), selüloz üzerinde meydana getirdiği fotokimyasal reaksiyonlar sonucu selülozu oluşturan kimyasal grupların yapısı bozunmakta veya belli derecelerde değişebilmektedir. Özellikle ortamda bulunan oksijen, diğer kimyasal gruplarla etkileşip reaksiyonları hızlandırıcı etki yapabilmektedir (Şahin, T., 2002). Fotonların yoğunluğu ve hızları yükseldikçe elektronların birbirlerini itme oranı dolayısı ile sahip oldukları enerjileri yükselmektedir. Görünür ışık bölgesinde (400-800 nm) ışınların sahip olduğu enerji yaklaşık olarak 150-300 kJ/mol arasında, ultraviyole dediğimiz çıplak gözle fark edilemeyen ışınların (200-400 nm) sahip olduğu enerji seviyeleri ise 300-600 kJ/mol civarında değişmektedir. Selülozun yapısındaki karbon-karbon, karbon-oksijen ve karbon-hidrojen arasındaki bağlanma enerjilerinin 280-500 kJ/mol olduğu göz önünde tutulursa, 400 nm'den daha az dalga boyuna sahip fotonların selülozun yapısını oluşturan bir çok kimyasal bağı koparmaya ve böylece yeni reaksiyonların oluşmasına yetecek enerjiye sahip olduğu anlaşılabilmektedir. Çizelge 4.2'de odunun kimyasal yapısında bulunan bazı kimyasal bağlar ile sahip oldukları bağlanma enerjileri ve ışınların çeşitli dalga boylarındaki kuantum enerjileri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Bazı kimyasal gruplar ve bağlanma enerjileri

Basit bağ türü	Bağlanma enerjisi (kJ/mol ⁻¹)	Eşdeğer enerjili ışığın dalga boyu (nm)
O-H	460	250
C-H	406	280
C-O	356	340
C-C	339	350
O-O	280	430

Yapılan bir araştırmaya göre, 280 nm'den daha uzun dalga boyundaki ultraviyole ışınlarının, selülozun polimer zincirlerinin kopmasına ve karbon 1 (C1) ile karbon 5 (C5)'den hidrojenin uzaklaşmasına sebep olabileceği, 254 nm ve daha uzun dalga boyundaki ultraviyole ışınlarının ise karbon 5 (C5) ve karbon 6 (C6)'dan ve selüloz yan zincirlerden metil gruplarının uzaklaşmasına ve serbest radikal oluşumuna sebep olabileceği ESR (electron spin resonance) denemeleri sonucunda açıklanmıştır (<http://www.tux.gen.tr/ebook/wlan.pdf>, 2004).

4.4 UV Teknolojisinin Tekstil Endüstrisindeki Kullanım Alanları

UV'nin çeşitli polimerlerin yüzey işlemlerinde geniş bir kullanım alanına sahip olmasına rağmen, tekstilde şu ana kadar çok fazla kullanılmamıştır. Ancak UV, özellikle doğal liflerden üretilen kumaşlarda kumaşın yüzey özelliklerini değiştirmek üzere kullanımı, ticari öneme sahip alternatif bir uygulama alanı oluşturmaktadır (www.tft.csiro.au, 2004).

Tekstillere uygulanan klasik UV polimer teknolojisinde polimer sistemlerinden, bileşenlerden ve bunların tekstil yüzeyine uygulanmasından kaynaklanan zorluklar bulunmaktadır. Ana problem birçok tekstil mamulünün oldukça hidrofil olmasıdır. Liflerin kılcal emicilikleri sayesinde, kumaş yüzeyindeki sıvı polimer film tekstil mamulünün içine çekilmekte ve kumaşın iç kısımlarında da modifikasyona neden olmaktadır. Kullanılan kimyasalların bıraktığı koku ve deriye teması olan giysilerde kullanımının belirli limitler arasında olması dikkat edilmesi gereken hususlar arasındadır. Diğer bir problem de, polimerin kumaşın tutumuna ve dökümüne olan etkisidir. UV ile yapılan polimerleşme sonucu oluşan çapraz bağ sayısının fazla olması, kumaşın daha sert olmasına ve esnekliğini kaybetmesine neden olmaktadır ki bu da giyim konforu açısından uygun değildir (www.tft.csiro.au, 2004).

Son zamanlarda CSIRO tarafından geliştirilen alternatif bir yöntemle kumaş yüzeyi UV ışınlarıyla modifiye edilirken tekstil mamulünün esas özellikleri değişmeden kalmaktadır. Çünkü yüksek yoğunluktaki yüzey lifleri UV ışınlarının iç kısımlara geçememesi için bir tabaka görevi üstlenmektedir ve kumaş mukavemetinden sorumlu olan esas lifler korunmaktadır. Bu işlemin gerçekleşebilmesi için yüzey lifleri UV ışınlarını ya direkt olarak absorblamalı ya da UV ışınlarına maruz kaldığı zaman fazla miktarda oldukça reaktif serbest radikaller üretebilmek için uygun fotoinisiyatorler kullanılmalıdır.

Yüzey modifikasyonları, özellikle pamuk ve yün gibi doğal liflerde faydalı olmaktadır. Çünkü bu liflerin özellikleri tarafımızdan belirlenememektedir. Yünde 350 nm'nin altında UV ışınlarını absorbe eden kısımlar, protein yapıdaki aromatik amino asitler ve sistinlerdir. 200-280 nm arasında yer alan UV-C, pamuk ve yün liflerinin yüzey modifikasyonu için etkili ışınlardır. Pamuktaki selüloz, D-glikozun basit lineer (düz) yapısı

yüzünden 200 nm'nin altında UV ışınlarını absorblayan kromofora sahip değildir. Bu yüzden pamuğun yüzey modifikasyonu sırasında fotoinisiyatörlere gereksinim duyulmaktadır. Pratikte tekstil uygulamalarında kullanılan fotoinisiyatörler kokusuz, zehirsiz, ucuz ve yıkamayla kolayca uzaklaştırılabilir nitelikte olmalıdır. Bu yüzden UV ışını kullanılan birçok işlemde aromatik fotoinisiyatörler kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra temelde ağartma maddesi olarak kullanılan hidrojen peroksit, oldukça reaktif hidroksil radikalleri üretebilmek için 300 nm'nin altındaki UV-C bandındaki ışınları absorblayabilmektedir. Hava ve serbest radikaller varlığında yüzey lifleri oksidasyona uğramakta; fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri değişmektedir.

UV ile ışıklandırma işlemi, renklendirmede (boya ve baskıda) fayda sağlamaktadır. Çünkü ışığı absorbe eden, yansıtan ya da dağıtan lifler kumaş yüzeyindeki liflerdir. Yüzeydeki liflerin ışık etkisiyle modifikasyonu sayesinde:

- Daha fazla boyarmadde yada pigment fikse olarak daha koyu renklerin elde edilmesi
- Boyarmaddelerin daha hızlı fikse olması
- Boyarmaddelerin daha ılıman koşullarda fiksajı
- Baskıda daha koyu renkler elde etmek üzere hidrofob liflerin ıslanabilirliğinin arttırılması
- Örgü yünlü ve pamuklu kumaşlarda meydana gelen boncuklanma probleminin ortadan kaldırılması sağlanabilmektedir.

4.4.1 Boyarmadde Afinitesinin Değiştirilmesi

UV ışınlarının çeşitli tekstil materyallerinin boya alımına etkisi üzerine yapılan çalışmaların iki temel ticari amacı bulunmaktadır. Bunlardan ilki, özellikle siyah ve lacivert gibi koyu renklerde boyanacak kumaşların kalitesinin ve üretim verimliliğinin artırılmasıdır. İkinci amaç ise, tercihen tekstil materyallerinin UV ışınlarına maruz bırakılıp ardından boyanması ile normalde renkli dokuma veya baskı ile üretilebilecek desenli kumaşların üretim maliyetinin azaltılmasıdır.

Yünlü mamullerin koyu ton siyah ve lacivert renklerde boyanması özellikle takım elbise dikilecek kumaşlar için önemlidir. Pahalı olmamaları, iyi düzgünlük ve haslık özelliklerine sahip olmaları nedeniyle yün boyamacılığında krom boyarmaddeleri tercih edilmektedir. Bununla birlikte, krom boyama prosesi yoğun enerji tüketimi ve uzun boyama süresi gerektirmektedir. Bu durumda liflerin boyama işlemi sırasında zarar görme riski çok yüksek olmaktadır. Ayrıca krom boyamada renk tutturmak oldukça güçtür.

4.4.2 Yünlü Kumaşların Baskı Öncesi Hazırlanması

İşlem görmemiş yünlü kumaşların kalın hidrofobik bir yağ tabakası ile kaplı olması nedeniyle ıslanabilirliği teflona benzer şekilde düşüktür. Yünlü kumaşlarda iyi bir baskı efekti eldesi için bir ön işlemle yüzey liflerinin modifiye edilmesi gerekmektedir. Bu ön işlem genellikle oksidatif klorlama ile yapılmaktadır. Fakat klorlama işlemi sonucunda kumaşın sararma riskine sahip olması ve prosesin ekolojik olmaması nedeniyle sınırlı şekilde uygulanabilmektedir. Bu nedenle geliştirilen Siroflash prosesi yünün

kesintisiz olarak UV ışınlarına maruz bırakılmasını ve ardından hidrojenperoksitle oksidatif işleme tabi tutulmasını içermektedir. Siroflash düzgün bir şekilde uygulanabilen, baskı öncesi parlak ve beyaz bir kumaş oluşturulabilen bir ön işlem prosesidir (www.tft.csiro.au, 2004).

4.4.3 Pilling Oluşumunun Önlenmesi

Kumaş yüzeyinde, oluşan pillingleri kumaş yüzeyine bağlayan sağlam bağlayıcı liflerin bulunması pillinglenme mekanizmasındaki önemli bir faktördür. Bu yüzey liflerinin UV ile zayıflatılması sonucunda kumaş mukavemetini etkilemeksizin yünlü ve pamuklu örgü kumaşlardaki pillinglenme sorunu ortadan kaldırılabilmektedir.

Siraflash prosesi pillinglenme performansı üzerinde önemli ölçüde etkili olmaktadır. Yün için pillinglenme eğiliminin azalması kumaş yüzeyine uygulanan UV-C ışının dozajına bağlıdır. Pamuklu örgü kumaşların seyreltik hidrojenperoksit çözeltisiyle işleme tabi tutulup ardından kumaşın yaş halde UV ışığı ile işleme alınması etkili bir anti-pilling işlemidir.

4.4.4 Boyalı Mamullerin Renginin Açılması

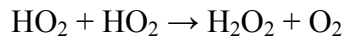
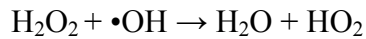
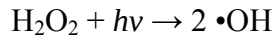
Küp boyarmaddeleri ile boyanmış ve ink-jet veya pigment baskı uygulanmış malların, renginin açılmasında UV teknolojisinden yararlanılmaktadır. Hatta UV teknoloji yardımı ile indigo boyalı malların renginin sökülmesi, Rusya'da sanayide yaygın bir şekilde kullanılmaktadır .

4.4.5 Tekstil Atık Sularının Arıtılmasında

Tekstil atık sularının arıtılmasında ultraviyole teknolojisi ile ozon teknolojisinin kombinasyonu yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Aynı zamanda ultraviyole enerjisi, hidrojenperoksit veya klorlu bileşiklerin oluşumunu katalizleyen bir görev de alabilmektedir. Bu teknolojinin kullanımı ile birlikte, boyarmaddelerin parçalanması sonucu tekstil atık sularının rengi giderilebilmekte, organik birçok kirlilik yok edilebilmektedir (Kabayev, M., Kazakeviciute, G., 2005).

4.4.6 UV -Hidrojenperoksit Sinerjetik İlişkisi

UV etkisiyle peroksit iki tane $\bullet\text{OH}$ radikali oluşturmaktadır. Bu $\bullet\text{OH}$ radikali daha sonra ya organik kirliliklerle reaksiyona girmekte ya da peroksit parçalanma döngüsüne devam etmektedir.



Peroksit konsantrasyonu, $\bullet\text{OH}$ radikali oluşumu için oldukça önemlidir (Zhou, H. and Smith, D.W., 2002).

5. MATERYAL ve YÖNTEM

5.1 Kullanılan Materyal ve Cihazlar

5.1.1 Kimyasal ve Yardımcı Maddeler

Karbondiyoksit Gazı

Sodyumhidroksit Merck marka katı madde

Tanacid NAC Bayer marka tampon asit

Alüminyum Folye Sera marka 20*20 boyutlarında

5.1.2 Kumaş

Denemelerde kullanılan kumaş tipleri Çizelge 5.1’de yer almaktadır.

Çizelge 5.1 Laboratuvar tipi ozon cihazında gerçekleştirilen denemelerde kullanılan ham pamuklu dokuma kumaşa ait özellikler

KUMAŞ TIPLERİ

	Tip I	Tip II	Tip III
Lif Oranı ve Cinsi	%100 Pamuk	%100 Jüt	%100 Pamuk
Kumaş Konstrüksiyonu	1/1 Bezayağı Dokuma	1/1 Bezayağı Dokuma	1/1 Bezayağı Dokuma
Kumaş Gramajı (g/m²)	140	290	152
Atkı Sıklığı (tel/cm)	16	6	21
Çözü Sıklığı (tel/cm)	18	5	23
Atkı İplik Numarası	Ne 21/1	Ne 4,96	Ne 21/1
Çözü İplik Numarası	Nm 32/1	Nm 3,49	Nm 32/1
Denemelerde Kullanılan Kumaş Gramajı	1 g	3 g	-
Beyazlık Derecesi (Stensbye)	46.9	27,36	51

5.1.3 Su

0-5 l/dak kapasiteli, laboratuvar tipi ozon cihazında gerçekleştirilen denemelerde tüm sertlik değeri 1,5⁰F sertliği olan yumuşak işletme suyu kullanılır iken, ultrason kazanında ve US/UV/Ozon kontinü terbiye makinesinde gerçekleştirilen denemelerde tüm sertlik değeri 42,5⁰F sertliği olan normal şebeke suyu kullanılmıştır.

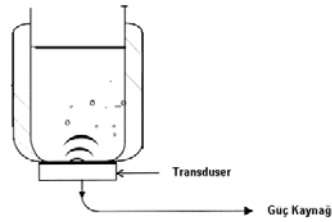
5.1.4 Makine ve Cihazlar

Ozon jeneratörü: Denemelerde Lundell Aquametrics Inc. Aqua-Tronic-Electro-Coag., East Providence, R.1 marka ozon jeneratörü kullanılmıştır. Ozon ile ağartmanın gerçekleştirildiği sistem ozon jeneratörü, reaksiyonun gerçekleştirildiği bölüm, ozonun uzaklaştırıldığı kısım olmak üzere 3 ana bölümden oluşmaktadır. Ozon jeneratörüne oksijen, oksijen tüpünden beslenmektedir. Ozon jeneratörü, belirlenen ozon üretim verimine bağlı olarak reaksiyon alanına ozon/oksijen karışımı iletmektedir. Denemelerde uygulanan ozon üretim verimi: %50 olup bu, reaksiyon alanına %50 ozon/%50 oksijen beslendiğini ifade etmektedir. Reaksiyonun gerçekleştiği alan 1 litre hacmindeki cam bir tüp olup üzerinde üç tane çıkış bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi numuneyi yerleştirmek için, bir tanesi sisteme ozon/oksijen karışımının beslenmesi için diğeri de atık ozon gazının ortamdan uzaklaştırılması için kullanılmaktadır. İstenilen akış hızında ozon jeneratöründen sisteme ozon/oksijen karışımı pompalanmaktadır. Denemelerde 1,5 l/dak ve 2 l/dak olmak üzere iki farklı ozon besleme miktarında çalışılmıştır.



Şekil 5.1. Denemelerin gerçekleştirildiği laboratuvar tipi ozon jeneratörü cihazı

Ultrason Kazanı: Denemelerde AGS Group İç ve Dış Ticaret A.Ş.'ne ait ultrason kazanı kullanılmıştır. Ultrason kazanının hacmi 24 litre olup, denemelerin tamamı bu hacimde gerçekleştirilmiştir. Ultrason kazanının maksimum çalışma sıcaklığı 90°C olup, denemeler 15 ve 30°C 'de yapılmıştır.



Şekil 5.2. Denemelerin gerçekleştirildiği laboratuvar tipi ultrason kazanı

US/UV/Ozon Kontinü Terbiye Makinesi:

US/UV/Ozon kontinü terbiye makinesinin sahip olduğu özellikler aşağıda yer almaktadır:

- US/UV/Ozon kontinü terbiye makinesi 5 bölümden oluşmaktadır.
- I. Bölüm: ultrason ve ultraviyole teknolojilerinin yer aldığı bölümdür.

II. Bölüm: ultrason teknolojisi yer aldığı bölümdür.

III. Bölüm: banyonun 0-20⁰C arasındaki sıcaklıklara soğutulabildiği bölümdür.

IV. Bölüm: ozon ve ultrason teknolojisinin yer aldığı bölümdür.

V. Bölüm: banyonun 25-90⁰C arasındaki sıcaklıklara ısıtılabilirdiği bölümdür.

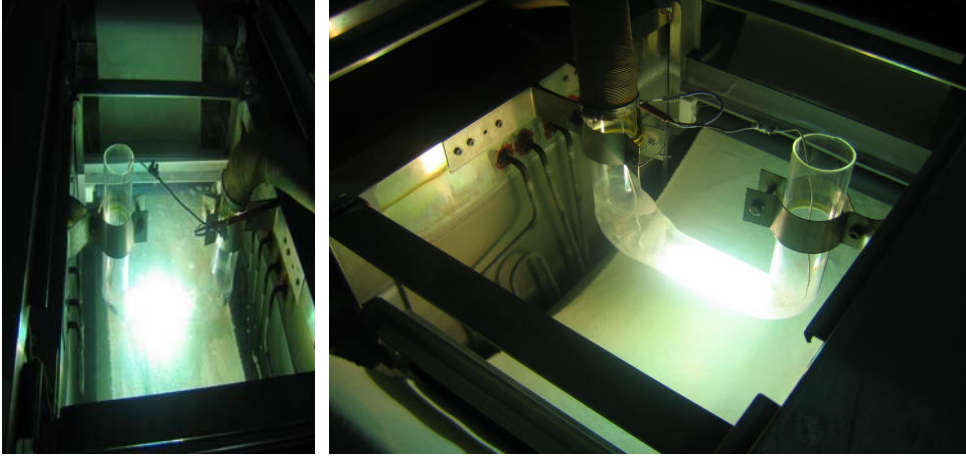
- Ultrason teknolojisinin yer aldığı kazanlardaki transduserlerin frekansı 40 kHz olup 1000 W gücündedir.
- Kullanılan ultraviyole lambası, Philips marka 2000 W gücünde UV-B'dir.
- I. Kazandaki transduserlerin bir kısmı devre dışı bırakılabilmekte, dolayısıyla banyodaki güç değeri değıştirilebilmektedir.
- I. Kazanda yer alan ultraviyole lambasının kumaşa olan mesafesi isteğe uygun olarak ayarlanabilmektedir.
- Kumaş geçiş yönü çift yönlü olarak tasarlanmıştır.
- Kumaşın geçişini sağlayan millerin konumları değıştirilebilmekte, dolayısıyla kumaşın geçiş açısı ve yüksekliğı isteğe uygun olarak ayarlanabilmektedir.
- Ozon gazının kumaşa aplikasyonu için özel bir kaset sistemi geliştirilmiştir. Kaset üzerindeki deliklerden ozon gazının kumaşa homojen bir şekilde püskürtölmesi sağlanmaktadır.
- İşlem sonrası kazandaki atık ozon aspiratör tarafından emilmekte, çevreye verilmeden önce rezistanslardan geçirilerek parçalanması sağlanmaktadır.
- Ozon gazının korozyon etkisinden dolayı kullanılan materyaller paslanmaz çelik gibi ozona dayanıklı malzemelerdir.
- Ozon jeneratörü: Ozone&Marine firmasına ait yüksek kapasiteli ozon jeneratörü cihazıdır.



Şekil 5.3. Kontinü US/UV/Ozon makinesinin üstten görünümü



Şekil 5.4. Kontinü US/UV/Ozon makinesinin yandan görünümü



Şekil 5.5. Kontinü US/UV/Ozon makinesinde yer alan uv lambasının görünümü

Denemelerde kullanılan diğer cihaz ve makineler aşağıda yer almaktadır;

Karbondioksit tüpü

Oksijen tüpü

pH metre

Su banyosu

Fulard

Labotaruvar tipi terbiye makinesi

Laboratuvar tipi terbiye makinesi

Spektralfotometre

Yıkama makinesi

Mikroprojeksiyon cihazı

Mukavemet cihazı

Ino Lab marka

Elektro-mag marka

Ernst Benz marka

Ataç marka

Termal marka

Colour-Mission 3600d marka

Raks marka (20 lt'lik)

Motic marka

Loyd LR5K model

5.2 Değerlendirmede Kullanılan Test ve Analiz Yöntemleri

5.2.1 Kumaş Üzerinde Haşıl Sökme Derecesi Tayin Yöntemi

Kumaş üzerine kumaş numunesinin farklı bölgelerine nişasta haşıl indikatörü olarak I_2/KI çözeltisi damlatılmakta iyotun nişasta ile verdiği renk Tagewa skalasına göre değerlendirilerek kumaş numunesi üzerindeki nişasta haşıl derecesi belirlenmektedir. Tagewa skalası 1'den 9'a kadar değerler almaktadır. Skala üzerindeki 1 değeri, kumaş üzerindeki haşılın uzaklaşmadığını, 9 değeri ise haşılın tamamının kumaş üzerinden uzaklaştığını ifade etmektedir.

5.2.2 Beyazlık Derecesi Ölçümü

Beyazlık dereceleri ölçümü Minolta 3600d model spektralfotometre D65 ışık kaynağında 10^0 bakış açısı altında yapılmıştır. Dört farklı noktadan ölçüm alınarak bunların ortalaması alınmış ve Stensby yöntemine göre beyazlık derecesi hesaplanmıştır. % Beyazlık Derecesi (B.D.) = $[(\text{İşlem görmüş kumaşın B.D.} / \text{Ham Kumaşın B.D.}) * 100] - 100$ (eşitlik 1.)

5.2.3 Hidrofilite Testi

Hidrofillik derecesi ölçümü DIN 53924'e göre 30., 60. ve 90. saniyedeki yükselme miktarlarına (mm) göre yapılmıştır. Kumaş üzerindeki

beş farklı bölgeden çözgü ve atkı yönünde numuneler alınarak ortalamaları hesaplanmıştır. Jüt mamullerin hidrofilite derecesinin tayininde ise farklı bir ölçüm tekniği uygulanmıştır. Kumaşların hidrofilite derecelerinin değerlendirilmesinde TS 866 standardı esas alınmıştır. 1 cm uzunluğundaki ve eşit ağırlıktaki numuneler çapı 15 cm olan saf su dolu kabın yüzeyinden 10 cm yükseklikten bırakılmakta ve kabın dibine batıncaya kadarki süre ölçülmektedir.

5.2.4 Kopma Mukavemeti Testi

İplik kopma mukavemeti, TS 253'e göre Zwick 403 tipi makinede yapılmıştır. Her bir kumaştan çözgü yönünde 10 adet numune iplik alınmış ve ortalamaları hesaplanmıştır. Kumaş kopma mukavemeti Loyd LR5K model mukavemet cihazında ISO 13934-1 standardına göre ölçülmüştür.

5.2.5 Ortalama Polimerizasyon Derecesi Tayini

Ağartılmış mamullerin ortalama polimerizasyon dereceleri, NFT 12-005 standardına göre Cuene çözeltisi yardımı ile ölçülmüştür. % Polimerizasyon Derecesi Kaybı (P.D.) = $100 - [(İşlem\ görmüş\ kumaşın\ P.D. / Ham\ Kumaşın\ P.D.) * 100]$ (eşitlik 2.)

5.2.6 İyot Adsorpsiyonu Yöntemi

İyot adsorpsiyonu yönteminde, Schwertassek'e göre iyot adsorpsiyonu değeri ISV [absorbe edilen iyot miktarı (mg)/selüloz miktarı (g)]

hesaplanmaktadır. ISV değeri, 1 g selüloz tarafından absorbe edilen iyot miktarıdır. Aşağıdaki formüle göre hesaplamalar gerçekleştirilmektedir;

$$ISV = \frac{(a - b * 1,33) * F * 2,538}{m_a}$$

a = Kör KI₃ çözeltisi için harcanan sodyumtiosülfat çözeltisinin

(c = 0,01 mol/l) hacmi (ml),

b = Numune çözeltisi için harcanan sodyumtiosülfat çözeltisinin

(c = 0,01 mol/l) hacmi (ml),

c = Sabit (selüloz için: 1,33),

F = Düzeltme faktörü,

m_a = Tamamen kuru lif numunesinin ağırlığı (g).

5.2.7 Fehling Testi

Bu yöntem, genellikle selülozun kimyasal zararı sonucu oluşan oksiselülozun ve hidroselülozun tayininde kullanılmaktadır. Analiz edilecek numuneler, fehling çözeltisi ile kaynama sıcaklığında 10 dakika işleme tabi tutulmuş, ardından sıcak ve soğuk durulanmıştır. Kurutma neticesinde numuneler üzerinde pembe veya kırmızı renk oluşup oluşmadığı incelenmektedir.

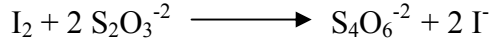
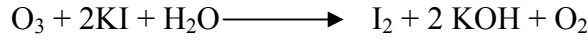
Fehling çözeltisi, Fehling I ve Fehling II çözeltilerinin eşit karışımından oluşmaktadır.

Fehling I 1 l saf su içerisinde çözünmüş 60 g bakır (II) sülfat içerirken,

Fehling II ise 1 l saf su içerisinde çözünmüş 346 g potasyum sodyum tartarat ve 100 g sodyumhidroksit içermektedir.

