

PAMUK AĞARTILMASINDA LAKKAZ/MEDİATÖR SİSTEMLERİNİN OKSİJEN VE OZON İLE KOMBİNE EDİLMESİ

Tuba İNKAYA*, Hüseyin Aksel EREN, Pervin ANIŞ****

*TSE, Bursa, **Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 16059/Bursa

Geliş Tarihi : 02.04.2007

ÖZET

Pamuklu tekstil mamullerinin ön terbiyesi esnasında tüketilen enerji ve su miktarının azaltılması ile atık su yükünün çevreye zarar vermeyecek standartlarda olması enzim kullanımının her adımda sağlanması ile mümkün olacaktır. Pamuklu tekstil mamullerinin enzimatik ağartması üzerine yapılan bu çalışmada enzimatik ağartmanın su ve enerji kullanımının yüksek olduğu hidrojen peroksit ağartmasının yerine uygulanıp uygulanamayacağı incelenmiştir. Saf lakkaz enziminin tek başına kullanılmasıyla yapılan denemeler sonucunda kumaşın 49 stensby derecesi olan başlama beyazlık derecesinde bir artış oluşmamış, beyazlık en fazla 51 stensby derecesine çıkartılabilmektedir. Saf enzim ve iki farklı mediatör sistem ile yapılan çalışmalarda da beyazlık artırılmamıştır. Beyazlık derecesini artırmak için çözeltiye 1000 ml/min gaz akışında oksijen ve yine 1000 ml/min gaz akışında ve 32 mg/min konsantrasyonunda ozon beslemesi yapılmıştır. Oksijen beslemesinin fazla bir etkisi olmamış ve beyazlık dereceleri 51 stensby derecesi seviyesinde çıkmıştır, ancak ozon beslemesi durumunda beyazlıklar yalnızca enzim içeren banyolarda 68, enzimle birlikte mediatör içeren banyolarda 70 stensby derecesine kadar yükselmiştir.

Anahtar Kelimeler : Pamuk, Enzim, Enzimatik ağartma, Lakkaz ve Mediatör sistemler.

ENZYMATIC BLEACHING OF COTTON FIBRES WITH LACCASE/MEDIATOR SYSTEMS COMBINED WITH OXYGEN AND OZONE

ABSTRACT

Enzymes should be used in every step of pretreatment of cotton textiles in order to minimize energy and water consumption while keeping the effluent control within the tolerable standards. It has been investigated whether enzymatic bleaching of cotton textiles could be replaced with hydrogen peroxide bleaching, which is a water and energy consuming step. In this study, fungal laccase, laccase moderator systems and also oxygen and ozone feed to these systems have been experimented. The initial whiteness of the desized fabric before bleaching was 49 stensby degree. This value did not increase over 51 stensby degree by use of enzyme and also enzyme moderator systems. Oxygen and ozone feeding at a gas flow rate of 1000 ml/min and ozone concentration of 32 mg/min have been conducted in order to increase whiteness. Oxygen feed did not have a considerable effect and whiteness degrees raised up to only 51 stensby degree, however, ozone feed enhanced to raise the whiteness of the fabric upto 68 stensby degree by enzyme alone and 70 stensby degree by enzyme moderator systems.

Key Words : Cotton, Enzyme, Enzymatic bleaching, Laccase, Mediator systems.

