

## TEKSTİL TERBİYESİNDE OZON KULLANIMI

*Dilek ÖZTÜRK\**  
*Hüseyin Aksel EREN\**

**Özet:** Tekstil terbiyesinin bir çok uygulamasında yükseltgen ve indirgen maddelerin kullanımı yaygındır. En yaygın kullanılan yükseltgen madde hidrojen peroksit olup temel uygulama alanı ağartmadır. Diğer yükseltgen maddelere örnek olarak sodyum hipoklorit ve sodyum klorit verilebilir. Bu yükseltgen maddelerin uygulanmalarında aktivasyonu ve stabilizasyonu sağlamak için çeşitli yardımcı kimyasal maddelerin kullanımı yanında sıcaklık ayarı gerekmektedir, örneğin pamuklu mamullerin hidrojen peroksit ile ağartılması genellikle kaynama sıcaklığında yapılmaktadır. Ozon oksidatif bir madde olup redoks potansiyeli hidrojen peroksitinkinden bile yüksektir ve son yıllarda literatürde çıkan yayınlarda rapor edildiği gibi soğukta ilave kimyasal madde gerekmeden istenen reaksiyonları verebilmektedir. Bu özelliğinden hareketle daha düşük çevresel etki ve daha düşük maliyetler hedefleyen ozon ile terbiye konusunda son yıllarda literatürde bir çok çalışma rapor edilmiştir. Bu makalede ozonun tekstil terbiye işlemlerinde kullanımını rapor eden literatür sistematik olarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ozonlama, tekstil terbiyesi, boyama, ağartma.

### The Use of Ozone in Textile Finishing

**Abstract:** The use of oxidative and reductive agents is a common concern of textile finishing. The most common oxidative substance used in textile finishing is hydrogen peroxide which is mainly used for bleaching. The examples for other common oxidative substances are hypochlorite and sodium chlorite. Textile auxiliaries are needed as well as temperature adjustment in order to activate and stabilize these oxidative substances. Ozone is an oxidative substance with a redox potential higher than that of hydrogen peroxide and ozone can be utilized without further use of auxiliaries and increase of temperature. Researchers reported various studies informing the use of ozone for textile finishing with the advantages of lower environmental impact and lower heating costs. In this article, the literature on the use of ozone in textile finishing is reviewed.

**Key Words:** Ozonation, textile finishing, dyeing, bleaching.

## 1. GİRİŞ

Tekstil terbiye işlemlerinde daha az çevresel etki oluşturan proses ve kimyasallar üzerine araştırmalar hızla devam etmektedir. Başarıyla uygulanan ve iyi sonuçlar veren bazı tekstil terbiye proseslerindeki kimyasal maddelerin yerine daha düşük çevresel etki oluşturan muadillerinin seçimi ve bunun yanında proseslerin optimizasyonu günümüz çevreye duyarlı yaklaşımına uygun düşmektedir. Bu yaklaşıma iyi bir örnek tekstil terbiye proseslerinde enzim kullanımı üzerine çalışmalardır. Son yıllarda ozonun tekstil terbiyesinde kullanımını üzerine de birçok çalışma rapor edilmiştir. Ozon jeneratörü sayesinde havadan üretilebilen ozon hem kuvvetli oksidatif özellik göstererek düşük sıcaklıklarda ve yardımcı kimyasal madde ilave gerektirmeden kullanılabilme hem de soğukta etkinliğinin yüksek olması nedeniyle ısıtma maliyetlerinden tasarruf sağlayabilme potansiyeline sahiptir. Aşağıda ozon hakkında genel bilginin ardından çeşitli tekstil terbiye proseslerinde ozon uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir.

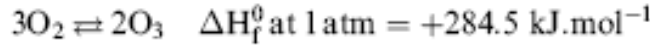
\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, 16059 Görükle, BURSA.

## 2. OZONUN ÖZELLİKLERİ, ELDESİ VE REAKSIYONLARI

### 2.1. Ozon

Ozon, etimolojik olarak Yunancadaki 'kokan' anlamına gelen 'ozein' kelimesinden gelmektedir. Doğal element ozon 'Aktif Oksijen' olarak bilinmektedir. Ozon (O<sub>3</sub>) molekülü, üç adet oksijen atomunun birleşmesiyle oluşmuş, stabil olmayan bir yapıya ve simetrik açılara sahip bir moleküldür. (Duran et al, 2006a).

Ozon ilk olarak Alman kimyager C.F. Schönbein (1799-1868) tarafından, yıldırım sonrası oluşan kokuya dayanılarak tanımlanmıştır. 1856 yılında ise Thomas Andrews ozonun sadece oksijenden oluştuğunu ve 1863 yılında Soret'in oksijen ile ozon arasındaki ilişkinin aşağıdaki eşitlikteki gibi olduğunu bulmuşlardır:

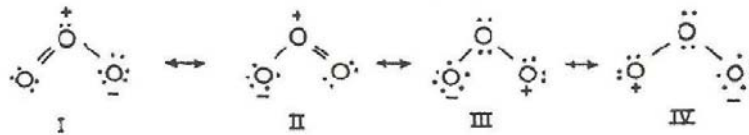


Ozon sıcaklığa dayanıklı olmayan ve kendiliğinden oksijene dönüşebilen parçalayıcı aşındırıcı bir gazdır. Bu hassaslığı nedeniyle ozon saklanamaz veya transfer edilemezdir, direkt olarak kullanılacağı ortamda üretilmelidir. (Iglesias, 2002, Bocci ve diğ., 2009)

### 2.2. Ozonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Ozonun CAS numarası 10028-15-6'dır. Ozon organik ve inorganik bileşiklerle birçok kimyasal reaksiyona girebilen kuvvetli bir oksidandır. Ozonun oksidasyon potansiyeli bilinen birçok kimyasaldan daha yüksektir. Yaygın olarak kullanılan hidrojen peroksidin oksidasyon potansiyeli 1,77 eV iken, ozon 2,07 eV ile florinden (3,06 eV) ve hidroksil radikallerinden (2, 80 eV) sonra gelmektedir. Oksidasyon potansiyeli oldukça yüksek olan ozon aynı zamanda etkin bir dezenfektandır ve bu özelliğinden dolayı içme suyu arıtımında önemli bir yer tutmaktadır. Ozon kalıntı bırakmadan hammaddesi olan oksijene dönüşür. (Iglesias, 2002, www.aflon.net)

Ozon, lineer olmayan triatomik bir moleküldür. Eşit uzunlukta (1,278 °A) 2 oksijen bağına ve 116°49'luk ortalama bağ açısına sahiptir. Ozon, Şekil 1'deki I-IV hibrid yapılarının bir rezonansı olarak tanımlanabilmektedir. III ve IV yapıları ozonu 1,3-dipolar bileşik olarak sınıflandırabilmekte bunun sonucu olarak da 1,3-dipolar bileşiklerin karakteristiği olan reaksiyonları verebilmektedir (Balousek, 1979).



Şekil 1:

Ozonun rezonans yapısı (Balousek, 1979)

Ozon, -112°C de koyu mavi bir sıvı olup, -215°C de ise mavimsi siyah renkte kristalleşmektedir. Atmosferde bulunan Azot (N<sub>2</sub> - % 78), Oksijen (O<sub>2</sub> - % 21) ve Karbondioksit (CO<sub>2</sub> - % 1) gibi temel gazlara göre oldukça düşük oranda bulunan ozon, iklimi etkilemekte ve yeryüzündeki canlıların korunmasında önemli bir rol oynamaktadır.

### 2.3. Ozonun Toksikitesi

Ozon son derece reaktif bir gazdır, düşük konsantrasyonlarda bile tahriş edici ve toksik etki gösterebilir. Ozon uzun süre teneffüs edildiğinde mukoz membranların tahrişi ve ardından baş ağrısı gibi semptomlar oluşturur. Ozona daha uzun süreli maruz kalma durumlarının oluşturacağı sorunlar hakkında tam bilgi sahibi olunmasa da hayvanlar üzerinde yapılan deneylerde akciğer kapasitesinde azalma ve akciğer rahatsızlıkları rapor edilmiştir.

Amerikan çevre koruma ajansı havadaki ozon miktarının (0,125 ppm) 125 ppb'nin (*parts per billion*) üstüne çıkması durumunda koşulların "sağlıksız" olacağını bildirmiştir.

Çalışan sağlığı örgütü ise (*OSHA -Occupational Safety and Health Administration*) ozon konsantrasyonunun 0,1 ppm'in üzerine çıkması durumunda ilave önlemler alınmasını istemektedir. 0,1 ppm limiti 5 günlük günde 8 saat çalışma için limittir, Hollanda'da 0,1 değil 0,06 ppm limit kabul edilmiştir. 15 dakikayı geçmeyen maruz kalma durumlarında kabul edilebilir limit 0,3 ppm'dir. OSHA 2 saate kadar olan maruz kalmalar için limiti 0,2 ppm olarak kabul etmiştir. Ozonun kokusunun ayırt edilme eşiği yaklaşık 0,02 ppm seviyesindedir.

