

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

DENİM'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİRUZE SELİN SAĞIRKAYA

DENİZLİ, ARALIK- 2021

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



DENİM'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİRUZE SELİN SAĞIRKAYA

DENİZLİ, ARALIK- 2021

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Firuze Selin SAĞIRKAYA



ÖZET

DENİM'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİRUZE SELİN SAĞIRKAYA
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. OSMAN OZAN AVINÇ)

DENİZLİ, ARALIK- 2021

Bu tez çalışmasında geleneksel yöntemler ile üretilen denim mamullere çevreci alternatif yöntemler araştırılmıştır. Geleneksel olarak denim ürünlere yarı mamul halde iken yıkanarak eskimiş görünüm kazandırılır. Bu eskimiş görünümü elde etmek için bıyık ve zımpara efekti su zımparası ile verilmektedir. Bu yöntem etrafa saçılan indigo parçacıkları nedeniyle ne sağlıklı ne de çevrecidir. Alternatif olarak lazer aşındırma yöntemleri kullanılabilir. Bu tez çalışmasında geleneksel kuru işlem yöntemleri yerine lazer aşındırma yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Geleneksel denim yıkamalarında sıkça kullanılan bir yöntem olan pomza taşı ile yıkama oluşturduğu atık sebebiyle çevreci değildir. Pomza taşı ile yapılan yıkamalarda etkiyi arttırmak için selüloz enzimleri kullanılır. Süspansiyon karışım olarak yapılan bu uygulamalar sonucu hem indigo hem selüloz parçacıkları hem de suda çözünen pomza kalıntıları arıtmaya ihtiyacı ortaya çıkarır. Pomza taşı denim yıkamalarda en fazla iki kez kullanılıp, yıkamalar sonucunda tamamen çamur yığınınna dönüşmektedir. Bu nedenle pomza kullanımı çevreci ve sürdürülebilir bir yöntem değildir. Bu çalışmada pomza taşına alternatif olarak Nearchimica firmasının ürettiği Eco Rock isimli sentetik polimerlerden üretilmiş düzensiz şekilli taşlar kullanılmıştır. Eco Rock isimli ürünün suda çözünmemesi ve kullanım ömrünün uzun olması, pomzaya kıyasla bu ürünü daha çevreci hale getirmektedir. Etki olarak pomza taşı ile kıyaslandığında yakın görüntüler elde etmek mümkündür.

Sodyum hipoklorit ağartması ihtiva ettiği klor sebebiyle çevre için oldukça zararlıdır. Alternatif olarak yapılan ozon ile ağartma çalışmaları ise en az sodyum hipoklorit kadar etkili bir ağartma sağlamıştır. Hem çevreci hem de etkili olan ozon gazı ile geleneksel ağartma yöntemlerinin çevreye verdiği tahribat azaltılabilir. Bu tez çalışmasında ozon ağartmanın geleneksel yöntemlere kıyasla kullanılabilirliği araştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELE: Denim Yakama, Sürdürülebilir Tekstil, Sürdürülebilir Moda, Lazer, Ozon

ABSTRACT

SUSTAINABLE PRACTICES IN THE DENIM
MSC THESIS
FIRUZE SELIN SAGIRKAYA
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
TEXTILE ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF. DR. OSMAN OZAN AVINC)

DENİZLİ, DECEMBER 2021

In this thesis study, environmentally friendly alternative methods to denim products produced with traditional methods were investigated. Traditionally, denim products are washed while they are semi-finished, giving them an aged and vintage appearance. In order to achieve this old look, the whiskers and rodeo effect is given with sandpaper. This method is neither healthy nor environmentally friendly due to the indigo particles dispersed into the environment. Alternatively, laser marking methods can be used. In this thesis, the results obtained by using laser marking methods instead of traditional dry processing methods were evaluated.

Washing with pumice stone, which is a frequently used method in traditional denim washing, is not environmentally friendly due to the waste it creates. Cellulase enzymes are used to increase the effect in washings made with pumice stone. As a result of these applications made as a suspension mixture, both indigo and cellulose particles and water-soluble pumice residues require purification. The pumice stone has been used at most twice in the washings, and as a result of the washings, it completely turns into a mud pile. For this reason, the use of pumice is not an environmentally friendly and sustainable method. In this study, as an alternative to pumice stone, irregularly shaped stones produced from synthetic polymers called Eco Rock produced by Nearchimica company were used. The fact that the product named Eco Rock does not dissolve in water and has a long service life makes this product more environmentally friendly compared to pumice. As an effect, it is possible to obtain close appearances when compared to pumice stone.

Sodium hypochlorite bleach is very harmful for the environment due to the chlorine existence. As an alternative, bleaching studies with ozone provided at least as effective bleaching as sodium hypochlorite. With ozone gas, which is both environmentally friendly and effective, the damage to the environment caused by traditional bleaching methods can be reduced.

KEYWORDS: Denim Washing, Sustainable Textile, Sustainable Fashion, Laser, Ozone

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI.....	5
2.1 Sürdürülebilirliğin Bileşenleri.....	6
3. DENİM KUMAŞ VE İNDİGO BOYAMA.....	9
3.1 Tez Çalışmasında Kullanılan Kumaşın Genel Özellikleri.....	12
3.2 Bu Tez Çalışmasında Kullanılan Test Yöntemleri.....	12
3.2.1 Hava Geçirgenliği Tespiti.....	13
3.2.2 Kopma Mukavemeti Tespiti.....	13
3.2.3 Kumaş Kalınlığının Tespiti.....	14
3.2.4 Kumaş Gramajının Tespiti.....	14
3.2.5 Kumaşların Atkı/Çözümlü Sıklığının Tespiti.....	15
3.2.6 Kumaşların Yıkama Haslıklarının Tespiti.....	15
3.2.7 Kumaşların Eğilme Dayanımının Tespiti.....	15
3.2.8 Kumaşların Sertliğinin Tespiti.....	16
3.2.9 Kumaşların Sürtme Haslıklarının Tespiti.....	16
3.2.10 Kumaşların Renk Ölçümleri.....	17
4. KURU İŞLEM PROSESLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR YÖNTEM OLARAK LAZER TEKNOLOJİSİ.....	18
4.1 Lazer Teknolojisi.....	18
4.2 Denim Mamullerin Kuru İşlem Prosesleri.....	18
4.3 Kuru İşlem Alternatifi Olarak Lazer Teknolojisi Kullanılarak Yapılan Çalışma.....	19
4.4 Bulgular.....	20
4.4.1 Hava Geçirgenliği Ölçümü.....	22
4.4.2 Mukavemet Test Sonuçları.....	23
4.4.3 Kalınlık ve Gramaj Ölçümleri.....	26
4.4.4 Eğilme Dayanımı Ölçümleri.....	26
4.4.5 Sertlik Ölçümleri.....	27
4.4.6 Renk Ölçümleri.....	27
4.5 Değerlendirme.....	33
5. POMZA TAŞI İLE EFETKLENDİRME İŞLEMLERİNE SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR ALTERNATİF OLARAK POLİMER TAŞLAR.....	35
5.1 Denim Giysilerin Enzim ve Taş Yıkama İşlemi.....	35
5.1.1 Amilaz Enzimi.....	36
5.1.2 Selüloz Enzimleri.....	36
5.1.3 Lakkaz Enzimi.....	37
5.1.4 Pomza Taşı ile Yapılan Yıkamalara Alternatif Bir Yıkama Olarak Eco Rock Kullanılarak Yapılan Çalışma.....	38

5.2	Bulgular.....	40
5.2.1	Kopma ve Uzama Mukavemeti.....	41
5.2.2	Kalınlık ve Gramaj	42
5.2.3	Kumaş Sertliği Değerlendirmesi	43
5.2.4	Renk Ölçümleri	43
5.3	Değerlendirme.....	47
6.	SODYUM HİPOKLORİT İLE AĞARTMA İŞLEMLERİNE SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR ALTERNATİF OLARAK OZON AĞARTMA.....	48
6.1	Denim Ağartma.....	48
6.1.1	Sodyum Hipoklorit.....	48
6.1.2	Ozon	49
6.2	Sodyumhipoklorit Ağartmasına Alternatif Olarak Ozon Ağartma Üzerine Yapılan Çalışma	50
6.3	Bulgular.....	52
6.3.1	Kopma Mukavemeti ve Uzama Ölçümleri.....	54
6.3.2	Yıkama Haslığı.....	55
6.3.3	Sürtme Haslığı Ölçümleri.....	56
6.3.4	Sertlik Ölçümleri	57
6.3.5	Eğilme Dayanımı Ölçümleri	57
6.3.6	Renk Ölçümleri	57
6.4	Değerlendirme.....	62
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	64
8.	KAYNAKLAR.....	67
	EKLER.....	72
	ÖZGEÇMİŞ.....	74

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Sürdürülebilirliğin bileşenleri	6
Şekil 2.2: Denim sektörünün sürdürülebilirlik sorunları.....	7
Şekil 3.1: Numune kumaş örgü düzeni	12
Şekil 3.2: Tinius olsen H10KT evrensel çekme mukavemeti test cihazı.....	13
Şekil 3.3: Luis schopper marka mikrometre	14
Şekil 3.4: Dairesel kesici	14
Şekil 3.5: Prowhite dijital pnömatik kumaş sertliği ölçüm cihazı.....	16
Şekil 4.1: Yarıları ham yarıları yıkanmış pantolon	19
Şekil 4.2: Jeanologia lazer kazıma makinesi.....	19
Şekil 4.3: Lazer soldurma yapılan numunelerin hava geçirgenliği grafığı.....	23
Şekil 4.4: Lazer soldurma yapılan kumaşların mukavemet sonuçları grafığı.....	24
Şekil 4.5: Lazer soldurma yapılan kumaşların uzama sonuçları grafığı.....	25
Şekil 4.6: Lazer soldurma yapılan numunelerin K/S değerleri	30
Şekil 4.7: Lazer soldurma yapılan numunelerin $a * (kırmızı-yeşil$ $eksen) - b * (sarı-mavi eksen)$ değerleri.....	31
Şekil 4.8: Lazer soldurma yapılan numunelerin kroma ve K/S değerleri	32
Şekil 4.9: Lazer soldurma yapılan numunelerin kroma ve açıklık- koyuluk değerleri	33
Şekil 5.1: Pomza taşı yıkaması sonrası oluşan çamur.	37
Şekil 5.2: Pomza taşı yıkaması sonrası oluşan atık su	37
Şekil 5.3: Eco Rock.....	39
Şekil 5.4: Pomza taşı	39
Şekil 5.5: Farklı taşlar ile yapılan yıkamanın mukavemet testi sonuçları.....	42
Şekil 5.6: Farklı taşlarla yapılan yıkamaların uzama sonuçları	42
Şekil 5.7: Farklı taşlar ile yapılan çalışmanın K/S grafığı	45
Şekil 5.8: Farklı taşlarla yapılan çalışmanın $a * (kırmızı-yeşil eksen) -$ $b * (sarı-mavi eksen)$ değerleri	45
Şekil 5.9: Farklı taşlar ile yapılan çalışmanın kroma- renk verimi değerleri	46
Şekil 5.10: Farklı taşlarla yapılan yıkamanın kroma- açıklık koyuluk değerleri	47
Şekil 6.1: Ozon Ağartma Yapılan Numunelerin Renk Değişimi	51
Şekil 6.2: Nemli Olarak Ozonlama Yapılmış Numunelerin Yıkama Öncesi Görüntüleri. (a): 10' Nemli Ozonlama. (b): 20' Nemli Ozonlama. (c): 30' Nemli Ozonlama.....	52
Şekil 6.3: Ozon ağartma yapılan numunelerin mukavemet grafığı.....	55
Şekil 6.4: %100 Pamuk olan numunelerin $a * (kırmızı-yeşil eksen) -$ $b * (sarı-mavi eksen)$ değerleri	60

Şekil 6.5: %98 + %2 Likra pamuk olan numunelerin a* (kırmızı-yeşil eksen) -b* (sarı-mavi eksen) değerleri	60
Şekil 6.6: %100 Pamuk olan numunelerin kroma-renk verimi değerleri	61
Şekil 6.7: %98 Pamuk + %2 likra olan numunelerin kroma-renk verimi değerleri.....	61
Şekil 6.8: %100 Pamuk olan numunelerin kroma-açıklık/koyuluk değerleri	62
Şekil 6.9: %98 Pamuk + %2 likra olan numunelerin kroma-açıklık/koyuluk değerleri	62



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Ülkelere göre denim mamul üreten fabrika sayıları	2
Tablo 3.1: Numune kumaş özellikleri.....	12
Tablo 4.1: Numune kumaşların yıkamasında kullanılan kimyasallar	20
Tablo 4.2: Lazer soldurma yapılan kumaşların renk ölçüm sonuçları	28
Tablo 5.1: Polimer taşlar ve pomza taşı ile yapılan yıkamalarda kullanılan ürün tablosu	39
Tablo 5.2: Yıkama işlemlerinde kullanılan kimyasallar ve yıkama koşulları	40
Tablo 5.3: Polimer taşlar ile pomza taşının yıkama sonuçlarını kıyaslamak için yapılan çalışmanın fiziksel muayenelerinin sonuçları.....	40
Tablo 5.4: Farklı taşlar ile yapılan çalışmanın renk ölçüm sonuçları	44
Tablo 6.1: Ozon ağartma yapılan %100 pamuklu numunelerin test sonuçları.....	53
Tablo 6.2: Ozon ağartma yapılan %98 pamuk + %2 likra olan numunelerin test sonuçları.....	54
Tablo 6.3: Ozon ağartma yapılan numunelerin yıkama haslığı sonuçları.....	56
Tablo 6.4: Ozon ağartma yapılan numunelerin sürtme haslığı sonuçları.....	56
Tablo 6.5: %100 Pamuk olan numunenin renk ölçüm sonuçları	58
Tablo 6.6: %98 Pamuk + %2 likra olan numunelerin renk ölçüm sonuçları.....	59
Tablo A1: Lazer ile soldurma yapılan numunelerin; Hava Geçirgenliği ($\ell/m^2/s$), Kalınlık (mm), Sertlik (cN), Gramaj (gr/m^2), Eğilme Dayanımı (cm), Kopma Mukavemeti (N) ve Uzama (%) test sonuçları.	73

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında değerli bilgilerini ve emeğini esirgemeyen, tüm bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan, çok kıymetli hocam sayın Prof. Dr. O. Ozan Avinç'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tezimin tamamlanması için gerekli olan çalışmalarda desteğini esirgemeyen, hoşgörü ve samimiyetle destek olan sayın hocam Prof. Dr. Arzu Yavaş'a teşekkür ederim.