5.2.8 Ozon Titrasyon Yöntemi

Havadaki ozon gazının tayinini sağlayan titrasyon yönteminin esasını şu reaksiyon oluşturmaktadır;



(<http://www.biblio.tubraunschweig.de/ediss/data/20000918b/20000918b.pdf>;

http://www.ucar.edu/learn/1_7_2_29t.htm, 2006)

Bu reaksiyona göre ozonun etki değeri 2'dir.

$$\text{mg Ozon} = [\text{m} \cdot \text{N} \cdot \text{S} \cdot \text{a} \cdot 1000] / \text{T} \quad (1)$$

$\text{m} = [\text{MA}/1000]/\text{Etki değeri}$ $\text{MA} = \text{Ozonun molekül ağırlığı} = 48 \text{ gr}$

$$\text{m} = [48/1000]/2$$

$$\text{m} = 0,024 \text{ gr}$$

$\text{N} = \text{Sodyumtiosülfatın normalitesi}$

$\text{S} = \text{Titrasyonda harcanan sodyumtiosülfat miktarı (ml)}$

$\text{T} = \text{Analiz edilen flotte miktarı (ml)}$

$\text{a} = \text{Büretteki toplam flotte hacmi}/\text{Analiz edilen flotte miktarı}$

Titrasyon işleminde dikkat edilmesi gereken noktalar;

- Borulardan ve bağlantı noktalarından ozon gazı kaçağı olup olmadığı tespit edilmeli, kaçak var ise gereken önlemler alınarak önlenmelidir.
- Makine ilk kez çalıştırılacak ise borulardaki havanın uzaklaştırılması için makine en az 5 dakika boş çalıştırılmalıdır.
- Çıkış debisi (yani titrasyonun gerçekleştirildiği balon jojeye giren ozon gazının debisinin) 0,2-0,3 L/dak veya daha düşük bir değer olacak şekilde ayarlanmalıdır.
- Işık görmemesi için etrafı alüminyum folye ile kapatılan 500 ml'lik büret %50'lik potasyumiyodür çözeltisi ile doldurulmalıdır.

- e. İşlemin gerçekleştiği balon jojeden çıkan borunun titrasyon büretinin içinde olduğundan (özellikle dibinde olduğundan) emin olunmalıdır.
- f. Ozon ile işlem gerçekleştirilmelidir.
- g. İşlem sonunda sisteme ozon gazı beslemesi hemen durdurulmalıdır.
- h. Büretteki ozonlu potasyumiyodür çözeltisinden 10 ml alınıp erlenmayer içerisine konulmalı, üzerine %10'luk sülfürik asit çözeltisinden 20 ml ilave edilmeli ve pH'ın 9'un altında olduğundan emin olunmalıdır. Eğer pH 9'dan yüksek ise biraz asit ilavesi ile pH düşürülmelidir. Daha sonra üzerine 2-3 damla topak oluşturmayacak şekilde %2'lik nişastadan ilave edilmelidir. Karışım çalkalandıktan sonra 0,1 N'lik sodyumtiosülfat ile titre edilmelidir.
- i. Harcanan sodyumtiosülfat miktarına bağlı olarak reaksiyona girmeden çıkan ozon gazı miktarı yukarıdaki (1) nolu bağıntı ile bulunabilmektedir. İşlem süresince sisteme beslenen ozon gazı miktarı da belli olduğu için, bu iki değer arasındaki fark bize reaksiyonda harcanan ozon gazı miktarını vermektedir. Bütün bu hesaplamalar sırasında ozon gazının kendiliğinden hiç yarılanmadığı varsayılmaktadır.

Geliştirilen titrasyon yöntemi sonucu elde edilen veriler ışığında, dokuma kumaşlarda belli bir beyazlık derecesinin eldesinde harcanan ozon gazı miktarı tayin edilmiştir.

5.3 Yöntem

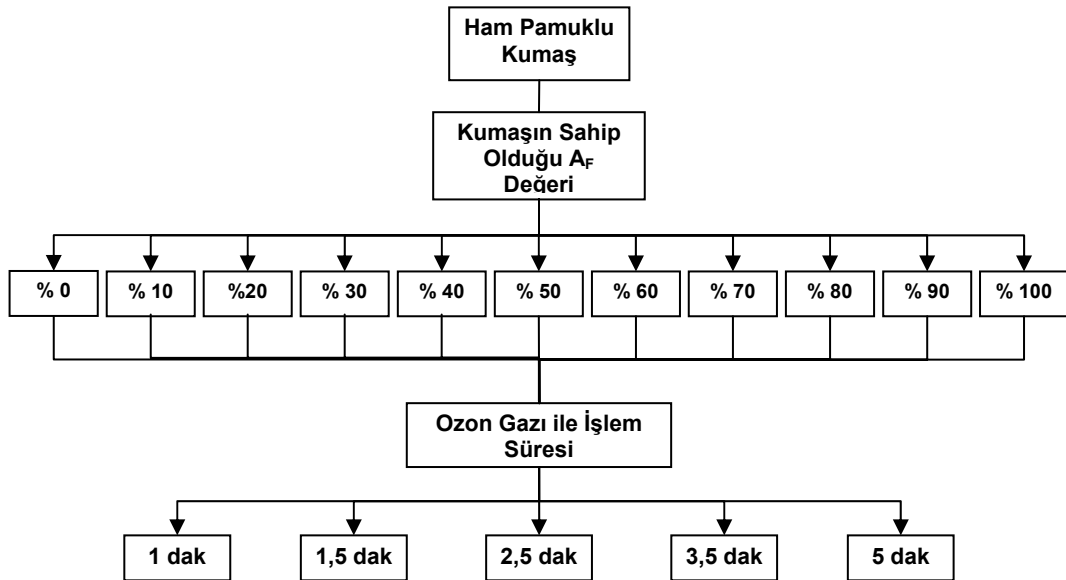
5.3.1 Laboratuvar Tipi Ozon Cihazında Gerçekleştirilen Denemeler

5.3.1.1 Pamuklu Mamullerin Ozon ile Ağartılmasında Optimum Çalışma Koşullarının Belirlenmesine Dair Denemeler

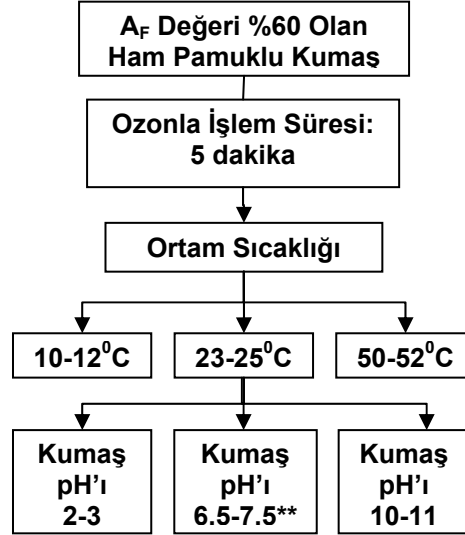
Pamuklu mamullerin ozon ile ağartılmasında optimum çalışma koşullarının belirlenmesi amacı ile iki adımdan oluşan ve aşağıda yer alan test planı uygulanmıştır (Şekil 5.6-5.7). Test planının ilk adımında (Test Planı A), 1-1,5-2,5-3,5-5 dakika olmak üzere beş farklı ozonlama süresinde çalışılarak, kumaşın sahip olduğu A_F değerinin beyazlık derecesindeki artışa etkisi incelenmiştir. Maksimum beyazlık derecesi için optimum A_F değerini tespit edebilmek için, %0-10-20-30-40-50-60-70-80-90-100 olmak üzere onbir farklı A_F değerine sahip numune ile çalışılmıştır. Numunelerin içereceği su miktarı, istenilen A_F değerine bağlı olarak farklı sıkma basınçlarında fulardan geçirilerek ayarlanmıştır. Pamuklu mamulün ozon ile ağartma işleminin gerçekleştirileceği balon joje önceden ozon gazı ile tamamen doldurulmakta daha sonra istenilen neme sahip kumaş numunesi 1 lt'lik balon joje içerisine yerleştirilmekte ve istenilen işlem süresince ozon gazı ile muamele edilmektedir. Bu denemeler esnasında ortam sıcaklığı 23-25°C ve kumaş pH'ı da yumuşak su kullanılarak 6,5-7,5 olarak ayarlanmıştır.

Kumaşın sahip olduğu A_F değerinin beyazlık derecesindeki artışa etkisi belirlendikten sonra, ikinci adımda (Test Planı B), reaksiyon ortamının sıcaklığının (10-12°C, 23-25°C, 50-52°C), beyazlık derecesindeki artışa

etkisi incelenmiştir. 10-12⁰C; buz yardımıyla ortamın soğutulmasıyla sağlanırken, 50-52⁰C; sıcak su banyosunun kullanılmasıyla sağlanmıştır. Bu denemeler sırasında kullanılan numuneler %60 A_F ve nötr pH değerine sahiptir. Son olarak da kumaş pH'ının beyazlık derecesindeki artışa etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla üç farklı pH'da (2-3, 6,5-7,5, 10-11) denemeler gerçekleştirilmiştir. Asidik pH Tanacid NAC adlı ticari bir tampon ile kumaşın üzerindeki pH; 2-3, bazik pH ise NaOH ile kumaşın üzerindeki pH; 10-11 olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca kumaşın A_F değeri %60, ortam sıcaklığı da 23-25⁰C olacak şekilde sabitlenmiştir. Bütün bu denemeler gerçekleştirildikten sonra tüm numuneler sıcak durulama işlemine tabi tutulmuş (**), ardından serilerek kurutulmuştur.



Şekil 5.6. Pamuklu kumaşların ozon ile ağartılmasında ozonlama süresinin ve kumaşın içerdiği a_F değerinin beyazlık derecesindeki artışa etkisini inceleyen test planı A



**** İki parça kumaştan birisi, ozonlama işleminden sonra 5 dakika sıcak durulama işlemine tabi tutulurken, diğer parçaya sıcak durulama işlemi uygulanmamıştır.**

Şekil 5.7. Pamuklu kumaşların ozon ile ağartılmasında ortam sıcaklığının ve kumaşın ph değerinin beyazlık derecesindeki artışa etkisini inceleyen test planı B

Aynı zamanda yeni bir teknoloji olan ozonlamanın, konvansiyonel yöntemlere göre sağladığı avantaj ve dezavantajları belirlemek için hidrojenperoksit ve sodyumhipoklorit ile de ağartma işlemleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.2.).

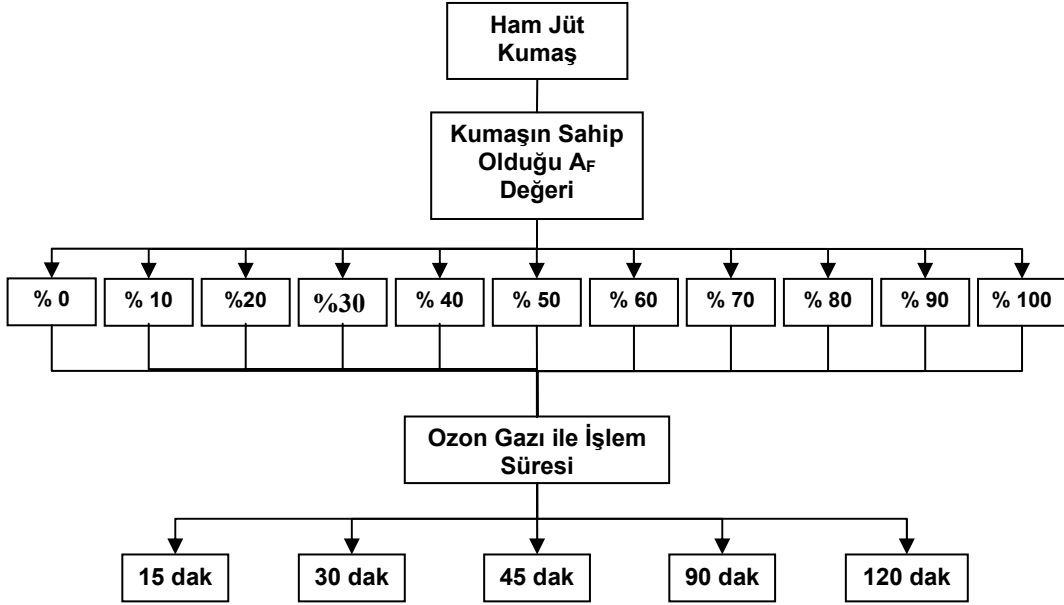
Çizelge 5.2. Ham pamuklu dokuma kumaşa uygulanan durulama, hidrojenperoksit ve sodyumhipoklorit ile ağartma reçeteleri

	Durulama	Hidrojenperoksit Ağartması	Sodyumhipoklorit Ağartması
NaOH	-	1,2 g/l	-
Na ₂ CO ₃	-	-	1,5 g/l
Gisapol ECO 160	-	1,0 g/l	1,0 g/l
H ₂ O ₂ (50%)	-	4,0 ml/l	-
Cottozon 98106	-	0,8 g/l	-
Aktif Klor	-	-	3,0 g/l
	50 ⁰ C, 5 dak	90 ⁰ C, 5 dak. F:O=1/20	25 ⁰ C, 5 dak. F:O=1/20

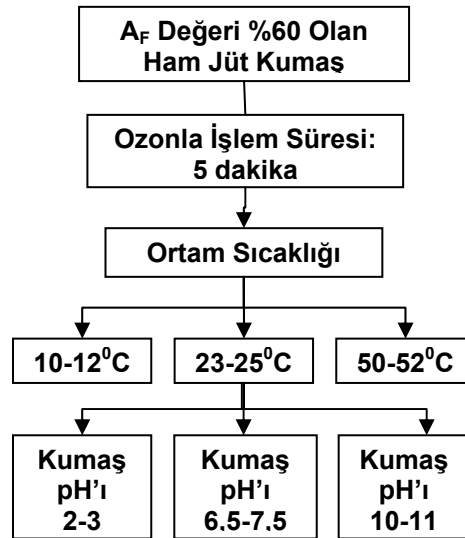
Elde edilen sonuçları değerlendirmek amacıyla işlem görmüş kumaşların % beyazlık derecesi değişimleri (eşitlik 1.), % polimerizasyon derecesi kayıpları (eşitlik 2.), ozon tüketim değerleri (mg), iyot adsorpsiyonu değerleri ve fehling testi sonuçları hesaplanmıştır.

5.3.1.2 Jüt Mamullerin Ozon ile Ağartılmasında Optimum Çalışma Koşullarının Belirlenmesine Dair Denemeler

Ham jüt mamullerin ozon ile ağartılmasında optimum çalışma koşullarının belirlenmesi amacı ile iki adımdan oluşan ve aşağıda yer alan test planı uygulanmıştır (Şekil 5.8-5.9). Test planının her iki adımı da (Test Planı A ve B) ozon gazı ile pamuklu mamullerin ağartılması yönteminde olduğu gibi gerçekleştirilmiştir. Jüt mamullere uygulanan yöntemin, pamuklu mamullere uygulanan yöntemden ayrıldığı nokta; işlem süreleridir. Jüt mamullerin ozon ile ağartılması işleminde 15-30-45-90-120 dakika gibi daha uzun işlem sürelerinde çalışılmıştır.

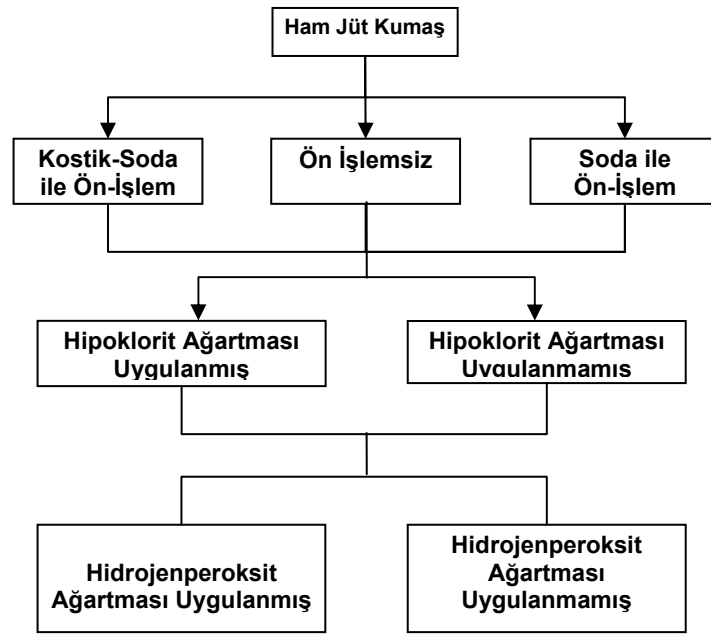


Şekil 5.8. Ham jüt kumaşların ozon ile ağartılmasında ozonlama süresinin ve kumaşın içerdiği a_f değerinin beyazlık derecesindeki artışa etkisini inceleyen test planı A



Şekil 5.9. Ham jüt kumaşların ozon ile ağartılmasında ortam sıcaklığının ve kumaşın ph değerinin beyazlık derecesindeki artışa etkisini inceleyen test planı B

Ozon gazı ile jüt kumaşların ağartılması işlemi optimize edildikten sonra, hidrojenperoksit, sodyumhipoklorit ve her ikisinin kombinasyonu olan konvansiyonel ağartma işlemleri Çizelge 5.3’de ve Şekil 5.10’da belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.10’da da belirtildiği üzere, ya ham jüt kumaş her hangi bir ön işlem görmeden direk ağartma işlemine tabi tutulmuş, ya da ağartma öncesi bir ön işlem (kostik-soda veya soda ile yıkama işlemi) uygulanmıştır. Ön işlem görmüş ve görmemiş mamullerin her biri 5 eşit parçaya bölünmüş ve her bir parça ağartma işlemine alınmış, ağartma adımının 15.-30.-45.-90. ve 120. dakikalarında birer numune banyodan çıkarılmıştır. Ağartma işlemi sadece hidrojenperoksit, sadece sodyumhipoklorit ile ve her ikisinin kombinasyonu olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.10. Jüt kumaşların konvansiyonel yöntemlerle ağartılmasına ait deney planı

Çizelge 5.3.

Kostik-soda yıkama, soda yıkama, hidrojenperoksit ağartma ve sodyum hipoklorit ağartma reçeteleri

	Kostik-Soda Yıkama **	Soda Yıkama **	Hidrojenperoksit Ağartması**	Sodyumhipoklorit Ağartması*
NaOH	6,5 g/l	-	1,5 g/l	1,5 g/l
Na ₂ CO ₃	%2	10,0 g/l	-	-
Gisapol ECO 160	2,0 g/l	3,0 g/l	2,0 g/l	2,0 g/l
H ₂ O ₂ (35 %)	-	-	6,0 ml/l	-
Cottozon 98106	-	-	2,0 ml/l	2,0 ml/l
Aktif Klor	-	-	-	12,0 g/l
	95 ⁰ C,120 dak FO 1/20	95 ⁰ C,120 dak FO 1/20	90 ⁰ C,120 dak FO 1/20	20 ⁰ C,120 dak FO 1/20

* Sodyumhipoklorit ağartmasından sonra klor artıklarını uzaklaştırmak amacı ile 1 g/l sodyumbisülfid ile 20⁰C'de 30 dakika yıkama işlemi uygulanmıştır.

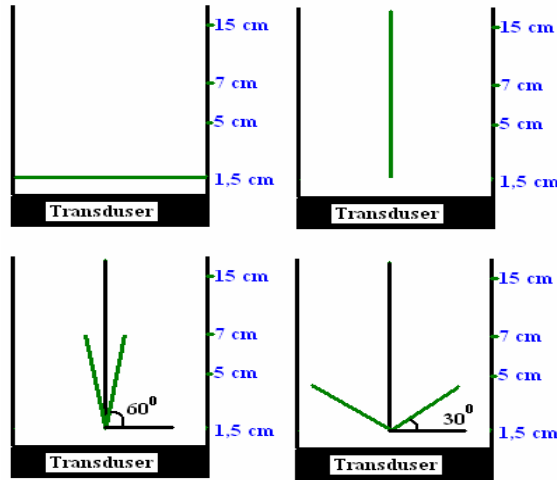
** Kostik-soda veya soda ile yıkama ve hidrojenperoksit ile ağartma işlemlerinden sonra sıcak ve soğuk su ile durulama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçları değerlendirmek için kumaşların beyazlık dereceleri, yüzey görünümleri, kopma mukavemetleri ve hidrofilite dereceleri ölçülmüştür. Yüzey görünümlerinin kıyaslanması için kumaşların işlem sonrası fotoğrafları 10 kat büyütme ile Motic marka cihazda gerçekleştirilmiştir.

5.3.2 Ultrasonik Ortamdaki Optimum Çalışma Koşullarının Belirlenmesine Dair Denemeler

Optimum çalışma koşullarının tespiti amacıyla materyal ile transduser arasındaki mesafenin, açının ve konumun etkileri incelenmiştir. Ayrıca flottenin gazını giderme işleminin etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

30⁰C sıcaklıktaki flotte içerisine alüminyum folye yerleştirilerek sabitlenmektedir. Yerleşim açısı ve şekli çalışma koşullarına bağlı olarak farklıdır;

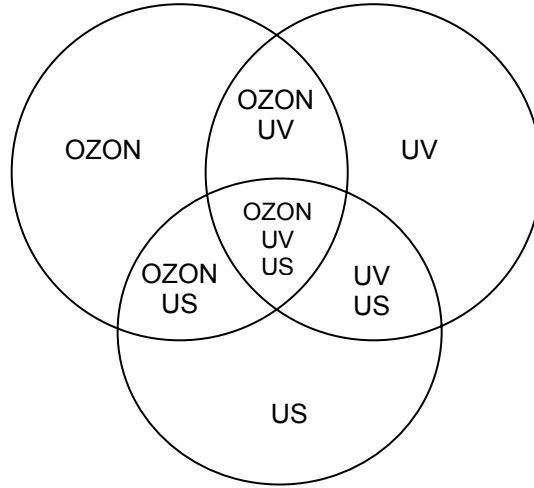


Şekil 5.11. Ultrasonik işlem sırasında alüminyum folye ile çalışılan konumlar

Flottenin gazını gidermek amacıyla, 15⁰C sıcaklıktaki flotte içerisine 8 bar basınca sahip karbondioksit gazı 60 dakika süresince beslenmektedir. Besleme esnasında karbondioksit gazının tamamen çözünmesini sağlamak için sıcaklık 15⁰C’de sabit tutulmaktadır. pH kontrolü ile karbondioksit gazının çözündüğüne karar verilmektedir (pH nötrden 5,5-6 civarına kaymaktadır). NaOH ilavesi ile pH 9-10 yapılarak çözünmüş karbondioksit karbonata dönüştürülmektedir. Ultrasonik işlem esnasında sıcaklığın artmaması için klima ile flottenin soğutulması sağlanmaktadır. Ultrasonik işlem alüminyum folye yerleştirildikten sonra 100 san sürmektedir.

5.3.3 Prototip US/UV/Ozon Kombinasyonlu Kontinü Terbiye Makinesinde Gerçekleştirilen Denemeler

US/UV/Ozon kontinü terbiye makinesinde çektirme yöntemine göre sadece su ile çalışılarak ultrasonun, ultraviyolenin, ozonun tekstil materyali üzerine etkileri incelenmiştir. Kontinü makinedeki her bir yeni teknolojinin etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla tek başlarına (sadece ultrason veya ozon veya ultraviyole), ikili (ultrason/ozon veya ultrason/ultraviyole veya ozon/ultraviyole) ve üçlü kombinasyonları (ultrason/ozon/ultraviyole) ile denemeler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.12. Dokuma kumaş denemelerine ait deney planı

Çizelge 5.4. Sadece su bulunan banyoda ultrason, ultraviyole ve ozonun bireysel ve sinerjistik etkilerinin araştırılmasına dair deney planı

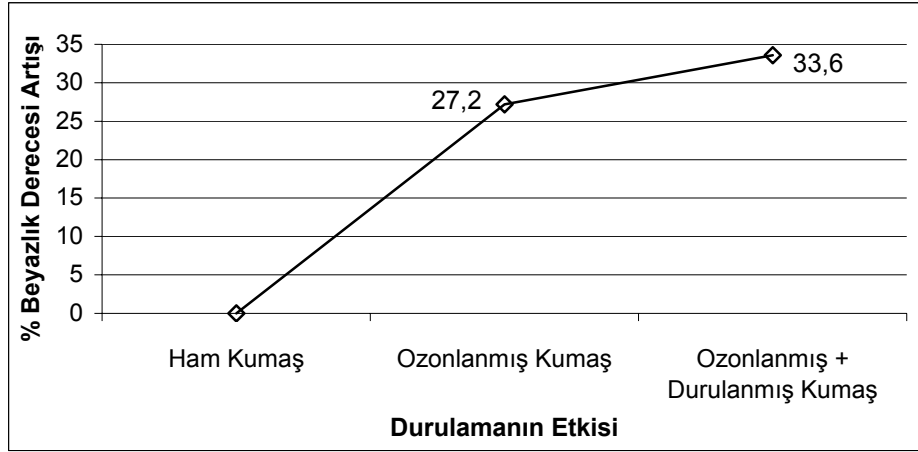
Flotte Sıcaklığı	Geçiş Hızı	US	UV	OZON
65 ⁰ C	1 m/sa	-	-	-
		+	-	-
		-	+	-
		-	-	+
		+	+	-
		+	-	+
		-	+	+
		+	+	+

6. BULGULAR ve TARTIŞMA

6.1 Ham Pamuklu Dokuma Kumaşların Ozon Gazı ile Ağartılmasına Ait Denemeler

6.1.1 Ozonlama İşlemi Sonrası Gerçekleştirilen Durulama İşleminin Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi

Tekstil terbiye sanayinde, her hangi bir işlemde sonra, istenmeyen yan ürünleri ortamdan uzaklaştırmak amacıyla durulama işleminin gerçekleştirilmesi neredeyse bir zorunluluktur. Buradan hareketle, ozonlama sonrası kumaşlara durulama işlemi uygulanmış ve uygulanan bu ekstra işlemin kumaşın beyazlık derecesine olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin; %60 A_F değerine sahip numune 5 dakika ozonlama işlemine tabi tutulduğunda elde edilen beyazlık derecesi artışı yaklaşık %27 olurken, ozonlama işleminden sonra durulama işlemi gerçekleştirildiğinde ise bu değer %33'lere kadar yükselmektedir (Şekil 6.1.). Bunun nedeni olarak; ozonlama sonrası oluşan yan ürünlerin durulama banyosuna geçerek kumaştan uzaklaşması düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, ozon gazı ile yapılan diğer tüm denemeler sonrası durulama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.1. Ozonlama sonrası yapılan durulama işleminin beyazlık derecesi üzerine etkisi
(Ozon Akış Miktarı = 2 l/dak, Ozon Üretim Kapasitesi = %50, A_F = %60)

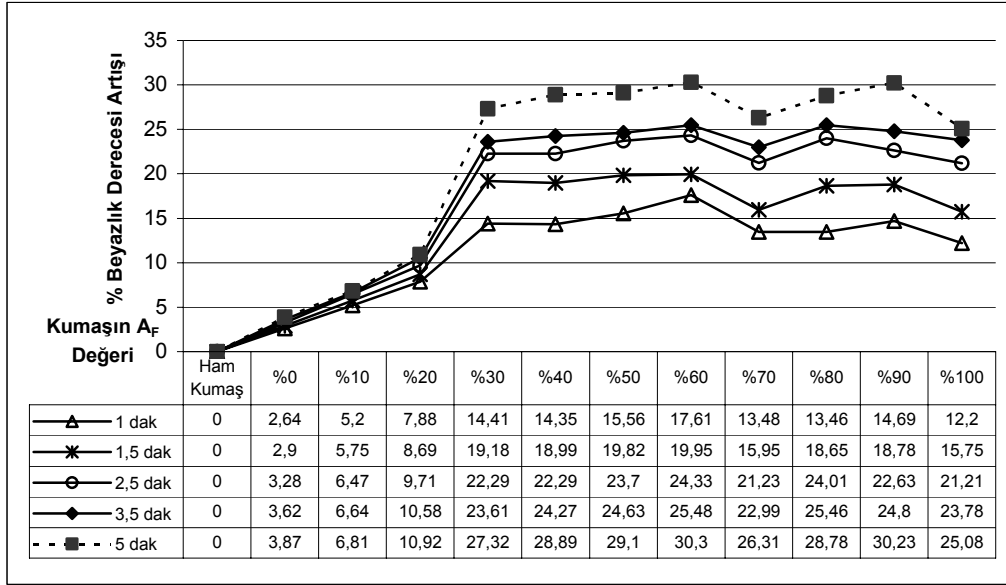
6.1.2 Ozonlama İşleminde Kumaşın Sahip Olduğu A_F Değerinin ve İşlem Süresinin Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi

Denemelerde 1,5 l/dak ve 2 l/dak olmak üzere iki farklı ozon gazı üretim miktarlarında, 1- 1,5- 2,5- 3,5 ve 5 dakika olmak üzere beş farklı sürede ve %0-10-20-30-40-50-60-70-80-90-100 olmak üzere 11 farklı A_F değerinde çalışılmıştır.