Ozon konsantrasyonunun yükselmesi sadece sağlık açısından değil kauçuk gibi polimerik malzemelerin çabuk bozunmaları açısından da sıkıntı oluşturmaktadır. Elbetteki bu olumsuz etkiler soluduğumuz hava için geçerlidir, atmosferin üst tabakasındaki (özellikle stratosferdeki) ozonun güneşten gelen yüksek enerjili UV ışınları (*dalgaboyu 240 nm'den düşük olanlar yüksek enerjili UV ışınlarıdır, ozon dalgaboyu 290 nm'ye kadar olan UV ışınları tutabilmektedir*) tutarak yeryüzündeki canlı ve bitkileri korumak gibi faydalı bir görevi vardır.

(<http://scifun.chem.wisc.edu/chemweek/ozone/ozone.html>, 2009)

#### 2.4. Ozonun Doğada Oluşumu ve Ozon Gazı Üretimi

Ozonun oluşmasının temeli ara atomik oksijen radikallerinin oluşmasına dayanmaktadır. Oluşan bu radikaller daha sonra moleküler oksijen ile reaksiyona girerek ozonu oluşturmaktadırlar. Bundan dolayı moleküler oksijeni oksijen radikaline dönüştüren bütün işlemler potansiyel ozon üretim reaksiyonlarıdır. Bunu mümkün kılan enerjiler ise elektron veya foton kuantum enerjileridir. Bu durum doğal ortamlarda gerçekleşebileceği gibi elektronlar yüksek voltajlı Korona-Boşalma (Corona Discharge) sistemlerinden, kemonükleer kaynaklardan ve elektrolitik işlemlerden elde edilebilmekte uygun foton kuantum enerjisi ise 200 nm altındaki ultraviyole ışınları ile ve  $\gamma$ -ışınlarıyla elde edilebilmektedir. (Iglesias, 2002).

Güneşten gelen yüksek enerjili ultraviyole radyasyonunun (görünür ve uzun dalga boylu) etkisiyle atmosferdeki oksijen molekülü ( $O_2$ ) parçalanarak, serbest oksijen atomu haline dönüşmektedir. Daha sonra serbest haldeki oksijen atomları ( $O^{\cdot}$ ) yine ultraviyole radyasyonunun etkisiyle oksijen molekülüyle ( $O_2$ ) birleşerek ozon molekülünü ( $O_3$ ) oluşturmaktadırlar. Yüksek enerjili ultraviyole radyasyonu (UV) ozonun hem oluşumunda, hem de parçalanmasında tek başına etken bir rol oynamaktadır.

Ozonun yıldırım sırasında oluşan yüksek voltajlı elektrik boşalımı ile de oluşumu gerçekleşmektedir. Her yıldırım ve sağanak sonrasında taze ve temiz bir koku fark edilir. Bu koku havada oluşan ozonun kokusudur.

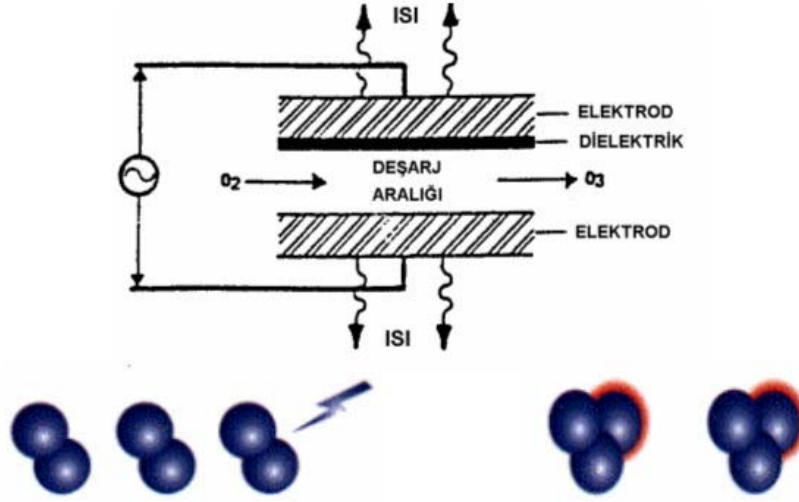
Endüstriyel olarak ozon üretimi için başlıca iki metottan birincisi 185 nm de Ultraviyole kullanımı, ikincisi Corona Discharge olarak bilinen ve kendi içerisinde farklı uygulamaları bulunan dielektrik metodudur. (Duran et al., 2006a, Strickland ve Perkins, 1995, [www.ozoneapplications.com](http://www.ozoneapplications.com) 2009, [www.aflon.net](http://www.aflon.net) 2009)

Ultraviyole (UV) kullanımı ile ozon üretimi yönteminde 185 nm UV ışık üreten bir lamba kullanılır. UV lambanın etrafından hava geçişi esnasında UV etkisi ile oksijen molekülleri oksijen atomlarına bölünür. Oluşan oksijen atomları stabil olmadıklarından oksijen molekülleri ile birleşerek ozonu oluştururlar.

“Corona Discharge” (CD) yöntemi (Şekil 2) korona ile karakterize edilen bir elektrik deşarjıdır. Elektrik alan yeterince güçlü olduğunda iletkenin etrafındaki akışkanın iyonizasyonu ile gerçekleşir, ama burada şartlar kısa devre ya da ark oluşumuna izin vermemelidir. Bunu sağlayan dielektrik kısımdır, elektrik yükü dielektrik yüzeyine dağılarak koronayı oluşturur. İyonizasyon sonucu bir plazma atmosferi oluşmakta ve iyonlar yükü daha düşük potansiyelle sahip bölgelere taşımaktadır. Korona oluşumu sırasında ışık, ısı ve ses açığa çıkmaktadır. Elektrodun şekli, gazın cinsi ve deşarj aralığı etkili parametrelerdir. CD yöntemiyle ozon üretimi sırasında ısı açığa çıkmaktadır ve bu ısının jeneratörden uzaklaştırılması gerekmektedir. Isının uzaklaştırılması için deşarj tüpünün su ile ya da hava ile soğutulduğu uygulamalar vardır.

İki metod karşılaştırıldığında CD metodunun kullanım ömrü (*UV lambanın değiştirilmesi gerekliliği*), küçük boyutlarda daha yüksek konsantrasyonda ozon üretimi ve işletme maliyetleri açısından UV metoduna göre daha avantajlı olduğu söylenebilir. CD ünitelerinde ise besleme havasının nemli olmaması çok önemlidir. Beslenen havadaki nem miktarının yüksek olması durumunda ozon

üretim verimi düşmekte ve nitrik asit oluşmaktadır ki oldukça korozif olan nitrik asit ozon jeneratörünün iç parçalarını aşındırabilir.

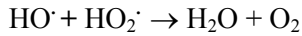
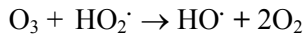
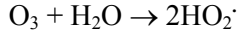


Şekil 2:  
Dielektrik (Corona Discharge) metoduyla ozon üretimi. (www.lenntech.com)

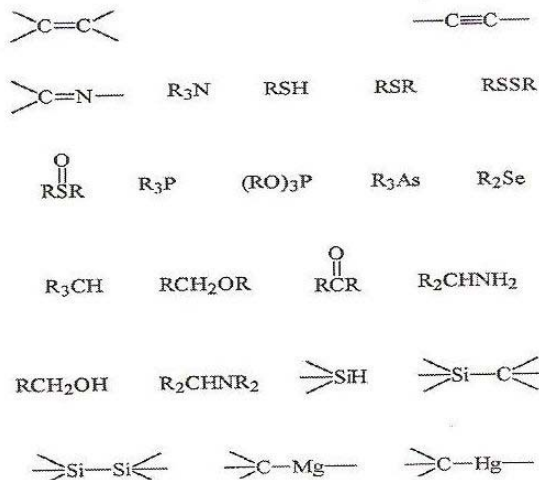
## 2.5. Ozon Gazının Verdiği Reaksiyonlar

Ozon bilinen en güçlü oksidasyon maddelerinden biri olduğu için çoğu organik bileşiklerle reaksiyon verebilmektedir. Ozon serbest radikal mekanizmasına göre suda çözülebilmekte ve stabil olmayan ara hidroksil radikallerini oluşturabilmektedir. Bu parçalanma alkali ortamda daha hızlı olurken asidik ortamda yavaş gerçekleşmektedir.