1. GİRİŞ

Tekstil işlemlerinde enzimatik uygulamalar üzerine yapılan araştırmalar geçen yüzyıldan beri devam etmektedir. Tekstil sektörünün hemen her alanında enzimler sayesinde yapılacak radikal değişiklikler üzerine yapılan araştırmalar mevcuttur. İlk çalışmalarda, enzimlerin yünün keçeleşmesini önlemek için kullanılmasıyla lif mukavemetinin gelişmesi sağlandı. 1960'larda proteazların deterjan formüllerinde kullanılması ile biyolojik deterjan dönemi başlamıştır. 1970'lerde selülozların deterjanlara ilave edilmesi gündeme gelmiştir ve çok kez tekrarlanan yıkamalarda tüylenme engellenmiştir. Günümüzde amilazlar, lipazlar ve selülazlar da deterjan sektöründe yaygın kullanılan enzimler arasındadır (Rowe, 1999; Aly v.d., 2004). Selülazlar lyocel elyafın tüylenmesinde ve Denim yıkamasında uygulanmakta ve böylece tekstil sektöründe yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Katalaz enzimleri ile ağartma sonrasında hidrojen peroksitin uzaklaştırılması, ayrıca atık sularının geri kazanımında enzimatik yöntemler üzerine devam eden araştırmalar enzimlerin önemini arttırmaktadır (Sarıışık, 2001).

Enzimlerle çalışmanın çekici olduğu bir başka alan ise ağartmadır. Ancak ağartma konusunda ticari önem kazanmış bir çalışma henüz yapılamamıştır (Byrne, 1995; Gübitz, 2001). Hidrojen peroksit pamuk ağartılmasında hipoklorit ve sodyum klorite göre avantajları, özellikle de daha az çevre yükü oluşturması nedeniyle en çok kullanılan oksidandır. Bununla birlikte hidrojen peroksitten daha çevre dostu ve life zarar verme ihtimali daha düşük olan ağartma metodları için yapılan çalışmalar enzimatik ağartma ve ozon ile ağartma üzerine yoğunlaşmıştır. Enzimatik ağartma konusunda saf enzimlerle başarılı deneysel sonuçlar rapor edilmiştir, ancak saf enzimlerin aktivasyonlarını kaybetmeden taşınmasında ve depolanmasında soğuk zincire ihtiyaç olduğundan ticari uygulamalar için uygun değildir. Enzimatik ağartma için 3 farklı yaklaşım izlenmektedir. Birincisi, lignin ve hamur özü ağartmasında kullanılan lakkaz/mediatör bileşikler incelenmektedir. Yöntemlerden ikincisi, enzimatik ağartmada peroksidaz enzimlerinin kullanılmasıdır. Bu enzimler, H₂O₂ gibi çok çeşitli oksidasyon maddelerini aktive edebilmektedirler. Ağartma işlemi esnasında bu enzimler aktivitelerini çok çabuk yitirdikleri için yeterli beyazlık sonuçları elde edilememiştir. Üçüncü yöntem glukoz oksidaz enzimleri sayesinde glikoz ve oksijenden H₂O₂ ve glukonik asit oluşması esasına dayanmaktadır. Glikoz oksidaz enzimleri, şeker yüklü tekstil ön-ışlem atık sularının değerlendirilmesi açısından en

parlak yöntemdir (Tzanov v.d., 2001 ve 2002, Buschle Diller ve Yang 2001; Shin v.d., 2004).

Bu çalışmanın konusu olan Lakkaz (EC 1.10.3.2, p-difenol oksidaz), 19. yy'dan beri üzerinde çalışmalar yapılan birkaç enzimden birisidir. Lakkazlar, bir ya da daha fazla bakır içeren oksidazlardır. Lakkazlar orto ve para-difenoller, amino fenoller, poliaminler ve lignin gibi geniş bir substrat alanına etki ederler. Lakkazların fabrika atık sularının renksizleştirilmesinden kağıt hamurunun ekolojik ağartılmasına, şaraptaki fenolik maddelerin uzaklaştırılmasından deterjanlardaki boyarmadde transferini bloke etme fonksiyonuna kadar çoğu patentli geniş uygulama alanları mevcuttur. Lakkazlar genellikle lakkaz/mediatör sistemleri şeklinde uygulanırlar. Mediatörlerin verimliliğine ve zehirli olup olmadıklarına dikkat edilmelidir. Mediatörler, geniş substrat alanı olan lakkaz enzimlerini desteklerler ve elektron transferini gerçekleştiren katalizör benzeri bileşiklerdir. Ancak reaksiyon sırasında tüketildikleri için gerçek katalizör değildirler (Bar, 2001).