Tezimim önemli bir kısmı olan test aşamalarında bilgisini ve desteğini esirgemeyen, her yardıma ihtiyacım olduğunda tüm özverisiyle yardım eden çok kıymetli hocam sayın Araştırma Görevlisi Ece Kalaycı'ya teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında yanımda olan manevi kız kardeşim, çok sevdiğim ve beni sürekli destekleyen Sema Bayhan ve ailesine destekleri için teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında çalıştığım Wiser Wash Tekstil firmasının değerli çalışanı İbrahim Yıldız'a, uygulama imkânı ve kumaş desteği verdiği için teşekkür ederim.

Değerli annem Keziban Şahin'e, abim Cemalettin Semih Sağırkaya ve babam Orhan Sağırkaya'ya, maddi ve manevi olarak sürekli yanımda oldukları için ve desteklerini esirgemedikleri için teşekkür ederim.

Ve son olarak tüm bu süreçte yanımda olan, her yardıma ihtiyacım olduğunda yardım eden eşim Berk Arslan'a ve kıymetli anne & babası Mübeccel & Alaaddin Arslan'a tüm desteği için teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Denim giysiler yüzyıllar boyu modanın önemli unsurlarından biri olmuştur. Denim giysiler genellikle %100 pamuklu kumaştan, dimi örgü düzenine sahip kumaşlardır. Çözümlü iplikleri indigo boyalı, atkı iplikleri beyaz olan ayırıcı bir özelliğı vardır (Oğulata ve Nergis 2017).

Başta pantolon olmak üzere, denim kumaşlar; gömlek, ceket, elbise gibi birçok giysi türünde kullanılmaktadır. Günümüzde yüksek moda ürünü olarak görülen denim kumaşlar, ev tekstili gibi alanlara da yayılmaya başlamıştır (Url_1).

Önceleri denim kumaşlardan dikilmiş mamuller yıkamadan satılırken, günümüzde yıkanmış ürüne olan talep artmıştır. Denim kumaşlar ilk çıktığı dönem sağlam ve uzun ömürlü olması ile bilinirken yıkama işlemleri ile artık bir yüksek moda ürünü haline gelmiştir. Bu nedenle günümüzde denim yıkama işlemleri oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir (Bağıran 2011).

Dünya üzerinde üretilen pamuğun %10'u denim kumaş üretiminde kullanılmaktadır. Denim giysiler hem dayanıklılık hem de moda olması sebebiyle gün geçtikçe daha çok tercih edilen bir giysi haline gelmiştir. Denim giysi kullanımı önceleri 25-35 yaş aralığında daha yaygın bir giysi iken günümüzde her yaştan kesime hitap etmektedir (Amutha 2017).

Tekstil ve moda sektöründe denim giysilerin önemli bir yeri vardır. Denim mamul üretimi dünya çapında yaklaşık 513 farklı bölgede yapılmaktadır (Amutha 2017).

Ülkelere göre denim mamul üretimi yapan fabrika sayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1.1: Ülkelere göre denim mamul üreten fabrika sayıları (Amutha 2017)

Ülkeler	Fabrika Sayıları
Asya (Çin)	297
Asya (Diğer Ülkeler)	104
Kuzey Amerika	9
Avrupa	41
Latin Amerika	46
Afrika	15
Avustralya	1
Toplam	998

Hindistan Menkul Kıymetler ve Borsa Kurulu'nun raporları, dünyanın toplam denim üretiminin 7,7 milyar metre denim kumaş olduğunu tahmin ediyor. Asya, %70'in üzerinde üretim kapasitesiyle en büyük katkıyı sağlarken, Çin yaklaşık 3 milyar metrelik kapasitesiyle lider üreticidir. Çin'den sonra Hindistan 1 milyar metreyi aşan üretim kapasitesiyle ikinci sırada yer alıyor. Diğer önemli denim üreticisi ülkeler Pakistan, Bangladeş, Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri'dir (Url_2).

Wazir Advisors (Hindistan merkezli bir ticari danışmanlık hizmeti), 2012 yılında dünya çapında yılda 51 milyar ABD doları tutarında yaklaşık 1,8 milyar çift kot pantolon satıldığını kaydetmiştir. Sektör tahminlerine göre ABD'de kişi başına denim tüketimi sekiz çift, Çin'de bir çift ve Hindistan'da 0,3 çift olarak raporlanmıştır. Business Standard'a göre, 'Fazla kapasite denim endüstrisini vurur' başlıklı bir makalede, Hindistan'ın toplam denim endüstrisi kapasitesinin, yaklaşık 700-800 milyon metre kullanım ile yılda 1,2-1,3 milyar metre olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca yılda 80-100 milyon metre ek üretim beklenmektedir (Url_3).

Küresel olarak, denim pazarının 2015'ten 2020'ye kadar %6,5'in üzerinde bir CAGR (Compound Annual Growth Rate, Bileşik Yıllık Büyüme Oranı) olması ve piyasa değerinin 113 milyar dolardan 153 milyar dolara yükselmesi bekleniyor (Sougata ve diğ. 2019).

Küresel olarak denim pazarının; tüketiciler tarafından yoğun ilgisi, kullanım sıklığı, rekabetçi fiyatlandırma, uzun kullanım ömrü ve moda sektöründe önemli bir parça olması sebebiyle 2021 yılında 65 milyar doları geçmesi bekleniyor. Bunların

dışında, moda coşkusu, ünlü desteği ve istihdam fırsatları gibi farklı yaşam tarzı faktörlerinin pazar büyümesini etkilediği belirlenmiştir (Upadhyay ve Ambavale 2013).

Denim yıkama kullanılan su ve kimyasal miktarına bakılırsa çevreyi tehdit eden unsurlar barındırmaktadır. Bir kot pantolon üretiminde, pamuğun tarladan alınmasından tüketiciye gelme sürecinde yaklaşık 7 bin ton su harcanmaktadır (Muthu 2017).

Denim mamullerin tüketiciye ulaşana kadar geçtiği aşamaları daha sürdürülebilir yapmak mümkün. Piyasada bu kadar değeri olan ve kullanımı yaygın olan bir ürünün tüm aşamaları iyileştirilebilirse daha yeşil bir üretim gerçekleştirilebilir. Denim ürünlerin kuru işlem aşamalarında zımpara yerine lazer teknolojisi kullanmak; zemin yıkamalarında pomza taşı yerine atık üretmeyen taşlar kullanmak; ağartma proseslerinde klor esaslı kimyasallardan vazgeçmek daha sürdürülebilir bir üretim sağlayabilir (Muthu 2017).

Bu tez çalışmasında geleneksel denim yıkama proseslerine alternatif çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar dikilmiş yarı-mamul üzerinden sürdürülmüştür. Tezin amacı geleneksel yöntemlere alternatif çevreci yöntemlerin kullanılabilirliğini test etmektir.

Zımpara ile yapılan bıyık ve rodeo efektleri yerine lazer kazıma teknolojisi kullanarak hem çevreye dağılan indigo parçacıklarını engellemek, hem çalışan işçinin sosyal sürdürülebilirlik hakları açısından sağlığının gözetilmesi amaçlanmaktadır.

Pomza taşı alternatifi olarak polimerlerden üretilmiş, suda çözünmeyen taşların kullanılması ile atık çamur oluşturma önüne geçilebileceği gösterilmeyi amaçlanmaktadır. Pomza taşlarının efektlendirme için kullanımı su içinde süspansiyon karışım şeklinde olmaktadır. Yıkama sırasında pomza taşları suda daha küçük parçalara ayrılır ve çok ciddi bir çamur atığına dönüşür. Bu atık sudaki ve topraktaki oksijen miktarını düşürdüğü için çevreye oldukça zararlıdır. Bu nedenle pomza taşlarının yıkamadan tamamen kaldırılması veya alternatifi ile çalışılması çevre bakımından önemlidir.

Denim mamullerinin renk ağartma işlemleri için genellikle yüksek pH'lı kimyasallar kullanılmaktadır. Uygulama sonrası ise mutlaka nötürleme işlemi yapılmaktadır. Her iki yıkama da çevre için ve çalışanlar için zararlıdır. Bu ağartma işlemlerini ozon gibi daha çevreci yöntemlerle yapmak mümkündür.

Bu tez çalışmasında; su zımparası yerine lazer ile kuru işlem, pomza taşı yerine polimer taşlar ve klor esaslı ağartıcılar yerine ozon ağartma kullanılarak denim yıkamada alternatif bir sürdürülebilir yıkama hedeflenmiştir.



2. SÜRDÜRÜLEBLİRLİK KAVRAMI

Sürdürülebilirlik kelime olarak daimî olma sürekli olma anlamlarına gelmektedir. Sürdürülebilirlik adı Latince sustenere'den (tenere: tutmak; alt küme, altında) türetilmiştir. Sürdürülebilir: sürdürmek, desteklemek veya dayanmak anlamına gelebilir (Url_4).

Oxford'un sözlüğünde ise uzun süre devam etme veya devam etme yeteneği anlamlarına geldiği belirtilmiştir. Aynı şekilde fiil olarak sürdürülebilir kelimesi ise yine Oxford'un sözlüğünde yaşamak veya var olmak için birinin veya bir şeyin ihtiyaç duyduğu şeyi yeterince sağlamak için birini / bir şeyi desteklemek olarak tanımlanmıştır (Url_5).

Amerika Çevreyi Koruma Ajansı (EPA) yayınladığı bir raporda; insanlığın çevreyle olan ilişkisinden bahsetmiştir. Bu ilişki sebebiyle sürdürülebilir bir dünya için insan dünyaya muhtaçtır (EPA 2011). Marsh'ın Man and Nature (1864) isimli kitabında da belirttiği gibi; insan çevreyle iç içe yaşar ve ömrü boyunca doğaya muhtaçtır. İnsanın nefes alması, su içmesi ve beslenmesi gibi temel ihtiyaçlar doğadan gelir. Yenilenebilir veya yenilenemez tüm ihtiyaçlar doğadan karşılanır.

Amerika Çevreyi Koruma Ajansı; sürdürülebilirliğin esasları olarak yayınladığı bir raporda, sürdürülebilirliği üç temel parçaya ayırmıştır. Ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik. Çevresel sürdürülebilirlik; ekonomik ve sosyal olarak tamamlanmazsa tek başına sürdürülebilir bir dünya yaratmanın zor olacağı EPA tarafından belirtilmiştir (Url_6).

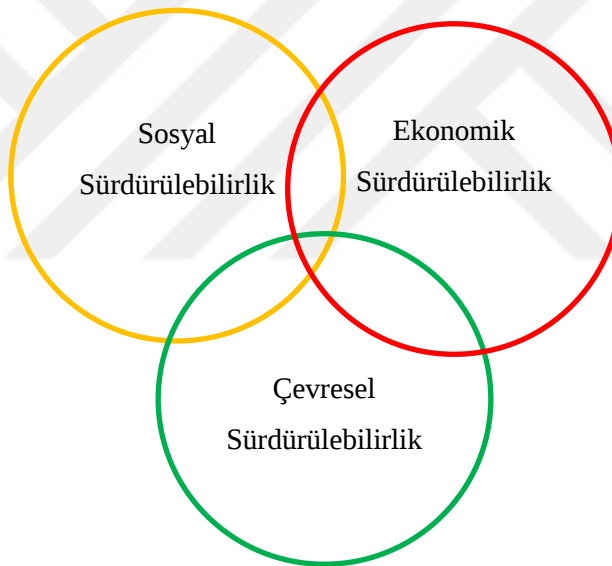
Doğal yollarla yapılan tüketimler üretimi geçmemelidir. İnsan doğayı ve ürettiklerinden fazlasını tükettikçe dünyamızın sürdürülebilirliği tehlikeye girmektedir (William ve diğ. 2012).

Sürdürülebilirlik kavramı gün geçtikçe popülerleşmektedir. Ancak artan farkındalık ne yazık ki yapılan hataları telafi etmemektedir. Yapılan aşırı tüketim, iklim değişikliği, ekonomik büyümesi artan nüfus artışı gibi unsurlar

sürdürülebilirliği olumsuz etkilemektedir (Worldwatch Institute, State of the World 2013).