Ozonun sudaki çözünürlüğü, ozon konsantrasyonu ve temperatur ile doğru orantılı olarak değişmektedir. (www.ozoneapplications.com, Strickland ve Perkins, 1995) Ozonun sulu çözeltilerdeki reaksiyonu aşağıdaki denklemler ile ifade edilebilir. (Strickland ve Perkins, 1995)



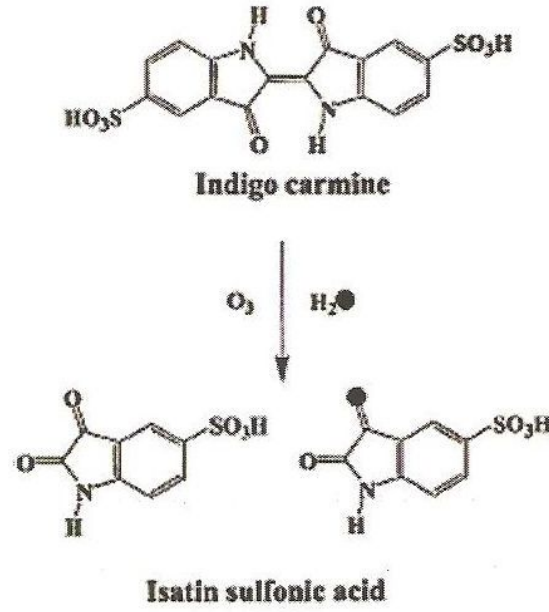
Bu reaksiyon mekanizmaları ile ozon halka katılması, elektrofilik veya nükleofilik reaksiyonları verebilmekte ve Şekil 3'te belirtilen gruplara etki edebilmektedir. (Iglesias, 2002, Balousek, 1979).



Şekil 3:  
Ozonun Etki Edebileceği Organik Gruplar

Ozonun birden fazla etki mekanizmasıyla reaksiyona girmesine örnek olarak ozonun lignini parçalaması verilebilir. Ozon lignine; halka açılması, yan halka oksidasyonu, radikal bağlanma reaksiyonları ve daha sonra bozuşmalara neden olan ikincil reaksiyonlar ile etki edebilmektedir. (Lyse, 1979).

Benzer şekilde ozon indigo ve indigo karmin molekülüne de etki edebilmekte ve indigo molekülünü isatin, antranilik asit ve bu iki ürünün türevlerine parçalayarak rengini uzaklaştırmakta ve indigo karmin molekülünü de isatin sülfonik asite parçalamaktadır, bu reaksiyon Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4:  
Ozonun İndigo Karmin Molekülünü Parçalaması (Kettle et al., 2004)

Ozon zincir reaksiyonları ile bozunmaktadır. Zincir reaksiyonu proseslerini başlatan, ilerleten ve sonlandıran çok sayıda farklı bileşik bulunmaktadır. Ozonun zincir reaksiyonları için gereken bu bileşikler şunlardır:

**1. Başlatıcılar:** Serbest radikal reaksiyonlarının başlatıcıları süper oksit iyonlarının ozon molekülünden oluşmasını tetikleyen bileşiklerdir. Bunlara hidroksit iyonları, hidroperoksit iyonları ve bazı kanyonlar gibi inorganik bileşikler, formik asit gibi organik bileşikler örnek verilebilir. 253,7 nm dalga boyundaki Ultraviyole ışınları da ozon reaksiyonlarının başlaması için aynı etkiyi sağlamaktadır.

**2. İlerleticiler:** Serbest radikal reaksiyonlarının ilerleticileri  $O^{2-}$  süper oksit anyonlarını hidroksil radikallerinden üreten bütün organik ve inorganik moleküllerdir. Genel ilerleticiler olarak aril grupları, formik asit, birincil alkoller içeren organik bileşikler sayılabilmektedir.

**3. Sonlandırıcılar:** Serbest radikal reaksiyonlarının sonlandırıcıları  $O^{2-}$  süper oksit anyonlarını üretmeden OH- radikallerini tüketebilen bileşiklerdir. Genel olarak bilinen sonlandırıcılar bikarbonat ve karbonat iyonları, alkil grupları ve üçüncü alkoller içeren kimyasallardır. (Iglesias, 2002).

Ozonun parçalanmasını etkileyen diğer önemli parametreler ise ortam sıcaklığı ve pH'dır. Tablo 1'de ozonun çeşitli şartlardaki yarı ömrü verilmiştir. (Adams ve Gorg, 2002; Perinçek ve diğ., 2007a).

**Tablo I. Ozonun gaz fazındaki ve sudaki yarı ömürleri**

<b>Ozon gazı</b>					
Sıcaklık (°C)		-25	20	120	
Ozon yarılanma ömrü (saat)		192	72	1.5	
<b>Suda (pH 7) çözülmüş ozon</b>					
Sıcaklık (°C)	15	20	25	30	35
Ozon yarılanma ömrü (dakika)	30	20	15	12	8

## 2.6. Ozonlama Sonucu Oluşan Ürünler

Renk giderimi çalışmaları sonucunda elde edilen verilere göre ozonlama sonucu sülfat, nitrat, format ve oksalat oluşumu belirtilmiştir. Nitrat, boyarmaddenin azo ve amino gruplarının oksidasyonundan, sülfat ise dispergatorün oksidasyonundan oluşmaktadır. (Strickland ve Perkins, 1995, Neamtu ve diğ., 2004, Zhang ve diğ., 2004, Koch ve diğ., 2002).

Ozonlama sonunda atık suyun biyobozunurluğu artmaktadır. (Sevimli ve Sarıkaya, 2002, Wu ve Wang, 2001, Koch ve diğ., 2002) Ozonlama sonucu oluşan ürünler algelere karşı toksik özellik göstermemiştir. (Konsowa, 2003)

## 2.7. Ozonlama İşlemlerinde Etkin Olan Parametreler

Ozonlama işlemlerinde etkili başlıca faktörler pH, sıcaklık, mekanik karıştırma, ozon dozajı ve süre olarak sayılabilir.

**pH:** Ozonun materyal ile reaksiyonu son derece pH bağımlıdır, pH 2 ve altında Direkt Reaksiyon (Moleküler ozon), pH 7 ve üzerinde İndirekt Reaksiyon (Serbest radikal oluşumu) oluşur, yüksek pH'larda ozon daha hızlı dekompoze olur ve baskın olarak hidroksil radikali oluşturur. Hidroksil radikallerinin oksidasyon potansiyeli moleküler ozona göre daha yüksek olduğundan indirekt reaksiyonlarda oksidasyon daha hızlıdır. HO<sup>•</sup> radikali 2.8 eV'luk oksidasyon potansiyeli ile en kuvvetli radikal olsa da HO<sub>2</sub><sup>•</sup>, HO<sub>3</sub><sup>•</sup> ve HO<sub>4</sub><sup>•</sup> radikalleri de oluşmaktadır. (Alaton ve diğ., 2002, Hsu ve diğ., 2001, Muthukumar ve Selvakumar, 2004, Szpyrkowicz ve diğ., 2001, Sevimli ve Sarıkaya, 2002, Arslan ve Balcioğlu, 2000)

**Sıcaklık:** Artan sıcaklıkla ozon çözünürlüğü düşer. Bununla birlikte çözünürlüğün düşmesi nedeniyle ozonlama etkinliğinin azaldığı söylenemez çünkü sıcaklık artışı reaksiyon hızını da artırmaktadır.

**Mekanik karıştırma:** Ozonlama etkinliğini sınırlandırıcı faktörlerin başında ozonun gaz fazından sıvı faza transferindeki kütle transferi gelmektedir. Rotor ile karıştırma yapılan çalışmalarda artan rotor hızı ile birlikte ozonlama ile renk giderimi etkinliğinin arttığını rapor edilmiştir. (Wu ve Wang, 2001, Saunders ve diğ., 1983, Lin ve Liu, 2003)

**Ozon dozajı:** Ozon dozundaki artış ozonlama etkinliğinin artırmaktadır.

**Süre:** Oksidasyon reaksiyonlarını moleküler ozon ya da ozonun reaksiyonlarıyla oluşan radikal türleri verdiğinden ozon dozajı ya da ozonlama süresi atıkça ozonlama etkinliğinin arttığı açıktır. (Sevimli ve Sarıkaya, 2002, Oğuz ve diğ., 2005, Wu ve Wang, 2001, Koch ve diğ., 2002, Konsowa, 2003, Ciardelli ve Ranieri, 2001, Arslan ve Balcioğlu, 2000)

## 2.8. Ozonun Kullanım Alanları

Ozon ilk olarak 1893 yılında Hollanda'da içme suyunun arıtılmasında kullanılmıştır. Daha sonra Avrupa'da yaygınlaşan içme suyu arıtımında su kullanımı sonrasında Amerika Birleşik Devletleri'nde de kullanılmaya başlanmıştır. Ozonun büyük ölçekteki ilk uygulaması 1893'te Hollanda Outshorn'da içme suyu arıtımı üzerine kurulmuş, bunu 1906 yılında Nice'de kurulan tesis izlemiştir. 1916 yılında Avrupada 26'sı Fransa'da olmak üzere 49 ozon tesisi bulunmaktaydı. Klorun dezenfektan olarak öne çıkması ve ozona göre daha yüksek verimli olması ozon tesislerinin gelişimini yavaşlatmıştır. Avrupa'da 1940'ta 119, ve 1985'te de 2000'in üzerinde ozon tesisinin bulunduğu tahmin

edilmektedir. Günümüzde ozon; havuz hijyeni, içme ve atık suların temizlenmesi, gıda işleme ve depolama, hayvancılık, tarım, bina dezenfeksiyonu, tedavi ve koruma amaçlı tıbbi alanlarda kullanılmaktadır.