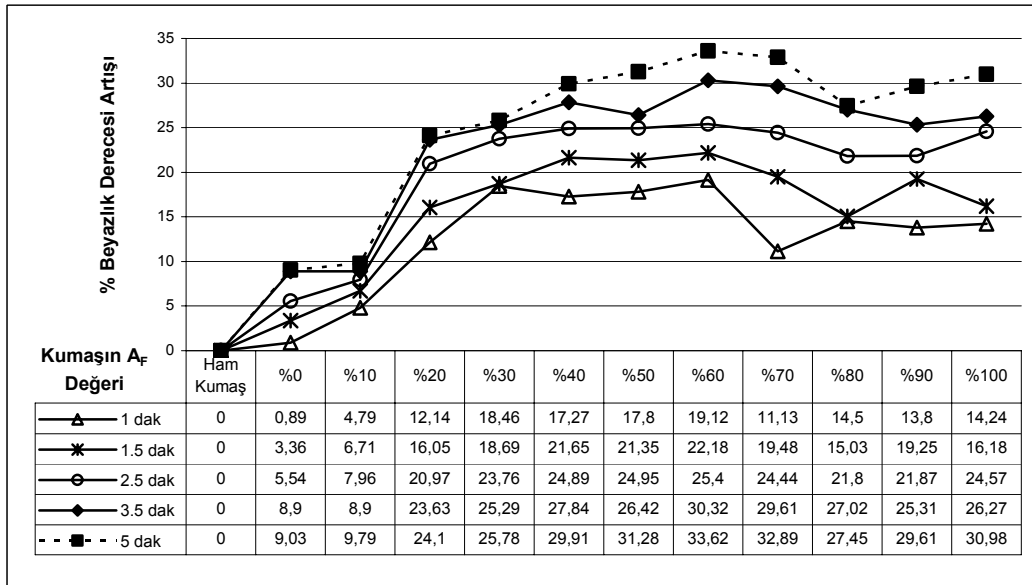
Çizelge 6.1. Dokuma kumaşın ozon gazı ile muamelesi sonrası, ozon konsantrasyonuna, işlem süresine ve kumaşın sahip olduğu A_F değerine bağlı olarak elde edilen beyazlık dereceleri

Ozon Üretim Miktarı = 2 l/dak			Ozon Üretim Miktarı = 1.5 l/dak		
Kumaşın İşlem Gördüğü A_F Değeri	Süre (dakika)	Beyazlık Derecesi (Stensby)	Kumaşın İşlem Gördüğü A_F Değeri	Süre (dakika)	Beyazlık Derecesi (Stensby)
%0	1	47,39	%0	1	48,21
	1,5	48,55		1,5	48,33
	2,5	49,57		2,5	48,51
	3,5	51,15		3,5	48,67
	5	51,21		5	48,79
%10	1	49,22	%10	1	49,41
	1,5	50,12		1,5	49,67
	2,5	50,71		2,5	50,01
	3,5	51,15		3,5	50,09
	5	51,57		5	50,17
%20	1	52,67	%20	1	50,67
	1,5	54,51		1,5	51,05
	2,5	56,82		2,5	51,53
	3,5	58,07		3,5	51,94
	5	58,29		5	52,1
%30	1	55,64	%30	1	53,74
	1,5	55,75		1,5	55,98
	2,5	58,13		2,5	57,44
	3,5	58,85		3,5	58,06
	5	59,08		5	59,80
%40	1	55,08	%40	1	53,71
	1,5	57,14		1,5	55,89
	2,5	58,66		2,5	57,44
	3,5	60,05		3,5	58,37
	5	61,02		5	60,54
%50	1	55,33	%50	1	54,28
	1,5	57		1,5	56,28
	2,5	58,69		2,5	58,10
	3,5	59,38		3,5	58,54
	5	61,66		5	60,64

Ozon Üretim Miktarı = 2 l/dak			Ozon Üretim Miktarı = 1,5 l/dak		
Kumaşın İşlem Gördüğü A _F Değeri	Süre (dakika)	Beyazlık Derecesi (Stensby)	Kumaşın İşlem Gördüğü A _F Değeri	Süre (dakika)	Beyazlık Derecesi (Stensby)
%60	1	55,95	%60	1	55,24
	1,5	57,39		1,5	56,34
	2,5	58,9		2,5	58,4
	3,5	61,21		3,5	58,94
	5	62,76		5	61,20
%70	1	52,20	%70	1	53,30
	1,5	56,12		1,5	54,46
	2,5	58,45		2,5	56,94
	3,5	60,88		3,5	57,77
	5	62,42		5	59,33
%80	1	53,78	%80	1	53,29
	1,5	54,03		1,5	55,73
	2,5	57,21		2,5	58,30
	3,5	59,66		3,5	58,97
	5	59,88		5	60,49
%90	1	53,45	%90	1	53,87
	1,5	56,01		1,5	55,79
	2,5	57,24		2,5	57,60
	3,5	58,86		3,5	58,62
	5	60,88		5	61,17
%100	1	53,66	%100	1	52,70
	1,5	54,57		1,5	54,37
	2,5	58,51		2,5	56,93
	3,5	59,31		3,5	58,14
	5	61,52		5	58,75



Şekil 6.2. Ozonlama süresine ve kumaşın işlem gördüğü A_F değerine bağlı olarak kumaşın beyazlık derecesinde meydana gelen değişimler (Ozon Besleme Miktarı = 1,5 l/dak)



Şekil 6.3. Ozonlama süresine ve kumaşın işlem gördüğü A_F değerine bağlı olarak kumaşın beyazlık derecesinde meydana gelen değişimler (Ozon Besleme Miktarı = 2 l/dak)

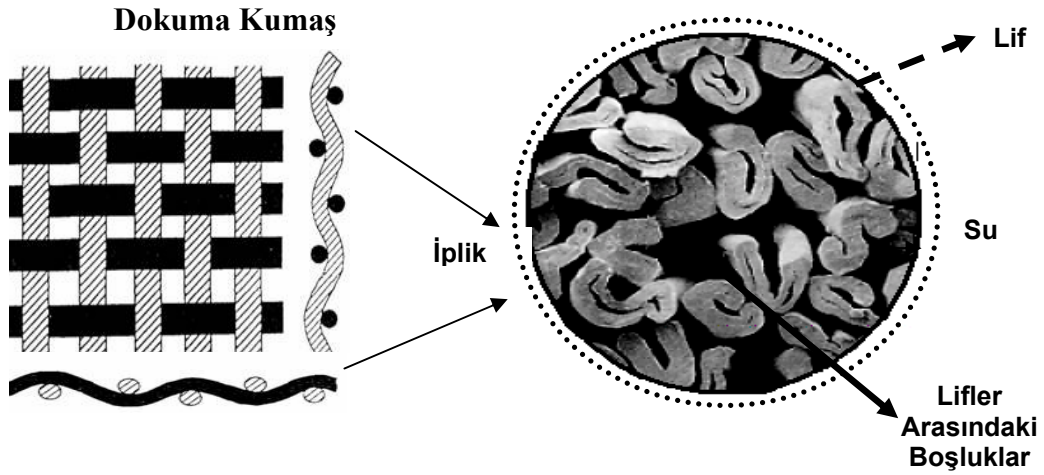
Birim zamanda sisteme beslenen ozon gazı miktarı arttığında elde edilen beyazlık derecesinde de artış olduğu görülmektedir. $A_F = \%60$ olacak şekilde hazırlanan kumaş numunesi ile çalışıldığında, sisteme dakikada 1,5 l ozon beslendiğinde ve işlem süresi 5 dakika olduğunda elde edilen beyazlık derecesi artışı ($\%30,3$), aynı şartlarda sisteme 2 l ozon beslendiğinde 3,5 dakika gibi daha kısa bir işlem süresinde elde edilebilmektedir, ya da aynı veya daha kısa işlem süresinde daha düşük A_F değerinde de aynı beyazlık derecesi artışına ulaşılabilmektedir. Örneğin: Sisteme beslenen ozon gazı miktarı 1,5 l/dak ve ozonlama süresi 5 dakika olduğunda elde edilen beyazlık derecesi artışı $\%30,3$ olurken, sisteme beslenen ozon gazı miktarı 2 l/dak'ya çıkarıldığında aynı beyazlık derecesi artışı, ya $A_F = \%60$ 'da 3,5 dakikada ya da $A_F = \%50$ 'de 4,5-5 dakikada elde edilebilmektedir (Şekil 6.2-6.3). Yani sisteme beslenen ozon gazı miktarı arttıkça, aynı beyazlık derecesine daha kısa işlem süresinde veya aynı işlem süresinde ancak daha düşük A_F değerinde ulaşılabilmektedir.

Aynı şekilde tekstil materyalinin ozon gazına maruz kalma süresi uzadıkça da elde edilen beyazlık derecesinde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. $A_F = \%60$ olacak şekilde hazırlanan numune ile çalışıldığında, sisteme dakikada 1,5 l ozon beslendiğinde ve işlem süresi 1 dakika olduğunda elde edilen beyazlık derecesi artışı $\%17,61$ olurken, ozonlama süresi 5 dakikaya çıktığında bu değer $\%30,3$ 'e ulaşmaktadır (Şekil 6.2.). Ancak en kısa sürede en iyi verimi elde etmek dolayısıyla ekonomikliği sağlayabilmek en önemli amaçlardan bir tanesidir. Dolayısıyla işlem süresini uzatma yerine başka arayışlar içine girilmiş ve kumaş neminin etkisi incelemeye alınmıştır.

Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü üzere, ozonlama işlemine tabi tutulan kumaşın sahip olduğu A_F değeri, ozonlama sonrası elde edilecek beyazlık derecesi artışını önemli derecede etkilemektedir. Örneğin; 2 l/dak

debi ile 1 dakika süresince ozonlama işlemine tabi tutulan %0 ve %60 A_F değerine sahip kumaşların, işlem sonrası beyazlık derecelerindeki artış sırasıyla şu şekilde olmaktadır; %0,89; %19,12. %60 A_F değerine sahip kumaşın 1 dakikalık ozonlanması sonucu elde edilen %19'luk beyazlık derecesi artışı, kumaşın A_F değeri %0 ve %10 olduğunda ilk 5 dakika içerisinde dahi elde edilememektedir.

Kritik bir değere (%60) kadar, kumaşın sahip olduğu A_F değerindeki artış, ozonlama sonrası elde edilecek olunan beyazlık derecesi artışını da olumlu yönde etkilemektedir. Ancak belli bir değerden sonra A_F 'nin daha da artması beyazlık derecesine her hangi bir katkı sağlamamakta, meydana gelecek olan artışı olumsuz yönde etkilemektedir. %0 A_F değerine sahip kumaş 5 dakikalık ozonlama işlemine tabi tutulduğunda elde edilen beyazlık derecesi artışı yaklaşık %9 iken, A_F değerinin %60 olması ile bu değer %33'lere kadar yükselmektedir. Ancak A_F değerinin %60'ın üzerine çıkması ile beyazlık derecesindeki artış azalmaya başlamaktadır. Kumaşın sahip olduğu belli bir A_F değerinin (%60) beyazlık derecesi üzerinde yarattığı olumlu etkisinin, ozon gazının lif içerisine penetrasyonunu sağlaması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. A_F değerinde %60'a kadar olan artışlar, ozon gazının lif içerisine penetrasyonunu hızlandırmaktadır. Ancak bu değerden sonra, ozon gazının parçalanması hızlandığı için beyazlık derecesinde meydana gelen artışta bir gerileme yaşanmaktadır. Bu model aşağıdaki model yardımı ile daha net bir şekilde açıklanabilir (Şekil 6.4.).



Şekil 6.4. Pamuk ipliğinin ve dokuma kumaşın yapısı

Ozon organik kirlilikleri iki şekilde okside etmektedir; ozon molekülleri ile direk oksidasyon ve $\bullet\text{OH}$ radikali gibi serbest radikaller oluşturarak bunlar üzerinden gerçekleştirilen oksidasyon. Ozonlamanın reaktifliği, seçiciliği ve etkinliği esas olarak ozonun transferine ve difüzyonuna bağlıdır (Zhang, H., Jib, L., Wub, F., Tan, J., 2005). Etkinliği en fazla etkileyen faktör su içeriğinin olup olmamasıdır. Çünkü su, ozonun transfer reaksiyonunu sınırlamakta, ozon ve yan ürünler veya banyodaki kirlilikler arasındaki olası kimyasal reaksiyonları arttırmaktadır (Cogo, E., Albet, J., Malmay, G., Coste, C., Molinier, J., 1999).

Birçok araştırmacı, %30-50 arasındaki su içeriğinde ozonlamanın reaktifliğinin maksimum seviyeye ulaştığını vurgulamaktadır. Bu seviyelerde kağıt hamurunda, yüksek beyazlık derecesi, düşük bakır sayısı ve orta derecede viskozite kaybı elde edildiği belirtilmektedir (Cogo, E., Albet, J.,

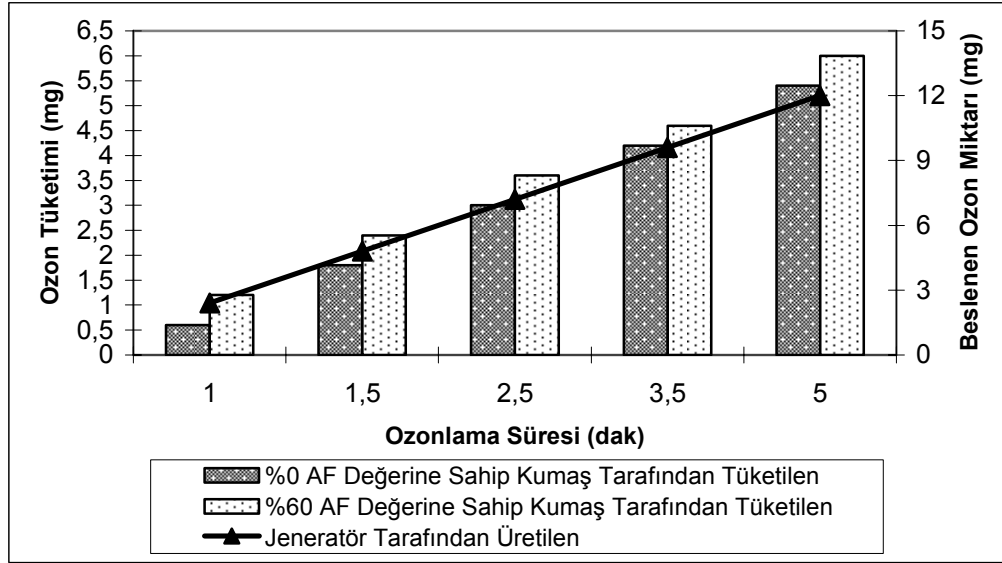
Malmay, G., Coste, C., Molinier, J., 1999; Su, Y.C., Yeh, R.Y., Chen, H.T., 2002).

Pamuk ağartmasında önemli olan nokta, ozonun iplik içerisinde bulunan liflere, oradan da lif içerisinde bulunan fibrillere doğru olan transferidir. Bu transferler, ancak belli seviyedeki su içeriğinde gerçekleşebilmektedir. Ozonun transfer adımları aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

- Ozonun hava tabakasından hava/sıvı ara yüzeyine transferi,
- Ozonun hava/sıvı ara yüzeyinden sıvıya transferi,
- Ozonun sıvıdan liflerin etrafını saran sıvı tabakasına doğru olan difüzyon veya konveksiyonu,
- Ozon ve •OH radikallerinin sıvı/lif ara yüzeyinden lifler arasına transferi,
- Ozonun lifler arasından lif içerisine kütle transferi.

Sonuç olarak pamuğun su tutma kapasitesine denk olan %50 (<http://www.e4s.org.uk/textilesonline/content/pdfs/report1.pdf>, 2006) ve biraz üzerindeki A_F değerinin (%60) pamuk ağartmacılığında maksimum etki sağladığı söylenebilir.

Ozonla ağartma işleminden sonra numunelerin sadece beyazlık dereceleri değerlendirilmemiş aynı zamanda aplikasyon alanına beslenen ve harcanan ozon gazı miktarları da hesaplanmıştır.



Şekil 6.5. Titrasyon yöntemi ile belirlenen ozon üretim ve tüketim değerleri (mg)

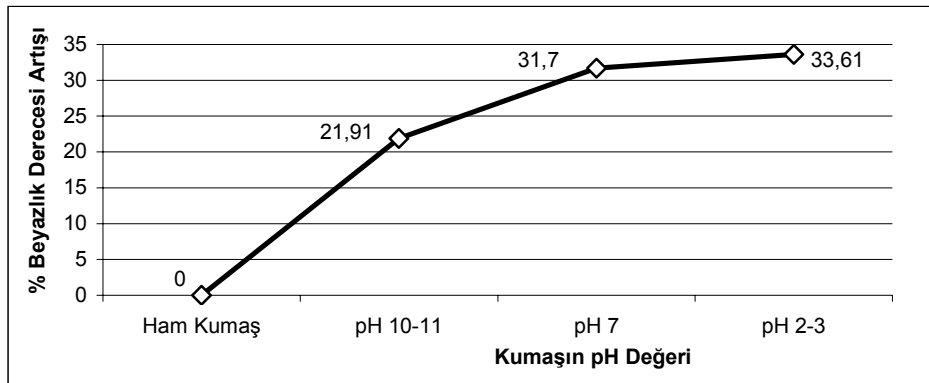
Reaksiyon esnasında tüketilen ozon miktarını belirlemek amacıyla iyodimetrik titrasyon yönteminden yararlanılmıştır. Şekil 6.5’den de görüldüğü üzere, sisteme beslenen ozon miktarı işlem süresiyle orantılı olarak artmaktadır. Örneğin, 1 dakikalık ozonlama sonrası sisteme beslenen ozon gazı miktarı 2,4 mg iken, 5 dakikalık ozonlama sonrasında sisteme 12 mg ozon beslenmektedir. Aynı zamanda işlem süresi uzadıkça, kumaş tarafından tüketilen ozon miktarı da artmaktadır. Ayrıca, ozon tüketiminin başlıca sebebi kumaşın içerdiği su miktarıdır. Örneğin, 1-1,5-2,5-3,5-5 dakikalık ozonlama işlemi sonrasındaki tüketim değerleri dikkate alınacak olunursa, %60 A_F değerine sahip kumaş tarafından harcanan ozon gazı miktarları şu şekilde olmaktadır; 1,2- 2,4- 3,6- 4,6 ve 6 mg. Bu değerler A_F değeri %0 olduğunda ise şu şekilde olmaktadır; 1,8- 3- 4,2 ve 5,4 mg. Diğer bir deyişle, tüketilen ozon miktarını işlem süresinin ve kumaşın sahip olduğu A_F değerinin etkilediği söylenebilir.

Beyazlık derecesi açısından bütün işlem sürelerinde, %60 A_F değerinin en iyi sonuçları verdiği görülmektedir. 1-1,5-2,5-3,5 ve 5 dakikalık ozonlama işlemleri sonucunda maksimum beyazlık derecelerine (%19,12- %22,18- %25,4- %30,32 ve %33,62), %60 A_F değerine sahip kumaş ile çalışıldığında elde edilmektedir.

Beyazlık derecesinde istenilen %30'luk bir artış için %0 A_F değerinde uzun işlem sürelerinde çalışmak yerine %60 A_F değerinde daha kısa işlem süresinde çalışmak hem ekonomik hem de efektif olacaktır. Sonuç olarak optimum ozonlama etkisi sağlayabilmek için pamuklu mallarda %60 A_F değerinde çalışılmalıdır.

A_F değeri optimize edildikten sonra, ortam sıcaklığının ve pamuklu kumaşın sahip olduğu pH değerinin etkisi incelenmiştir. Bütün denemeler %60 A_F 'de ve 5 dakika süresince gerçekleştirilmiştir.

6.1.3 Ozonlama İşleminde Kumaşın Sahip Olduğu pH Değerinin Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi



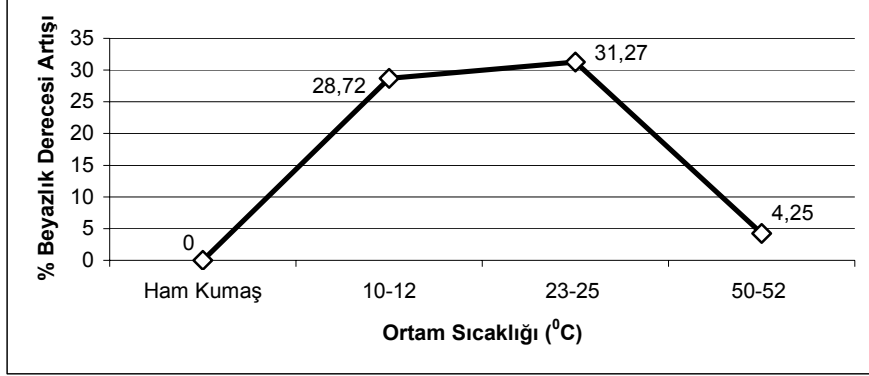
Şekil 6.6. Ozonlama işleminde kumaşın sahip olduğu pH değerinin beyazlık derecesi üzerine etkisi (A_F = %60, Sıcaklık = 23-25⁰C, Süre = 5 dak.)

Kumaş pH'ının ozonlamaya etkisini incelemek amacıyla, numuneler pH değerleri 2-3, 6,5-7,5, 10-11 olan su ile emdirilmiştir. pH 2-3 tampon asit, pH 10-11 ise Kostik yardımı ile ayarlanmıştır. 6,5-7,5 pH değerlerini elde etmek içinse her hangi bir yardımcı madde kullanılmamıştır. Beyazlık derecesinde yarattığı %22'lik artışla en az etkili olan numune pH değeri 10-11 olan su ile emdirilen numunedir. Bunun nedeni olarak; kuvvetli bazik pH değerlerinde ortamda çok fazla hidroksil radikali oluştuğu ve bu radikallerin de ozonun parçalanmasını arttırdığı belirtilebilir (Iglesias, S.C., 2002; <http://www.lenntech.com/ozone.htm>, 2006).

Ozon, renkli materyallerdeki kromofor bağlara etki etmekte ve rengin sökülmesini veya açılmasını sağlamaktadır. Bu renk giderme özelliği özellikle asidik pH değerlerinde çok daha etkili bir şekilde gerçekleşmektedir (Adams, C.D., Gorg, S., 2002).

Dolayısıyla, asidik veya nötral pH değerlerinde çalışmak, bazik pH değerlerinde çalışmaya göre çok daha etkili ve başarılı olmaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, nötral veya asidik pH'da çalışmanın beyazlık derecesi artışını çok fazla etkilemediği dolayısıyla, her hangi bir yardımcı madde kullanımı gerektirmemesi açısından nötral pH ile çalışmanın avantajlı olacağı söylenebilir.

6.1.4 Ozonlama İşleminde Reaksiyonun Gerçekleştiği Ortam Sıcaklığının Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi



Şekil 6.7. Ozonlama işleminde reaksiyonun gerçekleştiği ortam sıcaklığının beyazlık derecesi üzerine etkisi ($A_F = \%60$, $pH = 6,5-7,5$, Süre = 5 dak.)