2.1 Sürdürülebilirliğin Bileşenleri

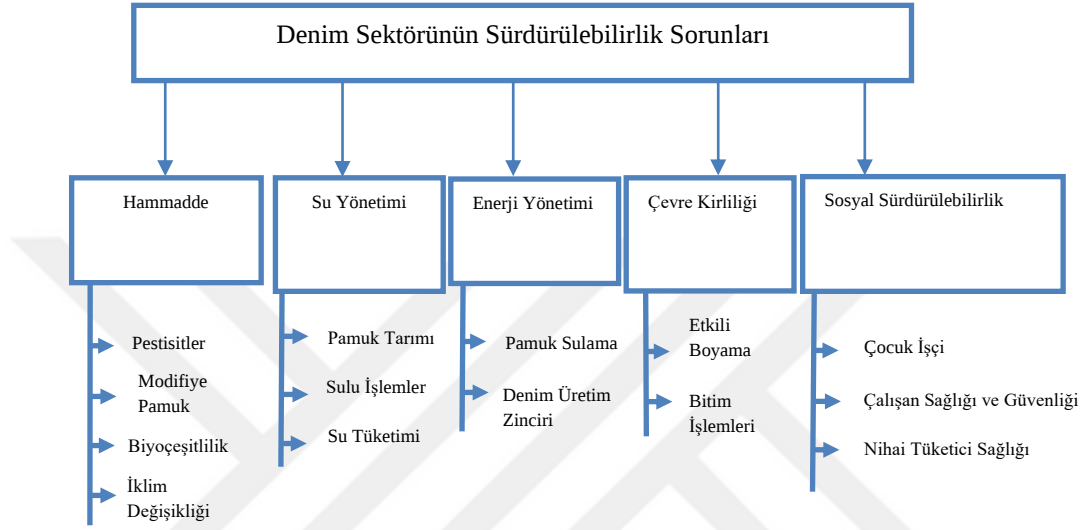
2005 yılında yapılan birleşmiş milletler kalkınma toplantısında sürdürülebilirliğin 3 temel bileşeni olarak; sosyal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik gösterilmiştir. Sürdürülebilirliğin bileşenlerinin birbirinden bağımsız düşünülmemeyeceği ve birbiriyle iç içe olduğu Şekil 2.1’de de gösterildiği şekilde belirtilmiştir. Sürdürülebilirliğin üç bileşeni birbiri olmadan uzun süre var olamaz (Url_6).



Şekil 2.1: Sürdürülebilirliğin bileşenleri

2005 Dünya Sosyal Gelişme Zirvesinde birçok konu gündeme getirilmiştir. Bunlar, ekonomik gelişim, sosyal gelişim ve çevre koruma gibi önemli konulardır. Bu konular aynı zamanda sürdürülebilirlik için gerekli olan parametrelerdir (Url_7). Sürdürülebilirliğin üç boyutu vardır. Birbirinden bağımsız olmayan bu üç boyut karşılıklı olarak birbirini bağlamaktadır. Bu üç başlık birbiri içine geçmiş üç elips ile ifade edilmiştir, böylece birbirine bağımlı ve birbirinden ayrı düşünülmemeyeceği anlatılmak istenmiştir (Url_7). Uzun dönem ve gelecekte bu üç başlık birbirinden bağımsız düşünülemez, sürdürülebilir bir dünya için üç bileşen bir arada

düşünülmelidir (Manning ve diğ. 2011). Üç boyut son yıllarda gıda endüstrisinde çok sayıda sürdürülebilirlik standartları getirmiştir. Belgelendirme sistemlerinin belirlenmesine de yardımcı olmuştur (Reinecke ve diğ. 2012). Gelecek nesiller sürdürülebilirliğin bir parçası olarak düşünülmalıdır. Kaynak yönetimi ve finansal olarak sürdürülebilir olma ise ek olarak gösterilebilecek iki sürdürülebilirlik konusudur (Dhakal ve diğ. 2011).



Şekil 2.2: Denim sektörünün sürdürülebilirlik sorunları (Amutha 2017)

Küresel çıkraların gözetilerek insan ihtiyaçlarının karşılanması gerekmektedir. İhtiyaçlar ve çevre arasındaki dengenin korunarak gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakılabilir (Kates ve diğ. 2005).

Herman Daly, “Orman olmayan yerde bir kereste fabrikası ne işe yarar?” diye sorduğu bir soru ile çevre sorunlarına dikkat çekmiştir. İnsan toplumun bir alt nesnesidir. Ve toplum ancak çevre ile var olabilir. Toplum ve çevre ise iç içedir (Daly ve diğ. 1989).

Belirsiz de olsa sürdürülebilirliğin bir sınırı olduğu düşünülmektedir. Ancak sürdürülebilirlik bir yönden de politiktir. İnsan kendi başına çevreyi korumaya yeterli değildir. Ancak devletler üstü çaba ve ortak kararlar ile sürdürülebilir bir dünya mümkün olabilir (Milne 2006).

Şu an yaşayan tüm canlılar ve yaşayacak tüm türler için sürdürülebilirlik ve daimî dünya için, tüm alınan kararların sürdürülebilirliğin üç bileşenini kapsaması ve proaktif bir rol almasını sağlamamız gerekmektedir (Liam ve diğ. 2013).

Denim sektöründe karşılaşılan sürdürülebilirlik sorunları Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



3. DENİM KUMAŞ VE İNDİGO BOYAMA

Denim kelimesinin anlamna bakacak olursak, Fransa'nın "de Nimes" kentinde üretilmeye başlandığı için "Nimes'den gelen" anlamındadır. İlk kez İtalya'da Cenova'da ve Nimes'te üretilmiştir. Bu şehirlerde işçi giysisi olarak kullanılmıştır. Blue Jean olarak bilinen pantolonlar ise ismini Cenova'dan almaktadır. Cenova'lı denizcilerin Cenova Mavisi anlamına gelen "Bleu de Genes" söyleminden ismini almıştır (St. Clair 2018).

Amerika'da 1800'lü yıllarda altın ile para kazanmak isteyen insanlar bu değerli madeni aramaya başlamıştır. Gün geçtikçe duyulan altın, bu madenlerde çalışanların artmasını sağlamıştır. İlerde Levi Strauss olarak tanıyacağımız Leob Strauss isimli bir Alman, Amerika'ya göç etmiştir. Maden ocaklarında çadır satarak para kazanmaya başlamıştır. 1800'lü yıllarda at arabaları için çadır ve branda bezi üretimi yapan Alman asıllı Leob, işçi pantolonlarının çabuk yırtıldığını fark etmiştir. Gabardin olarak bilinen çadır kumaşı ile ilk kez pantolon üretmeye başlayan Leob, markasına Amerikalı yeni ismi Oscar Levi Straus'dan esinlenerek Levi's adını vermiştir (Url_8).

Blue Jean tarih sahnesine 19. Yüzyılda, Levi Strauss'un diktiği bir çeşit işçi pantolonu olarak çıkmıştır. Dünyada tanınırlığı ise yaklaşık yüz yıl sonra Marlon Brando ve James Dean'in beyaz perdede Blue Jean giymesi ile olmuştur. Yüz yıllar geçmesine rağmen denim giysiler popülerliğini korumaktadır (Salazar 2010).

Üretilen bu sağlam pantolonlara gün geçtikçe talep artmıştır. Kiri göstermeyen ve sağlam olan bu pantolonlar en çok madenciler, petrol işçileri ve kovboylar tarafından tercih edilmiştir. 1853'te ise Levi, pantolonlarını denim kumaştan üretmeye ve sadece pantolon üretimi yapan bir fabrika kurmaya karar vermiştir (Url_8, Salazar 2010).

Türkiye'ye denim kumaşların gelmesi ise 1940'lı yılları bulmuştur. Amerika'da askerlerin çok tercih ettiği Blue Jean, ikinci dünya savaşı ile Avrupa ve Türkiye'ye gelmiştir. Henüz Türkiye'de üretilmediği için halk tarafından ikinci el

olarak elde edilen, askerlerden kullanılmış denim pantolonlar satın alınmıştır. Türk blue jeans'ine marka olarak soyadını veren Muhteşem Kot Türkiye'ye ilk jeanleri tanıtan isimdir. Muhteşem kot Avrupa'da bulunduğu bir dönemde blue jeans ile karşılaşmıştır (Karahmetoğlu 2021).

Muhteşem Kot, denim kumaştan dikilmiş bu pantolonları sağlam, rahat ve uzun ömürlü olabileceği için satışının da kolay olabileceğini düşünmüştür. Türkiye'de de işçi ve köylünün giyebileceği bu pantolonların ihtiyaçlara cevap verebileceğini düşündüğü için üretimine başlamıştır. Marka olarak ise "Kot" 1958 yılında tanınmıştır. Böylece Muhteşem Kot ticari bir ürün olarak blue jeans'i yaklaşık yüzyıl sonra Amerika'dan İstanbul'a taşımıştır (Karahmetoğlu 2021).

Denim kumaşlar genellikle dimi örgü düzeninde, çözgüsü indigo boyalı atkısı boyasız dokunmuş kumaşlardır. Sol (S) yollu dimi veya sağ yollu (Z) dimi olarak dokunur. Sol yollu dimi daha yumuşak olurken sağ yollu dimi daha serttir ve esneme yapmaz. İplikler genellikle Z büküm olur. Sol yollu dimi iplik bükümüyle ters yönde olduğu için bükümler açılır ve tuşe yumuşar. Dimi örgülerde kumaş yüzeyi çözgü ağırlıklı olduğu için indigo rengi kumaşa hakimdir (Yeung ve diğ 2013).

Gabardin kumaşlar, denim kumaşlar ile temelde aynı çözgü yoğunluğuna sahip dimi örgülerde dokunan kumaşlardır. Denim kumaşın teknik özellikleri şunlardır;

- Genellikle 2/1 dimi örgüde dokunur
- Çözgü baskındır
- Z yollu dimi etkisi gösterir.

Kot pantolonluk denim kumaşa iplik numaraları genellikle; Ne 40/2- Ne 48/2 çözgü, Ne 20/1- Ne 24/1 veya Ne 40/2- Ne 48/2 atkı ipliği şeklindedir. Denim kumaşların ayırt edilmesinde ağırlık birimi olarak ounce/yard² kullanılmaktadır. Metrik sistemde karşılığı 1 ounce/yard² = 33.91 g/m²'dir. Denim kumaşlarının birim ağırlıkları kullanım yerlerine göre 3.5- 16.5 oz/yard² (118 – 560 g/m²) arasında değişkenlik göstermektedir. Denim kumaşların ağırlıklarına göre sınıflandırılması aşağıda verilmiştir (Seyrek ve diğ 2019).

- 4.5 oz- 7.5 oz Denim: İnce
- 9 oz- 13.5 oz Denim: Orta Kalın
- 14 oz – 15 oz Denim: Kalın

Denim kumaşların çözgü ipliklerinde kullanılan indigo boyarmaddesi “indigofera tinctoria” bitkisinin yapraklarından üretilir. Kullanımı MÖ 1600 yıllarına dayanmaktadır. Hindistan, Endonezya, Çin ve Afrika’da bulunmuştur. Mavi olan indigonun, gri, yeşil ve kırmızı tonları bulunur (St. Clair 2018).

İndigo boyar maddesi yıkamada solmasıyla, mekanik etkiye ile aşındırılabilmesiyle yaşayan renk olarak bilinir. Günümüzde sentetik olarak üretilmektedir ve doğal yollar ile üretilen indigo boyalar yaygınlığını yitirmiştir. İndigo boyarmaddesinin eldesi ve hazırlık işlemleri zordur. İndigo solmayan ve soğukta da boyanabilen, mordanlama gerektirmeyen nadir doğal bir boyarmaddedir (St. Clair ve diğ 2018). İndigo boyanın özellikleri aşağıda verilmiştir (Annapoorani 2017):

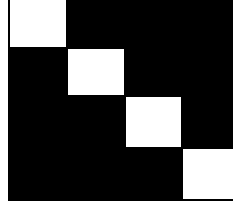
- Kimyasal formül: $C_{16}H_{10}N_2O_2$
- Koyu mavi kristal toz
- Yoğunluk: 1.199 g/cm^3
- $734\text{--}738^\circ\text{F}$ erime noktası

Günümüzde indigo boyaları yapmak daha basit ve daha az maliyetlidir. Geleneksel olarak doğal bir bileşik olan indigo boyası bitkilerden elde edilebilir. Günümüzde çoğu indigo boyası yapay olarak yapılmaktadır. Yoğunlukla, indigo boyalar pamuğu boyamak için kullanılır ve en yaygın kullanımı kot pantolonlardır. Birkaç kot pantolonun için normal indigo ölçüsü 3–12 gramdır (Annapoorani 2017).

Boyama sonrası dikilen numuneler ise yıkama işlemleri ile etkilendirilerek moda uygun görünüm elde edilir (Url_9).

3.1 Tez Çalışmasında Kullanılan Kumaşın Genel Özellikleri

Çalışmada numune olarak piyasada en çok bulunan 3/1 dimi örgü düzeninde dokunmuş, çözgü iplikleri indigo ile boyanmış %100 pamuklu ham denim kumaş (FG Tekstil'den temin edilmiştir) kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Numune kumaş örgü düzeni

Numune kumaş, döşemelik kumaşlara göre daha ince bir yapıda iken, üst giyimde kullanılan kumaşlara göre daha kalın yapıdadır. %100 Pamuklu olması da kalınlığının diğer denim kumaşlardan fazla olmasında etkili bir unsur olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3.1' de çalışmada kullanılan denim kumaşın özellikleri ve Şekil 3'te ise denim kumaşın örgü raporu verilmektedir.

Tablo 3.1: Numune kumaş özellikleri

Gramaj	352 gr/m ²
Atkı Sıklığı	27 tel/cm
Çözgü Sıklığı	20 tel/cm
Kumaş Kalınlığı	0,68 mm

3.2 Bu Tez Çalışmasında Kullanılan Test Yöntemleri

Tez çalışmasında kullanılan test metotları ve standartları; kullanılan test cihazları devam eden bölümlerde verilmiştir.

3.2.1 Hava Geçirgenliği Tespiti

Hava geçirgenliği testi FX 3300 I Hava Geçirgenliği Test cihazında yapılmıştır. 125 Pa basınçta geçirgenlik testleri tamamlanmıştır. Denim kumaşlara uygulanan işlemler sonrası dokuma kumaşların hava geçirgenliklerindeki değişimin gözlemlenebilmesi için, numuneler TexTest FX 3300 marka hava geçirgenliği test cihazı ile TS391 EN ISO 9237 standardına uygun şekilde (125 Pa basınç) değerlendirilmiştir.