Atık su arıtmada ozon, zehirli kimyasallar ihtiva eden atık ve atık sularda etkili bir dezenfeksiyon sağlarken, insan ve doğa için koruyucu bir görev üstlenmektedir. Belirli süre sonunda hiçbir atık bırakmadan ana hammaddesi olan oksijene dönüşen ozon gazının bu özelliğinden dolayı ozon ile dezenfeksiyon su dolmuş tesislerinde öncelikle tercih edilen etkili bir yöntemdir. Su dezenfeksiyonunda ozonun kullanımı sayesinde sudaki bulanıklık giderilebilmekte, ağır metaller uzaklaştırılabilmekte, suda bulunan nitrit ve amonyak uzaklaştırılabilmekte, siyanid ve organik maddeler temizlenebilmektedir.

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

Ozon gıda endüstrisinde ise et ve balık işleme tesislerinde yıkama, soğutma ve ekipmanların temizliğinde kullanılan suların dezenfeksiyonunda, gıdaların üretim süreçleri ve depolanması sırasında ortamdan bulaşan küf ve benzeri mikroorganizmaların uzaklaştırılmasında ve her türlü istenmeyen kokuların giderilmesinde kullanılmaktadır.

Bunlara ilaveten baharat işleme tesislerinde, yemek fabrikalarında, gıdaların renklerinin düzeltilmesinde ve tarımsal ilaç kalıntılarının giderilmesi de kullanılmaktadır.

Ozon, yüzme havuzlarında kimyasalların kullanımında %80 – 90'lık bir azalma sağlar. Bu oran, işletmeler açısından büyük miktarlarda maliyet düşüşü demektir. Aynı zamanda, kimyasal kullanımını azaltmak, insan ve çevre sağlığı açısından da oldukça önemlidir.

Ozon gazı kağıt sanayinde olarak odun hamurunun ağartılması için kullanılmıştır. Odun hamurunun ağartılmasında ozonun kullanılması yönteminin, klor dioksitine göre daha ekonomik olduğu belirtilmiştir. (Govers ve diğ., 1995, Duran ve diğ., 2006b).

### **3. OZONUN TEKSTİL TERBİYESİNDE KULLANIMI**

Tekstil sanayinde ozon gazının kullanımı ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Ozon gazı, genel olarak denim yıkama sektöründe eskitme ve desen oluşturma amacıyla merkezi olarak boyanın sökülme işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu tür kullanım haricinde rutin ve yaygın bir kullanımı yoktur. Bu nedenle literatürde yer alan ozonla ilgili çalışmalar, ozonun endüstriyel kullanımını yaygınlaştırma açısından çok büyük önem kazanmaktadır. (Eren ve diğ., 2007a)

Ozonun oksidatif bir madde ve aktif oksijen kaynağı olması, pamuklu kumaşların ve ürünlerin ön terbiye aşamalarından ağartma işlemlerinde hipoklorit, klorit ve hidrojen peroksitine alternatif olmasını sağlamıştır. Ozon diğer ağartıcı kimyasallara göre artık madde açığa çıkarmaması, çevreye zararlı olmaması, düşük sıcaklıklarda da etkin olması açısından tekstil ön terbiye proseslerinde avantajlıdır. Yıkamaların ve ağartmaların ozon takviyeli yapılması, enerji ve su tasarrufu sağlamakta, yıkama kimyasallarının kullanımını düşürmekte, yıkama tekrarlarını azaltmakta ve proses sürelerini kısaltmaktadır.

Aşağıda ozon kullanımını rapor eden tekstil terbiyesi uygulamaları hakkındaki literatür bilgileri özetlenmiştir.

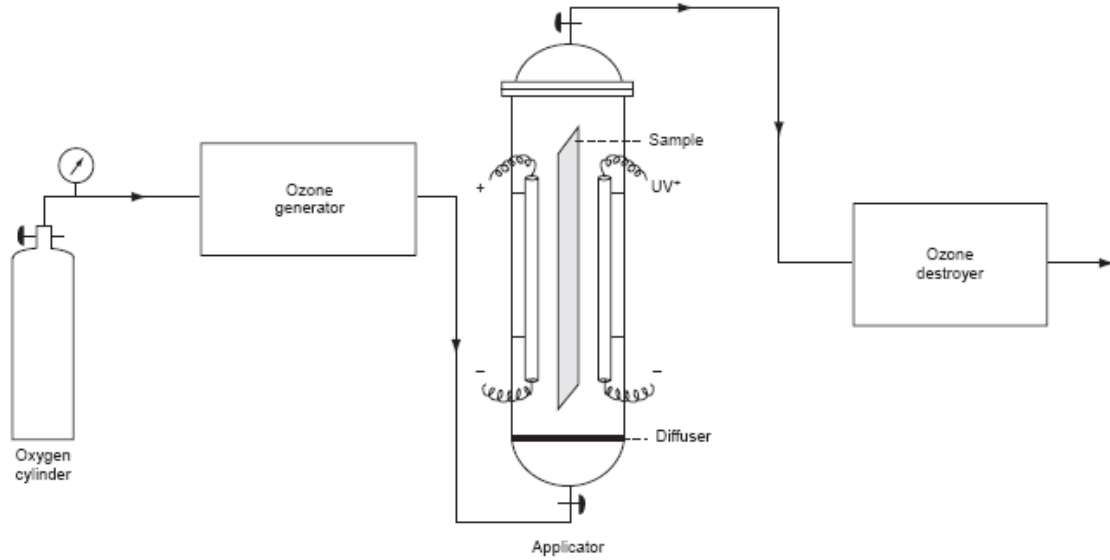
#### **3.1. Pamuğun Ağartılmasında Ozon Kullanımı**

Enerji, su, süre ve kimyasal madde kullanımında tasarruf amaçlayan çok sayıda ozon ile terbiye çalışması yayınlanmıştır. 1995 yılında ozon kullanımını sürekli hasıl sökme, hidrofilleştirme ve ağartma işleminde uygulamayı öneren bir patent (US Patent 5407446) alınmıştır. (Sando ve diğ., 1995)

Prabaharan ve diğ.(2000) pamuk ağartmasında ozon gazının etkinliğini araştırmışlardır. Çalışmada ham pamuklu kumaşların ozon-oksijen gaz karışımıyla işleme sokularak ozon konsantrasyonu ve işlem süresindeki değişimlerin kumaşların özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ozonlanan kumaşlar, konvansiyonel yöntemlerle işlem gören kumaşlarla karşılaştırılarak beyazlık indeksi, mukavemet, uzama, safsızlıkların uzaklaştırılma oranı, kimyasal modifikasyon ve reaktif boyarmadde alı-

mındaki değişimler araştırılmıştır. Sonuç olarak, ozonlamayla çok kısa sürede kumaşlarda kabul edilebilir beyazlık değerlerine ulaşılmıştır. Kumaşlarda en az mukavemet kaybı ve en iyi beyazlık derecesinin eldesi için, yüksek ozon konsantrasyonu ve düşük uygulama süresinin gerekmekte olduğu bulunmuştur. Kumaşlarda haşıl uzaklaştırılma etkinliğine bakıldığında, konvansiyonel yöntemlerle yapılan deneme sonuçlarına nazaran daha düşük sonuçlar elde edilmiş fakat ozonlanan kumaşların hidrofilitate değerlerinin kabul edilebilir olduğu belirtilmiştir. Ozonlanan kumaşların kimyasal modifikasyonunun daha yüksek olduğu belirtilmiş, bunun nedeni olarak da ozonun yüksek oksidasyon potansiyeli gösterilmiştir. Safsızlıklar nedeniyle ozonlanan kumaşların yüzeyinde asidik ve indirgen grupların açığa çıkması, ozonlanan kumaşlarda yüksek olarak bulunan bakır sayısına neden olarak gösterilmiştir. Yüksek ozon konsantrasyonlarında ozonlanan kumaşların boya alımlarındaki düşüş gözlenmiş bunun ozon konsantrasyonunun artırılmasıyla hidroksil gruplarının aldehit ve karboksil grupların dönüşmesi nedeniyle olduğu belirtilmiştir. Buna ek olarak pamuğun ağartılmasında ozonlama işleminin, zararlı kimyasallar kullanılmadan yapılabilir olması, çok az su gerektirmesi ve kısa sürede oda sıcaklığında uygulanabilir olmasının, çevresel açıdan çok önemli olduğu vurgulanmıştır.

Prabaharan ve Rao (2001) yaptıkları çalışmada pamuk ağartmasında ozon gazını kullanmışlar ve ozonlama esnasında kumaş neminin ve pH'ın etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuca göre pamuğun ozonlanmasında kumaşın belirli oranda bir nem içermesinin önemli olduğunu ve pH 7 nin altında çalışıldığında daha iyi sonuçlar elde edilebileceğini bildirmişlerdir.