Şekil 6.7’den de görüldüğü üzere ozon gazı yüksek sıcaklıklara hassas olup, çok kısa sürede parçalanmaktadır (<http://www.usace.army.mil/usace-docs/eng-tech-ltrs/etl1110-1-161> (2006)).

Dolayısıyla 50-52⁰C’de gerçekleştirilen ozonlama işlemi sonucunda elde edilen beyazlık derecesi artışı çok düşük olmaktadır. 50-52⁰C’de gerçekleştirilen ozonlama sonucu elde edilen beyazlık derecesi artışı yaklaşık %4 iken, ortam sıcaklığının oda sıcaklığına düşürülmesi ile bu değer %31’lere kadar çıkmaktadır. Örneğin, oda sıcaklığında temiz bir kaptaki ozonun yarılanma ömrü 20-100 saat iken, 120⁰C’de yarılanma ömrü 11-112 dakikaya kadar düşmektedir (<http://www.usace.army.mil/usace-docs/eng-tech-ltrs/etl1110-1-161> (2006)).

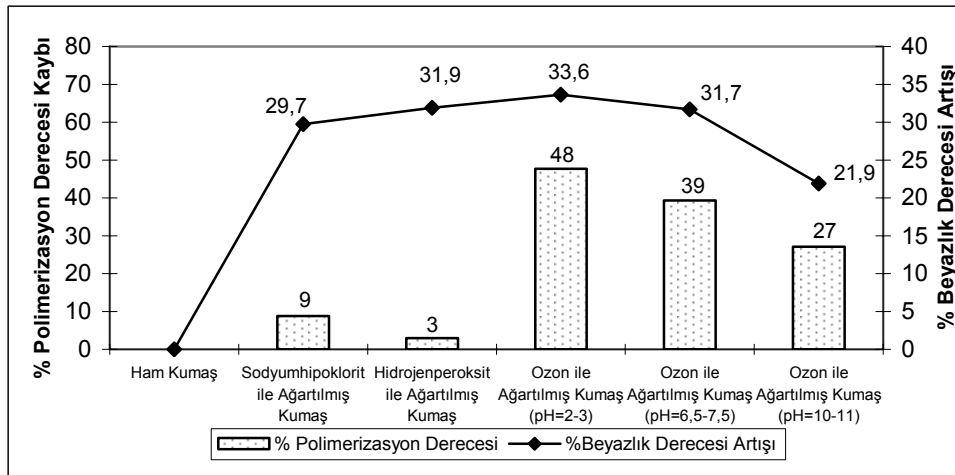
Gerçekleştirilen denemeler neticesinde 10-12⁰C’de gerçekleştirilen ozonlama işlemi ile oda sıcaklığında (23-25⁰C) gerçekleştirilen denemeler

arasında beyazlık derecesi açısından önemli bir fark ortaya çıkmadığı görülmüştür. Soğuk koşullarda ozonlama, oda sıcaklığında ozonlamaya göre beyazlık derecesinde önemli bir artışa neden olmadığı gibi beraberinde soğutma maliyeti de getirmektedir. Bu nedenle bundan sonraki denemelerde oda sıcaklığında denemeler gerçekleştirilmiştir.

6.1.5 Ozonlama İşleminin Kristalinite Derecesine Etkisi

Ağartılmış kumaşların kristalin bölge oranlarında her hangi bir değişim olup olmadığı iyot absorpsiyonu yöntemi yardımıyla araştırılmıştır. Ham ve ozonlanmış kumaşların kristalinite dereceleri arasında önemli bir fark olmadığı saptanmıştır.

6.1.6 Konvansiyonel ve Ozon ile Ağartma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

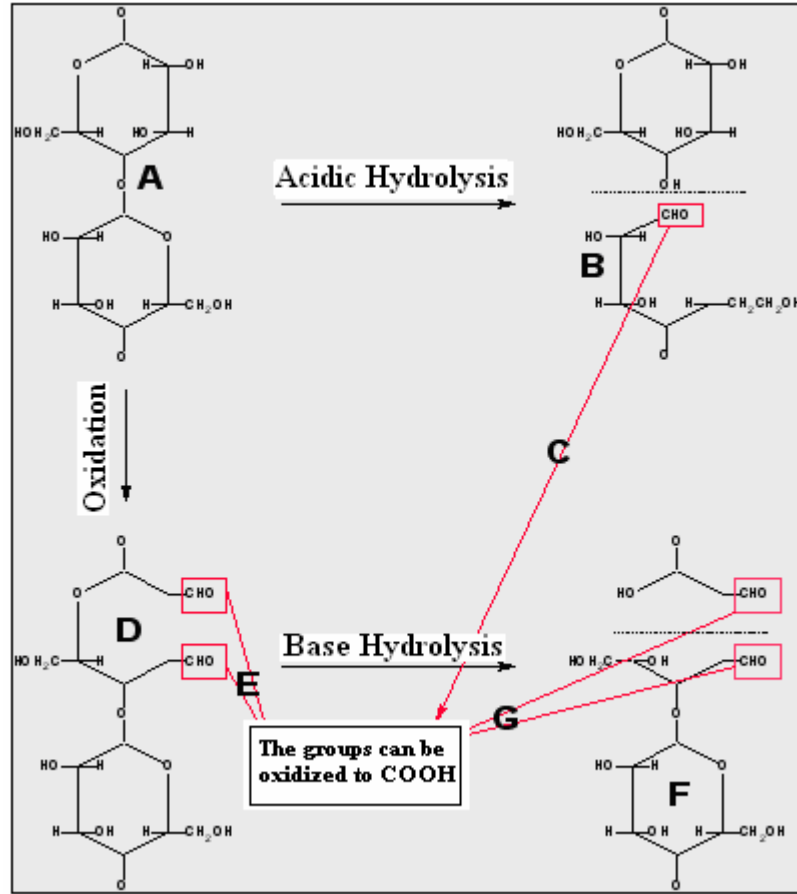


Şekil 6.8. Farklı ağartma yöntemlerinin ortalama polimerizasyon derecesi ve beyazlık derecesi üzerine etkisi

Farklı ağartma yöntemlerinin etkisini belirlemek amacıyla ozonla ağartma işlemi yanı sıra sodyumhipoklorit ve hidrojenperoksit ile de ağartma işlemleri uygulanmıştır. Aynı zamanda kumaşın ozonlama esnasında sahip olduğu pH değerinin polimerizasyon derecesine etkisi incelenmiştir.

Gerçekleştirilen ağartma yöntemleri neticesinde en az polimerizasyon derecesi kaybı (%3) hidrojenperoksit ile ağartma sonucu elde edilmiştir (Şekil 6.8.) Konvansiyonel ağartma yöntemlerini ozonla karşılaştıracak olursak, hidrojenperoksit ve ozonla ağartma işlemleri neticesinde hemen hemen aynı beyazlık derecesi artışı (%31) elde edilirken, sodyumhipoklorit ile ağartmada daha düşük beyazlık derecesi artışı (%29,5) elde edilmektedir.

Şekil 6.8’de de görüldüğü üzere farklı pH değerlerine sahip kumaşlar ozonlandıktan sonra polimerizasyon derecesindeki kayıpları da farklı olmaktadır. Örneğin, pH değeri 2-3 olan su ile emdirilen kumaş ozonlandığında kumaşta meydana gelen polimerizasyon derecesi kaybı yaklaşık %48 iken, kumaş nötral pH değerine sahip su ile emdirildiğinde ise bu değer %39 olmaktadır. Bazı pH değerine sahip su ile emdirilip ozonlandığında ise %27 kayıp gözlemlenmektedir. Sonuç olarak, ozonlama işlemi ile pamuklu mamullerin polimerizasyon derecelerinde (A_F değerleri ayarlanırken kullanılan suyun pH değerine bağlı olarak) korkunç azalmalar meydana gelmektedir. Kumaşın sahip olduğu pH değerinin asitliği arttıkça, hidroselüloz oluşumu hızlanmakta ve dolayısıyla polimerizasyon derecesinde kayıplar meydana gelmektedir (Şekil 6.9.). Konvansiyonel ağartma yöntemleri neticesinde de polimerizasyon derecesi kayıpları meydana gelmektedir, ancak bunlar ozonlama sonucu ortaya çıkanların yanında oldukça önemsiz kalmaktadır.



Şekil 6.9. Selülozun oksidasyonu ve hidrolizi sonucu aldehit ve karboksilik asit gruplarının oluşması (Weaver, J.W., 1984)

Hidro ve oksiselüloz oluşup oluşmadığını belirlemek amacıyla numunelere Fehling testi de uygulanmıştır. Şekil 6.10'dan da görüldüğü üzere, numunelerin görmüş olduğu ağartma yöntemi fark etmeksizin tüm numuneler az veya çok kimyasal zarar görmektedir. Fakat görülen zarar derecesi uygulanan ağartma yöntemi tipine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, en fazla kimyasal zarar ozonla ağartma yöntemi sonrası gözlenirken, en az zarar hidrojenperoksit ile ağartma sonrası

gözlemlenmektedir. Orta dereceli zarar, sodyumhipoklorit ile ağartma sonrası gözlemlenmiştir. Ancak konvansiyonel ağartma yöntemleri arasındaki bu zarar farkı hemen hemen birbirine yakın denebilecek düzeydedir. Ozonla ağartma sonrası ortaya çıkan kimyasal zarar derecesi ise, kumaşın ozonlama esnasında sahip olduğu pH değerine bağlı olarak değişmektedir. pH 2-3 değerine sahip kumaşın ozonlanması sonucu ortaya çıkan kimyasal zarar maksimum iken, pH 6,5-7,5 ve 10-11 değerlerine sahip kumaşın ozonlanması sonucu ortaya çıkan kimyasal zararlar birbirine benzemekte ve biraz daha az olmaktadır.

**I****II****III****IV****V**

I: Sodyumhipoklorit ile 5 dak. ağartılmış kumaş, **II:** Hidrojenperoksit ile 5 dak. ağartılmış kumaş, **III:** 5 dak. ozonlanmış kumaş (pH=2-3) , **IV:** 5 dak. ozonlanmış kumaş (pH=10-11), **V:** 5 dak. ozonlanmış kumaş (pH=6,5-7,5)

Şekil 6.10. Farklı ağartma yöntemleri ile ağartılmış kumaşlara uygulanan fehling testi sonuçları

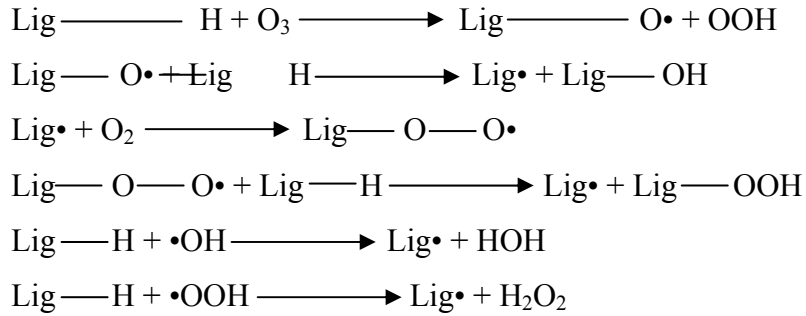
6.2 Ham Jüt Dokuma Mamullerin Ozon Gazı ile Ağartılmasına Ait Denemeler

Jüt lifi, çoğunlukla Bangladeş, Hindistan, Çin ve Myanmar gibi subtropikal bölgelerde yetişen yıllık bir bitkinin kabuğundan elde edilmektedir (<http://www.ncdex.com>, 2005; Sreenath, H.K., Shah, A.B., Yang, V.W., Gharia, M.M., and Jeffries, T.W., 1996). Jüt bitkileri tohumdan elde edilmekte, tohumların ekimi Mart ayından Mayıs ayına kadar sürmektedir. 4 ile 6 ay arasında olgunlaşmakta, 3-4 metre yüksekliğine ulaşmaktadırlar. Hasat işlemi Hazirandan Eylül ayına kadar gerçekleşmektedir. Jüt bitkisi *Corchorus* cinsine aittir. *C. capsularis* ve *C. olitorius* diye adlandırılan iki ana türü yaygın olarak yetiştirilmektedir. Patates çuvalı gibi geleneksel kullanımlarının yanı sıra, jüt lifleri, iyi kopma mukavemeti, uzun ömürlü oluşu, iyi anti-statik özelliği ve düşük termal iletim gibi özelliklerinden ötürü günümüzde “altın lif” olarak adlandırılmaktadır. Bütün bu avantajlarının yanı sıra az da olsa bazı dezavantajları da mevcuttur; sert tutum, düşük sürtünme direnci, liflerin kalın oluşu. Ancak kimyasal işlemler yardımı ile bu dezavantajların üstesinden gelinebilmektedir (<http://www.ncdex.com>, 2005).

Jüt lifleri ortalama olarak %60 selüloz, %26 hemiselüloz ve %14 lignin içermektedir. Ligninin ve hemiselülozun alkali ve konvansiyonel ağartma işlemleri ile uzaklaştırılması, jüt liflerinin mukavemetlerini etkilemektedir (Mannan, Kh.M. and Talukder, M.A.I., 1997). Klorit gibi kimyasal maddelerle ligninin uzaklaştırılması, yüksek derecede mukavemet kaybına neden olduğu için kullanımı yaygın değildir. Hidrojenperoksit kullanımı her ne kadar ekolojik olsa da yüksek enerji maliyeti ve pahalı bir teknik olması gibi dezavantajlara sahiptir (Stanley, A., 1996).

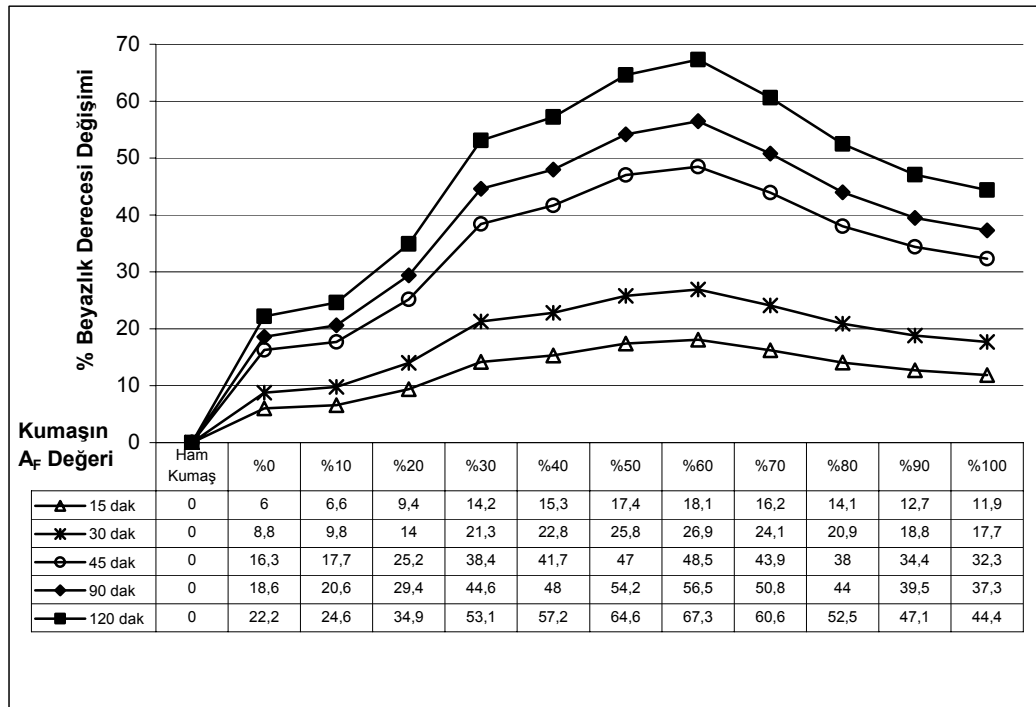
Ozon ilk olarak hızlı bir şekilde ligninde yer alan olefin grupları ile daha sonrasında da aromatik gruplarla reaksiyona girmektedir. Aynı zamanda ozon, lignin yan zincirlerinde yer alan çeşitli karbon-hidrojen bağları ile de reaksiyona girmektedir. Lignindeki aromatik halkaların ozonasyonu hem 1,3 dipolar katılma mekanizmasını hem de elektrofilik yer değiştirme reaksiyon mekanizmasını içermektedir. Katılma reaksiyonları halka açılmasına neden olmaktadır. Elektrofilik yer değiştirme reaksiyonları ise, halkaları hidrosillemekte veya demetoksillemekte ve sonrasında da kinon oluşturmaktadır. Her iki durumda da oksijen molekülü açığa çıkmaktadır.

Ozonun lignin ile reaksiyonu aynı zamanda serbest radikallerin (hidroksil, perhidroksil ve çeşitli lignin makroradikalleri gibi) oluşumunu da kapsamaktadır. Serbest radikaller, lignin kondenzasyon reaksiyonlarını başlatmakta ve hidroperoksit oluşumuna neden olmaktadır. Hidroperoksitlerin parçalanması, lignin oksidasyonuna yol açmakta, sonuçta karbonil ve karboksil grupları oluşmaktadır. Ozon ile reaksiyonu başlatan, lignindeki serbest radikallerin oluşumu aşağıda gösterilmektedir (Iglesias, S.C., 2002).



6.2.1 Ozonlama İşleminde Kumaşın Sahip Olduğu A_F Değerinin ve İşlem Süresinin Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi

Denemeler, 1,5 l/dak ozon debisinde, 15, 30, 45, 90 ve 120 dakika olmak üzere beş farklı sürede ve %0-10-20-30-40-50-60-70-80-90-100 olmak üzere 11 farklı A_F değerinde çalışılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.11. Ozonlama süresine ve kumaşın işlem gördüğü A_F değerine bağlı olarak kumaşın beyazlık derecesinde meydana gelen değişimler (Ozon Besleme Miktarı = 1,5 l/dak, pH = 6,5-7,5, Sıcaklık = 23-25⁰C)

Tekstil materyalinin ozon gazına maruz kalma süresi uzadıkça elde edilen beyazlık derecesinde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. $A_F = \%60$ olacak şekilde hazırlanan numune ile çalışıldığında, sisteme dakikada 1,5 l ozon beslendiğinde ve işlem süresi 15 dakika olduğunda elde edilen beyazlık derecesi artışı $\%18,1$ olurken, ozonlama süresi 120 dakikaya çıktığında bu değer $\%67,3$ 'e ulaşmaktadır (Şekil 6.11). Ancak en kısa sürede en iyi verimi elde etmek en önemli amaçlardan bir tanesi olduğu için, işlem süresini uzatma yerine başka arayışlar içine girilmiş ve kumaş neminin etkisi incelemeye alınmıştır.

Pamuklu mamullerin ozon gazı ile ağartılmasında kumaşın içerdiği su miktarının etkisi incelenmiş ve suyun belli bir seviyeye kadar ozonun reaksiyon bölgesine kadar olan difüzyonunu desteklediği belirlenmiştir. Pamuklu mamullerin ozon gazı ile ağartılması işleminden hareketle, jüt mamuller için de suyun bariyer etkisi göstermeye başladığı A_F değeri belirlenmeye çalışılmıştır.

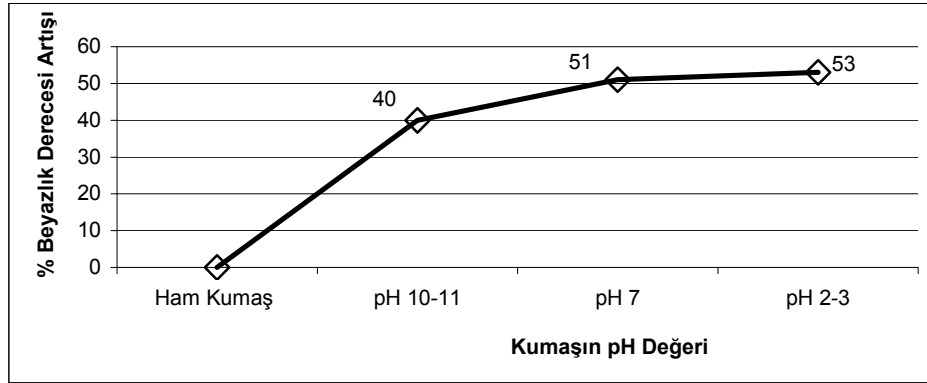
Kritik bir değere ($\%60$) kadar, kumaşın sahip olduğu A_F değerindeki artış, ozonlama sonrası elde edilecek olunan beyazlık derecesi artışını da olumlu yönde etkilemektedir. Ancak belli bir değerden sonra A_F 'nin daha da artması beyazlık derecesine her hangi bir katkı sağlamamakta, meydana gelecek olan artış olumsuz yönde etkilemektedir. Elde edilen verilere dayanarak ozon gazının, $A_F = \%60$ olan kumaş numunesinde maksimum beyazlık derecesi sağladığı söylenebilir. Ozonla işlem süresi 120 dakika olduğunda; A_F 'si $\%0$ olan kumaş ile çalışıldığında beyazlık derecesinde meydana gelen artış $\%6$ civarında iken, A_F 'si $\%60$ olan kumaş ile çalışıldığında bu oran $\%67,5$ seviyelerine çıkmaktadır (Şekil 6.11.). Yani $\%60$ 'lık beyazlık artışını elde edebilmek için A_F 'si $\%0$ olan kumaşla çok daha uzun işlem sürelerinde çalışmak yerine, $\%60$ A_F ile çok daha kısa işlem sürelerinde çalışılabilir. Ancak $\%60$ A_F 'den sonra, pamuklu mamullerde de

olduğu gibi, su ozonlama işlemi için olumsuz etki göstermeye başlamaktadır. Örneğin; ozonlama süresi 120 dakika ve A_F 'si %60 olan kumaş ile çalışıldığında elde edilen beyazlık derecesi artışı %67,5 olurken, A_F 'si %70 olan kumaş ile çalışıldığında bu değer %60,5, A_F 'si %100 olan kumaş ile çalışıldığında ise %44,5 olmaktadır (Şekil 6.11.).

Sonuç olarak, elde edilen veriler ışığında, optimum ozonlama etkisi sağlayabilmek için jüt mallarda %60 A_F değerinde çalışılmalıdır.

A_F değeri optimize edildikten sonra, ortam sıcaklığının ve jüt kumaşın sahip olduğu pH değerinin etkisi incelenmiştir. Bütün denemeler %60 A_F 'de ve 45 dakika süresince gerçekleştirilmiştir.

6.2.2 Ozonlama İşleminde Kumaşın Sahip Olduğu pH Değerinin Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi



Şekil 6.12. Ozonlama işleminde kumaşın sahip olduğu pH değerinin beyazlık derecesi üzerine etkisi (A_F = %60, Süre = 45 dak, Sıcaklık = 23-25⁰C)

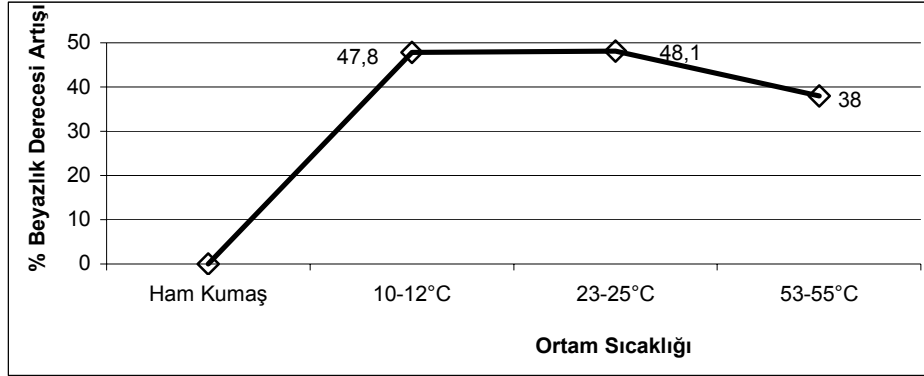
Kumaş pH'ının ozonlamaya etkisini incelemek amacıyla, numuneler pH değerleri 2-3; 6,5-7,5; 10-11 olan su ile emdirilmiştir. pH 2-3 tampon asit,

pH 10-11 ise Kostik yardımı ile ayarlanmıştır. 6,5-7,5 pH değerlerini elde etmek içinse her hangi bir yardımcı madde kullanılmamıştır.

Şekil 6.12’de de görüldüğü üzere; asidik pH değerine sahip numunelerin beyazlık derecesi artışları, nötr pH değerine sahip numuneninkine göre bir miktar daha iyi olmaktadır. Bazik pH değerine sahip numunenin ise beyazlık derecesindeki artış sınırlı kalmaktadır. Kostik ile pH değeri 10-11’e ayarlanan numunede meydana gelen beyazlık derecesi artışı %40 olurken, nötr pH değerine sahip numunede bu değer %51 olmakta, tampon asit ile pH değeri 2-3 yapılan numunenin beyazlık derecesi artışı ise %53’lere çıkmaktadır (Şekil 6.12.).

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, nötral veya asidik pH’da çalışmanın beyazlık derecesi artışını çok fazla etkilemediği dolayısıyla, her hangi bir yardımcı madde kullanımı gerektirmemesi açısından nötral pH ile çalışmanın avantajlı olacağı söylenebilir.

6.2.3 Ozonlama İşleminde Reaksiyonun Gerçekleştiği Ortam Sıcaklığının Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi



Şekil 6.13. Ozonlama işleminde reaksiyonun gerçekleştiği ortam sıcaklığının beyazlık derecesi üzerine etkisi ($A_F = \%60$, Süre = 45 dak, pH = 6,5-7,5)

Şekil 5.13'den de görüldüğü üzere, ozon sıcaklıktan olumsuz etkilenmekte, parçalanmaktadır. Dolayısıyla yüksek sıcaklıklarda çalışıldığında ozon çok kısa sürede parçalanmakta ve yeterli etki gösteremediği için beyazlık derecesinde yeterli artışa yol açamamaktadır.