3.2.2 Kopma Mukavemeti Tespiti

Lazer işlemi ile solma işlemine bağlı olarak kumaş yapısında oluşan hasarın tespiti için kumaşların çekme mukavemetleri sırasıyla TS EN ISO 13934-1'e göre Tinius Olsen H10KT evrensel çekme mukavemeti test cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Cihaz Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

50x250 mm ebadında hazırlanan numuneler ile çekme dayanımı testi yapılmıştır.



Şekil 3.2: Tinius Olsen H10KT evrensel çekme mukavemeti test cihazı

3.2.3 Kumaş Kalınlığının Tespiti

Denim kumaş numunelere uygulanan işlemler sonrası dokuma kumaşların kalınlığında oluşabilecek farklılıklar standart laboratuvar şartları (20 ± 2 , 20 °C, $\%65 \pm 2$ bağıl nem) altında, EN ISO 5084:1996 standardına uygun şekilde Şekil 3.4'te verilen Luis Schopper marka mikrometre ile ölçülmüştür. Ölçüm aleti Şekil 3.3'te verilmiştir.

3.2.4 Kumaş Gramajının Tespiti



Şekil 3.3: Luis schopper marka mikrometre Şekil 3.4: Dairesel kesici

Kumaş gramajı, kumaşın 1m^2 'sinin gram olarak ağırlığıdır. Dokunmuş denim kumaşlar TS 251'e test edilmiştir. Her çeşit kumaşın ağırlığı bu yöntemle tespit edilebilir. Bu tez çalışmasında, dairesel kesici ile (gramaj aleti) numuneler $11,34\text{ cm}^2$ çapında kesilir. Kesme işlemi kauçuk levha üzerine yerleştirilen kumaşın, dairesel kesicinin üzerine konulması ve birkaç tur çevrilmesi ile yapılır. Kesilen ve $11,34\text{ cm}^2$ kumaşımızın hassas terazideki tartım sonuçları alınır. Bu oran 1m^2 yayılır ve 1m^2 için kumaşımızdan alınan numunelerin gramajları hesaplanır. Dairesel kesici Şekil 5'te verilmiştir.

3.2.5 Kumaşların Atkı/Çözüğü Sıklığının Tespiti

Atkı ve çözgü ipliklerinden oluşan dokuma bir kumaşın sıklığını tespit etmek için atkı ve çözgü iplikleri sayılır. Bu deneyde esas alınan TS 250 test yöntemidir. Bu bilgilere göre kullanılan temel ifadeler aşağıdaki gibidir;

- Atkı sıklığı: Kumaşın atkı yönündeki ipliklerin 1 cm²'deki sayısıdır
- Çözgü sıklığı: Kumaşın çözgü yönündeki ipliklerin 1 cm²'deki sayısıdır

Sıklık deneyi için lüp kullanılabilir. Veya ihtiyaca göre birim uzunluktaki atkı ve çözgü telleri el ile sayılarak atkı-çözgü sıklığı tespit edilebilir. Deneyimizde lüpten faydalanılmıştır.

3.2.6 Kumaşların Yıkama Haslığının Tespiti

Yıkama haslığı testleri SDL Atlas M228 Rotawash makinesi ile ISO 105: C06 A1S standardında yapılmıştır. Standarda göre yıkama haslığı ölçümleri için denim numunelerin çözgü yoğun yüzüne multifiber dikilmiştir. Numuneler 40°C'de 30 dk. boyunca 10 bilye ile 4 g/L'lik ECE B deterjan kullanılarak yıkanmıştır. Yıkama sonrası taşarlı yıkama ile durulanmıştır ve asılarak kurutulmuştur. Test sonuçları gri skalaya göre değerlendirilmiştir.

3.2.7 Kumaşların Eğilme Dayanımının Tespiti

TS 1409 standardına göre numuneler test edilmiştir. TS 1409'a göre numune bir ucundan tutulurken, diğer ucundan kendi sürülerek serbest bırakılmaktadır. Kumaş numunesinin ucu, yatayın altında 41,5° eğimli bir seviyeye ulaştığında sarkan uzunluk ölçülmektedir.

3.2.8 Kumaşların Sertliğinin Tespiti

ASTM D4032 standardı ile numuneler Prowhite Dijital Pnömatik Kumaş Sertliği ölçüm cihazında test edilmiştir. İkiye katlanan kumaş numunesini 102x102x6 mm boyutlu tablanın üzerindeki 38.1 mm çapındaki bir delikten aşağı itilerek test edilmiştir. Bu işlem için gereken kuvvet ise kumaşın sertlik testlerinin sonucunu vermektedir. Kumaşı bu en iten kol, kumaşı 57 mm aşağı doğru itilmektedir. Dijital ekrandan ise itme kuvveti cN biriminden okunmaktadır.

3.2.9 Kumaşların Sürtme Haslıklarının Tespiti

Sürtme Haslığı Crockmaster Colour Fastness to Rubbing Tester- Model670 Hand Driven Crockmaster cihazı ile ISO 105: X12 standardına uygun olarak yapılmıştır. Kumaşların sürtme haslığı değerleri hem yaş hem de kuru olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar gri skala ile ışık kabininde D65 ışık altında incelenmiştir. Ölçüm cihazı Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5: Prowhite dijital pnömatik kumaş sertliği ölçüm cihazı

3.2.10 Kumaşların Renk Ölçümleri

Denim kumaşların renk ölçümü renk ölçüm cihazı Datacolor Spectral Flash 600 ile yapılmıştır. Bu cihaz ölçümleri spektral yönteme göre yapmaktadır. Numunelerin remisyon (%R) değerlerinin ölçümleri D65 standart gün ışığı altında ve 10° standart gözlem açısıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçümler yapılırken her bir numune 4 kat halinde ve 4'er tekrar olacak şekilde çözgü yoğun yüzü okutularak gerçekleştirilmiştir. 400-700 nm'lik spektral bölgede ve maksimum absorpsiyon dalga boyunda ölçülen remisyon (% R) değerleri 3.1' de verilen Kubelka- Munk eşitliğinden faydalanılarak renk verimi (K/S) değerleri hesaplanmıştır.

$$K / S = (1 - R)^2 / 2R \quad (3.1)$$

R: Maksimum absorpsiyon dalga boyundaki ($\lambda_{\max}$) reflektans

K: Absorpsiyon katsayısı

S: Yansıma katsayısı

Numunelerin boyama eğrileri, reflektans spektraları kuvvetlerinin yanı sıra CIE L^* , a^* , b^* , ve C^* , h° değerleri ölçülmüştür. L^* , a^* , b^* değerlerinden referansa göre toplam renk farklılıkları 3.2 eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.2)$$

L^* : Açıklık-koyuluk değeri (+ daha açık, - daha koyu)

a^* : Kırmızılık-yeşillik değeri (+ daha kırmızı, - daha yeşil)

b^* : Sarılık-mavilik değeri, (+ daha sarı, -daha mavi)

C^* : Kroma (Doygunluk),

h° : Renk tonu açısı

4. KURU İŞLEM PROSESLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR YÖNTEM OLARAK LAZER TEKNOLOJİSİ

4.1 Lazer Teknolojisi

Lazer, uyarılmış elektromanyetik radyasyon emisyonuna dayalı bir optik amplifikasyon işlemi yoluyla ışık yayan bir cihazdır. "Lazer" kelimesi, "uyarılmış radyasyon emisyonu ile ışık amplifikasyonu" için bir kısaltmadır (Url_10, Url_11). İlk lazer 1960 yılında Charles Hard Townes ve Arthur Leonard Schawlow'un teorik çalışmasına dayalı olarak Hughes Araştırma Laboratuvarlarında Theodore H. Maiman tarafından yapılmıştır (Gloud 1959, Taylor 2000).

Lazer yapay olarak yoğunlaştırılmış ve yönlendirilmiş bir ışık kaynağıdır (Url_12). Lazer, tekstil ve moda tasarımcıları için yenilikçi ve yaratıcı alternatifler sunar. Gerek ölçümler gerek kalite kontrol gibi alanlar olsun lazer teknolojisi tekstil sektöründe çok fazla kullanılmaktadır (Gürcüm ve diğ 2016).

4.2 Denim Mamullerin Kuru İşlem Prosesleri

Denim ürünlerin eskimiş görünimleri için yapılan uygulamalardan birisi de “bıyık ve zımpara” işlemidir. Bu işlem su zımparası gibi aşındırıcı malzemeler ile bu işi yapan tasarımcılar tarafından yarı-mamul denim ürüne uygulanır. Bu işlem sırasında ortaya aşındırılmış indigo parçaları ve pamuk kırpıntıları saçılır. Hem çalışan sağlığı hem çevre için sağlıklı bir uygulama değildir (Url_9).



Şekil 4.1: Yarı ham yarı yıkanmış pantolon (Url_13)

4.3 Kuru İşlem Alternatifi Olarak Lazer Teknolojisi Kullanılarak Yapılan Çalışma

Bu tez çalışmasında ise lazer teknolojisi ile yapılan yıpratma efektlerinin hava geçirgenliğine etkileri araştırılmıştır. Tez için kullanılan kumaş numunesi; çözgü iplikleri indigo boyalı %100 pamuktan dokunmuş, 3/1 dimi kumaştır. Lazer ile yıpratma işleminden sonra kumaşımıza taş yıkama yapılmıştır ve ardından tamburlu kurutma makinesinde kurutulmuştur.



Şekil 4.2: Jeanologia lazer kazıma makinesi

Tüm uygulamalar Jeanologia marka flexi e lazer makinesi ile yapılmıştır. Denim tasarımı için kullanılan lazer uygulamaları yapılmıştır. Buna göre 1, 10, 30, 50 lazer atım dereceleri ile kumaşa lazer aşındırma yapılmıştır. Dalga boyu 10.6 µm'de sabitlenmiştir. Lazer çıkış noktasının kumaşa olan mesafesi tüm uygulamalarda 1500 mm olarak sabit tutulmuştur. Denim kumaşlar 30cm*40cm ebatlarında dikdörtgen olarak lazer uygulaması ile yakılmış ve tüm uygulamalarda bu dikdörtgenin çözünürlüğü 32 dpi olarak sabitlenmiştir.

Denim kumaş lazer işlemlerinden önce ve sonra yıkanmıştır. Üç farklı yıkama uygulanmıştır. Durulama, taş yıkama ve geleneksel ağartma. Durulama, 45°C'de ve 1:40 flotte oranında hiçbir kimyasal uygulamamıştır. Taş yıkama 10ml/l dispersiyon ve 25gr/l selüloza enzimi ile uygulanmış, 1:20 flotte oranına sahip olup pomza taşı ile uygulama yapılmıştır. Taş yıkama 45°C'nin altında 20 dakika uygulanmıştır. Ağartma, Sodyum Hipoklorit ile 50gr/l 20 dakika 45°C'de ve 1:40 flotte oranında uygulanmıştır. Yıkama kimyasalları aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.1: Numune kumaşların yıkamasında kullanılan kimyasallar

Ürün	Ticari İsim	Firma
Dispergator	Rogly Cold Dispergins	Kaiser
Selüloz Enzimi	Rospers TMS Max	Royal Chemicals
Ponza Taşı	-	-
Sodyum Hipoklorit	-	-

4.4 Bulgular

Denim kumaşların yıkama işlemleri sırasında genellikle en iyi indigo aşınmasına en düşük mukavemet kaybıyla ulaşılması hedeflenir. Bu tez çalışmasında da lazer yöntemi ile aşındırılan indigo boyalı denim kumaşlar, lazer aşındırmanın ardından taş yıkama işlemlerine tabi tutulmuştur. Taş yıkama işleminin uzun süreli olması ve bu uzun işlem sonrasında kumaşın zarar görme derecesini minimuma indirmek için selüloz enzimi ve dispergator yardımı ile, işlemin süresi kısaltılarak işlem verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir.

Aynı zamanda uygulanan işlemler sonrası denim kumaşların hava geçirgenliği, kumaş kalınlığı, kumaş gramajı ve atkı/çözümlü sıklığı gibi yapısal özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Kumaşımızın lazer ile yıpratma işleminden sonra üzerinde kalan yanmış selüloz artıkları ve üzerindeki fazla indigo boyanın uzaklaştırılması sebebiyle kumaşın tuşesinin sert olmasına sebep olmuştur. Ancak yıkamadan sonra hem selüloz kalıntılarının ve fazla indigonun uzaklaştırılması ile kumaşımızın tuşesi değişmiş ve daha nispeten yumuşak bir tutum sağlanmıştır.

Uygulamalar sonrası kumaşta gözle görünür bir değişim olmuştur. Lazerli bölgelerin renklerinin açılması, yer yer parçalanması hatta bir kısmında lazer lekesi kalması gibi görünüme etki eden değişiklikler olmuştur. Uygulama yapılan kumaşlarda gramaj, atkı/çözümlü sıklığı ve kalınlık değişimleri görülmüştür.

Bu sonuçlar göz önüne alındığında, denim kumaşların lazer ile yıpratma sonucunda belli bir yakma derecesine kadar ağırlık ve gramajlarının arttığını söylemek mümkün iken, belli bir yakma derecesinden sonra ağırlık ve gramajın düştüğünü söyleyebiliriz. Denim kumaşlar aşındırılabilir indigo boya içerdiği için kolaylıkla ağırlık ve kalınlık değişimine uğrayabilirler. Çünkü indigo boya bir katman halinde ipliklerin dış yüzeyini kaplar ve dolayısıyla kumaşlara bir ağırlık ve kalınlık kazandırır. Lazer ile yıpratma işlemi sonucunda denim kumaşımızın üzerindeki indigo katmanı yanarak uzaklaştırılmaya çalışılmaktadır. Bu yakma derecesine göre alttaki selüloz tabakasına kadar inebilmektedir. Bu tez çalışmasında lazer ile yıpratma işlemi sonrasında yıkama yapıldığı için üzerindeki yanmış indigo ve selüloz uzaklaştırılmıştır dolayısıyla ağırlık ve kalınlık değişimleri görülmüştür. Öte yandan denim kumaşımız üst üste yıkamalara maruz kaldığı için çektiğini söyleyebiliriz. Kumaşımızın yıkamalardan sonra atkı-çözümlü sıklığı da değişmiştir. Bu da kalınlık ve gramaj değişimine sebep olmuştur. Kumaşımızın ham haldeki atkı-çözümlü sıklığı 20-27 tel/cm iken taş yıkama sonrasında (lazer uygulanmamış kumaş için) 23-31 tel/cm olarak hesaplanmıştır.