Şekil 5:

*Ozonlama deney ekipmanı: 1. Oksijen tüpü, 2. Ozon jeneratörü, 3. Uygulama tüpü, 4. Difüzer, 5. Kumaş örneği, 6. Ozon parçalayıcı. (Prabaharan ve diğ., 2000)*

Prabaharan ve Rao (2002) gerçekleştirdikleri diğer bir çalışmada ise pamuğun ozonla kombine yıkama, haşıl sökme ve ağartma işlemleri ile ilgili çalışmışlardır. Ham pamuklu kumaş, minimum hasarla yüksek beyazlık değerine ulaşılması amacıyla öncelikli olarak ozonlanmış ardından hidrojen peroksit ağartmasına tabi tutulmuştur. Yaklaşık % 24 nem ihtiva eden pamuklu ham kumaşlar, pH 5'te 100 g/m<sup>3</sup> ozon konsantrasyonunda 1, 2 ve 3 dakikalık sürelerde oda sıcaklığında ozonlanmış, yıkanmış ve ardından standart prosedüre göre hidrojen peroksitle ağartılmışlardır. Karşılaştırma amacıyla başka bir grup kumaşa konvansiyonel olarak asidik haşıl sökme, hidrofilleştirme, hidrojen peroksit ve hipoklorit ağartması yapılmıştır. Önceki çalışmalarda belirtildiği üzere, ozonun yüksek oksidasyon potansiyeli nedeniyle kumaşlarda yüksek kimyasal modifikasyon olduğu, buna bağlı olarak da karboksil ve aldehit gruplarının oluşması nedeniyle boya alımının uygulama süresi arttıkça düştüğü gözlenmiştir. (Prabaharan ve Rao, 2002)



Pamuğun ağartılmasında ozon kullanımının araştırıldığı başka bir çalışmada, oda sıcaklığında nötr veya asidik ortam pH'larında daha iyi sonuç alınabileceği belirtilmiş, yine aynı çalışmada kumaş neminin de önemli olduğu ifade edilerek pamuk ağartmasında ozonun iplik içerisinde bulunan liflere ve lifler içerisinde bulunan fibrillere ulaşmasının önemli olduğu bildirilmiştir. Bu işlemin sadece ozonun çözünüp liflere ve lif içerisinde taşıyabilecek miktarda su ile sağlanabileceği ifade edilmiştir. Bu nedenle ozonlanacak pamuklu kumaşlarda % 60 nem bulunmasının optimum olduğu ifade edilmiştir. Bu yöntem esas alınarak yapılan bir çalışma ile kısa sürede pamuklu kumaşların beyazlıklarının artırılabilirliği gösterilmiştir. Çalışmada ozon transferi şu adımlarla ifade edilmiştir;

- Ozonun gaz fazından sıvı-gaz ara yüzey sınırına transferi
- Ozonun sıvı film ara yüzeyinden sıvı bölgesine transferi
- Ozon moleküllerinin sıvı bölgesinden lifi saran sıvı tabakasına konveksiyonu ve difüzyonu
- Ozon ve OH<sup>-</sup> iyonlarının life difüzyonu
- Lifler arası kütle transferi
- Lif içi kütle transferi (Perinçek ve diğ., 2007a).

Pamuk kumaş su içerisindeyken ozon gazı beslemesi yapılan deneysel bir çalışmanın sonuçları da literatürde verilmiştir. Deneylerde pamuklu kumaş numuneleri çeşitli sürelerde oda sıcaklığında ozonlanmış ve elde edilen beyazlık ve mukavemet değerleri klasik hidrojen peroksit ağartmasında elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Ortalama Stensby beyazlık değeri hidrojen peroksit ile ağartılmış kumaşlarda 78 iken 15 dakika ozonlanmış kumaşlarda 74 bulunmuştur, bu ikisi arasındaki renk farkı ise DE 1,5 olarak ölçülmüştür. Bu değerler ozonlama yoluyla beyazlıkta kayda değer artışlar sağlandığını göstermiştir. Yapılan mukavemet testlerinde ozonlama işleminin pamuklu kumaşın mukavemetinde ciddi hasarlar oluşturmadığı görülmüştür. (Eren ve diğ., 2008)

Ozonun lakkaz enzimleriyle ağartmaya etkisinin, enzim aktivitesi ve beyazlık açılarından incelendiği çalışmalarda ise beyazlık ölçüm sonuçları, tek başına lakkaz kullanımının beyazlıkta kayda değer bir artış sağlamadığını göstermiştir. 40°C'daki lakkaz ağartma banyosuna ozon gazı beslenmesi durumunda beyazlık değeri (Stensby) 61'den 69'a çıkmıştır. Ozon oksidatif özelliği nedeniyle enzim aktivitesini düşmüştür. Ozon tek başına kullanıldığında beyazlık değeri (Stensby) 71'e çıkmıştır. Enzim ve ozon ile işlem görmüş numunelerin beyazlıklarını artırmak için ilave peroksit ağartması yapılmış ve beyazlıklarda ciddi artışlar sağlanmıştır. Ozon ile işlem görmüş numunenin beyazlık değeri ilave peroksit ağartması sonrasında (Stensby) 83'e kadar çıkararak klasik peroksit ağartmasında ulaşılan değerleri yakalamıştır. (İnkaya ve diğ., 2007, Eren ve diğ., 2009)

### **3.2. Jütün Ağartılmasında Ozon Kullanımı**

Jüt kumaşların ağartılması için ozon kullanılan çalışmada elde edilen sonuçlar daha sonra konvansiyonel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, ozonlama işleminin % 60 nem içeren kumaşlara pH 7 ve oda sıcaklığında uygulanmasının optimum olduğu tespit edilmiştir. İstenilen beyazlık derecesinin ozonlama süresi artırılarak elde edilebileceği belirlenmiştir. Konvansiyonel olarak ağartılması zor olan jüt kumaşın ozonla ağartılmasının kısa sürede kabul edilebilir beyazlık dereceleri, hidrofilitate değerleri ve mukavemet kayıpları değerleri verdiği bulunmuştur. Ayrıca jüt lifinde bulunan ligninin ozonlama ile uzaklaştırıldığı ve alınan yüzey görünümünün, konvansiyonel yöntemlerle elde edilen yüzey görünümüne göre daha temiz olduğu bulunmuştur. (Perinçek ve diğ., 2007b)

### **3.3. Yünün Ağartılmasında Ozon Kullanımı**

Ozonun protein esaslı lifler üzerine etkilerini incelemek amacıyla Angora tavşanı yününün ağartılması ve bu liflerin boyanabilirliğinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Angora lifi, yapısı gereği yıkanması, ağartılması ve boyanması dikkat gerektiren bir lifdir. Ozonun düşük sıcaklıkta olan ağartma kuvveti nedeniyle Angora lifinin ağartılmasında ve boyanabilirliğinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda oda sıcaklığında pH 7 de % 60 nem ile yapılan ozonlama sonrasında kumaşların beyazlık ve boyanabilirlik değerlerinin geliştirildiği tespit edilmiş, ozonlamanın lif yüzeyindeki pul tabakasında deformasyon meydana geldiği ve bu deformasyonun üzerinde durulması gerektiği belirtilmiştir. (Perinçek et al., 2008).

Başka bir çalışmada, koyun yünü üzerine çalışılmış ve yünlü kumaşın belirli bir nem oranında ozonla işleme tabi tutulması gerektiği bulunmuştur. Ozonla işlem süresi arttıkça beyazlık derecesinin artmadığı ve sıcaklık arttıkça kumaşların beyazlık derecelerinin düştüğü tespit edilmiştir. Önceki çalışmalarda da belirtildiği üzere bu çalışmada da asidik pH'larda ozonlama işlemlerinin beyazlık derecesine daha olumlu etkisi olduğu bildirilmiştir. Fakat çalışılan hiçbir koşulda konvansiyonel yöntemlerle elde edilen sonuçlara ulaşamamıştır. (Gülümser et al, 2009).

### 3.4. Yünün Keçeleşmezlik İşleminde Ozon Kullanımı

Ozonun yün üzerindeki etkisi klor, permonosülfirikasit ve permanganata benzetilmekte, bundan dolayı yün lifinin ozon gazı ile işleminden elde edilebilecek en önemli sonucun, pul tabakasının değişikliğe uğratılarak keçeleşmesinin azaltılması olduğu belirtilmiştir.

Protein liflerinin ozon kullanımı ile kimyasal modifikasyonu ve çekmezlik kazandırılması üzerine 2005 yılında alınmış 2 adet patent (US Patent 6969409 ve US Patent 6964182) bulunmaktadır. (Ichimura ve diğ., 2005, Karakawa ve diğ., 2005)

Bu konuda çalışan Thorsen, yün topsuyla yaptığı denemelerde, terbiye ve yıkama işlemlerinden önce ve sonra liflerin elektron mikroskobu görüntüleri (SEM) doğrultusunda, ozonun lif yüzeyini özellikle yaşken deforme ettiği, mekanik hasar ve aşınmaya karşı hassas hale getirdiği sonucuna varmıştır. Lifin boyanma özelliği değerlendirildiğinde yapılmış olan ozonla işlemin etkisinin daha çok yüzeye yakın bölgelerde gerçekleştiği bulunmuştur. (Thorsen, 1979a). Thorsen'in başka bir çalışmasında; tops ve kumaşların içerisinden 18°C ve 32°C arasındaki sıcaklıklarda ozonlu suyun sabitlenen materyalin içerisinden geçirilmesiyle efektif olarak çekmezlik sağlanmıştır. (Thorsen, 1979b) Diğer bir çalışmada ise, yün kazak ve süveter gibi bitim aşamasında olan ürünlerin çekmezlik kazanmaları amacıyla tasarlanan ozonlama makinesi üretilerek bu makinede farklı sıcaklıklarda, sürelerde ve ozon sirkülasyonlarında denemeler yapılmış, ozonlama süresinin ve cihaz içerisinde gerçekleştirilen ozon sirkülasyonunun artırılmasıyla çekmezlik özelliğinin artırıldığı bildirilmiştir. (Thorsen, 1979c).