50-52°C'de gerçekleştirilen ozonlama işlemi sonucunda elde edilen beyazlık derecesi artışı çok düşük olmaktadır. 50-52°C'de gerçekleştirilen ozonlama sonucu elde edilen beyazlık derecesi artışı yaklaşık %38 iken, ortam sıcaklığının oda sıcaklığına düşürülmesi ile bu değer %48'lere kadar çıkmaktadır. Gerçekleştirilen denemeler neticesinde 10-12°C'de gerçekleştirilen ozonlama işlemi ile oda sıcaklığında (23-25°C) gerçekleştirilen denemeler arasında beyazlık derecesi açısından önemli bir fark ortaya çıkmadığı görülmüştür. Bu nedenle bundan sonraki denemeler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

6.2.4 Ozonlama İşlemi ile Ham Jüt Dokuma Mamullerin Ağartılmasında Belirlenen Optimum Çalışma Koşulları

Ozon gazı ile ham jüt mamullerin ağartılmasında çalışma koşullarının optimizasyonu amacıyla ozonlama süresinin, kumaşın A_F değerinin, kumaş pH'ının ve ortam sıcaklığının mamulün beyazlık derecesine ne gibi etkileri olduğu incelenmiştir. Ortam sıcaklığındaki artışın ve kumaş pH'ının kuvvetli bazıya doğru kaymasının ozon ile muamelede olumsuz etkileri bulunduğu, beyazlık derecesindeki artışı sınırlandırdıkları tespit edilmiştir. Ozonlama süresi arttıkça elde edilen beyazlık derecesi artışında iyileşme olduğu görülmektedir. A_F değeri %60 olan kumaş numunesinde en iyi beyazlık derecesine ulaşılmıştır. Sonuç olarak yapılan denemeler neticesinde aşağıdaki optimum çalışma koşulları belirlenmiş olup, daha sonraki çalışmalar da bu koşullar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.2. Ozonlama işlemi ile ham jüt dokuma mamullerin ağartılmasında belirlenen optimum çalışma koşulları

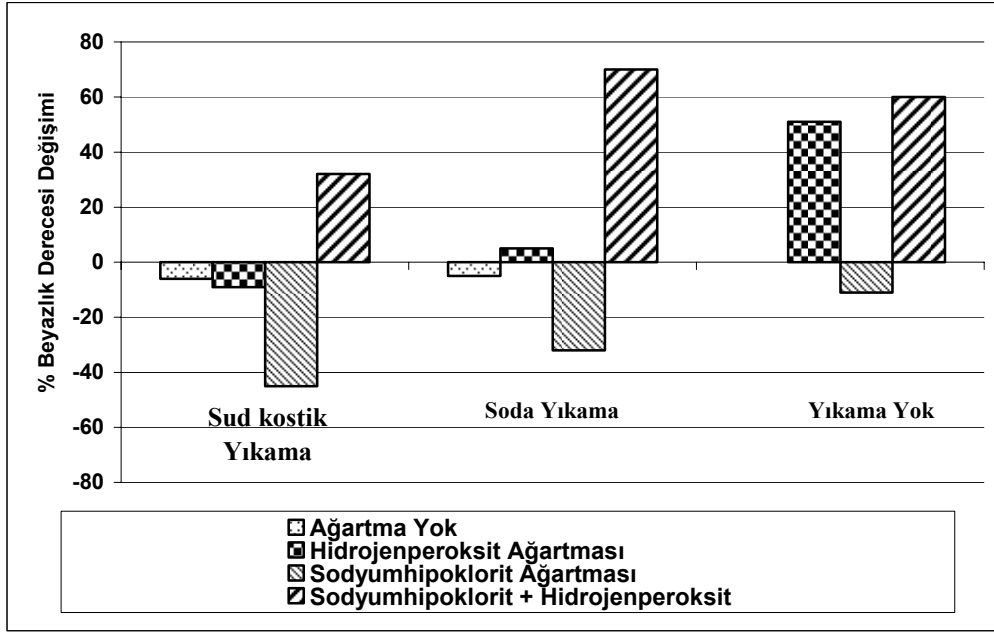
Kumaşın A_F Değeri	%60
Kumaş pH'ı	Nötr veya asidik
Reaksiyonun Gerçekleştiği Ortam Sıcaklığı	23-25 $^{\circ}\text{C}$
Ozonlama Süresi	İstenilen beyazlık derecesine bağlı
Sisteme Beslenen Ozon Gazı Konsantrasyonu	İstenilen beyazlık derecesine ve ozonlama süresine bağlı
Ozonlama Sonrası Durulama İşlemi	Sıcak su ile 5 dakika

6.2.5 Ozonla Ağartma Yönteminin Konvansiyonel Ağartma Yöntemleri ile Kıyaslanması

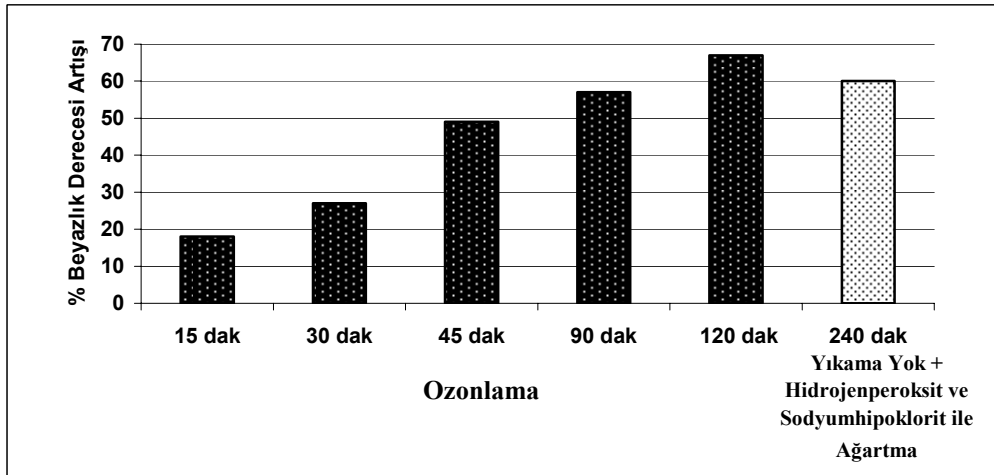
6.2.5.1 Beyazlık Derecesine Etkileri Açısından Konvansiyonel ve Ozon ile Ağartma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Ham jüt kumaşın yapısında pektin, lignin, hemiselüloz gibi maddeler bulunmakta olup bunların boya, baskı, bitim işlemleri gibi tekstil terbiye işlemlerinden önce kumaştan etkili bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Jüt kumaşların ağartılmasında bugüne kadar en çok uygulanan proses sırası şu şekildedir; alkali yıkama (sud kostik veya soda yıkama), hipoklorit ve sonrasında da hidrojenperoksit ile ağartma. Ancak bu proses akışı çok fazla işlem süresi gerektirmekte, çok fazla miktarda da su, enerji ve kimyasal madde tüketimine neden olmaktadır.

Artan çevre bilincinin etkisi ile birlikte araştırmacılar jüt ağartmacılığında yeni arayışlar içerisine girmiştir. Hipoklorit gibi zararlı kimyasalların kullanılmadığı, su ve enerji tüketiminin çok az miktarda gerçekleştiği yeni ağartma yöntemleri geliştirmeye çalışmaktadırlar. Hem ekolojik hem ekonomik açıdan gerçekleşmesi beklenen bu talepler, araştırmacıları, jüt mamullerin ozon gazı ile ağartılması olanaklarının araştırılması konusuna yoğunlaşmalarına neden olmaktadır.



Şekil 6.14. Konvansiyonel ağartma yöntemlerinde proses sırasının beyazlık derecesi üzerine etkisi



Şekil 6.15. Beyazlık derecesine etkileri açısından konvansiyonel ve ozon ile ağartma yöntemlerinin karşılaştırılması

Konvansiyonel ve ozon gazı ile ağartma yöntemlerinin beyazlık derecesi üzerine etkilerinin kıyaslanması için kumaşların beyazlık dereceleri değerlendirilmiştir.

Ağartma işleminden önce yıkama adımının uygulanıp uygulanmaması, hangi yıkama adımının uygulanacak oluşu mamulün beyazlık derecesi açısından önemli bir parametre olsa da, en önemli parametrenin uygulanan ağartma yöntemi olduğu görülmektedir (Şekil 6.14.).

Şekil 6.14'den de görüldüğü üzere soda ile yıkanan mamuller, sud kostik ile yıkanan mamullere kıyasla daha yüksek beyazlık derecesine sahip olmaktadır. Ham jüt kumaş soda ile yıkama işlemine alındığında beyazlık derecesinde %5'lik bir azalma meydana gelirken, sud kostik ile yıkamada bu azalış biraz daha artmakta, %6'ya ulaşmaktadır. Kombine ağartmalarda durum daha açık bir şekilde görülmektedir: soda ile yıkanan mamulün kombine ağartma sonrası beyazlık derecesi %70 artarken, sud kostik ile yıkanan mamullerde bu değere ulaşamamakta, sadece %32'lik bir artış elde edilebilmektedir. Yıkanmış mamullerin beyazlık dereceleri ölçüldükten sonra, sud kostik ile yıkama işleminin mamulün nüansına etkidiği, mamulün rengini kızılaştırdığı gözlemlenmiştir. Nüanstaki bu kaymanın beyazlık derecesini olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Yukarıda da bahsedildiği üzere ağartma prosesi tipinin, beyazlık derecesi üzerine çok büyük etkisi bulunmaktadır. Örneğin; sadece sodyumhipoklorit ağartması gerçekleştirildiğinde mamulün beyazlık derecesi yaklaşık olarak %11 civarında azalmaktadır. Ancak sodyumhipoklorit ağartmasından önce mamule soda ile yıkama uygulanırsa bu düşüş %11'den %32'ye, sud kostik yıkaması uygulanırsa %45'e ulaşmaktadır. Sodyumhipoklorit ağartması yerine hidrojenperoksit ağartması gerçekleştirildiğinde ise, beyazlık derecesi önemli ölçüde artmaktadır. Herhangi bir ön yıkama işlemi görmemiş mamul hidrojenperoksit ile ağartma işlemine tabi tutulursa beyazlık derecesinde %51'lik artış meydana gelirken, ağartma öncesi

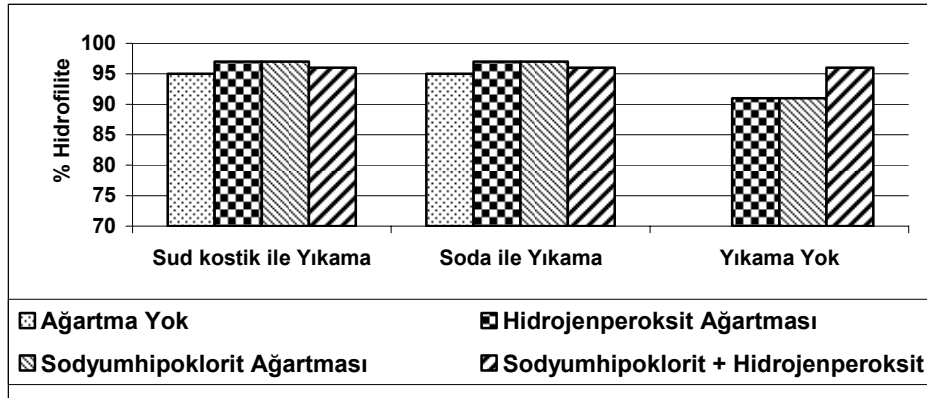
mamul soda ile yıkanırsa bu değer %5'e düşmekte, sud kostik ile yıkandığında ise %9 azalma meydana gelmektedir.

Şekil 6.14'den de görüldüğü üzere en yüksek beyazlık derecelerine sodyumhipoklorit ve hidrojenperoksit ağartmalarının kombine edilmesi ile ulaşılmaktadır. Kombine ağartmada beyazlık derecesinde meydana gelen artışı etkileyen parametre ön yıkama işleminin uygulanıp uygulanmaması ve uygulanan ön yıkama işleminin çeşididir. Kombine ağartma işleminden önce, ön yıkama işlemi görmemiş mamulün beyazlık derecesi %60 artarken, sud kostik ile yıkanan mamulün %32, soda ile yıkanan mamulün %70 artmaktadır. Sonuç olarak konvansiyonel ağartma teknikleri içerisinde en yüksek beyazlık derecesine sodyumhipokloritin ve hidrojenperoksitin kombine edilmesi ile ulaşılmaktadır. Mamulün ağartma işleminden önce ön yıkama işlemi görüp görmeyeceğinin kararı, müşteri beklentileri ve mamulün son kullanım yeri ile ilişkili olarak değişmektedir. Eğer mamulün beyazlık derecesi, kopma mukavemeti değerinden daha önemli ise ağartma öncesi mamul soda ile yıkanabilir. Bunun tam tersi durumda ise yani kopma mukavemetinin daha önemli olduğu durumlarda ise mamulün ağartma öncesi yıkanmaması tercih edilmelidir.

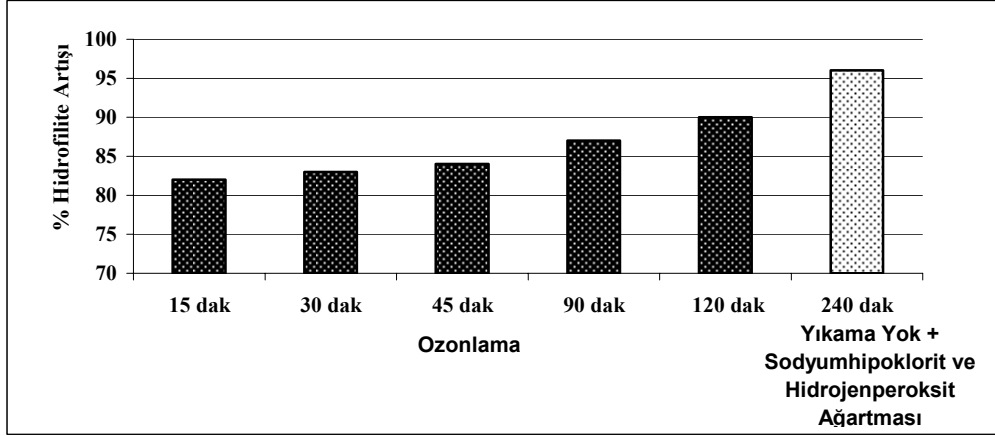
Konvansiyonel yöntemlerle elde edilen beyazlık derecelerinden daha iyi sonuçlar, ozonlama tekniğinin uygulanması ile elde edilmiştir. Şekil 6.15'de de görüldüğü üzere mamullerin beyazlık dereceleri ozonlama süresi ile orantılı olarak artmaktadır. 15 dakikalık ozonlama sonrası mamulün beyazlık derecesinde %18'lik artış meydana gelirken, süre sırasıyla 30, 45, 90,120 dakikaya çıkarıldığı bu değer de sırasıyla %27, %49, %57, %67 olmaktadır. 120 dakikalık bir ozonlama ile mamul, konvansiyonel yöntemlerle elde edilen beyazlık derecelerinden daha yüksek beyazlık derecesine sahip olmaktadır. 90 dakikalık ozonlama işlemine tabi tutulmuş kumaş ile, 240 dakikalık konvansiyonel ağartma işlemine tabi tutulmuş kumaş hemen hemen aynı

beyazlık derecesine sahip olmaktadır. Beyazlık derecesinin %67 arttırılması için mamulün 120 dakika ozonlanması yeterli olmaktadır. 120 dakikalık ozonlama sonrası iyi beyazlık derecesi artışı ve iyi hidrofilite derecesi elde edilirken, kopma mukavemeti kaybı çok yüksek olmaktadır. Ancak 90 dakikalık ozonlama sonrası %57'lik beyazlık derecesi artışı, kabul edilebilir sınırlar içerisinde hidrofilite değeri ve kopma mukavemeti kaybı elde edilmektedir. Dolayısıyla ozonlama süresi beklentilere bağlı olarak değiştirilmelidir. Sonuç olarak, konvansiyonel yöntemlerle, hemen hemen aynı beyazlık derecesi, hidrofilite ve kopma mukavemeti değeri 90 dakikalık ozonlama sonucu elde edilebilmektedir. Ozonlama işleminin daha fazla devam ettirilmesi, daha yüksek beyazlık ve hidrofilite derecesinin elde edilmesine ancak mukavemet kaybının daha da artmasına neden olmaktadır.

6.2.5.2 Hidrofilite Derecesine Etkileri Açısından Konvansiyonel ve Ozon ile Ağartma Yöntemlerinin Karşılaştırılması



Şekil 6.16. Konvansiyonel ağartma yöntemlerinde proses sırasının hidrofilite derecesi üzerine etkisi

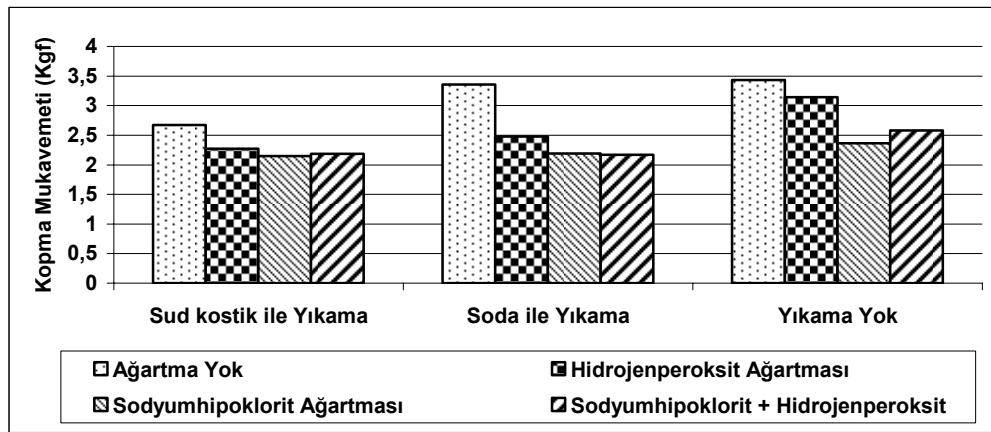


Şekil 6.17. Hidrofilite derecesine etkileri açısından konvansiyonel ve ozon ile ağartma yöntemlerinin karşılaştırılması

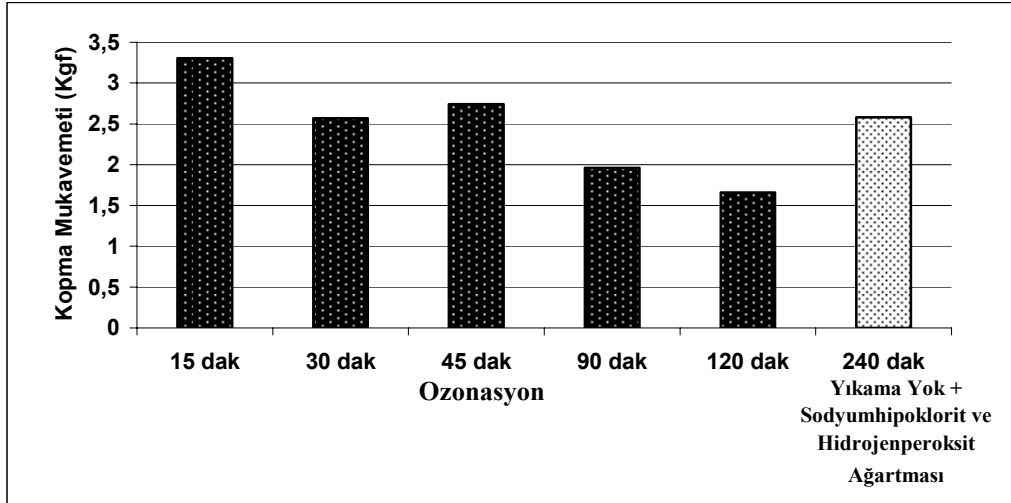
Ağartma işlemi öncesi sud kostik veya soda ile yıkama işlemi gören mamullerin, yıkanmamış mamullere göre daha yüksek hidrofilite değerine sahip oldukları görülmüştür (Şekil 6.16.). Şekil 6.16'da da görüldüğü üzere ağartma işlemi öncesi soda veya sud kostik ile yıkanan mamullerin hidrofilite değerleri %95 oranında artmaktadır. Yıkanmamış mamuller sodyumhipoklorit veya hidrojenperoksit ile ağartıldıklarında hidrofilite değerleri %91 oranında artarken, kombine ağartma işlemine tabi tutulduklarında bu değer %96'ya kadar yükselmektedir. Diğer bir deyişle, kombine ağartma uygulanacak ise, ön yıkamanın uygulanmış veya uygulanmamış olması, hangi ön yıkamanın uygulanmış olması, hidrofilite değeri açısından çok fazla önem arz etmemektedir. Mamullerin hidrofilite derecelerine ön yıkama tipinin etkisi incelenecek olursa, yıkama tipinin (sud kostik veya soda yıkama) önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Örneğin: soda ile yıkama sonrası kombine ağartma işlemine alınan mamulün hidrofilite değeri %96 artarken, ön yıkama sud kostik ile gerçekleştirildiğinde de bu değer değişmemektedir. Konvansiyonel yöntemler ile ozonlama sonrası elde edilen sonuçlar

kıyaslanacak olursa; 120 dakikalık bir ozonlama işlemi sonrası elde edilen hidrofilite değeri, konvansiyonel kombine ağartma sonrası elde edilen hidrofilite değerinden %6 daha düşük olmaktadır (Şekil 6.17.). Bu fark, ozonlama süresi 90 dakika olduğunda %9'a çıkmaktadır. Ozonlama süresinin 90 dakikadan 120 dakikaya çıkarılması beyazlık derecesi açısından çok fazla bir katkı sağlamasa da, hidrofilite derecesinde yarattığı etki göz önünde bulundurulmalıdır.

6.2.5.3 Kopma Mukavemeti Kaybına Etkileri Açısından Konvansiyonel ve Ozon ile Ağartma Yöntemlerinin Karşılaştırılması



Şekil 6.18. Konvansiyonel ağartma yöntemlerinde proses sırasının kopma mukavemeti kaybı üzerine etkisi



Şekil 6.19. Kopma mukavemeti kaybına etkileri açısından konvansiyonel ve ozon ile ağartma yöntemlerinin karşılaştırılması

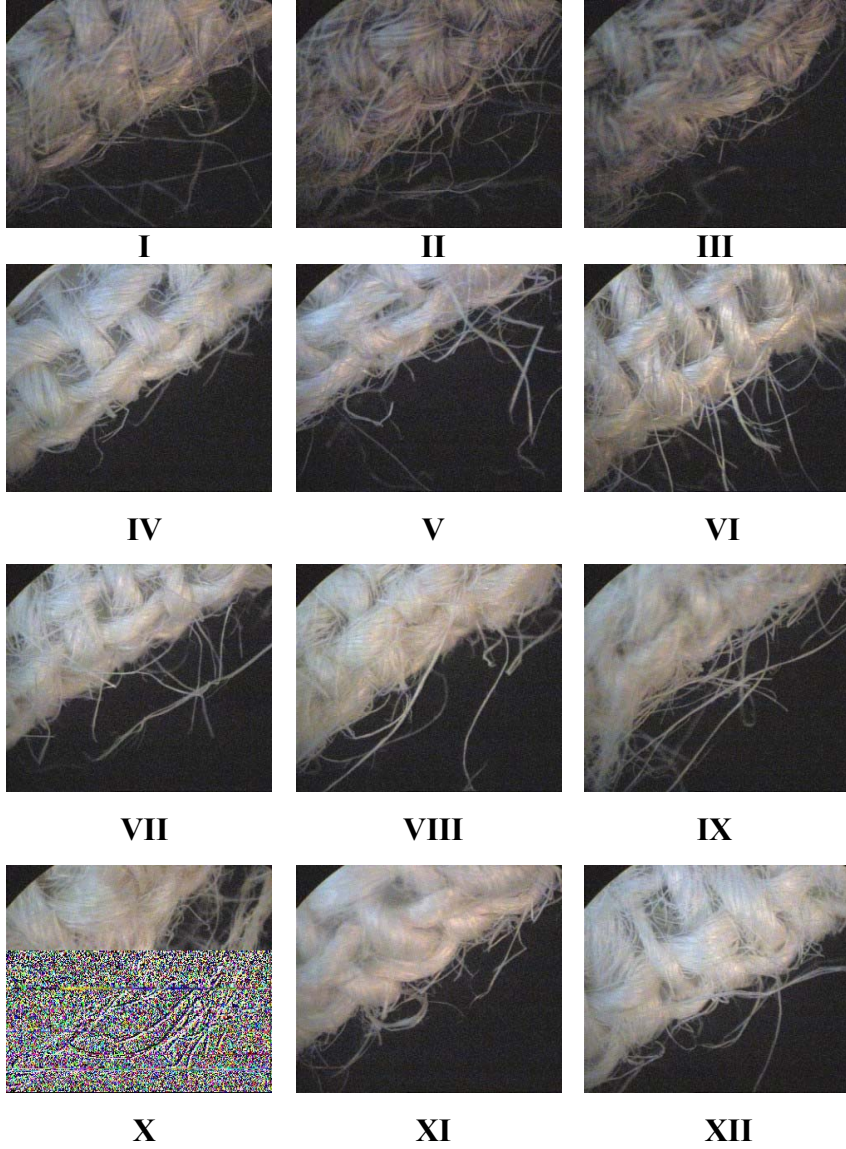
Konvansiyonel ağartma yöntemleri gerçekleştirildikten sonra mamullerin kopma mukavemetleri incelenmiş ve en yüksek kopma mukavemeti kayıplarının sud kostik ön yıkama işleminden sonra sodyumhipoklorit veya kombine ağartma uygulanan mamullerde ortaya çıktığı görülmüştür. Sud kostik yıkamasından sonra sodyumhipoklorit ile ağartılan mamullerde yaklaşık olarak %37'lik bir mukavemet kaybı gözlemlenmektedir. Şekil 6.18'den de görüldüğü üzere ön yıkama işlemi görmemiş mamullerin mukavemet kayıpları, ön yıkamaya tabi tutulmuş mamullere göre daha düşük olmaktadır. Örneğin: ham jüt kumaş sadece soda ile yıkandığında %2,5'luk bir mukavemet kaybına uğrarken, sud kostik ile yıkandığında ise %22'lik bir mukavemet kaybına uğramaktadır. Aynı şekilde ön yıkama işlemi görmemiş ham jüt kumaşa sadece hidrojenperoksit ağartması uygulandığında %8,5'luk mukavemet kaybı gözlenirken, sadece sodyumhipoklorit ağartması uygulandığında %31'lik mukavemet kaybı meydana gelmektedir. Sodyumhipoklorit ağartması yerine kombine ağartma

da uygulansa yine aynı mukavemet kaybı (%31) görülmektedir. Hidrojenperoksit ağartması, sodyumhipoklorit ile gerçekleştirilen ağartmaya kıyasla daha az mukavemet kaybına neden olmakta ancak elde edilen beyazlık derecesi de düşük olmaktadır. Kombine ağartma sonucu oluşan mukavemet kaybı sodyumhipoklorit ağartması sonucu oluşan kayıba kıyasla daha düşük olmakta, ayrıca daha yüksek beyazlık dereceleri de elde edilebilmektedir. İyi bir beyazlık derecesinin elde edildiği diğer bir proses de soda yıkamasından sonra kombine ağartmanın uygulandığı yöntemdir, ancak bu yöntem sonucunda elde edilen mukavemet kaybı ön yıkama yapılmadan gerçekleştirilen kombine ağartma sonucu elde edilene oranla daha yüksek olmaktadır.