Oksijenin stabil olmayan üç atomlu bir allotropu olan ozon ise yüksek oksidasyon potansiyeli sayesinde ağartma için uygundur. Ozon spontane olarak oksijene parçalandığından çevresel açıdan avantajlıdır. Ancak ozon ile çalışmada ozon gazının çevreye yayılması çalışan sağlığı açısından risklidir. Tekstil mamullerinin ozon ile ağartılması konusunda deneysel çalışmalar mevcut olsa da denim yıkama haricinde ticari uygulaması henüz mevcut değildir (Eren ve Anış, 2007).

Tekstil ağartma işlemlerinde genellikle kullanılan sodyum hipoklorit, sodyum hidrosit, hidrojen peroksit, asitler, yüzey aktif maddeler, sodyum silikat, sodyum fosfat gibi kimyasallar atık suda yüksek alkalinite ve süspansiyon olmuş katı partiküller bırakmaktadır (Wyne v.d., 2001).

Tekstilde enzimlerin kullanımıyla işlem tipine bağlı olarak su tüketimini % 17-50, hava emisyonunu % 50-60 oranında azaltmak mümkündür böylece maliyetlerde de azalma olmaktadır. Doğal kaynaklı oldukları için enzimler çevre dostudur (Erickson ve Hessler, 2004).

Tekstil terbiye işlemleri neticesinde atık su yükü Tablo 1'de gösterilmiştir. Enzim kullanımı tekstil işlemlerinin her aşamasında yaygınlaştığında tekstil atık suyunun çevreye verdiği zarar azalacaktır. Enzimlerden, tekstil atık sularının temizlenmesinde de faydalanılmaktadır (Byrne, 1995).

Tablo 1. Tekstil İşletmelerinde Atık Su Karakteristikleri (Wyne v.d., 2002).

Değişken	Dokuma Kumaş	Örgü Kumaş
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (mg/l)	550	250
Süspanse Olmuş Katı Partiküller (mg/l)	185	300
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/l)	850	850
Sülfid (mg/l)	3	0 – 2
pH	7 – 11	6 – 9
Su Tüketimi (l/kg)	297	277

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2. 1. Enzimler, Kimyasal Maddeler ve Su

Bu çalışmada kullanılan saf lakkaz enzimi EC 1.10.3.2 *Trametes versicolor* esaslı biyokimyasaldır ve Fluka'dan temin edilmiştir. İçerdiği lakkaz aktivitesi 20 birim/mg olarak belirtilmiştir. Üretici firma tarafından 1 birim, pH 4.5'te 1µmol katekolü dakikada dönüştüren enzim miktarı olarak teyit edilmiştir. Toz formundadır.

Mediatör sistem olarak iki farklı kimyasal ile çalışılmıştır, TEMPO ve VLA. TEMPO Sigma-Aldrich'ten (21400) temin edilmiştir ve kırmızı renkli toz şeklinde serbest radikaldir. VLA ise Fluka'dan (95120) alınmıştır, açık sarı ince toz halinde % 97 saflık oranında diğer mediatör bileşiktir.

Deneylerde kullanılan su işletme suyudur. pH değeri 7.0–7.7 aralığında değişmektedir. Kullanılan suyun sertliği 45 ppm olarak ölçülmüştür.

2. 2. Kumaş

Bu çalışmada % 100 pamuklu düz bezayağı dokusunda kumaş kullanılmıştır. Ham kumaş 112 g/m² ağırlığındadır. Atkı ve çözgü iplikleri Ne 30/1 % 100 pamukludur. Atkı sıklığı 26 tel/cm, çözgü sıklığı 29 tel/cm'dir.