Ozonun insan saçı üzerindeki etkilerinin araştırılmasına yönelik Pandrangi ve Morrison (2008) un yaptığı çalışmada; kümülatif olarak insan saçının ozon absorpsiyonu, ozonla reaksiyon olasılığı, örnekler üzerinde uçucu aldehit ve keton gruplarının oluşabilirliği araştırılmıştır. Saç örnekleri önceden hazırlanıp yıkanıp, bazı örnekler için günlük kullanım ürünleriyle aplikasyon yapılmıştır. Örnekler tübik teflon bir reaktörde 24 saat boyunca ozona maruz bırakılmış, ozon tüketimi miktarı ve ürün emisyonu miktarları hesaplanmıştır. Ozon absorpsiyonunun ortalama değerleri, ilk ve son reaksiyon olasılığı değerleri ölçülmüştür. Sonuçlara göre yıkanmamış ve kafa derisine en yakın saç örnekleri en yüksek ozon absorpsiyonu ve ozonla reaksiyona girme olasılığı değerleri vermiştir. Bunun nedeninin de deriden salgılanan doğal yağların ozonla reaksiyon verme isteğinin olduğu belirtilmiştir. Diğer yandan yıkanmış ve yıkanmamış saç örneklerinin arasında önemli bir fark olmadığı bildirilmiştir. Ozonla reaksiyon veren ikincil bileşiklerin yıkanmamış saçın yıkanmış saça göre deriden salgılanan sebumla reaksiyona daha sık girdiği gözlenmiştir. Reaksiyon olasılıklarının sonuçlarına göre -kümülatif ozon absorpsiyonu ve tipik sebum üretim oranları- deriye ve saça olan ozon akışımın iletiminin sınırlığı olduğu tahmin edilmiştir. (Pandrangi ve Morrison, 2008)

### 3.5. İpeğin Ağartılmasında Ozon Kullanımı

Ozonun ham ve serisini giderilmiş Tassar cinsi ipek kumaşların terbiyesinde kullanımına yönelik bir araştırmada, sabunla yıkama ve ozonlama işlemleriyle elde edilen sonuçlarla, hidrojen peroksit ağartmasıyla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kumaşların esnekliğinde gelişme ve kumaş renginde düşme sağlanmıştır. Ayrıca kumaşların kopma mukavemeti, kopma uzaması miktarı ve ağırlığında düşme; materyal bünyesinde amino grupların miktarında artış görülmüştür. pH'ın ozonlama işlemindeki maksimum etkisi pH 4'te görülmüş olup artan pH'larda, bu etki kaybolmuştur.

Kumaşların farklı nem oranlarındaki test sonuçları karşılaştırıldığında, % 50 nem içeren kumaş örneklerinin diğerlerine nazaran (%10 ve % 100) daha ciddi etkilendiği ortaya çıkarılmıştır. Ozonun kumaşlara etkisinin ozonlama süresinin artırılmasıyla artış gösterdiği bulunmuştur. Serisini giderilmiş ve ozonlanmış kumaş sonuçlarının, sadece hidrojen peroksit ağartması yapılmış kumaşların sonuçları karşılaştırıldığında önemli bir fark görülmediği belirtilmiştir. (Sargunamani ve Selvakumar, 2007)

### 3.6. Denim Yıkamada Ozon Kullanımı

Denim üzerine yapılan bir çalışmada, indigo ile boyanmış denim kumaşın renginin açılması ve kumaşın ağartılması için ozon yöntemi kullanılmıştır. Farklı pH, sıcaklık ve nem oranlarında gerçekleştirilen çalışmada farklı sürelerle de çalışılarak renk açılmaları gözlenmiştir. Oldukça kısa bir sürede ozonun denim ağartma üzerindeki başarısı kanıtlanmış bulunmaktadır. (Özdemir et al, 2008)

Ozon gazı denim yıkamada günümüzde endüstriyel olarak kullanılmaktadır. Özellikle denim pantolonların ceplerinin lekelenmelerin giderilmesinde küçük çaplı denim yıkama işletmeleri de dahil bir çok tesiste ozon gazı ile yıkama yapan makineler mevcuttur.

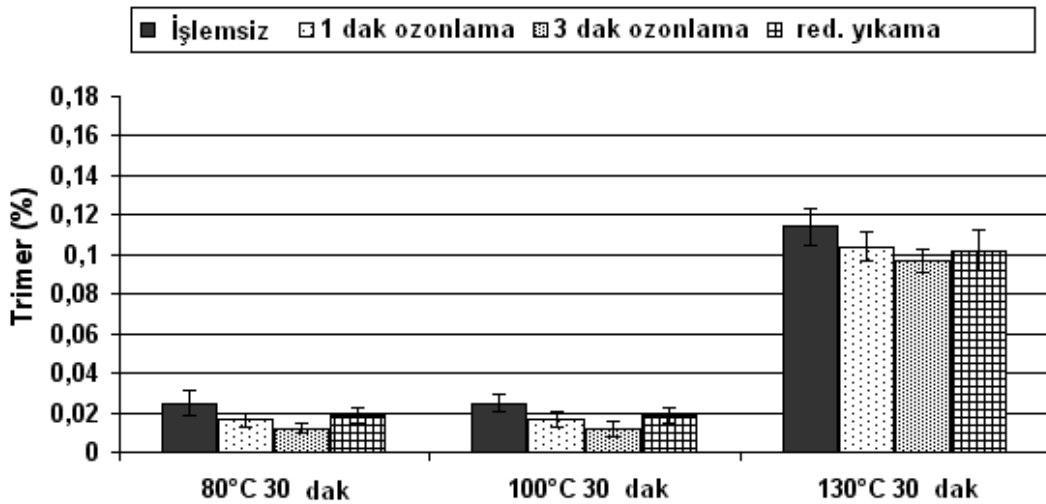
### 3.7. Naylon Lifi Terbiyesinde Ozon Kullanımı

Lee ve diğ.(2006) naylon 6 ve polyester kumaşların ozonlanmasıyla ilgili bir çalışma yapmışlar ve ozonlama sonrası kumaş üzerindeki kimyasal modifikasyonu analiz etmişlerdir. Sonuçlara göre kumaşların su absorpsiyonunda gelişme olduğu, özellikle polyester kumaşların boya alım oranlarında kristalinitenin artışına rağmen gelişmelerin meydana geldiği bildirilmiştir. Bu çalışmayla sadece lif yüzeyi özelliklerinde değişimler olmadığı, aynı zamanda lif içerisinde de kristalin ve amorf bölgelerin ozonlama işleminden etkilendiği kumaşların boyama davranışındaki değişiklik göz önüne alınarak özellikle belirtilmiştir. Ozonlama işlemlerinden sonra kumaşlara Kawabata değerlendirme sistemi ile ölçüm yapılmış, özellikle polyester kumaşların histerisis eğrilerinde gelişme olduğu ve makaslama modüllerinde artış olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak kumaşlarda ozonlama işlemi sonucunda önemli bir değişim olduğu ve kumaş tutumlarının geliştirildiği belirtilmiştir. (Lee ve diğ., 2006)

### 3.8. Polyester Terbiyesinde Ozon Kullanımı

Ozonlama işleminin polyesterin dispers boyanması sonrası temizlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda %100 polyester kumaş CI Disperse Blue 56, CI Disperse Blue 60, CI Disperse Blue 79 boyarmaddeleriyle koyu tonda (%3) boyanmışlar ve ard işlem olarak uygulanan ozonlama işlemi klasik redüktif yıkama ile karşılaştırılmıştır. Ozonlama oda sıcaklığındaki suda ve ayrıca oda sıcaklığındaki atık boyama banyosunda ayrı ayrı yapılmıştır. İlave kimyasal madde kullanılmamıştır. Ard işlemin ozonlama ile nötr soğuk suda sadece 1 dakikada gerçekleştirdiği, atık boya banyosunda yapılan ozonlama ile ise 3 dakikada hem yeterli haslık sağlandığı hem de atık çözeltinin renk gideriminin gerçekleştirildiği rapor edilmiştir. (Eren, 2006 ve 2007)

Polyester yüzey oligomerinin uzaklaştırılmasında ozon kullanımının araştırılması konusundaki çalışmada da yine ozonlamanın redüktif yıkama kadar başarılı sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Şekil 6). (Eren ve Anış, 2009)



Şekil 6:

Polyester yüzey oligomeri uzaklaştırmada ozonlamanın etkinliği. (Eren ve Anış, 2009)