Ozon ile ağartma tekniği incelendiğinde, kumaşın kopma mukavemetinde meydana gelen kaybın ozonlama süresi ile orantılı olarak arttığı görülmüştür (Şekil 6.19.). Örneğin: 15 dakikalık ozonlama sonrası ham kumaşın kopma mukavemetinde %11,5'luk bir artış meydana gelirken, ozonlama süresinin 120 dakikaya çıkarılması ile bu artış %58'e ulaşmaktadır. Ham jüt mamule ön yıkama işlemi uygulanmadan sadece kombine ağartma işlemi uygulandığında elde edilen mukavemet kaybı, 120 dakikalık ozonlama işlemi sonrası elde edilene kıyasla daha az olmakta ancak aynı zamanda beyazlık derecesinde de daha düşük bir artış görülmektedir. Ön yıkamasız kombine ağartma işlemi ile 90 dakikalık ozonlama işlemi sonrası hemen hemen aynı beyazlık derecesi elde edilmekte, ancak ozonlama işlemi sonrası elde edilen hidrofilite derecesi daha düşük olmaktadır. Dolayısıyla hidrofilitenin önemli olmadığı durumlarda 90 dakikalık ozonlama işlemi uygulanabilmektedir.

6.2.5.4 Yüzey Tüylülüğüne Etkileri Açısından Konvansiyonel ve Ozon ile Ağartma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Son olarak, işlemler sırasında kumaş yüzeyinde meydana gelen değişiklikleri belirlemek için mamullerin fotoğrafları çekilmiştir.





XIII

I: Ham Kumaş, **II:** Soda ile Yıkanmış Kumaş, **III:** Kostik-Soda ile Yıkanmış Kumaş, **IV:** Ozon ile Ağartılmış Kumaş, **V:** Hidrojenperoksit ile Ağartılmış Kumaş, **VI:** Sodyumhipoklorit ile Ağartılmış Kumaş, **VII:** Soda ile Yıkamadan Sonra Hidrojenperoksit ile Ağartılmış Kumaş, **VIII:** Kostik-Soda ile Yıkamadan Sonra Hidrojenperoksit ile Ağartılmış Kumaş, **IX:** Soda ile Yıkamadan Sonra Sodyumhipoklorit ile Ağartılmış Kumaş, **X:** Kostik-Soda ile Yıkamadan Sonra Sodyumhipoklorit ile Ağartılmış Kumaş, **XI:** Sodyumhipoklorit ve Hidrojenperoksit ile Ağartılmış Kumaş, **XII:** Soda ile Yıkamadan Sonra Sodyumhipoklorit ve Hidrojenperoksit ile Ağartılmış Kumaş, **XIII:** Kostik-Soda ile Yıkamadan Sonra Sodyumhipoklorit ve Hidrojenperoksit ile Ağartılmış Kumaş

Şekil 6.20. Konvansiyonel yöntemlerle ve ozon gazı ile ağartılan mamullerin yüzey görünümlerinin kıyaslanması

İşlemler esnasında mamul yüzeyinde meydana gelen tüylenmeyi daha net bir şekilde ortaya koymak için mamul ikiye katlandıktan sonra çapraz olarak fotoğrafı çekilmiştir. Şekil 6.20’de de görüldüğü gibi ön yıkama ve konvansiyonel ağartma işlemlerinden sonra mamul biraz tüylenmektedir. Konvansiyonel işlemlerin karakteristik bir özelliği olan tüylenmenin temel sebepleri: mekanik etki ve yaş işlem koşullarıdır. Ozonla işlemde mamul mekanik etkiye maruz kalmadığı ve sadece nemli bir şekilde işleme alındığı için, konvansiyonel yöntemler sonucu görülen tüylenme burada görülmemektedir. Dolayısıyla ozonla işlem sonrası daha düzgün bir yüzey görünümü elde edilmektedir.

Jüt mamullerin beyazlatılması için genelde hidrojenperoksit ile ağartma yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntem ile ligninin kimyasal yapısı değiştirilmekte ve mamul beyazlamaktadır. Lignini uzaklaştırmada kullanılan bir diğer kimyasal ise sodyumhipoklorittir, ancak mukavemette çok yüksek kayıplara neden olduğu ve çevre dostu olmadığı için yaygın olarak kullanılmamaktadır. Hidrojenperoksit ile ağartma çevre dostu bir işlemdir

ancak çok fazla enerji, kimyasal ve su tüketimi gerektirmektedir, dolayısıyla pahalı bir tekniktir (Stanley, A., 1996).

Ozonlama işlemi, konvansiyonel yöntemlere göre enerji, su ve kimyasal madde tasarrufu gibi birçok avantaja sahiptir. Elde edilen beyazlık derecesi ve mamul kalitesi açısından, konvansiyonel yöntemler ile ozonlama kıyaslanabilecek düzeydedir. Ozonlama sonrası elde edilen beyazlık derecesi, hidrojenperoksit ve kalsiyumhipoklorit ile işlem sonrası elde edilen değerlerden çok daha iyi olabilmektedir (Kundu, A.B. and Ghosh, B.S., Chakrabarti, S.K., Ghosh, B.L., 1991).

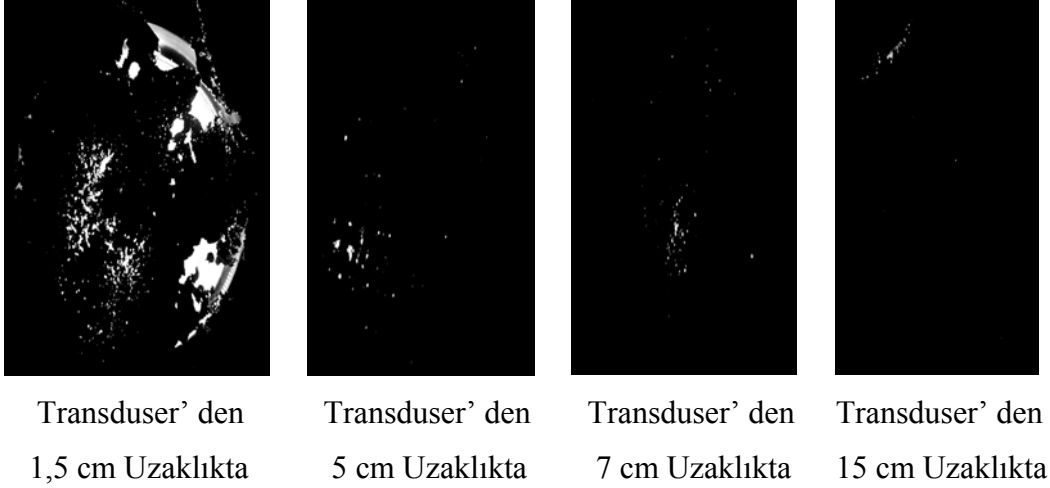
6.3 Ultrasonik Ortamdaki Optimum Çalışma Koşullarının Belirlenmesine Ait Denmeler

6.3.1 Ultrason Cihazı ile Çalışmada Materyal ve Transduser Arasındaki Optimum Mesafenin Belirlenmesi

Ultrason cihazında materyal ile transduser arasındaki mesafenin etkisini gözlemlemek için alüminyum folye ile optimum seviye tespiti çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Materyal olarak alüminyum folye tercih edilmesinin sebebi; ultrasonik ses dalgalarının yarattığı etkinin materyal üzerinde net bir şekilde görülmesidir. Ultrasonik ses dalgaları belirli bir mesafede ve sürede alüminyum folye üzerinde delikler meydana getirmektedir.

Denemeler esnasında alüminyum folye transduserden belli bir uzaklıkta ve transdusera yatay olarak yerleştirilip, etkinin gözlenmesi için 100 san. beklenmiştir. Aşağıdaki şekillerde de görüldüğü üzere, transdusera olan mesafeye bağlı olarak ultrasonik ses dalgalarının alüminyum folye üzerinde yarattığı etkiler farklı olmaktadır. Transdusera olan mesafe azaldıkça folye

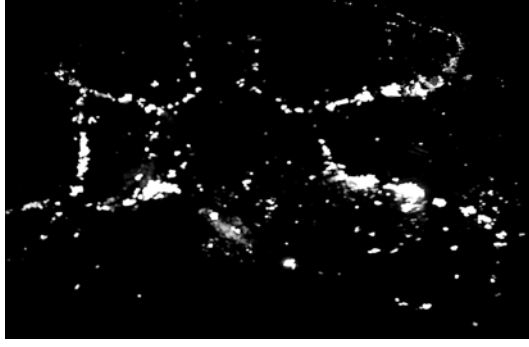
üzerinde meydana gelen delik sayısında bir artış gözlemlenmektedir. Buradan, materyal olarak alüminyum folye ile çalışıldığında en iyi etkinin, transdusere en yakın mesafede görüldüğü söylenebilmektedir.



Şekil 6.21. Transdusere olan mesafeye bağlı olarak ultrasonik enerjinin alüminyum folye üzerinde meydana getirdiği değişiklikler

6.3.2 Ultrason Cihazı ile Çalışmada Optimum Materyal Formunun Belirlenmesi

Terbiye işletmelerinde genel olarak konveyör bant üzerinde kumaş yığmal şeklinde çalışıldığı göz önüne alınarak bu şekilde sonuç alınıp alınamayacağı incelenmiştir. Ancak kumaş formuna sokulan alüminyum folyenin iç kısmına ses dalgalarının nüfuz etmediği, sadece yüzeyde yer alan keskin kırık bölgelerde aşınmaya yol açtığı belirlenmiştir. Böyle bir çalışmada homojen sonuç alınamayacağı düşünülerek silindirik geçiş sistemi benimsenmiştir.

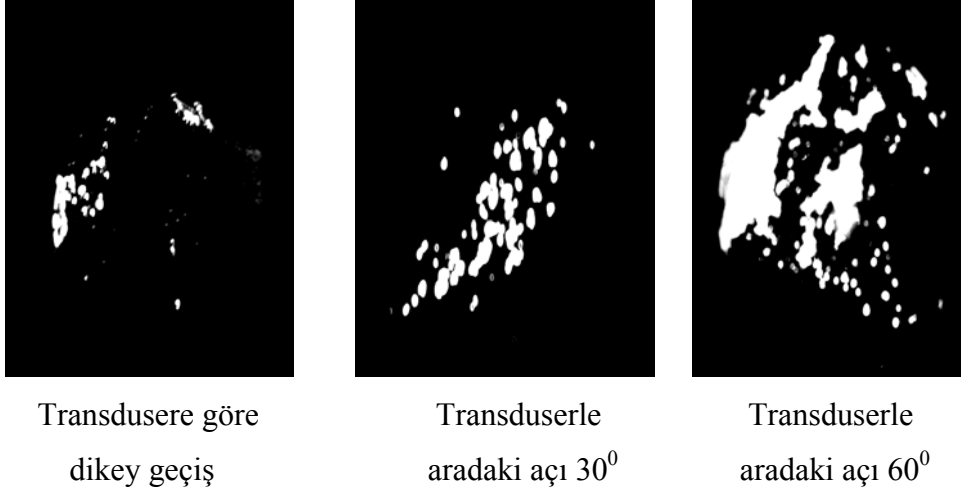


Şekil 6.22. Kumaş formuna sokularak ultrasonda 100 san. işleme tabii tutulan alüminyum folyeye ait fotoğraf

6.3.3 Ultrason Cihazı ile Çalışmada, Materyalin Banyodan Geçiş Esnasındaki Optimum Açının Belirlenmesi

Silindirli geçiş sisteminde ultrasonik ses dalgalarının yaratacağı etkiye, alüminyum folyenin geçiş şeklinin (transdusere göre yatay, dikey veya belli bir açı ile geçiş) etkisi incelenmiştir. Bu amaçla denemelerde alüminyum folye transdusere göre 0^0 (paralel), 90^0 (dikey), 30^0 ve 60^0 açılı olarak geçirilmiştir.

Aşağıdaki şekillerde de görüldüğü üzere en az etki dikey geçiş esnasında meydana gelirken, en fazla etki açılı geçişler esnasında (özellikle 60^0 açılı geçişte) meydana gelmektedir.



Şekil 6.23. Silindirli geçiş sisteminde ultrasonik ses dalgalarının yaratacağı etkiye, alüminyum folyenin geçiş şeklinin etkisi

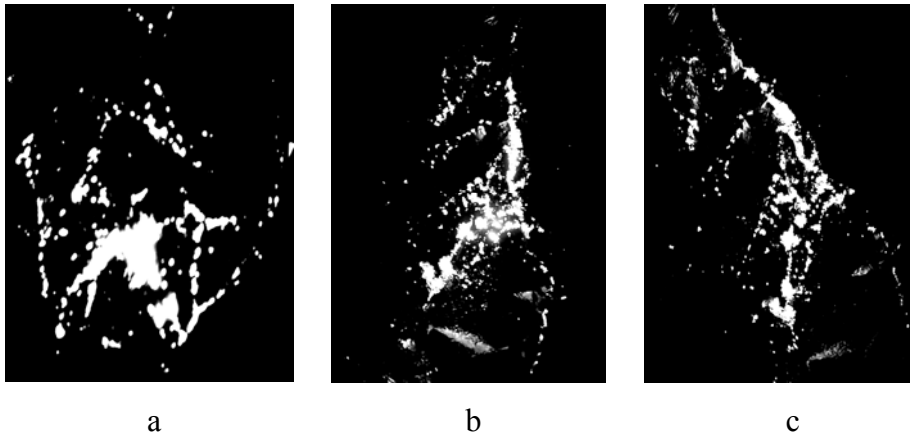
6.3.4 Ultrason Cihazı ile Çalışmada, Flottenin İçerisindeki Çözünmüş Gazların Uzaklaştırılma İşleminin Verimliliğe Etkisi

Sanayide hava aldırma olarak bilinen flottenin içerisindeki çözünmüş gazların ortamdan uzaklaştırılması işleminin etkisini gözlemlemek amacıyla da alüminyum folye ile çalışılmıştır. Bu amaçla üç farklı şekilde işlem gerçekleştirilmiştir;

- Alüminyum folye ultrason cihazına yerleştirildikten sonra 30 san’lik işleme tabii tutulmuştur.
- Ultrason cihazı 3 saat boyunca önden çalıştırılıp daha sonra alüminyum folye cihaza yerleştirilip 30 san’lik işleme tabii tutulmuştur.

- c. Karbondioksit gazı ile flotte içerisindeki çözünmüş oksijen gazı içeriği uzaklaştırıldıktan sonra, alüminyum folye cihaza yerleştirilip 30 san'lik işleme tabi tutulmuştur.

Aşağıdaki şekillerde de görüldüğü üzere flottenin havasını aldırma amacıyla gerçekleştirilen her üç işlem neticesinde de alüminyum folyeler üzerinde elde edilen etkiler benzer olmuştur. Hava aldırma denilen adımın, alüminyum folye ile gerçekleştirilen denemeler açısından, ultrasonik işlemlerdeki beklentilerimize cevap verecek kadar büyük bir farklılığa yol açmadığı sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 6.24. Ultrasonik işlemlerde hava aldırmanın etkisini alüminyum folye ile yapılan çalışmalarla belirleme

Ancak tekstil materyali ile çalışıldığında da aynı durum geçerlidir diyebilmek tam olarak doğru olmamaktadır. Her materyalin ultrasonik ses dalgalarını absorblama enerjisinin farklı olduğu düşünülürse, tekstil materyaline ait optimum seviye ve açı tespiti için farklı bir çalışma yapılması gerekmektedir.

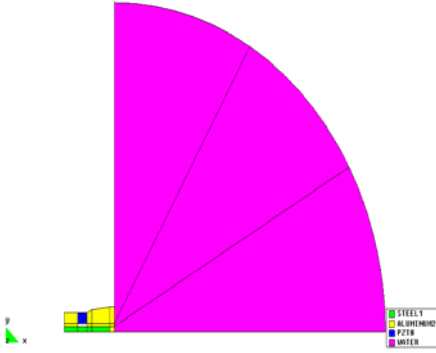
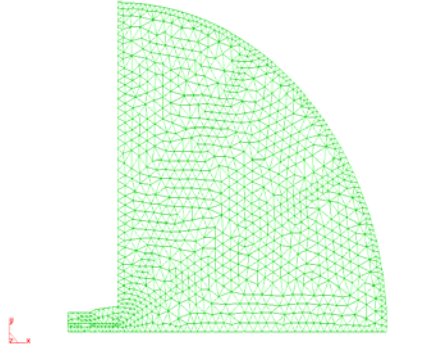
Tekstil materyalinde ultrasonik ses dalgalarının yarattığı etkiyi ölçebilmek için belirlenmiş bir kriter mevcut olmadığından, Anadolu Üniversitesinden Prof. Dr. Aydın Doğan desteğinde simülasyon çalışmaları yürütülmüştür. Bu simülasyon çalışmaları kapsamında; tekstil materyali ile transduser arasındaki optimum mesafenin ve açının tespiti, maksimum verim alınacak şekilde transduserlerin yerlerinin tespiti, tekstil materyalinin optimum geçiş açısının tespiti gibi parametreler incelenmiştir.

6.3.5 Ultrason Cihazı ile Çalışma Şartlarının Simülasyon Programı ile İncelenmesi

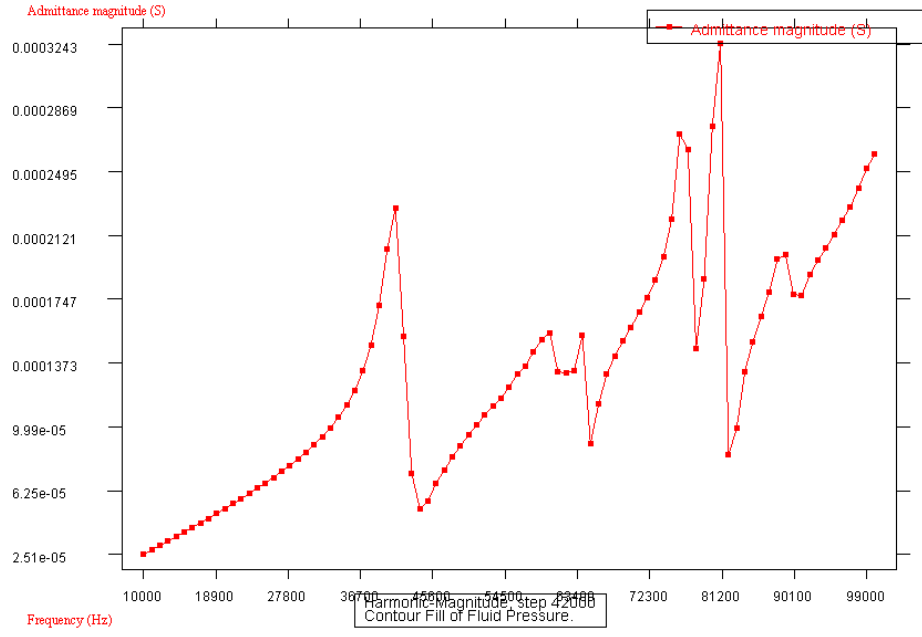
6.3.5.1 Ultrason Cihazında Kullanılan Transduserlerin Verimliliğinin En Yüksek Olduğu Frekansının Belirlenmesi

Sonlu elemanlar analizi çalışmalarının ilk aşamalarında ultrasonik kazanda kullanılan transduser iki boyutta su ortamında modellenmiştir. Bu analizle transduserin su ortamında yarattığı ses basınçlarının ve bu akustik dalgaların yönlendirmelerinin bulunması, verimliliğin en yüksek olduğu frekansın belirlenmesi ve de transduserler için oluşturulacak elektronik devredeki admitans değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Sonlu elemanlar analizi ile oluşturulan iki boyutlu model Şekil 6.25 ve Şekil 6.26’da görülmektedir. Şekil 6.25’de transdüser malzemeleri ve Şekil 6.26’da kurulan modelin örgü (mesh) yapısı gözükmemektedir. Transduserin eksensel simetriye sahip olması nedeniyle iki boyutlu ve yarı simetrisi alınarak modellenenilmektedir. Transduserin yanındaki yarı daire ise su ortamını temsil etmektedir. Transduser iki adet piezoelektrik seramik ring, eksensel şaft, alüminyum kuyruk ve baş kütlelerinden oluşmaktadır.

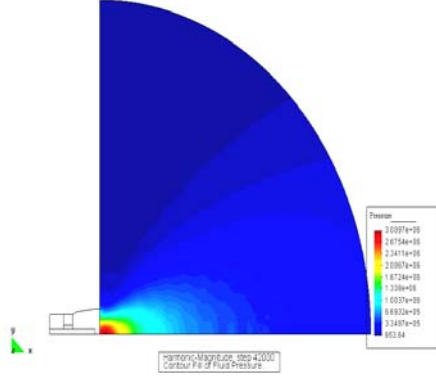
	
Şekil 6.25. Ultrasonik kazanda kullanılan tonpizl transduser iki boyutlu modellenmesi ve transduser ve ortam malzemeleri	Şekil 6.26. Ultrasonik kazanda kullanılan tonpizl transduser iki boyutlu modellenmesi ve örgülenmesi

Transduserin verimliğinin en yüksek olduğu frekansı bulmak için öncelikle harmonik analiz yapılmıştır. Böylece rezonans frekansları ve hangi frekanslarda transduserin en yüksek admitans değerlerini verdiği bulunmuştur (Şekil 6.27.). Transduser 42 kHz civarında maksimum verimde çalışmaktadır. Diğer bir önemli nokta ise transduserin 2. ve 3. modlarının ilk moduna yakın olması sebebiyle verimlilikte ilk mod sonrası ani bir düşüş gözlemlenmektedir. Bu yüzden kazan içerisinde transduserler ilk modda çalıştırılırken transduserlerin ilk mod frekansları mutlak olarak birbirine yakın hatta aynı olmalıdır. Üretimden doğacak ilk rezonans modlarındaki farklılık kazan içerisinde güç düşmelerine sebep olacaktır. Bu analizle aynı zamanda transduserler için elektronik devre optimizasyonunda kullanılacak admitans değerleri de bulunmuştur.

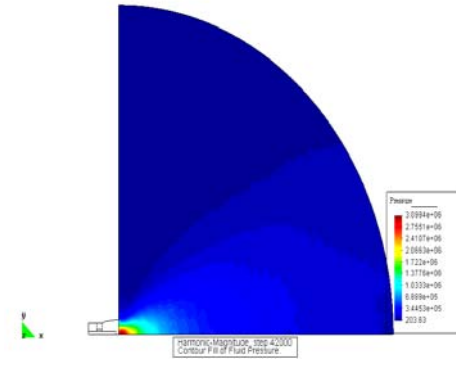


Şekil 6.27. Ultrasonik kazanda kullanılan tonpilz transduserin frekansa bağlı admitans değerleri

Şekil 6.28, 30 cm ve Şekil 5.29, 50 cm yarıçapa sahip su ortamında (kazan içerisinde) ultrasonik ses dalgalarının şiddetini, yönlenmelerini ve dağılımlarını göstermektedir. Transdusere dik mesafedeki akustik dalgaların şiddeti yanal dalgalara oranla daha yüksek olmaktadır. Bu grafikler transduserlerin optimum dizilimi ve kazan boyutlarının optimizasyonu konusunda ilk bilgileri vermektedir.

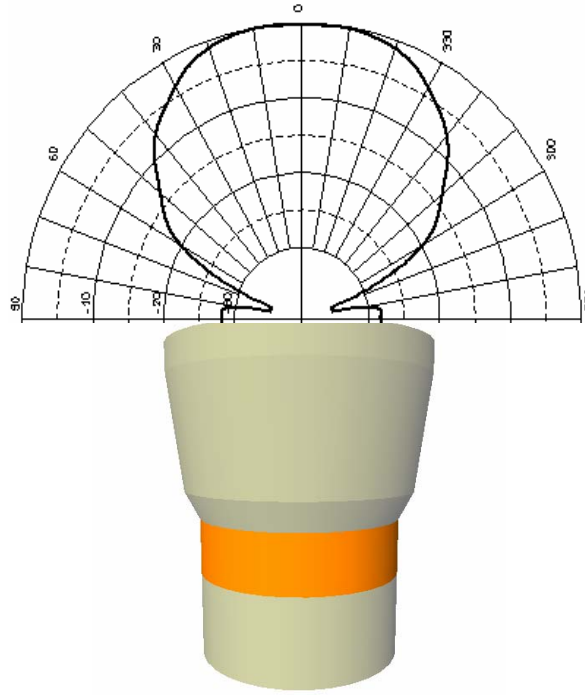


Şekil 6.28. Ultrasonik kazanda kullanılan tonpilz tranduserin 30 cm yarıçaplı kazanda oluşturduğu ultrasonik ses dalgalarının basınçsal şiddetleri (basınç değerleri paskal cinsindendir)



Şekil 6.29. Ultrasonik kazanda kullanılan tonpilz tranduserin 50 cm yarıçaplı kazanda oluşturduğu ultrasonik ses dalgalarının basınçsal şiddetleri (basınç değerleri paskal cinsindendir)

Şekil 6.30'da ise ses dalgalarının açısal dağılımları görülmektedir. Transduser kartioid şeklinde ses dalgaları yaymaktadır. Kartioid şeklindeki dalgalarda yanal yayılımlar zayıf olmaktadır. Transduserlerin kazan içindeki dizilimlerinde ve birbirleri ile mesafelerinde yönlenme paternlerinden yararlanılacaktır.