Yapılan fiziksel muayene sonuçları Ek A1’de verilmiştir.

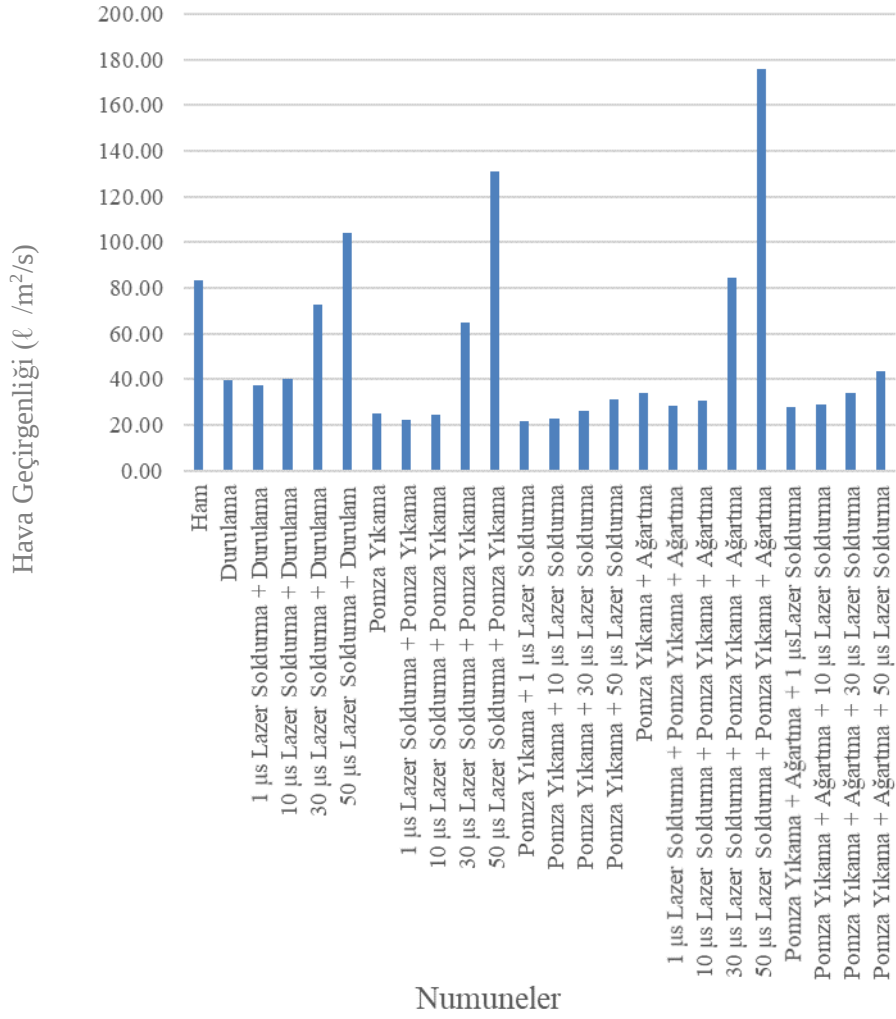
4.4.1 Hava Geçirgenliği Ölçümü

Yıkama öncesi lazer uygulamasında hava geçirgenliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Lazer sonrası kumaşların hava geçirgenliği yıkama sonrası azalmıştır. Ham kumaşlar ve yıkanmamış lazerle işlem görmüş kumaşlar karşılaştırıldığında hava geçirgenliğinde herhangi bir değişiklik gözlenmiştir.

Kumaşların lazer gücü ile yakılması sonucunda; Düşük sıcaklıklarda denim kumaş yüzeyindeki indigo boya ve selüloz makromolekül zincirleri yanarak denim kumaşın gözeneklerini doldurmuştur. Düşük yanma derecelerinde, selüloz makromolekül zincirleri ile lazer enerjisine maruz kalan yanan indigo kalıntıları arasındaki olası kimyasal bağlar tam olarak kopmadığı için yıkama sırasında selüloz ve indigo yanık kalıntısı tamamen giderilememiştir. Bu nedenle denim kumaşın hava geçirgenliği düşük derecelerde yüksek değildir.

Ancak yanma derecesi arttıkça yanmış selüloz makromolekül zincirlerinin birbirleri ve yanmayan selüloz makromolekül zincirleri ile tamamen uzaklaştırılması ve yıkama sırasında tamamen uzaklaştırılması mümkündür çünkü yanmış selüloz makromolekül zincirlerinin olası kimyasal bağlarının çoğu veya tamamı kopmuş olabilir. Bu nedenlerle, düşük lazer yakma sıcaklıklarında denim kumaş numunesinin hava geçirgenliği azalmıştır; yüksek yanma sıcaklıklarında hava geçirgenliği artmıştır.

Hava geçirgenliği sonuç grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3: Lazer soldurma yapılan numunelerin hava geçirgenliği grafiği

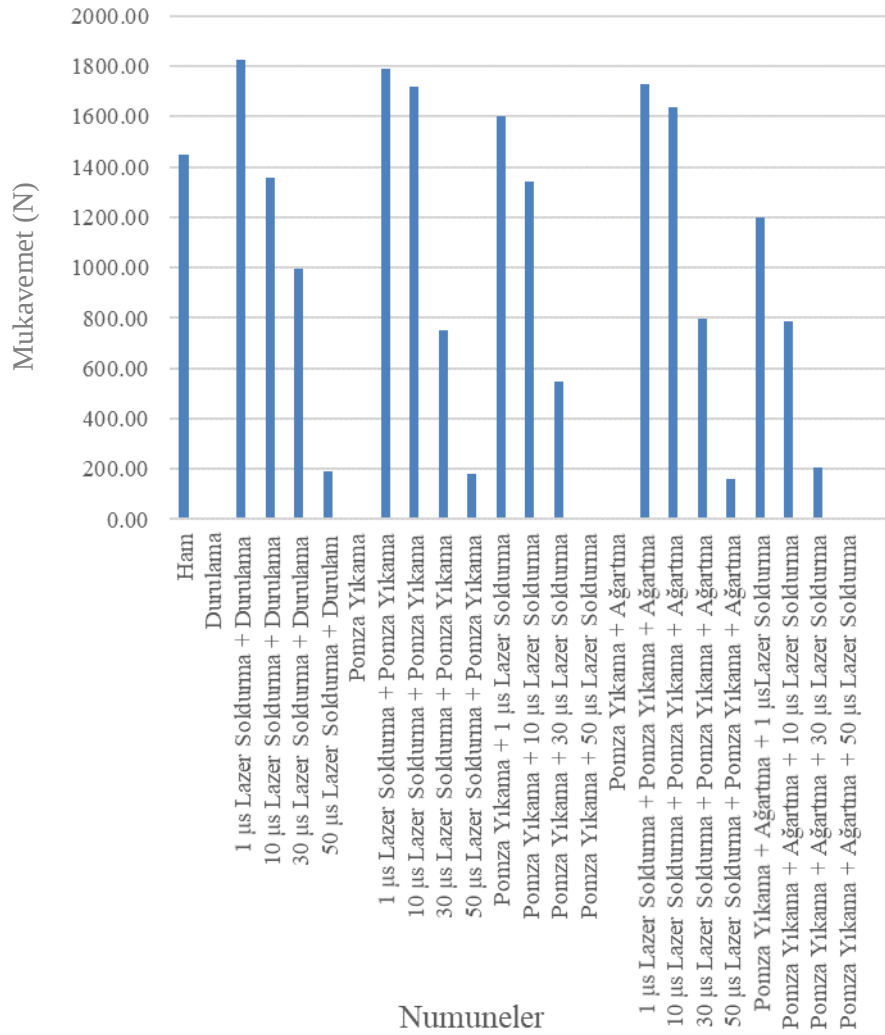
4.4.2 Kopma Mukavemeti ve Uzama Test Sonuçları

Kopma mukavemeti ve mukavemet ölçümü sırasında oluşan uzama ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

4.4.2.1 Kopma Mukavemeti Ölçümleri

Yüksek lazer kazıma derecelerinde, numune kumaşların yanması ve parçalanması nedeniyle numuneler test edilememiştir. Ham kumaşın mukavemeti, yıkanmış ve 1 µm lazer uygulanmış kumaşlara göre düşüktür. Ham kumaşın sertliği,

mukavemetini olumsuz etkilemiş olabilir. 50 µm ve 30 µm lazer, önemli mukavemet kayıpları göstermiştir. Yıkama sonrası 50 µm lazer uygulanan numuneler tamamen mukavemetini kaybetmiş ve ölçülememiştir. Genel mukavemet kayıplarına göre lazer uygulaması sonrası yıkanan numunelerde daha az dayanım kaybı gözlenmiştir. Kopma mukavemeti sonuç grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4: Lazer soldurma yapılan kumaşların mukavemet sonuçları grafiği

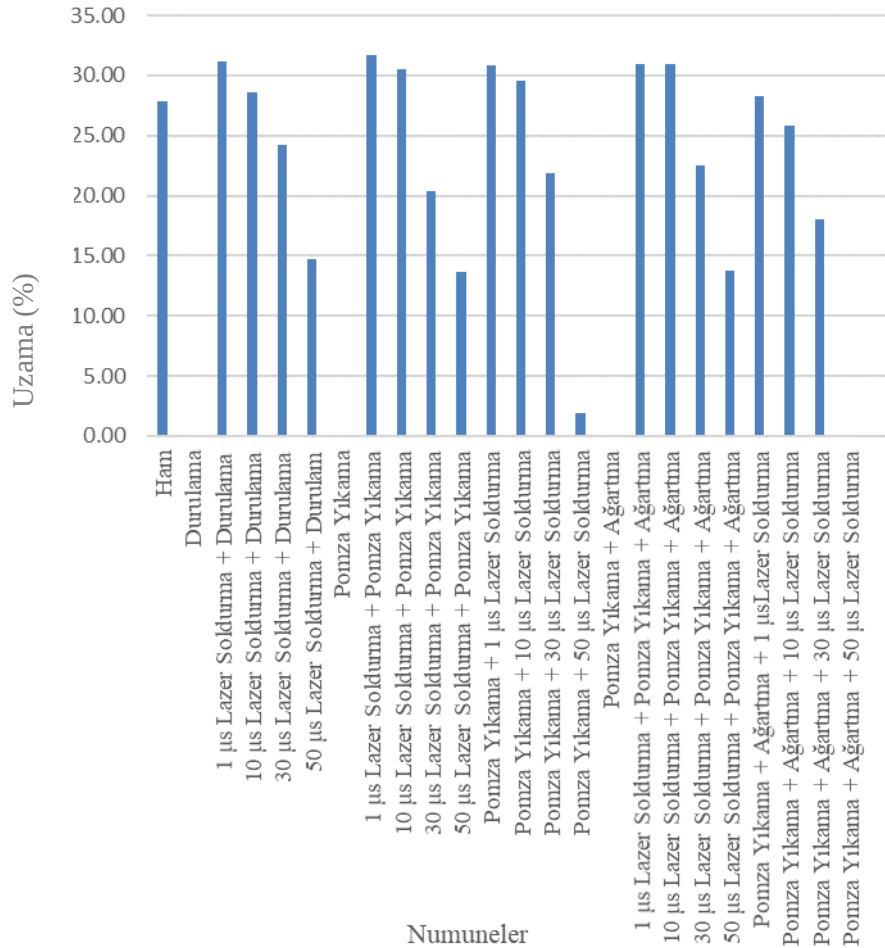
4.4.2.2 Kopma Mukavemeti Ölçümü Sırasındaki Uzama

Lazer kazıma 1, 10, 30 ve 50 dereceler için çözgü yönünde yırtılma mukavemet değerlerinde azalma ile sonuçlanmıştır. Anlamlı aralıklara göre kumaşların çözgü yönündeki uzama değerlerindeki değişimlerin 10 derece lazer

soldurmaya kadar önemli olmadığı söylenebilir. 30 µm ve 50 µm derecede önemli mukavemet kaybı meydana geldiği söylenebilir.

En düşük uzama 50 µm derecece ölçülmüştür.

Mukavemet sonuçlarına baktığımızda denim kumaşların çok sıkı ve sert bir yapıya sahip olduğunu görebiliriz. Bu test sonuçlarına göre lazer işlemlerinin denim kumaşların mukavemetini önemli ölçüde azalttığı söylenebilir. Yüksek lazer derecelerinde azalan mukavemetin nedeninin, lazer gücü ile makromoleküler zincirler arasındaki bağların kırılması sonucu selülozun moleküler yapısının değişmesi sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir.



Şekil 4.5: Lazer soldurma yapılan kumaşların uzama sonuçları grafiği

Ağartma işlemlerinde; lazer işleminden önce ağartma yapıldığında, kumaş numunesi test edilemeyecek kadar hasar görmüştür. Hasar gören kumaşın herhangi bir kuvvet uygulamasına karşı dayanıklı olmadığı söylenebilir.

Kopma mukavemeti sırasındaki uzama sonuçları Şekil 4.5'te verilmiştir.

4.4.3 Kalınlık ve Gramaj Ölçümleri

Bu sonuçlar dikkate alındığında, denim kumaşların lazer aşınması sonucu belirli bir yanma derecesine kadar ağırlık ve yoğunluklarının arttığını, belirli bir dereceden sonra ise ağırlıklarının ve yoğunluklarının arttığını söylemek mümkündür.