### 3.9. Polilaktikasit (PLA) Terbiyesinde Ozon Kullanımı

Polilaktikasit (PLA) lifinin hidrofilitesini geliştirmek için UV/ozon muamelesinin rapor edildiği çalışmada uygulanan muamele sonucu PLA lifinin ester bağlarında kopma dolayısıyla moleküler ağırlığın azaldığı, su temas açısının 61 dereceden 39 dereceye düştüğü rapor edilmiştir. Aynı çalışmada bu muamele sonucu PLA lifinin direkt boyarmaddelerle boyanmasında boyarmadde alımının arttığı bunun muhtemel sebebinin muamele sonucu yeni oluşan anyonik ve dipolar gruplar olduğu rapor edilmiştir. (Ko ve Jang, 2008)

Polilaktikasit (PLA) lifinin ozonlanması üzerine yapılan diğer bir çalışmada ise ozonlama sonucu beyazlıklarda artış rapor edilmiştir. Ancak uzun ozonlama sürelerinin mukavemette kayıplara yol açtığı da yine aynı çalışmada rapor edilmiştir. (Eren ve diğ., 2010)

### 3.10. Tekstilde Boyama Atık Sularının Renk Giderimi ve Geri Kazanımında Ozon Kullanımı

Tekstil endüstrisi boyama atık suyunun renginin giderilmesinde ozonla muamele oldukça yaygındır. (Aniş ve Eren, 1998 ve 2006, Vandevivere ve diğ., 1998)

Boyarmaddelerin yapıları arıtım işlemlerine karşı davranışı belirlemektedir, bunun yanında boyarmaddelerin liflere fiske oranları farklı olduğundan atık suda kalan boyarmadde miktarları da farklılık göstermektedir. (O'Neill ve diğ., 1999, Cooper, 1993) Dünya lif tüketim miktarları ile bu liflerin boyanmasında kullanılan boyarmadde sınıflarına ve İngiltere'de atıksu tesislerinde yapılan bir araştırmaya göre atıksuda karşılaşılabilecek boyarmaddeler öncelikli olarak reaktif ve dispers boyarmaddelerdir. (Eren ve diğ. 2007b ve 2007c, Estur ve Beccera, www. icac.org, Aspland, 1993, Shore, 1998, Perepelkin, 2001, O'Neill ve diğ., 1999, Vandevivere ve diğ., 1998, Hutchings ve Ebenezer, www.chemsoc.org)

Ozonla işlem optimizasyonuna yönelik reaktif boyarmadde içeren atıksularda renk giderimi (Yong ve diğ., 2005, Senthilkumar ve Muthukumar, 2005, Song ve diğ., 2007) kompozit atıksularla renk giderimi (Alaton, 2007a ve 2007b, Selçuk ve diğ., 2006, Eremektar ve diğ., 2007, Sundrarajan ve diğ., 2007) noniyonik yüzeyaktif maddelerin atık sudan uzaklaştırılması (Uchiyama ve diğ., 2007), deri boyamacılığında renk giderimi (Srinivasan ve diğ., 2009) gibi literatürde rapor edilmiş çok sayıda çalışma mevcuttur. Ozonlama ile renk giderimi hakkında çok daha geniş bir literatür özeti "Tekstil Boyama Atıksularının Ozonlama ile Renk Giderimi" başlıklı çalışmada verilmiştir. (Eren ve Aniş, 2006)

## 4. SONUÇ

Bu çalışmada ozonun özellikleri belirtilmiş ve tekstil terbiyesinde kullanımı için genel bir çerçeve çizilmeye çalışılmıştır. Tekstil terbiyesinde birçok işlemde ozon ile denemeleri rapor eden literatür bulunsa da denim yıkamada ozon kullanımı dışında tekstil terbiyesinde endüstriyel olarak ozon kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır.

Tekstil terbiyesinde ozon kullanımı ile hedeflenen avantajlar aşağıdaki şekilde listelenebilir;

- ozon soğukta (oda sıcaklığında) etkin olduğu için terbiye proses suyunu ısıtma gerekliliği olmaması sonucu enerji tasarrufu,
- ozonlama her pH değerinde etkin olduğu için terbiye proses suyunun pH ayarlaması gerektirmemesi sonucu kimyasal madde tasarrufu
- ozon diğer klasik kimyasalları ikame edeceğinden kimyasal madde tasarrufu
- ozon kendiliğinden oksijene dekompoze olduğu için ( $3O_2 \rightarrow 2O_3 \rightarrow 3O_2$ ) çevre dostu üretim
- ozonlamanın boyama banyosunda yapılması durumunda
  - su tasarrufu
  - atık yükünde azalma

Tüm bu avantajları dikkate alındığında ozon kullanan tekstil terbiye proseslerinin gelişimin büyük önem taşıdığı görülmektedir. Zaten son yıllarda bu konuda yapılan yayın ve projelerdeki artış da bunun göstergesidir.

## TEŞEKKÜR

TUBİTAK proje no: 109M266, Yürütücü Doc.Dr. Hüseyin Aksel EREN, Uludağ Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü.

## KAYNAKLAR

1. Alaton, I.A., Kornmüller, A., Jekel, M.R., (2002) Ozonation of Spent Reactive Dye-Baths: Effects Of  $\text{HCO}_3^-$ / $\text{CO}_3^{2-}$  Alkalinity, *Journal Of Environmental Engineering*, 128(8), 689-696.
2. Anış, P. ve Eren, H.A., (1998) Boyahane Atık Sularından Rengin Uzaklaştırılmasında Uygun Teknolojilerin Gözden Geçirilmesi, *Tekstil Terbiye & Teknik*, 3(31), 74-79.
3. Alaton, I., (2007a) Degradation of a Commercial Textile Biocide With Advanced Oxidation Processes And Ozone, *Journal of Environmental Management*, 82, 145-154.
4. Alaton, I., (2007b) Degradation of Xenobiotics Originating From The Textile Preparation, Dyeing and Finishing Industry Using Ozonation and Advanced Oxidation, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 68, 98-107.
5. Arslan, I. ve Balcioğlu, A., (2000) Effect Of Common Reactive Dye Auxiliaries on The Ozonation of Dyehouse Effluents Containing Vinylsulphone and Aminochlorotriazine Ring, *Desalination*, 130, 61-71.
6. Aspland, J.R., (1993) Chapter 13:Dyeing Blends:Polyester/Cellulose, *Textile Chemist and Colorist*, 25(8), 21-26.
7. Bocci, V., Borrelli, E., Travagli, V., Zanardi, I., (2009) The Ozone Paradox: Ozone Is a Strong Oxidant as Well as a Medical Drug, *Medicinal Research Reviews*, 29(4), 646-682.
8. Ciardelli, G., Ranieri, N., (2001) The Treatment and Reuse of Wastewater in The Textile Industry by Means of Ozonation And Electroflocculation, *Wat.Res.*, 35(2), 567-572.
9. Cooper, P., (1993) Removing Colour From Dyehouse Waste Waters – A Critical Review of Technology Available, *JSDC*, 109(3), 97-100.
10. Eremektar, G., Selcuk, H., Meric, S., (2007) Investigation of The Relation Between COD Fractions And The Toxicity in a Textile Finishing Industry Wastewater: Effect of Preozonation, *Desalination*, 211, 314-320.
11. Eren, H.A., Avinç ,O.O., Uysal, P. ve Wilding, M., (2010) The Effects of Ozone Treatment on Polylactic Acid (PLA) Fibers, Accepted Oral presentation Fiber Society 2010 Meeting.
12. Eren, H.A. and Anış, P. (2009) Surface Trimer Removal Of Polyester Fibres By Ozone Treatment, *Textile Research Journal*, 79(7), 652-656.
13. Eren, H.A., Anış, P., Yılmaz, D., Kirişçi, Ş. ve İnkaya, T. (2009) Pamuğun Ağartılmasında Lakkaz, Ozon Ve Hidrojen Peroksitin Kombine Kullanımı, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 19 (4)299-303.
14. Eren, H.A. , Anış,P., Günay, A.B., ve Demirhan, Ö. (2008) Pamuklu Dokuma Kumaşın Ozon İle Oda Sıcaklığında Ağartılması Olanacağının Araştırılması, IV Ulusal Tekstil Boya ve Kimyasalları Kongresi, 30-31 Ekim 2008 Denizli, Pamuklae Üni-BUTAL, Denizli.
15. Eren, H., Anis, P., (2007a) Ozone Application Studies In Textile Finishing, 6<sup>th</sup> *International Conference-TEXSCI*, Poster presentation, June 5-7 Liberec, Czech Republic.
16. Eren, H.A. (2007) Simultaneous Afterclearing and Decolorisation by Ozonation After Disperse Dyeing of Polyester, *Coloration Technology*, 123(4), 224-229.
17. Eren, H.A., Anış, P. ve Kurcan, P., (2007b) Boyarmadde Hidrolizinin Reaktif Boyama Atık Sularının Ozonlama ile Renk Giderimine Etkilerinin Araştırılması, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 2, 119-125.
18. Eren, H.A., Anış, P. ve Kurcan, P., (2007c) Boyamada Kullanılan Yardımcı Kimyasal Maddelerin Reaktif Boyama Atık Sularının Ozonlanmasına Etkileri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 12(2), 43-60.
19. Eren, H.A. (2006) Afterclearing by ozonation: a novel approach for disperse dyeing of polyester, *Coloration Technology*, 122(6), 329-333.
20. Eren,H.A.ve Anis,P (2006) Tekstil Boyama Atıksularının Ozonlama ile Renk Giderimi, Uludağ Üniversitesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(1)83-91.
21. Hsu, Y., Chen, J., Yang, H., (2001) Decolorization of Dyes Using Ozone in a Gas-Induced Reactor, *AIChE Journal*, 47(1), 169-176.
22. <http://scifun.chem.wisc.edu/chemweek/ozone/ozone.html>, 03/09/2009