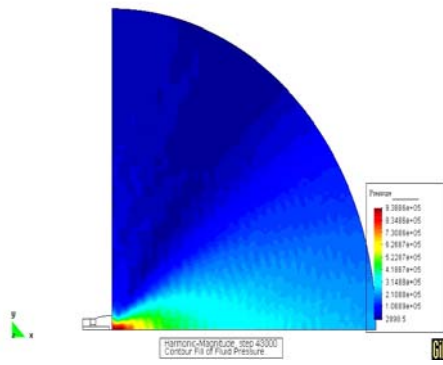
Şekil 6.30 Ultrasonik kazanda kullanılan tonpilz transduserin akustik yönlenme paterni

6.3.5.2 Ultrason Cihazında Yer Alan Transduserler Arasındaki Mesafenin Ultrasonik Enerjiye Etkisi

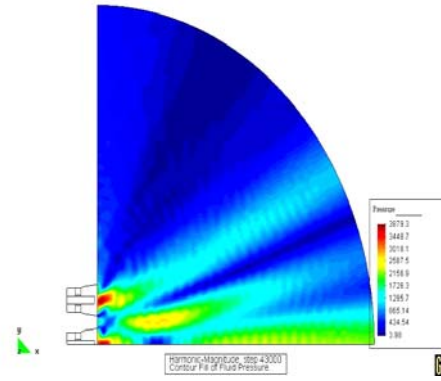
Kazan içerisinde kullanılacak transduser sayısını ve transduserler arasındaki mesafeyi belirlemek amacı ile transduserler seriler halinde kazan içerisine yerleştirilmiştir ve elde edilen sonuçlar aşağıda Şekil 6.31-6.40 arasında belirtilmiştir.

Kazan içerisine iki transduser yerleştirilerek aralarındaki mesafe artırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Su altında yaratılan ses basıncı değerleri transduserler rezonans modlarında çalışırken elde edilmiştir. Çalışma esnasında önemli olan kazanda ultrasonik gücün zayıf (mavi bölgeler) ve güçlü olduğu (kırmızı bölgeler) bölgelerin belirlenmesi ve homojenlik ve güç açısından optimum değerlerin yakalanmasıdır.

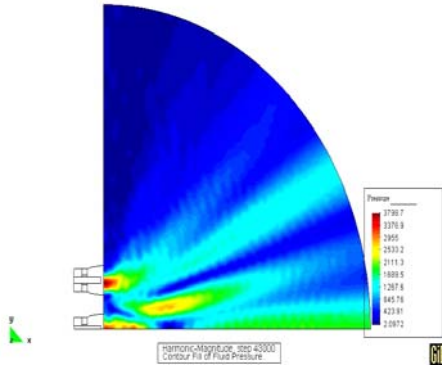
Değerlendirilme yapıldığında ultrasonik basıncın optimum güçte en iyi yayılımları 40-60 mm arasında elde edilmektedir. 60 mm den sonra hem güç değerleri düşmekte hem de ultrasonik dalganın homojen dağılımı azalmaktadır.



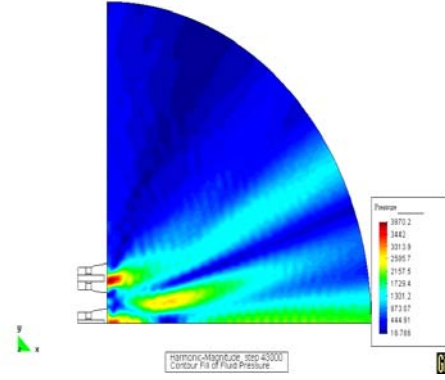
Şekil 6.31. Kazanda tek bir transduserin yarattığı ultrasonik ses basıncı



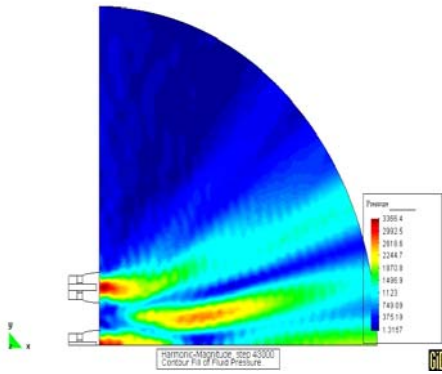
Şekil 6.32. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 20 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç



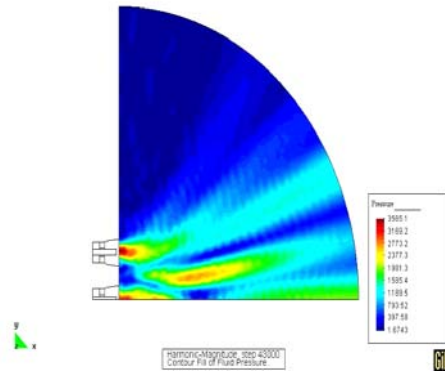
Şekil 6.33. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 30 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç



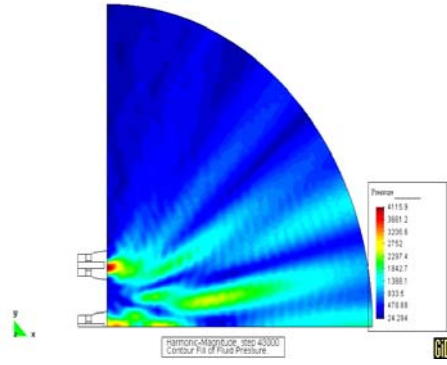
Şekil 6.34. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 35 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç



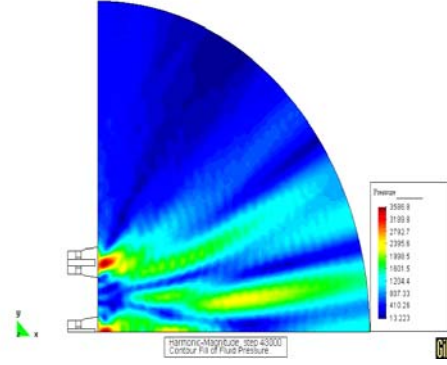
Şekil 6.35. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 40 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç



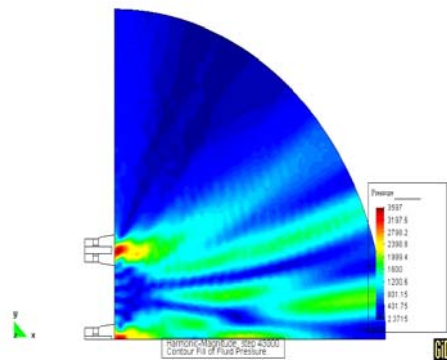
Şekil 6.36. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 45 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç



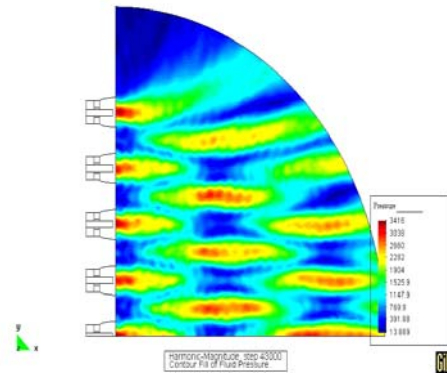
Şekil 6.37. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 50 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç



Şekil 6.38. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 60 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç



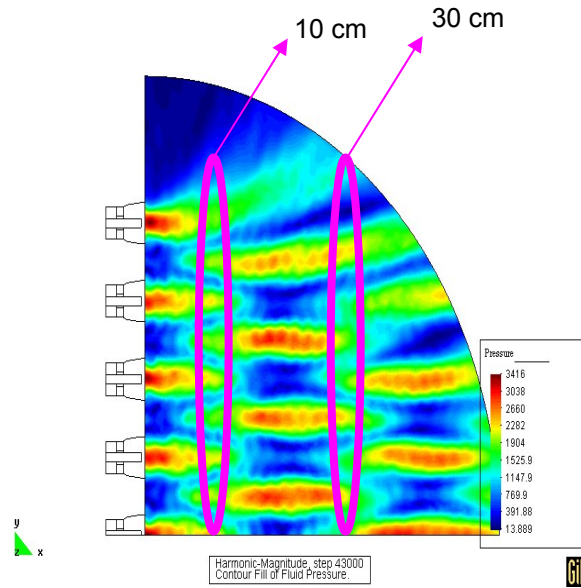
Şekil 6.39. Kazanda çift transduserin aralarındaki mesafe 90 mm olacak şekilde yerleşimiyle oluşan ultrasonik basınç



Şekil 6.40. Kazan tabanının araları 40 mm olan transduserlerle doldurulduğunda oluşan ultrasonik basınç

6.3.5.3 Ultrason Cihazında Yer Alan Transduserler ile Materyal Arasındaki Mesafenin Ultrasonik Enerjiye Etkisi

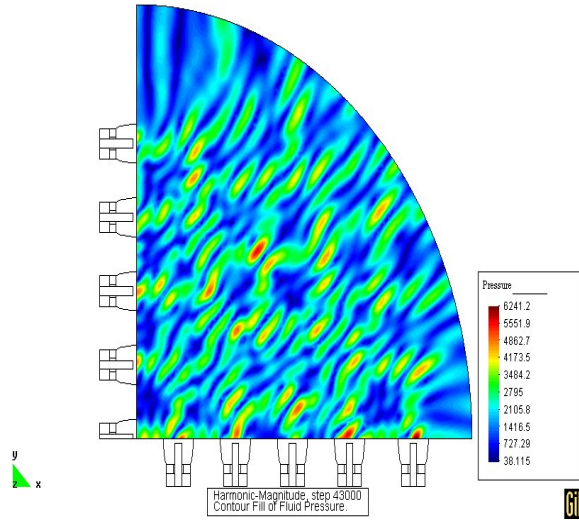
Kazan tabanının araları 40 mm olan transduserlerle doldurulduğunda oluşan ultrasonik basınç Şekil 6.41’de verilmiştir. Transduserler kazan yüksekliğinden 3 ayrı uzaklıkta maksimum bölgeler oluşturmaktadırlar. Fakat bu bölgeler arasında ultrasonik gücün çok düşük olduğu bölgelerde mevcuttur. Bu yüzden tekstil materyalinin ultrasonik güç alanlarının birleştirildiği bölgelerden geçirilmesi homojenlik açısından önemli olmaktadır. Tekstil materyalinin bulunması gereken bölgeler ve uzaklıkları Şekil 6.42’de verilmiştir. Bu analizlere göre eğer transduserler kazan dibine 40-60 mm arasındaki aralıklarla yerleştirilirse optimum homojenlik ve ultrasonik güç uygulaması eldesi için tekstil materyali kazan tabanından 100 mm veya 300 mm yükseklikten geçirilmelidir.



Şekil 6.41. Tekstil materyalinin kazan tabanına olan yüksekliğinin belirlenmesi

6.3.5.4 Ultrason Cihazının Tabanında Yer Alan Transduserler **Yanı Sıra Kazan Yan Yüzlerine Yerleştirilecek Olan** **Transduserlerin Ultrasonik Enerjiye Etkisi**

Şekil 6.42’de kazanda yan yüzeye boylamasına yerleştirilen transduserlerin ultrasonik kazanda etkileri verilmiştir. Ultrasonik dalgalar dairesel şekilde yayılırken her iki taraftan gelen dalgalar birbirlerini kesmektedirler. Bu kesmeler esnasında ultrasonik dalgalar birbirini sönmölemek ve kazan iççerisinde bir çok ölü bölge oluşmaktadır. Bu yüzden bu aşamada yan kısımlarda transduser kullanımı tavsiye edilmemektedir.



Şekil 6.42. Kazanın alt tabanında ve yan tarafında transduser kullanımı

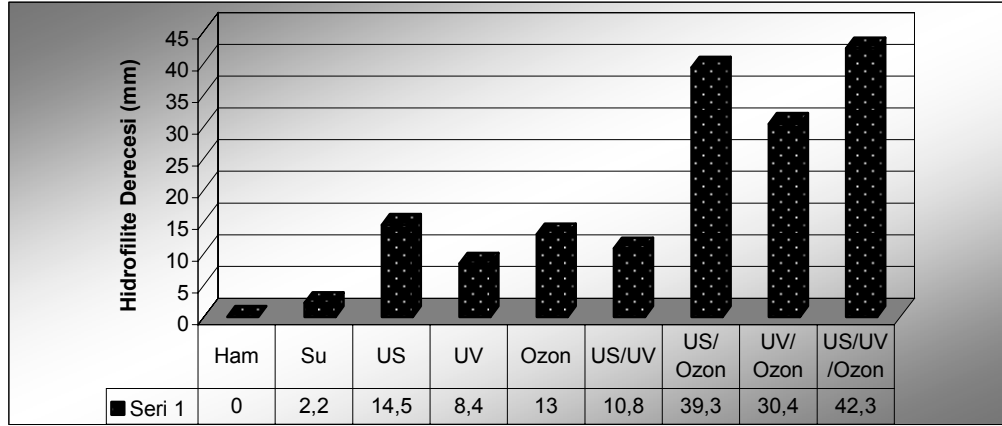
6.4 Prototip US/UV/Ozon Kombinasyonlu Kontinü Terbiye Makinesinde Gerçekleştirilen Denemeler

Prototip US/UV/Ozon kombinasyonlu kontinü terbiye makinesinde gerçekleştirilen denemeler kapsamında, bir tekstil mamulünün ön terbiyesinin, ekolojik olarak gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Buradan hareketle, sadece 65°C’de sıcaklığında su bulunan ortamda, ham dokuma kumaşa belirli süreler ultrason enerjisi, ultraviyole ışığı ve ozon gerek tek başına ve gerekse de kombine edilerek uygulanmış olup bu süre sonunda elde edilen beyazlık dereceleri, hidrofilite ve haşıl sökme dereceleri ile atkı/çözümlü sıklıkları ile mukavemet kayıpları incelenmiştir.

Çizelge 6.3. Sadece sulu ortamda, ultrason/ultraviyole/ozon teknolojileri uygulanan ham dokuma kumaşa ait hidrofilite (mm), beyazlık derecesi (stensby), haşıl sökme derecesi, mukavemet değerleri ve atkı/çözümlü sıklıkları

Kumaş Tipi	Geçiş Hızı	Banyo Sıcaklığı	US	UV	Ozon	Hidrofilite (mm)	Beyazlık Derecesi (Stensby)	Haşıl Sökme Derecesi	Sıklık (tel/cm)		Mukavemet (kgf)
									A	Ç	
HAM KUMAŞ	1 m/saat	-	-	-	-	0	51,38	1	21	23	0,3034
		65°C	-	-	-	2,2	51,32	1	22	24	0,3031
		65°C	+	-	-	14,5	51,37	1	22	24	0,29641
		65°C	-	+	-	8,4	59,76	1	23	24	0,29033
		65°C	-	-	+	13	59,09	1	23	24	0,28472
		65°C	+	+	-	11,8	61,43	1,5	22	23	0,2742
		65°C	+	-	+	39,3	64,81	1,5	23	24	0,260057
		65°C	-	+	+	30,4	69,44	2	23	23	0,25206
		65°C	+	+	+	42,3	69,33	2	23	24	0,231425

6.4.1 Ultrason, Ultraviyole ve Ozonun Tekstil Materyalinin Hidrofilite Derecesi Üzerine Etkisi

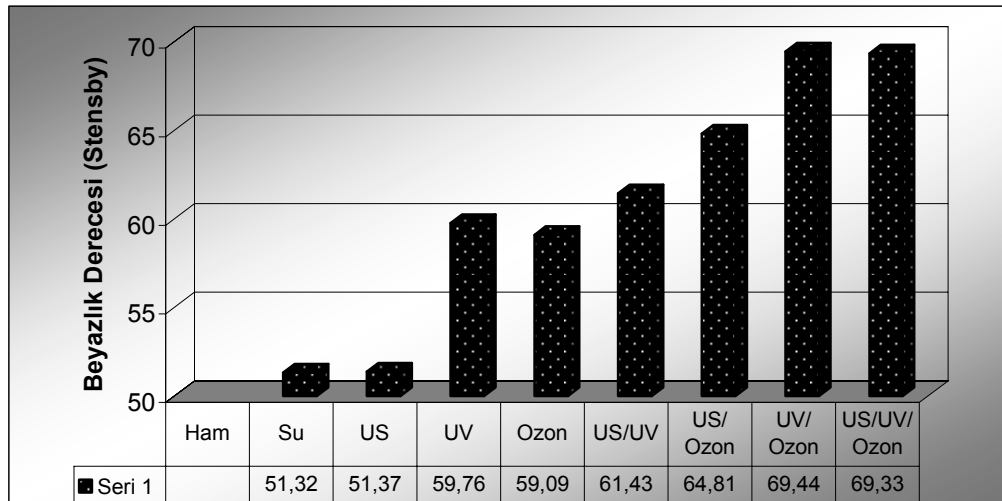


Şekil 6.43. Ultrason, ultraviyole ve ozonun tekstil materyalinin hidrofilite derecesi üzerine etkisi

Şekil 6.43’den de görüldüğü üzere her bir yeni teknoloji (ultrason, ultraviyole, ozon) tekstil materyalinin hidrofilite değerini az veya çok etkilemektedir. Tekstil materyali, hiçbir yeni teknoloji kullanılmadan, sadece 65⁰C sıcaklığındaki sudan 1 m/sa hızla geçirildiğinde elde edilen hidrofilite değeri 2,2 mm iken, aynı ortama ultrason enerjisi uygulandığında ise bu değer 14,5 mm, ultraviyole enerjisi uygulandığında ise 8,4 mm olmaktadır. %60 A_F değerine sahip tekstil materyalimizi ozonlama işlemine tabi tuttuğumuzda ise elde edilen değer 13 mm olmaktadır. Ultrason, ultraviyole ve ozonun bireysel olarak etkileri incelendiğinde, en iyi hidrofilite derecesinin ultrason enerjisi varlığında gerçekleştirilen işlem sonrası elde edildiği görülmüştür. 14,5 mm olan bu değeri, 13 mm değeri ile ozonlama işlemi izlemektedir. Hidrofilite derecesi açısından, tek başına ultraviyole enerjisinin, tekstil materyaline fazla bir şey kattığı söylenememektedir. Yeni

teknolojilerin ikili kombinasyonlarına bakılacak olunursa; en iyi hidrofilite değerin (39,3 mm) ozon/ultrason kombinasyonu ile elde edildiği görülmüştür. Ozon/UV kombinasyonu sonucu 30,4 mm, US/UV kombinasyonu sonucu ise 10,8 mm hidrofilite değerlerine ulaşılmaktadır. Yeni teknolojilerin üçünün bir arada kullanılması ile elde edilen hidrofilite derecesi 42,3 mm'ye kadar yükselmektedir. Sonuç olarak; tekstil materyalinin hidrofilitesini en fazla arttıran ultrason teknolojisi iken, kombinasyonlarda ultrasonun yanı sıra ozon teknolojisinin de hidrofilite açısından büyük önem taşıdığı görülmektedir.

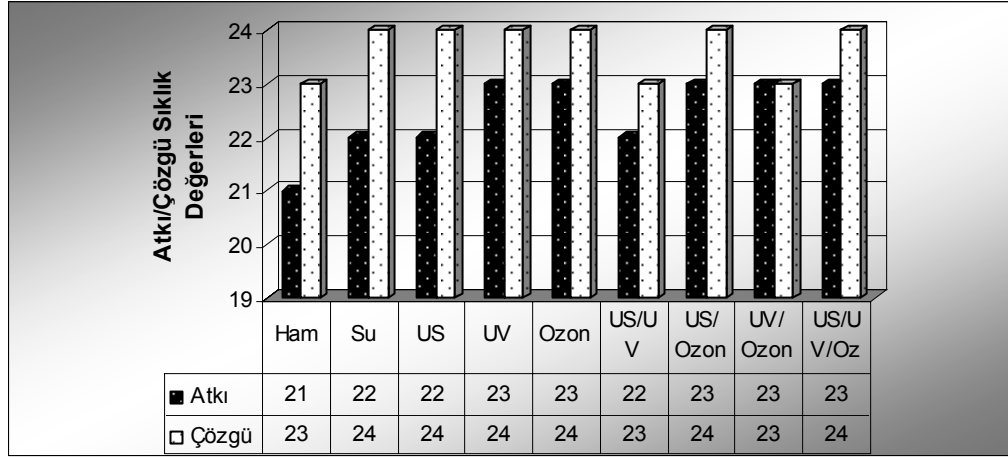
6.4.2 Ultrason, Ultraviyole ve Ozonun Tekstil Materyalinin Beyazlık Derecesi Üzerine Etkisi



Şekil 6.44. Ultrason, ultraviyole ve ozonun tekstil materyalinin beyazlık derecesi üzerine etkisi

Ultrason, ultraviyole, ozon teknolojilerinin her biri beyazlık derecesini az veya çok olumlu yönde etkilemektedir. Ham tekstil materyalinin 51 olan beyazlık derecesi, kumaş sadece 65⁰C sıcaklığındaki sudan 1 m/sa hızla geçirildiğinde de değişmemektedir. Şekil 6.44'den de görüldüğü üzere ultrason teknolojisi, tekstil materyalinin beyazlık derecesinde her hangi bir değişim yaratmaz iken ultraviyole ve ozon teknolojileri beyazlık derecesini arttırıcı yönde etki etmektedir. Tek başına ultrason enerjisi uygulandığında elde edilen beyazlık derecesi yaklaşık 51 iken, bu değer tek başına ultraviyole uygulandığında 59,7, ozon uygulandığında ise 59 olmaktadır. Beyazlık derecesi açısından ultrasonun, ultraviyolenin ve ozonun bireysel olarak etkileri incelendiğinde, en iyi sonucun ozonla işlem sonrası elde edildiği görülmüştür. Sağladığı etki açısından ozonla işlemi, ultraviyole ile işlem takip etmektedir. Tek başına ultrason enerjisinin, tekstil materyaline beyazlık derecesi açısından fazla bir şey kattığı söylenememektedir. Yeni teknolojilerin ikili kombinasyonlarına bakılacak olunursa; en iyi beyazlık değerinin (69,4) ozon/ultraviyole kombinasyonu ile elde edildiği görülmüştür. Gerek bireysel gerek kombine etkilerde ozonlama işleminin beyazlık derecesini önemli derecede arttırdığı görülmüştür. Yeni teknolojilerin üçünün bir arada kullanılması ile elde edilen beyazlık derecesi (69,3) ise ozon/ultraviyole kombinasyonu ile elde edilen değerle hemen hemen aynı olmaktadır. Sonuç olarak, tekstil materyalinin beyazlık derecesini arttırması açısından ultraviyolenin ve ozonun önemli rol oynadığı ancak ultrasonun önemli bir katkısının olmadığı söylenebilir.

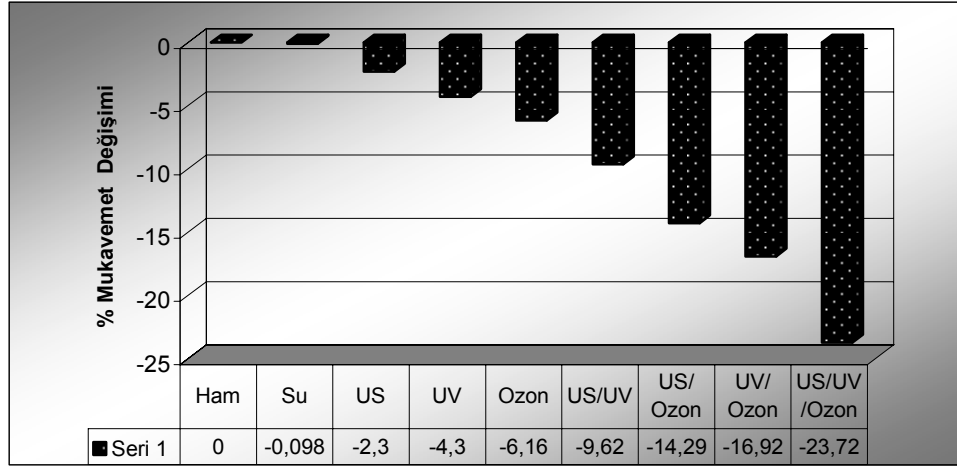
6.4.3 Ultrason, Ultraviyole ve Ozonun Tekstil Materyalinin Atkı/Çözü Sıklık Değerleri Üzerine Etkisi



Şekil 6.45. Ultrason, ultraviyole ve ozonun tekstil materyalinin atkı/çözgü sıklık değeri üzerine etkisi

Şekil 6.45’den de görüldüğü üzere, ham kumaşın 21 tel/cm olan atkı ve 23 tel/cm olan çözgü sıklıkları, ultrason, ozon, ultraviyole ile işlem sonrası değişmekte, genel olarak artmaktadır. Ham kumaşın 65⁰C sıcaklığındaki sudan geçirilmesi sonucu elde edilen sıklık değerleri, ultrason ile işlem sonrası elde edilen değerlerle aynı olmaktadır. Genel itibari ile ozon ile işlemin kumaş sıklığını arttırıcı yönde etkisi olduğu düşünülebilir. Ancak yapılan denemeler neticesinde sıklığı asıl etkileyen faktörün ozonlama işleminden ziyade, işlem sonrası gerçekleştirilen ılık durulama işlemi olduğu bulunmuştur. Elde edilen sonuçlardan hareketle sıklık değerlerini en fazla etkileyen işlemin, ozonlama, daha sonra ultraviyole ve son olarak da ultrason ile işlem olduğu söylenebilir. Sonuç olarak, işlemler neticesinde genel olarak, atkı ve çözgü yönünde 1-2 tel/cm’lik artış meydana gelmektedir.