2. 3. Kullanılan Cihazlar

Haşılı sökülmiş numunelerin enzim işlemlerinin gerçekleştirildiği cihaz, laboratuvar numune boyama cihazı Ahiba Nuance Eco (Datacolor)'dur. Sıcaklık aralığı 20-80 °C'dir. Cihazın dönüş hızı 50 rpm'dir ve dönüş yönü dakikada bir ters yöne değişmektedir. Isıtma hızı 4 °C/min'dir.

Su ve çözelti pH ölçümlerinde Seveneasy pH (Mettler Toledo) elektronik pHmetre kullanılmıştır. Elektronik pH metrenin kalibrasyonu her kullanımdan önce yapılmıştır.

Sıvı kimyasalların ölçümünde EDP Plus EP-1000 (Rainin) elektronik pipet kullanılmıştır. 10-1000 µl aralığında dozajlamaya imkan tanıyan elektronik pipet sayesinde 1 ml'den küçük değerlerin hassas ölçülerek çözeltilere ilave edilmesi mümkün olmuştur.

Bazı deneylerde işlem yapılan çözeltiye % 99 saflıkta oksijen içeren oksijen tüpünden 1.5 bar çıkış basıncında ve 1000 ml/min gaz akışı oranında oksijen beslenmiştir.

Oksijen beslemesinden farklı olarak ozon beslemesi de denenmiştir. Çözeltiye ozon verilerek yapılan deneyler oksijen tüpünden ozon jeneratörüne 1.5 bar basınçta oksijen beslenmesi sonucu oluşan oksijen/ozon karışımının 1000 ml/min gaz akış oranında çözeltiye beslenmesiyle gerçekleştirilmiştir.

Oksijen ve ozon beslemelerinde gaz etkileşimi bir teflon boru ve ucuna takılmış difüzer yardımıyla cam reaktördeki çözeltinin (içinde kumaş bulunan) tabanından yapılmıştır.

2. 4. Yöntem

Deneylerde öncelikle sıcaklık, pH ve sürede enzimin verimli çalışması için uygun şartlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Enzim konsantrasyonunda farklı değerler üzerinde çalışılmış ve elde edilen beyazlık dereceleri tespit edilmiştir.

Oksijen veya ozon ile işlem gören numunelerde, sabit sıcaklık ve gaz akışı (1000 ml/min, 1.5 bar) çözeltiye direkt olarak gönderilmiştir.

Enzimatik işlem 1 : 20 flotte oranında yapılmıştır.

Enzimatik işlem sonrası numuneler 85-90 °C sıcak suda 10 dakika yıkanmış ve bol su ile durulanmıştır. Numuneler laboratuvar şartlarında asarak kurutulmuş ve beyazlık ölçümleri yapılmıştır.

Beyazlık ölçümlerinde Macbeth Color Eye (Gretag Machbeth) spektrofotometresi ile beyazlık ölçüm programı Optiview-Lite versiyon 1.9 kullanılmıştır. D65/10° ile numunelerin 3 farklı noktasından alınan ölçümlerin ortalaması değerlendirilmiştir. Beyazlık derecesi, Stensby cinsinden ölçülmüştür.

Ağartmalardan önce ham kumaştaki haşılın uzaklaştırılması amacıyla enzimatik haşıl sökme işlemi yapılmıştır. Enzimatik haşıl sökmede kumaş, 1:10 flotte oranında 2 g/l Lubrifil LV, 2 g/l Nearfix FT-BS ve 2 g/l Nearenzyme 610 kullanılarak 60 °C sıcaklıkta 30 dakika işlem görmüştür. Ardından 5 dakika 50 °C durulama, 30 dakika 70 °C'de kurutma ve 30 dk soğuk kurutma yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Enzimatik ağartma deneylerinden önce ham kumaşın haşılı sökülüştür. Aşağıda deney sonuçları değerlendirilirken ağartmaya giren haşılı sökülüş kumaşın beyazlık derecesi referans alınmıştır. Haşılı sökülüş kumaşın beyazlık derecesi 49 stensby derecesi olarak ölçülmüştür.