23. Ichimura, H., Umehara, R., Karakawa, T., Oshima, K. and Nakase, T. (2005) Animal fiber superior in shrink proofing and method for preparation thereof, US Patent 6969409.
24. İnkaya, T., Eren, H. A., Anış, P., (2008) Pamuk Ağartılmasında Lakkaz/Mediatör Sistemlerinin Oksijen ve Ozon ile Kombine Edilmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14 (1), 77-82.
25. Karakawa, T., Umehara, R., Ichimura, H., Oshima, M. and Sadoka, K. (2005) Treatment apparatus for chemical modification of animal fibers of continuous web form, US Patent 6964182.
26. Konsowa, A.H., (2003) Decolorisation of Wastewater Containing Direct Dye by Ozonation in a Batch Bubble Column Reactor, *Desalination*, 158, 233- 240.
27. Koch, M., Yediler, A., Lienert, D., (2002) Ozonation Of Hydrolysed Azo Reactive Yellow 84, *Chemosphere*, 46, 109-113.
28. Lee, M., Lee, M. S., Wakida, T., Tokuyama, T., Inoue, G., Ishida, S., Itazu, T., Miyaji, Y., (2006) Chemical Modification Nylon 6 and Polyester Fabrics by Ozone-Gas Treatment, *Journal of Applied Polymer Science*, 100, 1344–1348.
29. Lin, C.C., Liu, W.T., (2003) Ozone Oxidation in a Rotating Packed Bed, *J.Chem. Technol. Biotechnol.*, 78, 138-141.
30. Muthukumar, M., Selvakumar, N., (2004) Studies on The Effect Of Inorganic Salts on Decolouration of Acid Dye Effluents by Ozonation, *Dyes And Pigments*, 62, 221-228.
31. Neamtu, M., Yediler, A., Siminiceanu, I., Macoveanu, M., (2004) Decolorization of Disperse Red 354 Azo Dye in Water by Several Oxidation Processes-A Comparative Study, *Dyes and Pigments*, 60, 61-68.
32. Oğuz, E., Keskinler, B., Çelik Z., (2005) Ozonation of Aqueous Bomaplex Red Cr-L Dye in a Semi-Batch Reactor, *Dyes And Pigments*, 64, 101-108.
33. O'Neill, C., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L., (1999) Colour In Textile Effluents-Sources, Measurement, Discharge Consents And Simulation: A Review, *Journal Of Chemical Technology And Biotechnology*, 74, 1009-1018.
34. Pandrangi, L., Morrison, G., (2008) Ozone Interactions With Human Hair: Ozone Uptake Rates and Product Formation, *Atmospheric Environment*, 42, 5079–5089.
35. Prabakaran, M., Rao,J.V., (2003) Combined Desizing, Scouring and Bleaching of Cotton Using Ozone, *Indian J. of Fibre & Tex. Res.*, 28(12), 437-443.
36. Prabakaran, M., Rao,J.V., (2001) Study on Ozone Bleaching of Cotton Fabric Process Optimisation, Dyeing And Finishing Properties, *Coloration Technology*, 117(2), 98-103.
37. Prabakaran, M., Rao,J.V., Nayar, R., Selvakumar, N., (2000) A Study on The Advanced Oxidation of a Cotton Fabric By Ozone, *JSDC* , 116(3), 83-86.
38. Perincek, S., Duran, K., Korlu, A., and Bahtiyari, I., (2007a) An Investigation in the Use of Ozone Gas in the Bleaching of Cotton Fabrics, *Ozone: Science and Engineering*, 29, 325–333.
39. Perincek, S., Bahtiyari, İ., Körlü, A., Duran, K., (2007b) Ozone Bleaching of Jute Fabrics, *AATCC*, 7(3), 34-39.
40. Perincek, S., Bahtiyari, İ., Körlü, A., Duran, K., (2008) Ozone Treatment of Angora Rabbit Fiber, *Journal of Cleaner Production*, 16(17), 1900-1906.
41. Sando, Y., Nakano, E., Ishidosiro, H. and Sando, K. (1995) Method and apparatus for the pretreatment of a cloth, US Patent 5407446.
42. Sargunamani, D., Selvakumar, N., (2007) Effects of Ozone Treatment on the Properties of Raw and Degummed Tassar Silk Fabrics, *Journal of Applied Polymer Science*, 104, 147–155.
43. Saunders, F.M., Gould, J.P., Southerland, C.R., (1983) The Effect of Solute Competition on Ozonolysis of Industrial Dyes, *Wat.Res.*, 17(10), 1407-1419.
44. Selçuk, H., Eremektar, G., Meriç, S., (2006) The Effect of Pre-Ozone Oxidation on Acute Toxicity and Inert Soluble COD Fractions of a Textile Finishing Industry Wastewater, *Journal of Hazardous Materials*, B137, 254–260.
45. Senthilkumar, M., Muthukumar, M., (2007) Studies on The Possibility of Recycling Reactive Dye Bath Effluent After Decolouration Using Ozone, *Dyes and Pigments*, 72, 251-255.
46. Sevimli, M.F., Sarıkaya, H.Z., (2002) Ozone Treatment of Textile Effluents and Dyes: Effect of Applied Ozone Dose, pH and Dye Concentration, *J.Chem.Technol. Biotechnol.*, 77, 842-850.
47. Shore, J., *Blends Dyeing*, Society Of Dyers And Colourists Publication, Manchester- UK, 1998.

48. Song, S., He, Z., Qiu, J., Xu, L., Chen, J., (2007) Ozone Assisted Electrocoagulation For Decolorization of C.I. Reactive Black 5 in Aqueous Solution: an Investigation of The Effect of Operational Parameters, *Separation and Purification Technology*, 55, 238–245.
49. Srinivasan, S.V., Rema, T., Chitra, K., Sri Balakameswari, K., Suthanthararajan, R., Uma Maheswari, B., Ravindranath, E., Rajamani, S., (2009) *Desalination*, 235, 88–92.
50. Strickland, A.F., Perkins, W.S., (1995) Decolorization Of Continious Dyeing Wastewater by Ozonation, *Textile Chemist and Colorist*, 27(5), 11-15.
51. Sundrarajan, M., Vishnu, G., Joseph, K., (2007) Ozonation of Light-Shaded Exhausted Reactive Dye Bath For Reuse, *Dyes and Pigments*, 75, 273-278.
52. Szpyrkowicz, L., Juzzolino, C., Kaul, S.N., (2001) A Comparative Study on Oxidation of Disperse Dyes By Electrochemical Processes, Ozone, Hypchlorite and Fenton Reagent, *Wat.Res*, 35(9), 2129-2136.
53. Uchiyama, T., Kobayashi, H., Znad, H., Tokumura, M., and Kawase, Y., (2007) Dynamic Performance of Ozonation Treatment for Nonionic Surfactants (Polyoxyethylene Alkyl Ether) in a Bubble Column Reactor, International Ozone Association, *Ozone: Science and Engineering*, 29, 65–72.
54. Vandevivere, P.C., Bianchi, R., Verstrete, W., (1998) Treatment and Reuse of Wastewater From The Textile Wet Processing Industry: Review Of Emerging Technologies, *Journal Of Chemical Technology And Biotechnology*, 72, 289-302.
55. *www.icac.org*, 2007, Estur, G., Becerra, C.A.V., Developments In World Fibre Consumption Pattern: An Overview of 1996 and 2000 FAO/ICAC World Fibre Consumption Survey.
56. *www.chemsoc.org*, 2007, Hutchings, M.G., Ebenezer, W.J., Super Efficient Dyes For The Coloration Of Cotton: The Procion XL+ Range.
57. *www.ozoneapplications.com*, 2009
58. Wu, J., Wang, T., (2001) Ozonation of Aqueous Azo Dye in A Semi-Batch Reactor, *Wat.Res.*, 35(4), 1093-1099.
59. Yong, K., Wu, J., Andrews, S., (2005) Heterogeneous Catalytic Ozonation of Aqueous Reactive Dye, *Ozone: Science and Engineering, International Ozone Association*, 27, 257-263.
60. Zhang, F., Yediler, A., Liang, X., (2004) Effects of Dye Additives on The Ozonation Process and Oxidation By- Products: A Comparative Study Using Hydrolyzed C.I. Reactive Red 120, *Dyes And Pigments*, 60, 1-7.