Denim kumaşlar aşındırıcı indigo boyalar içerdiğinden kolaylıkla ağırlık ve kalınlık değişimlerine uğrayabilirler. Bunun nedeni indigo boyanın ipliklerin dış yüzeyini tek bir katman halinde kaplaması ve böylece kumaşlara ağırlık ve kalınlık kazandırmasıdır.

Lazer ile aşındırma işlemi sonucunda denim kumaşımızın üzerindeki indigo tabakası yakılarak yok edilmeye çalışılır. Bu yanma derecesine göre alttaki selüloz tabakasına kadar inebilir. Bu çalışmada lazer aşındırma işlemi sonrası yıkama nedeniyle yanmış indigo ve selüloz uzaklaştırılmış, ağırlık ve kalınlık değişimleri gözlemlenmiştir.

4.4.4 Eğilme Dayanımı Ölçümleri

Eğilme mukavemeti, tekstil ürünlerinde dökümlülük için bir testtir. Test kumaşlarının sonuçlarına bakıldığında lazer derecesi arttıkça kumaşların dökümlülüğünün arttığı görüldü. Diğer taraftan yıkama sonrası lazer uygulanan kumaşlarda ise genellikle daha iyi sonuçlar görülmüştür. Ancak orta yakma derecelerinde indigo ve selülozun uzaklaştırılmasının yetersiz kaldığı düşünüldüğünden kumaşın daha sert bir tutum kazandığı tahmin edilmektedir.

4.4.5 Sertlik Ölçümleri

Sertlik ölçüm sonuçları incelendiğinde kumaşların yıkama sonrası lazer uygulamasına tabi tutulduklarında daha fazla yumuşadığı söylenebilir. Genel olarak yanma derecesi arttıkça kumaşın sertliğinin azaldığı söylenebilir. Özellikle taş yıkamada lazer uygulaması sonrası belirgin bir sertlik değişimi olduğu söylenebilir. Ancak daha detaylı incelendiğinde ağartılmış kumaşların çok daha fazla yumuşadığı söylenebilir; sadece ön yıkama numunelerinin yıkama sonrası lazer uygulamasına tabi tutulduğunda yumuşadığı söylenebilir.

4.4.6 Renk Ölçümleri

Denim kumaşların renk ölçümü renk ölçüm cihazı Datacolor Spectral Flash 600 ile yapılmıştır. Bu cihaz ölçümleri spektral yönteme göre yapmaktadır. Numunelerin remisyon (%R) değerlerinin ölçümleri D65 standart gün ışığı altında ve 10° standart gözlem açısıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçümler yapılırken her bir numune 4 kat halinde ve 4'er tekrar olacak şekilde çözgü yoğun yüzü okutularak gerçekleştirilmiştir.

Lazer soldurma yapılan numunelerin renk sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2: Lazer soldurma yapılan kumaşların renk ölçüm sonuçları

<i>Numune</i>	<i>K/S</i>	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C*</i>	<i>h°</i>
<i>Ham</i>	10,086	26,92	0,13	-6,23	6,23	271,17
<i>Durulama</i>	16,949	21,42	0,71	-9,29	9,32	274,38
<i>1 µs Lazer Soldurma + Durulama</i>	16,037	22,38	0,71	-9,98	10	274,04
<i>10 µs Lazer Soldurma + Durulama</i>	13,658	24,51	-0,26	-8,59	8,59	268,28
<i>30 µs Lazer Soldurma + Durulama</i>	10,093	29,47	-1,05	1,28	1,66	129,19
<i>50 µs Lazer Soldurma + Durulam</i>	16,731	27,99	2,92	9,38	9,82	72,68
<i>Pomza Yıkama</i>	16,591	24,33	-0,01	-14,37	14,37	269,97
<i>1 µs Lazer Soldurma + Pomza Yıkama</i>	15,892	25,05	-0,11	-14,65	14,65	269,58
<i>10 µs Lazer Soldurma + Pomza Yıkama</i>	17,758	23,52	0,08	-14,19	14,19	270,33
<i>30 µs Lazer Soldurma + Pomza Yıkama</i>	6,6087	34,29	-3,04	-3,01	4,28	224,79
<i>50 µs Lazer Soldurma + Pomza Yıkama</i>	9,2484	35,23	1,37	8,08	8,2	80,37
<i>Pomza Yıkama + 1 µs Lazer Soldurma</i>	8,2633	32,13	-3,03	-8,21	8,75	249,76
<i>Pomza Yıkama + 10 µs Lazer Soldurma</i>	5,2649	37,72	-3,51	-0,96	3,64	195,35
<i>Pomza Yıkama + 30 µs Lazer Soldurma</i>	6,8343	39,29	-2,13	6,81	7,13	107,37
<i>Pomza Yıkama + 50 µs Lazer Soldurma</i>	11,329	34,25	3,02	11,69	12,07	75,5
<i>Pomza Yıkama + Ağartma</i>	6,5753	42,01	-3,82	-20,7	21,05	259,55
<i>1 µs Lazer Soldurma + Pomza Yıkama + Ağartma</i>	6,9348	40,95	-3,47	-20,45	20,75	260,37
<i>10 µs Lazer Soldurma + Pomza Yıkama + Ağartma</i>	5,3195	43,77	-3,54	-18,25	18,59	259,01
<i>30 µs Lazer Soldurma + Pomza Yıkama + Ağartma</i>	1,9826	55,59	-4,82	-9,66	10,8	243,48
<i>50 µs Lazer Soldurma + Pomza Yıkama + Ağartma</i>	1,5569	62,69	-4,16	4,37	6,03	133,55
<i>Pomza Yıkama + Ağartma + 1 µs Lazer Soldurma</i>	3,5149	46,36	-6,95	-6,71	9,66	223,99
<i>Pomza Yıkama + Ağartma + 10 µs Lazer Soldurma</i>	3,3665	49,59	-4,23	4,39	6,1	133,94
<i>Pomza Yıkama + Ağartma + 30 µs Lazer Soldurma</i>	6,4341	45,52	1,73	14,21	14,32	83,05
<i>Pomza Yıkama + Ağartma + 50 µs Lazer Soldurma</i>	16,53	29,71	5,46	12,5	13,64	66,4

4.4.6.1 Renk Verimi Ölçümleri

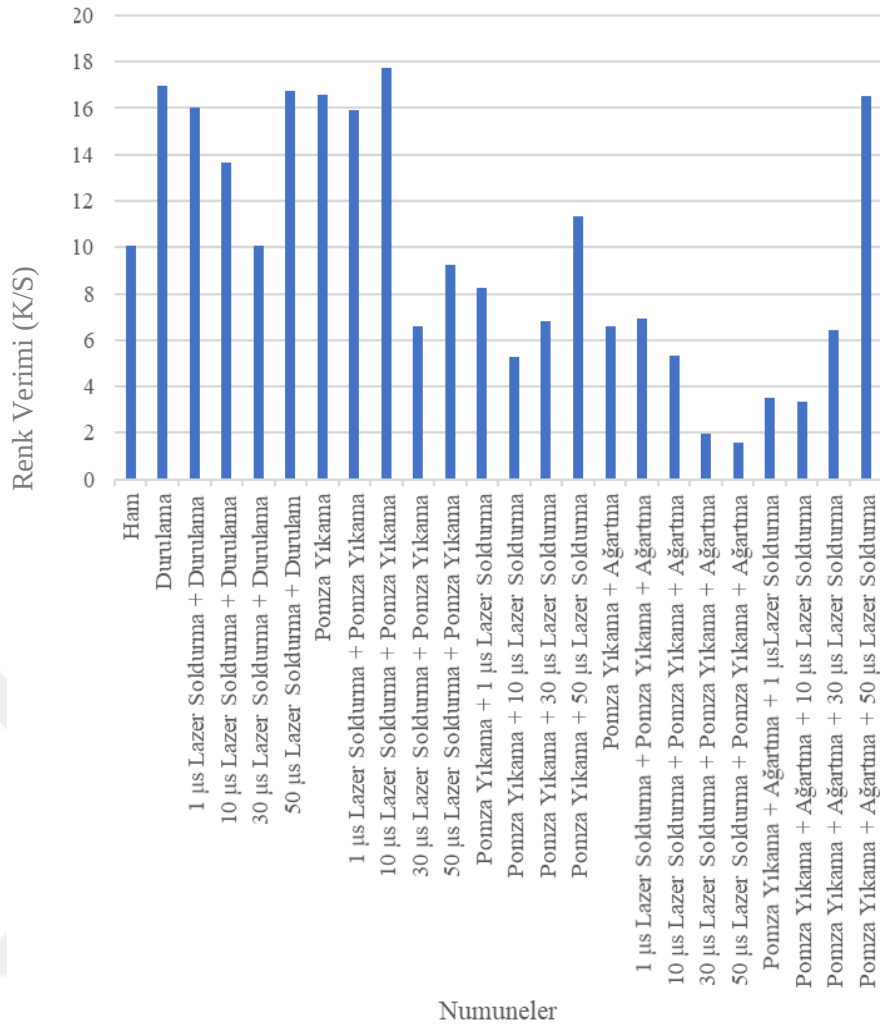
Yıkamış ve lazer uygulanmış denim kumaş numunelerinin yıkama öncesi ve sonrası kolorimetrik özellikleri çeşitli lazer işlemlerinden önce ve sonra değerlendirilmiştir. Piksel süresi (μ s: mikrosaniye olarak ifade edilir), lazer ışını için gereken süreyi kontrol eden bir parametredir.

Lazerle işlenmiş desenin çözünürlüğü 38 dpi'de sabitlendiğinde, yanma derecesi arttıkça denim kumaşın renk veriminin (K/S) giderek azaldığı gözlemlendi.

Yıkandıktan sonra kot kumaş koyulaştı. Lazer ile soldurma sonrası yıkanan numunelerin renklenme derecesi arttıkça denim kumaşın renk verimi düşmektedir.

Durulama ve taş yıkama işlemlerinden sonra denim kumaşların renk verimlerinin aynı seviyede kaldığı belirlendi. 30 ve 50 derecede lazer soldurma ve ardından taş yıkamaya tabi tutulan denim kumaşların renk verimlerinin büyük oranda düştüğü tespit edildi. Taş yıkama + ağartma + lazerle soldurma örnekleri; Lazerin solma derecesi arttıkça lazerin ısı etkisiyle kumaş yüzeyinde yanma meydana gelir ve renk diğerlerine göre koyulaşır.

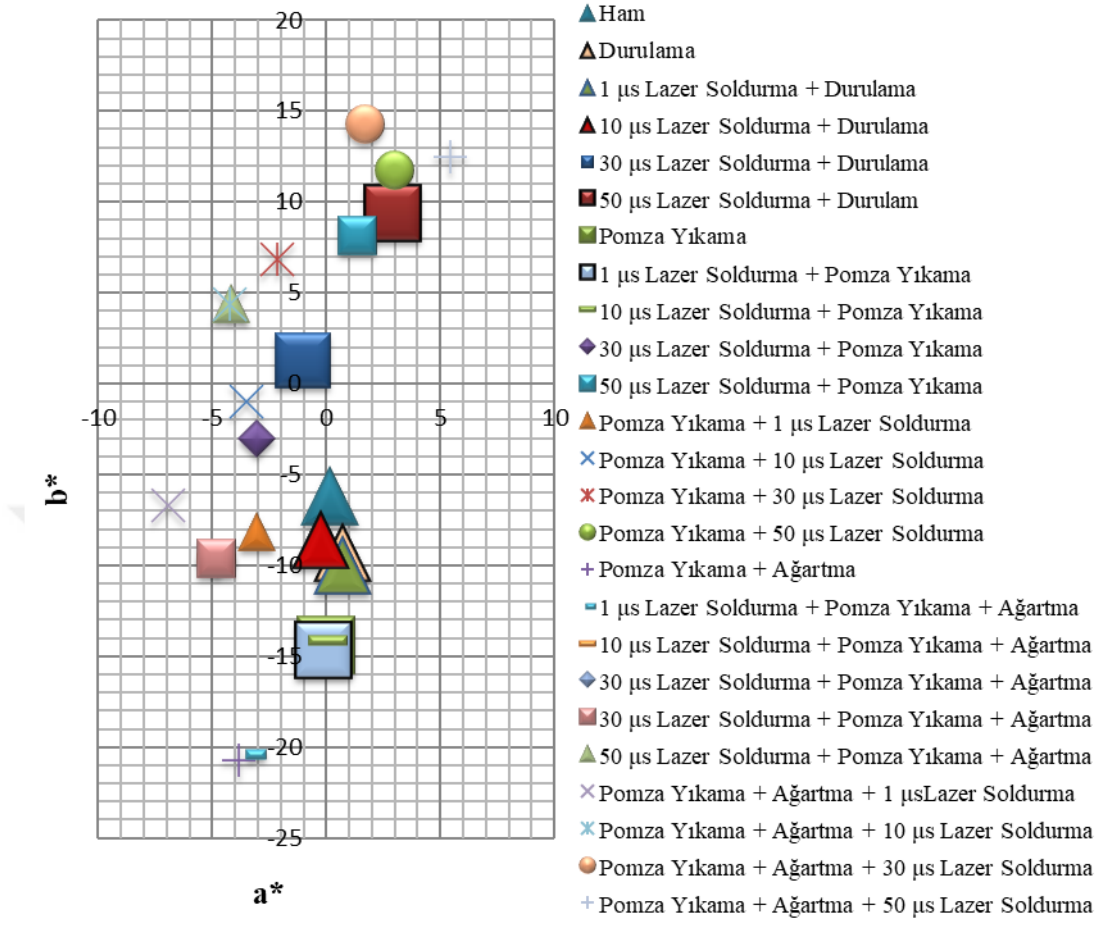
Yapılan renk verimi ölçümleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6: Lazer soldurma yapılan numunelerin K/S değerleri