3. 1. Saf Enzim Kullanılarak Yapılan Denemelerin Beyazlık Üzerinde Etkisi

Trametes versicolor esaslı saf enzim kullanılarak farklı enzim konsantrasyonlarında 40 °C ve 50 °C'de denemeler yapılmıştır. Bu denemeler neticesinde bu iki sıcaklık değerinin enzimin beyazlatma etkisi üzerinde belirgin etkisi olmadığı belirlenmiştir. Konsantrasyon değerleri incelendiğinde 0.04 g/l ile nispeten daha iyi beyazlık elde edilmiştir.

Tablo 2'de saf enzim kullanılarak farklı konsantrasyon ve iki farklı sıcaklık değerinde yapılan denemelerin beyazlık sonuçları görülmektedir.

Tablo 2. Saf Enzim Konsantrasyon - Sıcaklık - Süre Deneyleri.

İşlem Tipi	T (°C)	t (min)	Enzim konst. (g/l)	pH	Stensby
İşlemsiz	-	-	-	-	49.11
Kontrol 1*	40	30	-	5.3	49.82
Kontrol 2	40	45	-	5.3	50.09
Kontrol 3	40	60	-	5.3	49.77
Kontrol 4	50	30	-	5	49.57
Kontrol 5	50	45	-	5	49.25
Kontrol 6	50	60	-	5	49.09
Konsantrasyon 1	40	30	0.02	5.3	50.82
Konsantrasyon 2	40	30	0.04	5.3	51.06
Konsantrasyon 3	40	30	0.1	5.3	50.38
Süre 1	40	30	0.04	5.3	50.82
Süre 2	40	45	0.04	5.3	50.04
Süre 3	40	60	0.04	5.3	50.23
Konsantrasyon 1	50	30	0.02	5	51.43
Konsantrasyon 2	50	30	0.04	5	50.08
Konsantrasyon 3	50	30	0.1	5	49.08
Süre 1	50	30	0.04	5	51.43
Süre 2	50	45	0.04	5	50.11
Süre 3	50	60	0.04	5	49.96

*Kontrol: Verilen sıcaklık ve sürede su ile işlem yapılmış kumaş numunesi.

Tablo 3'de ise enzimle birlikte oksijen ve ozon kullanımının beyazlık üzerindeki olumlu etkileri görülmektedir. Özellikle ozon kullanımı durumunda beyazlık derecelerinde daha yüksek artışlar gözlenmiştir.

Tablo 3. Saf Enzim ile Ozon ve Oksijenli Denemeler.

İşlem Tipi	T (°C)	t (min)	Enzim konst. (g/l)	pH	Stensby
İşlemsiz	-	-	-	-	49.11
Kontrol*	40	30	-	5	49.96
Sadece Enzim	40	30	0,02	5	51.19
Sadece Oksijen**	40	30	-	5	51.29
Enzim + Oksijen	40	30	0,02	5	51.13
Sadece Ozon***	40	30	-	5	61.62
Enzim + Ozon	40	30	0.02	5	67.91

* : Kontrol : Verilen sıcaklık ve sürede su ile işlem yapılmış kumaş numunesi,

** : Oksijen beslemesi: 1000 ml/min saf oksijen,

*** : Ozon beslemesi: 32 mg/min ozon (1000 ml/dakika, gaz akışında).

Beyazlık derecesinde yalnız ozon kullanımı sonucunda da artış görülmektedir, bu durum ozonun oksidatif özelliğinden kaynaklanmaktadır. Ancak enzimle kombine kullanımdaki beyazlık artışı daha yüksek olmakta, sinerjik etki oluşmaktadır.

3. 2. Saf Enzim - Mediatör Sistemlerinin Beyazlık Üzerinde Etkisi

Lakkaz moleküllerinin nüfuz edemediği bölümlere daha küçük molekül yapısına sahip mediatör bileşikler girerek lakkaz enziminin substrat alanını genişletmektedir. Deneylerde VLA (M1) ve TEMPO (M2) mediatörleri farklı konsantrasyonlarda ve iki farklı sıcaklık değerinde saf enzimle beraber kullanılmıştır.