6.4.4 Ultrason, Ultraviyole ve Ozonun Tekstil Materyalinin Mukavemet Değeri Üzerine Etkisi



Şekil 6.46. Ultrason, ultraviyole ve ozonun tekstil materyalinin mukavemet değeri üzerine etkisi

Ultrason, ultraviyole, ozon teknolojilerinin her biri beyazlık ve hidrofilite derecesini az veya çok olumlu yönde etkilerken mukavemette de az veya çok kayıplara yol açmaktadır. Ham tekstil materyalinin 0,3034 kgf olan mukavemet değeri, kumaş sadece 65⁰C sıcaklığındaki sudan 1 m/sa hızla geçirildiğinde de değişmemekte, 0,3031 kgf olmaktadır. Şekil 6.46'dan da görüldüğü üzere ultrason teknolojisi, tekstil materyalinin mukavemet değerinde yaklaşık %2'lik bir kayba neden olurken, ultraviyole ve ozon teknolojileri mukavemet kaybını daha da arttırıcı yönde etki etmektedir. Tek başına ultraviyole enerjisi uygulandığında elde edilen mukavemet kaybı yaklaşık %4 iken tek başına ozonlama işlemi uygulandığında ise bu değer %6'lara ulaşmaktadır. Mukavemet kaybı açısından ultrasonun, ultraviyolenin

ve ozonun bireysel olarak etkileri incelendiğinde, en az kaybın ultrasonla işlem sonrası, en yüksek kaybın ise ozonla işlem sonrası elde edildiği görülmüştür. Yeni teknolojilerin ikili kombinasyonlarına bakacak olursak; en az mukavemet kaybının (%9,6) ultrason/ultraviyole kombinasyonu, en fazla kaybın (%16,9) ise ultraviyole/ozon kombinasyonu sonucu elde edildiği görülmüştür. Gerek bireysel gerek kombine etkilerde ozonlama işleminin mukavemet kaybını önemli derecede arttırdığı gözlemlenmiştir. Yeni teknolojilerin üçünün bir arada kullanılması ile elde edilen mukavemet kaybı ise maksimum olmakta, değer %23,7'lere ulaşmaktadır. Sonuç olarak, tekstil materyalinin mukavemet değeri açısından ultrasonun önemli bir değişikliğe neden olmadığı ancak ultraviyole ve ozonun mukavemet kaybını önemli derecede arttırdığı söylenebilir.

7. SONUÇLAR

Gittikçe kızışan günümüz rekabet koşullarında, artık yalnızca daha ucuza üretmek değil çevreye daha az zarar vererek daha az kirleterek kirlettiğini tekrar kullanarak ve en son olarak da kirlettiğini temizleyerek üretmek önem kazanmaktadır. Bu gün için artık AB’ de IPPC kapsamında üretim yapan firmaların üretim faaliyetleri direk kontrol altında tutulmakta ve firmalara daha az çevreyi kirletecekleri üretim koşulları gösterilmekte ve bu koşullara adapte olmaları istenmektedir. Aday olan ülkelerin de adaylık süreçlerinde gerçekleştirmeleri gereken AB çevre müktesebatı özellikle sektörümüz için zorlayıcıdır. Çevreye duyarlı üretimin önem kazandığı günümüzde ise çevre dostu teknolojilerin kullanımı ve uygulama olanakları araştırılmaktadır. Bu amaçla bu tez çalışmasında çevre dostu **ozon gazının**, **ultraviyole ışığının** ve **ultrason enerjisinin** tekstil ön terbiye işlemlerindeki kullanım olanakları araştırılmıştır.

Yukarıda belirtilen beklentileri karşılamak amacıyla, pamuklu mamuller artık günümüzde ozon, ozon-ultraviyole ve enzim gibi çevre dostu teknolojilerle ağartılmaktadır (Prabaharan, M., Chandran, N.R., Selva, K.N., Venkata, R. J., 2000).

Denemeler kapsamında, ham pamuklu ve jüt kumaşlar ozon gazı ile ağartılmış, bu esnada ozonlama sonrası gerçekleştirilen durulama işleminin, sisteme beslenen ozon konsantrasyonunun, kumaşın sahip olduğu pH değerinin, reaksiyonun gerçekleştiği ortam sıcaklığının ve işlem süresinin etkileri incelenmiştir.

Gerçekleştirilen denemeler neticesinde, ozonla işlem süresi arttıkça elde edilen beyazlık derecesinin de orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Ancak zamanın çok önemli olduğu günümüz koşullarında, istenilen etkiyi elde edebilmek için uzun işlem sürelerinde çalışmak ekonomik olmadığı gibi

rekabet gücünü de zayıflatmaktadır. Bu amaçla, aynı etkinin işlem süresini uzatmak yerine farklı hangi yollardan elde edilebileceği araştırılmış, bu kapsamda kumaşın sahip olduğu A_F değerinin etkisi gibi farklı faktörler incelenmiştir.

Elde edilen verilerden hareketle, boyama ve baskı için uygun olan en yüksek beyazlık derecesinin pH 6,5-7,5 ve %60 A_F değerine sahip pamuklu kumaşın ozonlanması sonucu elde edildiği söylenebilir. Mamullerde en iyi beyazlık derecesini elde edebilmek için reaksiyonun gerçekleştiği ortamın sıcaklığı muhakkak oda sıcaklığı (23-25°C) veya daha soğuk olmalıdır. Aynı zamanda kumaşın sahip oldu pH değerinin bazik olmamasına da dikkat edilmelidir. Nötr veya asidik pH değerlerinde çalışmak daha iyi beyazlık derecesi artışı sağlamakta ancak ortaya çıkan polimerizasyon derecesi kaybı biraz daha yüksek olmaktadır.

Ozon ile konvansiyonel ağartma yöntemleri karşılaştırılacak olunursa; ozonlama sonrası elde edilen beyazlık derecesi ya hemen hemen aynı ya da biraz daha iyi olmaktadır. Ancak ortaya çıkan polimerizasyon derecesi kaybı çok daha yüksek olmaktadır.

Konvansiyonel ağartma yöntemleri her ne kadar ozon ile ağartma yöntemi ile hemen hemen aynı beyazlık derecesi artışını sağlayıp daha kabul edilebilir sınırlar içerisinde mukavemet kaybına neden olsa da, ozon ile ağartma yöntemi ekolojik kabul edilmektedir. Çünkü, ozon ile işlemde her hangi bir zararlı kimyasal maddeye ihtiyaç duyulmamakta, çok az miktarda suya gereksinim olmaktadır. Ayrıca ağartma işlemi çok kısa sürede ve oda sıcaklığında gerçekleşmektedir. Oda sıcaklığında çalışıldığında her hangi bir ısıtma veya soğutma maliyeti gerekmemekte dolayısıyla enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bütün bu avantajlarından dolayı, mukavemet kaybının çok önemli olmadığı pamuklu mamullerin ağartılmasında ozon teknolojisi kullanımı önerilebilir. Her ne kadar pamuklu mamullerin ozon ile

ağartılmasında mukavemet kaybı meydana geliyor olsa da, meydana gelen bu kaybı azaltacak stabilizatörlerin ve kimyasalların kullanımı, araştırılması gereken konulardır. Böylece ozon ile ağartmanın tek dezavantajı olan bu durumun üstesinden de gelinmiş olunacaktır.

Jüt ise, ikinci önemli doğal liftir ve ağır gramajlı ipliklerin ve tekstillerin üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Günümüzde araştırmacılar, pamuklu mamullerin ağartılmasında olduğu gibi jüt mamullerin ağartılmasında da ekolojik yöntemlerin geliştirilmesi çabası içindedir. Bu noktada da çevrecilerin desteğini toplayan en önemli yöntemlerden birisi ozon ile ağartma işlemidir.

Pamuklu mamullerin ozon ile ağartılmasında elde edilen sonuçların benzerleri jüt ile gerçekleştirilen denemeler neticesinde de elde edilmiştir. Jüt mamullerin ozon ile ağartılmasında belirlenen optimum çalışma şartları şu şekildedir; kumaşın sahip olduğu pH ve A_F değeri = 6,5-7,5 ve %60, reaksiyonun gerçekleştiği ortamın sıcaklığı = 23-25°C. Ozonla işlem süresi ise, istenilen beyazlık derecesine ve reaksiyon alanına beslenen ozon konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir.

Konvansiyonel ve ozon ile ağartma yöntemleri karşılaştırılacak olunursa; kabul edilebilir beyazlık derecesi, hidrofilite derecesi artışı ve mukavemet kaybı ozon ile ağartma yöntemi uygulanarak çok kısa işlem sürelerinde elde edilebilirken konvansiyonel ağartma yöntemleri uygulandığında daha uzun işlem sürelerinde çalışılması gerekmektedir. Aynı zamanda ozon ile ağartmada mekanik etki mevcut olmadığı için kumaşların yüzeylerinin daha az tüylendiği gözlenmektedir. Bütün bu avantajlarından dolayı jüt mamullerin ozon ile ağartılması ekonomik ve ekolojik olmakta, mamulün görünümünde her hangi bir olumsuz değişime neden olmamakta ayrıca, zaman tasarrufu sağladığından rekabet gücünü de arttırmaktadır.

Pamuklu kumaşların ön terbiyesinde ultraviyole (UV) ışık kaynağının, ultrasonun (US) ve ozon gazının kullanımı oldukça yeni bir yaklaşımdır. Her üç yeni teknoloji de konvansiyonel ön terbiye işlemlerine ikame olarak ortaya çıkmaktadır.

Prototip US/UV/Ozon kombineli kontinü terbiye makinesinde gerçekleştirilen denemelerde tek başına US, UV,ozon ve US ile UV, US ile ozon, UV ile ozon ve US/UV/Ozon kombine edilerek çalışılmıştır.

Tekstil ön terbiye ve apre işlemlerindeki kütle transferi genellikle sınırlı seviyelerde kalmaktadır. Bu nedenle bu prosesler uzun işlem süreleri ve büyük miktarlarda su, kimyasal ve enerji tüketimi gerektirmektedirler. Tekstil materyalinin en iç kısımlarına doğru olan kütle transferinin artırılmasıyla yaşı terbiye işlemlerinin etkinliği arttırılmaktadır. Ultrason kuvveti etkisi, tekstil materyaline doğru gerçekleşen kütle transferini arttıran önemli bir tekniktir ve bu nedenle yukarıda sayılan dezavantajları giderebilmesi mümkündür. Sadece su bulunan banyoya ultrason enerjisi uygulanması ile, tekstil mamulünün hidrofilite değeri yaklaşık 15 mm'lere kadar yükselebilmektedir. Ayrıca ultrason tekniği ile tekstil materyalinin zarar görmesi azaltılabilmektedir.

UV ışığı ile yapılan ağartmalarda, UV desteğinde sadece su ile yapılan işlemlerde 59,76 civarında bir beyazlık derecesine, 8,4 mm de hidrofilite değerine ulaşılmıştır ki, herhangi bir kimyasal madde bulunmayan böyle bir ortamda elde edilen bu değerler oldukça önemlidir. Ancak UV ışığı ile çalışmanın en büyük dezavantajı kumaşta meydana gelen mukavemet kaybıdır. Bunun nedeni olarak ultraviyolenin etkisi ile selüloz makromoleküllerinin fotokimyasal olarak parçalanması düşünülmektedir. Ultraviyole'ye ikame diğer bir teknoloji de ozonlama işlemidir. Sadece ozon gazı kullanımı ile ultraviyole ışığı kullanımında olduğu gibi 60'lara varan beyazlık dereceleri elde edilmektedir. Ancak mukavemet kaybı sorunu burada da açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Kopma mukavemeti değerleri incelendiğinde; n terbiye işlemlerinin ekstarksiyon işlemleri olması nedeniyle gerek konvansiyonel, gerekse UV ve/veya US ile çalışılan durumlarda kumaşta mukavemet kaybı meydana gelmektedir. Ancak kayıp oranı kendi arasında büyük farklılık göstermektedir. Örneğin; ultraviyolenin bulunduğu deneme koşullarındaki kayıp oranı oldukça yüksektir. Ultrasonun ise kumaş mukavemeti üzerine aşırı bir mukavemet düşürücü etkisi yoktur.

Nişasta haşılı liflere su itici bir özellik kazandırmaktadır. Hamdan direkt ağartılmış kumaşlarda US ve/veya UV'nin ve/veya ozonun hidrofilliği arttırıcı etkisi bulunmaktadır. Bunun nedeninin life hidrofob özellik kazandıran maddelerin hem ışık, hem ses enerjisi ile, hem de ozon tarafından oksidatif olarak bozunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Haşıl sökme derecelerine bakıldığında, UV/ozon kombinasyonunun yer aldığı denemelerde en yüksek haşıl sökme dereceleri elde edilmiştir, ancak elde edilen bu değer (2) kumaş üzerinde hala fazla miktarda haşıl olduğunu ifade etmektedir. Yeni teknolojilerin evre dostu olan enzimlerle (amilaz gibi) kombine bir şekilde kullanımı ile bu sorunun üstesinden gelinebileceği düşünülmektedir.

Hamdan direkt ağartmaya girmiş kumaşlarda, ultrason ve ultraviyolenin kombine edildiği durumlarda hidrofilliğin yüksek olduğu grlmştir. Bunun nedeninin UV ışığının etkisi ile nişastanın parçalanmasının, ultrasonun ise, temizleme etkisinin olduğu düşünülmektedir.

Terbiye makinelerine UV ışık kaynağı ve/veya transduser ve/veya ozon jeneratörü ilavesi ek bir maliyet getirmektedir. Ancak şu da unutulmamalıdır: sadece su kullanılarak iyi n terbiye etkileri elde etmek maliyetlerin, çevrenin ve zamanın çok değerli olduğu günümüzde çok önemlidir. Bu şekilde dizayn edilen terbiye makinelerine yatırılan sermayenin kısa zamanda amorti edileceği düşünülmektedir.

US ve/veya UV ve/veya ozon ile pamuklu kumaşların ön terbiye işlemleri; uygun reçete ve koşullar seçildiğinde kumaşın fiziksel özelliklerinde önemli bozulmalara neden olmadan ekolojik bir ön terbiye sağlamaktadır. Bu teknolojilerin tekstil terbiye işlemlerinde kullanımının gelecek vaat ettiği düşünülmektedir. Günümüzde bu teknolojilerin tekstil terbiyesinde kullanılmalarına yönelik araştırmaların yoğunlaşması gerekmektedir. Gerçekleştirilen tez çalışması gerek ultrasonik terbiye makinesinin dizaynı, gerekse pamuklu ve jüt kumaşların ön terbiyesinde kullanımı için bir başlangıç ve yol gösterici bir araştırmadır. Sonuç olarak; UV ve/veya US ve/veya ozon teknolojilerini tekstil terbiyesinde kullanmak mümkündür ve bilinçli çalışıldığı takdirde hem kimyasal madde tasarrufu sağlamakta ve hem de çevre dostu bir üretim gerçekleşmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Adams, C.D., and Gorg, S., 2002, Effect of pH and Gas-Phase Ozone Concentration on The Decolorization of Common Textile Dyes, Journal of Environmental Engineering, 128(3): 293-298

Balousek P.J., 1979, The Effects of Ozone upon Lignin-Related Model Compound Containing A B-Aryl Ether Linkage, PhD Thesis, Lawrence University, 3-4 p.

Beckham, H.W., Carr, W.W., Michielsen, S., Good, J., Merriman, T., Zhan, J., 1996, Fundamental Investigation of Ultrasonic Effects in Textile Wet Processing, National Textile Center Annual Report, Georgia Institute of Technology

Boncz, M.A., Bruning, H., Rulkens, W.H., Zuilhof, H. and Sudholter, E.J., 2005, The Effect of Salts on Ozone Oxidation Processes, Ozone: Science and Engineering, 27: 287-292

Busnaina, A.A., Gale, G.W.,1995, Ultrasonic And Megasonic Particle Removal, Precision Cleaning, 347-360 p.

Christenson, H.K. and Yaminsky, V.V., 1995, Solute Effects on Bubble Coalescence, J. Phys. Chem., 99:10420

Cogo, E., Albet, J., Malmay, G., Coste, C., Molinier, J., 1999, Effect of reaction medium on ozone mass transfer and applications to pulp bleaching, Chemical Engineering Journal, 73: 23-28

El-Shishtawy, R.M., Kamel, M.M., Hanna, H.L., Ahmed, N.SE, 2003, Ultrasonic assisted dyeing: II. Nylon fibre structure and

comparative dyeing rate with reactive dyes, Polymer International, 52: 381-388

Fouche E., 2002, Ozone Laundering of Textile Products at The Northwest Correctional Complex in Tiptonville, TN, Research Project, Report - Product Number: 000000000001007427, 1 p.

Gultekin, I., Ince, N.H., 2005, Degradation of aryl-azo-naphthol dyes by ultrasound, ozone and their combination: Effect of a-substituents, Ultrasonics Sonochemistry

Hsu, Y.C., Chen, J.T., and Yang, H.C., 2001, Decolorization of Dyes Using Ozone in a Gas-Induced Reactor, Aiche Journal, 47(1): 169-176

<http://astom.omu.edu.tr>, 2006

<http://sozluk.sourtimes.org/show.asp?t=ultrasonik>, 2005

<http://stu.inonu.edu.tr/~mustundag/piezo.htm>, 2004

<http://tr.wikipedia.org>, 2006

http://www.1001kitap.com/Bilim/Lenihan/bilim_is_basinda/bib1_nedenboyle02.html, 2005

<http://www.e4s.org.uk/textilesonline/content/pdfs/report1.pdf>, 2006

<http://www.epa.gov/ozone>, 2006

<http://www.fesih.com>, 2006

<http://www.lenntech.com/ozone.htm>, 2006

<http://www.meteor.gov.tr>, 2005

<http://www.pmrsystems.com/contents.html>, 2005

<http://www.tux.gen.tr/ebook/wlan.pdf>, 2004

http://www.ucar.edu/learn/1_7_2_29t.htm, 2006

<http://www.usace.army.mil/usace-docs/eng-tech-ltrs/etl1110-1-161>, 2006

<http://www.yagmurteknik.com.tr>, 2005

Iglesias, S.C., 2002, Degradation and Biodegradability Enhancement of Nitrobenzene and 2,4-Dichlorophenol by Means of Advanced Oxidation Processes Based on Ozone, PhD Thesis, Universitat De Barcelona, 37-39 p.

Kabayev, M., Kazakeviciute, G., 2005, Plasma and UV Excimer Treatment of Textile Materials, COST 628 meeting, Bucharest

Kalender, O., Kavalcı, R., 2001, Ultrasonografi, Kara Harp Okulu Yayınları Bilim Dergisi

Kamel, M.M., El-Shishtawy, R.M., Yussef, B.M., Mashaly, H., 2005, Ultrasonic assisted dyeing III. Dyeing of wool with lac as a naturel dye, Dyes and Pigments, 65: 103-110

Koçak, D., Merdan, N., 2002, Sonokimya ve Ultrasonik Enerjinin Tekstil Sektöründe Kullanımı, Kimya Teknolojileri, Sayı: 17

KOIVULA, T., 2000, On Cavitation in Fluid Power, PhD Thesis, 371-382 p

Kundu, A.B. and Ghosh, B.S., Chakrabarti, S.K., Ghosh, B.L., 1991, Enhanced Bleaching and Softening of Jute by Pretreatment with Polysaccharide Degrading Enzymes, Textile Research Journal, 61, 720-723 p

Lyse T.E., 1979, The Institute of Paper Chemistry, PhD Thesis, Lawrence University

Mannan, Kh.M. and Talukder, M.A.I., 1997, Characterization of raw, delignified and bleached jute fibres by study of absorption of moisture and some mechanical properties, 38, 2493-2500 p

Merdan, N., Akalin, M., Kocak, D., Usta, I., 2004, Effects of ultrasonic energy on dyeing of polyamide (microfibre)/lycra blends, Ultrasonics, 42: 165-168

Miyoshi, Y., 1999, Treatment Technology for Colored Waste Water, The Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection

Moholkar, V.S., 2002, Intensification of Textile Treatments; Sonoprocess Engineering, PhD Thesis, Universty of Twente

Moholkar, V.S., Nierstrasz, V.A. and Warmoeskerken, M.M.C.G., 2003, Intensification of Mass Transfer in Wet Textile Processes by Power Ultrasound, AUTEX Research Journal, 3

Mokrini, A., Oussi, D., Esplugas, S., 1997, Oxidation of Aromatic Compounds with UV Radiation/Ozone/Hydrogen Peroxide, Water Science and Technology, 35 (4): 95-102

msp.rmit.edu.au, 2006

National Commodity & Derivatives Exchange Limited Home Page, <http://www.ncdex.com>, 2005

Prabaharan, M. and Rao, J.V., 2001, Study on ozone bleaching of cotton fabric –process optimization, dyeing and finishing properties, Coloration Technology, 117

Prabaharan, M. and Rao, J.V., 2002, Combined desizing, scouring and bleaching of cotton using ozone, Indian Journal of Fibre & Textile Research, 28: 437-443

Prabaharan, M., Chandran, N.R., Selva, K.N., Venkata, R. J., 2000, A Study on The Advanced Oxidation of a Cotton Fabric by Ozone, Coloration Technology, 116(3): 83-86

Price G., 2003, Chapter 1, Ultrasonics Sonochemistry

Rischbieter, E., Stein, H. and Schumpe, A., 2000, Ozone Solubilities in Water and Aqueous Salt Solutions, J. Chem. Eng., 45(2):338–340

- Roncero, M.B., Colom, J.F., Vidal, T.**, 2003, Why oxalic acid protects cellulose during ozone treatments?, *Carbohydrate Polymers*, 52: 411-412
- Selcuk H.**, 2005, Decolorization and Detoxication of Textile Wastewater by Ozonation and Coagulation Processes, *Dyes and Pigments*, 64: 217-222
- Sreenath, H.K., Shah, A.B., Yang, V.W., Gharia, M.M., and Jeffries, T.W.**, 1996, Enzymatic Polishing of Jute/Cotton Blended Fabrics, *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 81, 18-20 p
- Staelheld, J. and Hoigne, J.**, 1988, Decomposition of Ozone in Water in the Presence of Organic Solutes Acting as Promoters and Inhibitors of Radical Chain Reactionst, *Environ. Sci. Technol.*, 19: 1206-1213
- Stanley, A.**, 1996, Book of Papers, The Environmental Consequences of Pulp and Paper Manufacture, 1-3 p
- Stover, E.L.**, 1986, Applications of Ozone Treatment of Hazardous Wastewaters, Presented at the 1986 California Water Pollution Control Association Industrial and Hazardous Waste Conference, Los Angeles
- Su, Y.C., Yeh, R.Y., Chen, H.T.**, 2002, Study on the Ozonal Bleaching of Hard-to-bleach Chemical Pulps, *Taiwan Journal for Science*, 17(1): 67-74
- Suslick, K.S.**, 1994, The Chemistry of Ultrasound, *The Yearbook of Science & the Future* 1994; *Encyclopaedia Britannica*
- Şahin, T.**, 2002, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A, Sayı: 2, ISSN: 1302-7085* Tekstil Fakültesi Yayını, Cilt I, İzmir, 496s.
- Tezcanli-Güyer, G., Ince, N.H.**, 2004, Individual and combined effects of ultrasound, ozone and UV irradiation: a case study with textile dyes, *Ultrasonics*, 42:603-609

Vinodgopal, K., Peller, J., Makogon, O., Kamat, P.V., 1998, Ultrasonic Mineralization of a Reactive Textile Azo Dye, Remazol Black B, Wat. Res., 32: 3646-3650 p

Weaver, J.W., 1984, Analytical Methods for a Textile Laboratory, Third Edition, American Association of Textile Chemist and Colorist

www.aflon.net, 2005

www.akuzman.com.tr, 2005

www.bk.psu.edu/faculty/cooper/ultrasnd.html, 2005

www.blackstone-ney.com, 2006

www.desteknik.com.tr, 2005

www.fb-chemie.uni-rostock.de, 2005

www.opalsu.com.tr, 2005

www.solcomhouse.com/ozone.htm, 2006

www.tft.csiro.au, 2004

Xian-wen, X.U., Hui-xiang, S.H.I., Da-hui, W., 2005, Ozonation with ultrasonic enhancement of *p*-nitrophenol wastewater, Journal of Zhejiang University Science, 6B(5): 319-323

Yachmenev, V.G., Blanchard, E.J. and Lambert, A.H., 2004, Use of Ultrasonic Energy for Intensification of the Bio-Preparation of Greige Cotton, Ultrasonics, 42: 87-91

Zhang, H., Jib, L., Wub, F., Tan, J., 2005, In situ ozonation of anthracene in unsaturated porous media, Journal of Hazardous Materials, 120: 143–148

Zhou, H. and Smith, D.W., 2002, Advanced technologies in water and wastewater treatment, J. Environ. Eng. Sci., 1: 247-264

ÖZGEÇMİŞ

27.05.1982 tarihinde Aydın’da dünyaya gelen Seher Dereli PERİNCEK ilk, orta ve lise öğrenimini Aydın’da tamamladıktan sonra 2000 yılında Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimine başlamıştır. 2004 yılında Tekstil Kimyası ve Terbiyesi opsiyonundan Tekstil Mühendisi ünvanıyla mezun olan PERİNCEK, aynı yıl TÜBİTAK Tekstil Araştırma Merkezi’nde uzman yardımcısı sıfatıyla göreve başlamıştır. 2005 yılının Kasım ayında Oğuz PERİNCEK ile hayatını birleştirdikten sonra, aynı yıl Emel Akın Meslek Yüksek Okulu’nda “Araştırma Görevlisi” olarak çalışmaya başlamıştır. Halen Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü’nde “Araştırma Görevlisi” olarak çalışmaktadır.