4.4.6.2 a * (kırmızı-yeşil eksen) -b * (sarı-mavi eksen) değerleri

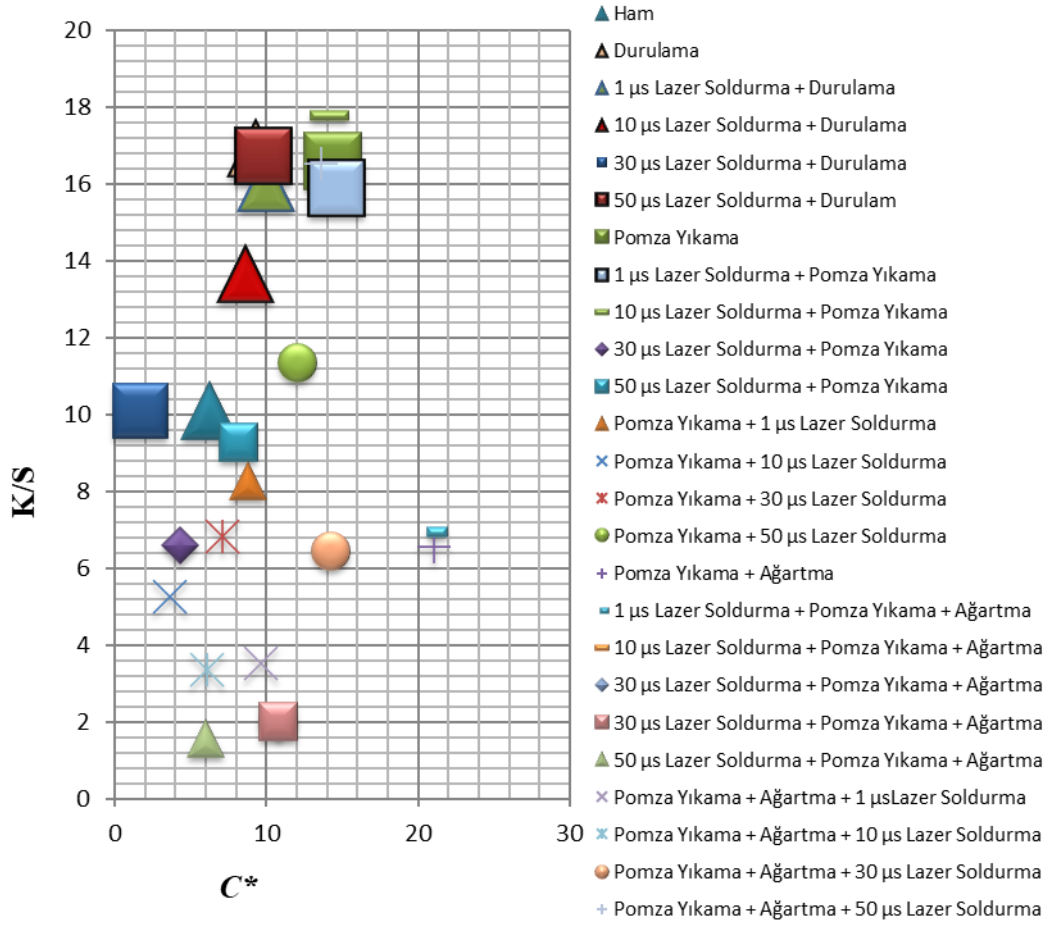
Lazer soldurma yapılan numunelere bakıldığında lazer soldurma derecesi 50 µs olan numunelerin genel a+ bölgesinde kümелendiği gözlemlenmiştir. 1 ve 10 µs olan numuneler ise b- bölgesinde kümelenmiştir. Yıkama öncesi ve sonrası yapılan lazer işlemlerin a*- b* grafiği üzerindeki dağılımı etkilediği söylenebilir. Sonuçlar Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7: Lazer soldurma yapılan numunelerin a^* (kırmızı-yeşil eksen) - b^* (sarı-mavi eksen) değerleri

4.4.6.3 Kroma (Doygunluk)- Renk Verimi (K / S) Ölçümleri

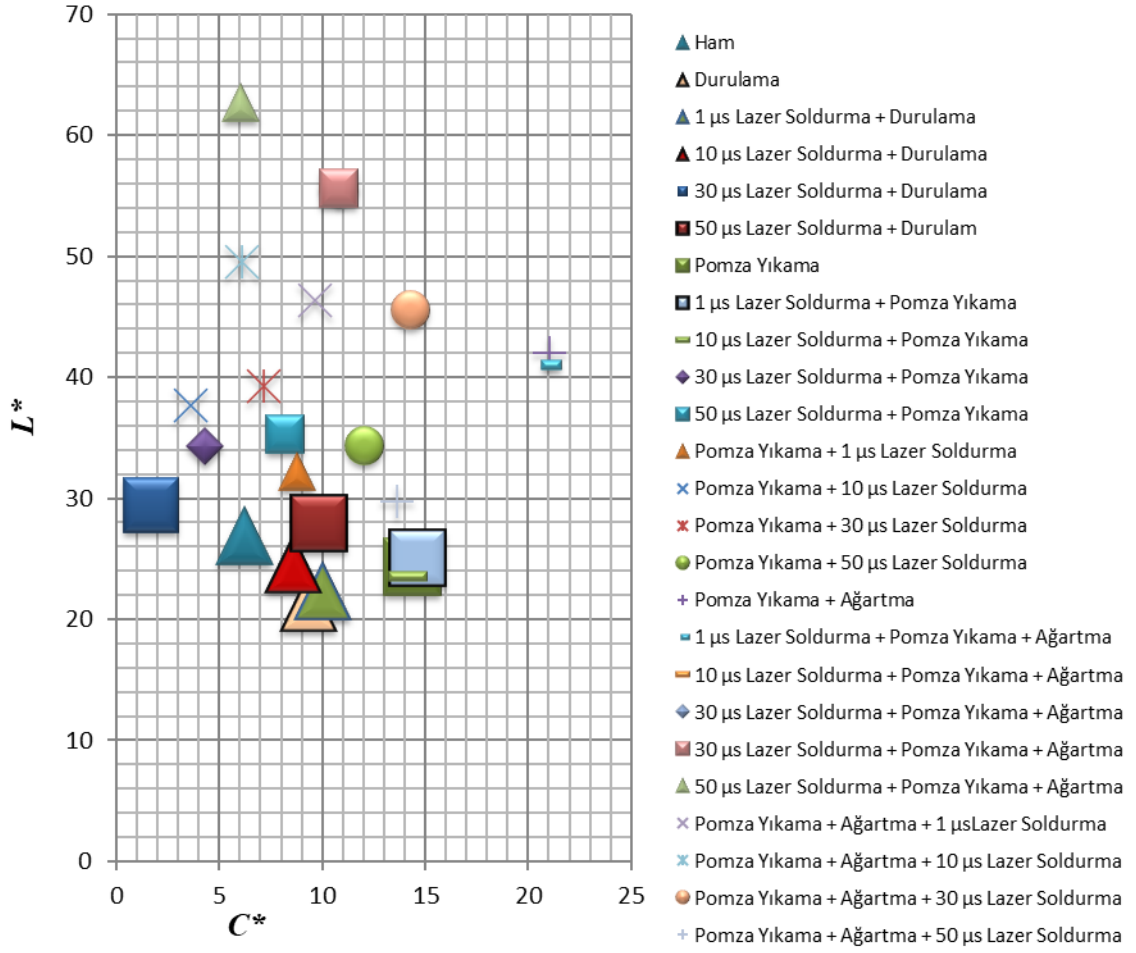
Numunelerin C^* (doygunluk) değerleri, numunelerin lazer soldurma ile solma derecesine bağlı olarak değişmektedir. Ağartma yapılan ve yüksek derecelerde soldurma yapılan numunelerin renk verimlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Ölçüm sonuçları Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8: Lazer soldurma yapılan numunelerin kroma ve K/S değerleri

4.4.6.4 Kroma (Doygunluk)- Açıklık / Koyuluk (L) Ölçümleri

Lazer soldurma derecesi arttıkça örneklerin L* açıklık-karanlık değerleri artar, yani örneklerin rengi daha açık hale gelir. En yüksek L* değeri lazerle soldurma + taş yıkama + ağartma yapılan numunelere aittir. Ölçüm sonuçları Şekil 4.9'da verilmiştir.



4.5 Değerlendirme

Giysiler için konfor testi olarak hava geçirgenliğinin ölçülmesi önemlidir. Denim kumaşların geleneksel üretiminde hava geçirgenliği önemli olmasa da modern üretimde müşteri memnuniyeti açısından oldukça önemli hale gelmiştir. Bu nedenle üretimde, lazerle soldurma yıkama sonrası hava geçirgenliğini artıracığından kışlık ürünlerde önerilmezken yazlık ürünlerde uygulanması önerilir.

Mukavemet testleri sonucunda; yıkandıktan sonra lazerle işlem gören kumaşların yırtılmaya karşı daha zayıf olduğu ve esnekliğini kaybettiği söylenebilir. Lazer soldurma işlemi yapıldıktan sonra yıkanan numunelerin ise diğerlerine göre daha dayanıklı ve esnek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun kumaş yüzeyinde indigo boyanın oluşturduğu tabaka nedeniyle olduğu gözlemlenmiştir.

Kalınlık sonuçlarına bağılı olarak, üretim sırasında kumaşın kalınlığının korunması bekleniyorsa, lazer uygulamalarından önce yıkama yapılmaması, tüm sulu işlemlerin lazer uygulamalarından sonra yapılması tavsiye edilebilir. Aynı şekilde kumaş kalınlığının inceltilmesi isteniyorsa, önce sulu işlemlerin ardından lazer uygulamalarının yapılması önerilir.

Yoğunluk sonuçları dikkate alındığında denim kumaşların ağırlık ve yoğunluğunun lazer aşınması sonucu belirli bir yanma derecesine kadar arttığını söylemek mümkündür.

Düşük derecelerde yapılan lazer aşındırma işlemlerinde beklendiği gibi sertlik ölçümleri yüksek ölçülmüştür. Ancak orta yanma derecelerinde sertliğin düşük yanma derecesine göre daha yüksek ölçüldüğü görülmüştür. Bunun, selüloz ve indigo kalıntılarından kaynaklandığı gözlemlenmiştir, ancak daha detaylı sonuçlar için ileriki çalışmalarda farklı değerlendirmeler ve detaylı çalışmalar yapılabilir.

Yapılan tüm deneyler ve sonuçlar dikkate alındığında genel olarak denim kumaşlarda indigo boyarmaddenin oluşturduğu tabaka yıkama ile uzaklaştırılmaktadır. Genel olarak tuşe, sertlik, eğilme mukavemeti, hava geçirgenliği gibi konfor testlerine olumlu yanıt verirken; kopma ve uzama mukavemetlerinde olumsuz sonuçlar alınmıştır.

Aynı şekilde, işlem görmemiş ürünlerin lazer uygulamaları sonrası yaş işlem yapıldığında daha dayanıklı olduğu ancak konfor testlerinde yeterince iyi olmadığı düşünülmektedir.

Tüm bu sonuçlar dikkate alındığında, ağartma işlemleri için selüloz enzimi ile yıkama yapılmakta ve sodyum hipoklorit kullanılmaktadır. Ancak yıkama ve ardından lazer aşındırma tercih edildiğinde pamuk lifinin selüloz yapısı bozulur ve pamuk lifi doğal mukavemetini koruyamaz ve ardından lazer işlemlerine tabi tutulursa mukavemet açısından olumlu bir sonuç alınamayabilir.

5. POMZA TAŞI İLE EFETKLENDİRME İŞLEMLERİNE SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR ALTERNATİF OLARAK POLİMER TAŞLAR

5.1 Denim Giysilerin Enzim ve Taş Yıkama İşlemi

Enzimler, kataliz yapabilen biyomoleküllerdir ve neredeyse tamamı protein yapılıdır. Enzimler girdikleri kimyasal tepkimeyi hızlandırır ve değişikliğe sebep olmadan tepkimeden çıkar. Enzimlerin bu etkisine kataliz denir. Biyomoleküller ise canlılarda bulunan molekulardır. Yani enzimler canlılardan elde edilen canlı molekulardır. Bitkilerden, hayvanlardan, bakterilerden, deniz canlılarından ve tüm canlı türlerinden farklı enzimler elde edilebilir. Enzimler saklama koşulları sağlandığı takdirde uzun ömürlüdürler. Su ve sıcaklıkla beraber etki etmeye başlar ve sonra ölürler. Genellikle çok yüksek sıcaklıklara dayanıklı değildir ve yaşam süreleri kısadır (Bairoch 2000).

Her bir enzimin kendine özgü özellikleri ve etki ettikleri yapılar vardır. Enzimlerin kendisine özel olarak etki ettiği yapıya substrat denir. Enzimler ve kendi substratları arasında anahtar kilit uyumuna benzer bir uyum vardır. Her enzim kendi substratını parçalar ve bağlı olduğu yerden koparır (Bairoch 2000).

Enzimler tanecikli yapılar halinde katı formda ve sıvı formda bulunabilir. Denim yıkamada kullanılan başlıca enzimler amilaz, selülaz ve lakkaz enzimidir. Bu enzimler dışında birçok farklı enzim bulunmakla beraber özel durumlar dışında denim yıkamada çok fazla kullanılmazlar (Bairoch 2000).

5.1.1 Amilaz Enzimi

Nişastayı parçalayan enzimdir. Sadece nişastayı parçaladığı için denim yıkamada sadece haşıl sökme işleminde kullanılabilir. Genellikle nötr (pH 6-8) halde kullanılır. Elde edilme şekline göre formu ve çalışma sıcaklığı değişmekle beraber genellikle sıvı formda bulunur ve 45'C ye kadar çalışabilir (Url_11, Koçak 2018).