Saf enzim ve VLA mediatör sistemi ile 40 °C'de mediatör konsantrasyonunun enzim aktivitesi üzerindeki etkisi Tablo 4'te gösterilmiştir. Tablo 4'te görüldüğü gibi 40 °C'de işlem gören tüm numunelerin beyazlık değerlerinde kayda değer bir artış söz konusu değildir.

Saf enzim ve TEMPO mediatör sistemi ile 40 °C'de mediatör konsantrasyonunun enzim aktivitesi üzerindeki etkisi ise Tablo 5'te gösterilmiştir. Bu verilere göre saf enzimle, artan konsantrasyonlarda kullanılan TEMPO mediatörünün beyazlık kayda değer bir değişim oluşturmadığı görülmüştür.

Tablo 4. Saf Enzim –VLA Mediatörünün Konsantrasyon Değişiminin Beyazlık Üzerindeki Etkileri.

İşlem Tipi	T (°C)	t (min)	Enzim konst. (g/l)	Mediatör konst. (g/l)	pH	Stensby
İşlemsiz	40	30	0	0	5.1	49.11
Sadece mediatör K1	40	30	0	0.02	5.1	49.96
Sadece mediatör K2	40	30	0	0.1	5.1	49.69
Sadece mediatör K3	40	30	0	0.2	5.1	48.79
Enzim + mediatör K1	40	30	0,04	0.02	5.1	49.48
Enzim + mediatör K2	40	30	0,04	0.1	5.1	49.70
Enzim + mediatör K3	40	30	0,04	0.2	5.1	49.70

Tablo 5. Saf Enzim –TEMPO Mediatörünün Konsantrasyon Değişiminin Beyazlık Üzerindeki Etkileri.

İşlem Tipi	T (°C)	t (min)	Enzim konst. (g/l)	Mediatör konst. (g/l)	pH	Stensby
İşlemsiz	40	30	0	0	5.1	49.11
Sadece mediatör K1	40	30	0	0.02	5.1	49.24
Sadece mediatör K2	40	30	0	0.1	5.1	50.32
Sadece mediatör K3	40	30	0	0.2	5.1	49.26
Enzim + mediatör K1	40	30	0.04	0.02	5.1	48.49
Enzim + mediatör K2	40	30	0.04	0.1	5.1	47.54
Enzim + mediatör K3	40	30	0.04	0.2	5.1	47.58

3. 3. Saf Enzim, VLA ve Tempo Mediatör Sistemleri ile Oksijen veya Ozon Kullanımının Beyazlık Üzerinde Etkisi

Tablo 6'da saf enzim, mediatör VLA ve oksijen kombinasyonu ile beyazlık derecelerinin biraz geliştiği gözlenmektedir. Ancak en iyi beyazlık derecesi, ozon ve mediatör VLA kombinasyonu ile elde edilmiştir

Tablo 7'de gösterilen saf enzim ve TEMPO mediatör sisteminde de, ancak ozon ilave edildikten sonra daha yüksek beyazlık derecesine ulaşmaktadır.

Tablo 6 ve 7'den kumaşın yalnızca ozon ile muamele edilmesi sonucu da beyazlıklarda artış olduğu görülmektedir. Benzer durum Tablo 3'te yalnızca enzim bulunan banyoların sonuçlarında da rapor edilmişti. Daha önce de belirtildiği gibi, bu durum ozonun oksidatif özelliğinden kaynaklanmaktadır. Ancak enzimle kombine

kullanımdaki beyazlık artışı daha yüksek olmakta, sinerjik etki oluşmaktadır. Tablo 3'te rapor edilen ozon kullanımı durumundaki beyazlık dereceleriyle Tablo 6 ve 7'de rapor edilmiş olan beyazlık dereceleri karşılaştırıldığında, ortamda enzim ve ozona ilaveten mediatör de bulunmasının beyazlık değerlerini 2-3 stensby derecesi daha ileri taşıdığı görülmektedir.

Tablo 6. Saf Enzim-VLA Mediatörü ve Oksijen, Ozon Beslemesi Beyazlık Sonuçları.

İşlem Tipi	T (°C)	t (min)	Enzim konst. (g/l)	Mediatör konst. (g/l)	pH	Stensby
İşlemsiz	40	30	0	0	5.1	49.11
Sadece Oksijen*	40	30	0	0	5.1	51.29
Oksijen + Mediatör	40	30	0	0.1	5.1	50.79
Enzim + Mediatör + Oksijen	40	30	0,04	0,1	5.1	57.43
Sadece Ozon**	40	30	0	0	5.1	61.62
Ozon + Mediatör	40	30	0	0,1	5.1	69.28
Enzim + Mediatör + Ozon	40	30	0,04 L	0,1	5.1	69.47

*oksijen beslemesi: 1000 ml/dk. Saf oksijen,**ozon beslemesi: 32 mg/dk ozon (1000 ml/dk.gaz akışında).

Tablo 7. Saf Enzim-TEMPO Mediatörü ve Oksijen, Ozon Beslemesi Beyazlık Sonuçları.

İşlem Tipi	T (°C)	t (min)	Enzim konst. (g/l)	Mediatör konst. (g/l)	pH	Stensby
İşlemsiz	40	30	0	0	5.1	49.11
Sadece Oksijen*	40	30	0	0	5.1	51.29
Oksijen + Mediatör	40	30	0	0.1	5.1	51.02
Enzim + Mediatör + Oksijen	40	30	0.04	0.1	5.1	50.08
Sadece Ozon**	40	30	0	0	5.1	61.62
Ozon + Mediatör	40	30	0	0.1	5.1	63.67
Enzim + Mediatör + Ozon	40	30	0.04 L	0.1	5.1	56.61

*oksijen beslemesi: 1000 ml/dak. Saf oksijen,** ozon beslemesi: 32 mg/dk ozon (1000 ml/dk.gaz akışında).

4. SONUÇ

Pamuklu tekstil mamullerinin enzimatik ağartması üzerine yapılan bu çalışmada enzimatik ağartmanın su ve enerji kullanımının yüksek olduğu hidrojen

peroksit ağartmasının yerine uygulanıp uygulanamayacağı incelenmiştir.

Saf lakkaz enziminin tek başına kullanılmasıyla yapılan denemeler sonucunda enzimatik işlem neticesinde kumaşın 49 Stensby başlama beyazlık derecesinde kayda değer bir artış oluşmamış, beyazlık en fazla 51 Stensby derecesine çıkartılabilmektedir.

Saf enzimin yanında enzimle birlikte iki farklı mediatör sistem (VLA ve TEMPO) ile yapılan çalışmalarda da beyazlık artırılmamıştır.

Beyazlık derecesini artırmak için çözeltiye 1000 ml/min akışında oksijen ve yine 1000 ml/min gaz akışında ve 32 mg/min konsantrasyonunda ozon beslemesi yapılmıştır.

Saf lakkaz enzimi bulunan işlem çözeltilisine oksijen beslenmesi de beyazlık üzerine olumlu bir etki yapmamıştır.

İşlem çözeltilisine ozon beslemesi durumunda ise hem beyazlıklarda kayda değer artışlar gözlenmiştir. Beyazlık artışı sadece ozon beslemesi durumunda da belirgindir ve beyazlık 49 Stensby derecesinden 61'e çıkmıştır. Beyazlıktaki bu artış ozonun oksidatif özelliğinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte enzim içeren işlem çözeltililerine ozon beslenmesinde dikkat çekici sonuçlara ulaşılmıştır. Sadece enzim içeren işlem çözeltilisine ozon beslemesi yapıldığında kumaşın beyazlık derecesi 67 Stensby derecesine çıkmıştır ki, bu değer yalnızca ozon beslendiğinde ulaşılan 61 Stensby derecesinden yüksektir ve ozon ile enzimin sinerjik etkisini göstermektedir.

Mediatör kullanılması durumundaki sonuçlar ise iki farklı mediatör için farklı çıkmıştır. VLA mediatörü hem enzim varlığında hem de tek başına ozon beslenmesi durumundaki beyazlık derecelerini artırmış ve 69 Stensby derecesine çıkarmıştır. TEMPO mediatörü ise tek başına bulunduğu ozon beslenmesi durumundaki beyazlığı düşük oranda artırmış ancak enzimle birlikte bulunması durumunda ozon beslemesi sonunda beyazlık derecesi 56 Stensby gibi düşük bir seviyede çıkmıştır.

Pamuğun enzimatik ağartılması amacıyla üzerinde denemeler yapılan enzimlerden lakkaz; substrat spesifikliği en düşük, uygun mediatör sistemler vasıtasıyla farklı tepkimeleri başlatabilen, değişik hedeflere yönelebilen esnek bir enzimdir. Hızla gelişen biyo-teknoloji ve enzim mühendisliği sayesinde genetik yapısı değiştirilmiş lakkazlar ve bunlara uygun mediatör sistemler, pamuğun enzimatik ağartılmasında gelecek vaat etmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Aly, A.S., Moustafa, A.B. and Hebeish A. 2003. Bio-technological Treatment of Cellulosic Textiles. *Journal of Cleaner Production* 12, 697-705.
- Bar, M. 2001. Kinetics and Physico-chemical Properties of White-rot Fungal Laccases, MSc Thesis, University of Free State, Bloemfontein.
- Byrne, C. 1995. Biotechnology in Textiles Proceedings of Textile Institute's Dyeing & Finishing Group Conference, November 1995, Nottingham.
- Eren, H.A. ve Anış, P. 2007. Ozone Application Studies in Textile Finishing TEXSCI 2007 Conference, 05-07 June 2007, Liberec, Czech Republic.
- Buschle-Diller, G. and Yang, X.D. 2001. Enzymatic Bleaching of Cotton Fabric With Glucose Oxidase. *Textile Research Journal* 71, 388-394.
- Gübitz, G. M. 2001. Biotechnology in the Textile Industry-perspectives for the New Millennium. *Journal of Biotechnology* 89, 89-90.
- Rowe, H. D. 1999. Biotechnology in the Textile/clothing Industry-a Review. *J. Consumer Studies&Home Economics* 23, 53-61.
- Sarıışık, M. Ö. 2001. Tekstil Terbiye İşlemlerinde Enzimler 52s. Dokuz Eylül Üniversitesi Yayın No: 286, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- Shin, Y. S., Hwang, S.P. and Ahn, I. S. 2004. Enzymatic Bleaching of Desized Cotton Fabrics with Hydrogen Peroxide Produced by Glucose Oxidase. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 10, 577-581.
- Tzanov, T., Costa S. A., Gübitz, G. M. and Cavaco-Paulo, A. 2001. Bio-preparation of Cotton Fabrics. *Enzyme and Microbial Technology* 29, 357-362.
- Tzanov, T., Silgia, A. C., George, N. G. and Artur, C. P. 2002. Hydrogen Peroxide Generation With Immobilized Glucose Oxidase for Textile Bleaching. *Journal of Biotechnology* 93, 87-94.
- Wynne, G., Maharaj, D. and Buckley C. 2001. Cleaner Production in the Textile Industry Proceedings of the NATCON Conference, 29-30 March, 2001, Durban.
- www.bio.org, Erickson, B. and Hessler, C. J. 2004. New Biotech Tools for a Cleaner Environment Biotechnology Industry Organization. (Accessed on March, 2005).