5.1.2 Selluz Enzimleri

Sellozları parçalayan enzimdir. Selluz enzimleri amacına göre farklı pH derecelerinde kullanılır. Denim yıkamada kullanılan taş enzimleri nötr (pH 6-8) iken tüy enzimleri zayıf asidik (pH 4-6) durumdadır. Dolayısıyla kumaşa etki etme şekilleri de farklıdır. Tanecik halinde veya sıvı olarak bulunabilirler. Çalışma sıcaklığı değişmekle beraber genellikle 30'C ve 60'C arasında değişir (Url_9, Koçak 2018).

Denim kumaşlar genellikle %90-%100 oranlarında pamuk içerir. Pamuk lifi ise selüloz maddesinden oluşur. İndigo boyarmaddesi ise pamuk lifinin içine işlemez etrafını sarar bu yüzden de tüm yıkama işlemlerinde kolaylıkla aşındırılabilir ve etkili sonuçlar alınabilir (Url_9, Koçak 2018).

Nötral selluz enzimleri taş enzimi olarak kullanılır. Genellikle pomza taşıyla birlikte kullanılır. Nötr halde olduğu için bu enzimler life zarar vermezler. Bu sebeple uzun süreli yıkamalarda kullanılabilirler. Lif ile boyarmadde arasındaki bağları kopararak boyarmaddeyi uzaklaştırırır böylece etkili yıkamalar elde edilebilir (Url_9, Koçak 2018).

Asidik selluz enzimleri genellikle tüy enzim olarak kullanılır. Pamuk lifi asitlere karşı dayanıksızdır. Bu yüzden uzun süreli yıkamalarda kumaşa ciddi zarar verebilirler. Tüy enzimler kumaş yüzeyinde, zayıf ve iplikten ayrılmış ucu serbest haldeki liflerin kumaş ile arasındaki bağları koparır ve kumaştan uzaklaştırır. Böylece kumaş yüzeyi daha parlak, temiz ve pürüzsüz görünür (Url_9, Koçak 2018).

5.1.3 Lakkaz Enzimi

Bazı bileşiklerin oksidasyonunu sağlayan enzimdir. Genellikle zayıf asidik veya nötr (pH 5-7) durumda kullanılır. Üretim şekline bağlı değişmekle beraber hem soğukta hem sıcakla çalışabilir. Genellikle en fazla 50°C civarında kullanılır. Lakkaz enzimi denim üzerinde indigo boyarmaddesindeki fenol gruplarının oksidasyonunu hızlandırır. Yani boyarmadde üzerinde çalışan bir enzimdir. Boyarmaddenin yapısını bozar ve böylece renk açılımına etki eder. İndigo boyarmaddesi yapısı gereği lakkaz enzimiyle girdiği tepkimelerde genellikle gri tonlarda açılır (Gedikli ve diğ. 2010).

Pomza taşı doğada hazır halde bulunan doğal bir taştır. Doğrudan tüketiciye ulaştırıldığı için maliyeti az ve ucuz bir malzemedir. Pomza taşı ile yıkama “Stone Wash” olarak bilinen ve denim kumaştan dikilmiş ürünlere giyilmiş ve doğal yollarla eskimiş görüntüsü vermek için yapılan bir yıkamadır. Pomza taşı ile yapılan yıkamalarda pomza taşları en fazla 2 yıkamaya kadar dayanmaktadır. Sıcaklık, süre ve kullanılan kimyasallar ürünün ömrünü değiştirmekle birlikte ürünün daha hızlı suda çözünmesine de sebep olmaktadır.



Şekil 5.1: Pomza taşı yıkaması sonrası oluşan çamur. (Fg Tekstil 2020, İzmir)



Şekil 5.2: Pomza taşı yıkaması sonrası oluşan atık su. (Fg Tekstil 2020, İzmir)

Pomza taşının suda çözünen kısmı çamurlaşp su arıtması dışında ikincil bir arıtmayla temizlenebilmektedir. Bu da firmalara maliyet ve çevreye atık olarak geri dönmektedir (Nergis 2017).

Denim yıkama sonrası oluşan atık su ve pomza taşı çamuru Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

5.1.4 Pomza Taşı ile Yapılan Yıkamalara Alternatif Bir Yıkama Olarak Eco Rock Kullanılarak Yapılan Çalışma

Pomza taşının tüm olumsuzluklarına alternatif sunan Eco Rock, Neaarchimica Firmasının ürettiği plastik bileşenlerden oluşturulmuş formsuz yapında üretilmiş sentetik bir malzemedir. Eco Rock’ın 2 yıl ömrü olduğu ileri sürülmektedir. Plastik bileşen olduğu için kimyasallara ve ısıya daha dayanıklı olduğu ve pomzaya alternatif olduğu iddia edilmektedir (FG Tekstil 2020, İzmir).

- Pomza Taşı 50 krş/kg
- Pomza taşı kullanım ömrü 1 veya 2 yıkama
- Pomza taşı arıtma maliyeti; aylık yaklaşık 5 bin TL -10bin TL
- Eco Rock 38 €/kg
- Eco Rock için 2 sene kullanım ömrü
- Eco Rock için su arıtması dışında arıtmaya ihtiyaç yoktur.

Yıkamalarda kullanılan kimyasallar Tablo 5’te verilmiştir.

Eco Rock isimli ürün Şekil 5.4’te gösterilmiştir.

Pomza taşı Şekil 5.5’te gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Polimer taşlar ve pomza taşı ile yapılan yıkamalarda kullanılan ürün tablosu

Ürün	Ticari İsim	Firma
Dispergator	Rogly Cold Dispergins	Kaiser
Selüloz Enzimi	Rospers TMS Max	Royal Chemicals
Pomza Taşı	-	-
Polimer Taşlar	Eco Rock	Nearchimica

Numuneler 50cm x 50cm büyüklüğünde kesildikten sonra 45°C’de durulamaya tabii tutulmuştur. Flotte oranı 1:20 olacak şekilde sabit tutulmuştur. Durulama ardından enzim yıkama, polimer taşlar ile yıkama ve pomza taşı ile yıkama yapılmıştır. Bu çalışmada numuneler durulama işleminden sonra yıkamaya tabii tutulmuştur. Kullanılan ürünler

Yıkama şartları ve kullanılan kimyasallar Tablo 5.2’de verilmiştir.

**Pomza taşı ile yapılan yıkama sonrası taşların yaklaşık %60’ı su ile bütün haldeki formunu yitirerek çamurlaşmıştır. Yıkama sonrası çamurlaşan pomza su tahliyesiyle kaybedilmiştir.*



Şekil 5.3: Eco Rock (FG Tekstil 2020, İzmir)



Şekil 5.4: Pomza taşı (FG Tekstil 2020, İzmir)

Tablo 5.2: Yıkama işlemlerinde kullanılan kimyasallar ve yıkama koşulları

	Flotte Oranı	Yıkama Süresi (dk)	Sıcaklık (°C)	Enzim Miktarı (50 gr/L)	Taş Miktarı (kg)	Yardımcı Kimyasallar (1 gr/L)
Enzim Yıkama 1. Koşul	1:20	20	45	Selüloz Enzimi	-	Islatıcı, Dispergator
Enzim Yıkama 2. Koşul	1:20	20+20	45	Selüloz Enzimi	-	Islatıcı, Dispergator
Polimer Taş Yıkama 1. Koşul	1:10	30	45	Selüloz Enzimi	12	Islatıcı, Dispergator
Polimer Taş Yıkama 2. Koşul	1:10	20+20	45	Selüloz Enzimi	12	Islatıcı, Dispergator
Pomza Taş Yıkama 1. Koşul	1:10	30	45	Selüloz Enzimi	12	Islatıcı, Dispergator
Pomza Taş Yıkama 2. Koşul	1:10	20+20	45	Selüloz Enzimi	12	Islatıcı, Dispergator

5.2 Bulgular

Polimer taşlar ile pomza taşının yıkama sonuçlarını kıyaslamak için yapılan çalışmanın fiziksel muayenelerinin sonuçları Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3: Polimer taşlar ile pomza taşının yıkama sonuçlarını kıyaslamak için yapılan çalışmanın fiziksel muayenelerinin sonuçları

	Mukavemet (N)	Uzama (%)	Kalınlık (mm)	Sertlik (cN)	Gramaj (gr/m ²)
Ham	1603,33	16,00	0,61	2580,00	396,25
Durulama	1228,33	33,30	0,80	1645,00	413,75
Enzim 30	1419,33	31,90	0,82	1685,00	475,00
Enzim 40	1170,67	39,54	0,81	1170,00	491,25
Polimer Taş ile Yıkama 30'	1147,00	32,79	0,82	1248,00	425,00
Polimer Taş ile Yıkama 40'	1024,33	29,65	0,80	1264,00	393,75
Pomza Taş ile Yıkama 30'	1248,00	30,31	0,76	1154,00	389,13
Pomza Taş ile Yıkama 40'	1088,67	28,97	0,83	1348,00	446,25

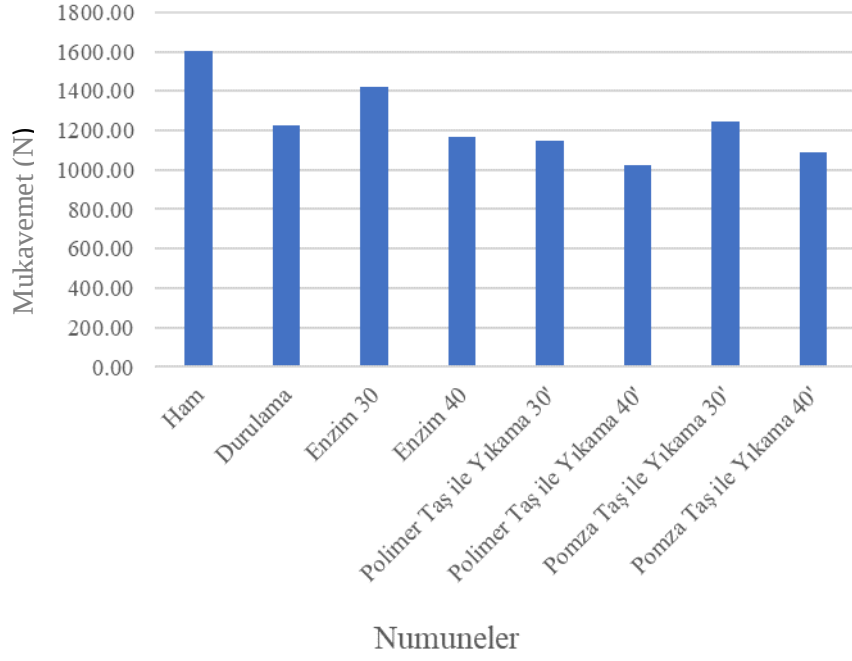
5.2.1 Kopma Mukavemeti ve Uzama Ölçümleri

Test sonuçları göz önüne alındığında kopmaya en dayanıklı kumaşın ham kumaş olduğu görülmektedir. Ham kumaşın haşılı olmasının kumaşı daha dayanıklı hale getirdiği söylenebilir. Uzama sonuçlarına bakıldığında ise yine haşıla bağlı olarak ham kumaşın en az esnek olan kumaş olduğu görülmektedir.

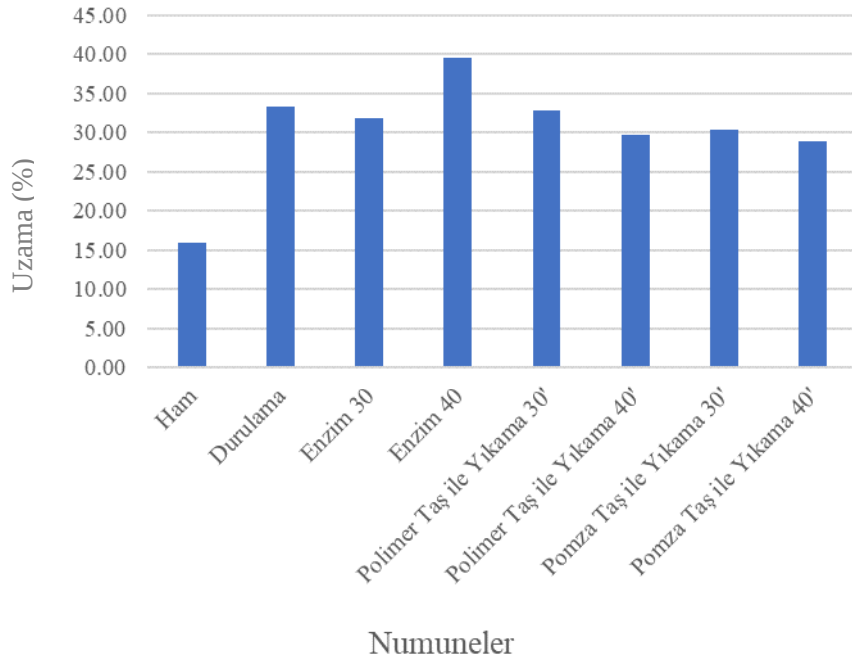
Durulama ile enzim yıkamaları kıyaslandığında ise Enzim 30' koşulunun durulama yapılan kumaştan daha mukavim olduğu görülmektedir. Enzim yıkamalarının sıcak ortamda yapılması sebebiyle kumaşın optimum çekmesi 30' Enzim yıkamada görülmüştür. Çekme ile optimum seviyede kalınlaşan kumaş diğer yıkama koşullarına göre daha mukavim ölçülmüş olabilir.

Ham kumaş ve durulama kumaşlarıyla kıyaslandığında; Enzim 40', Eco Rock 30', Eco Rock 40', Pomza Taşı 30', Pomza Taşı 40' şartlarında ise kumaş optimum çekme noktasını geçmiş, daha çok mekanik etkiye maruz kalmış ve mukavemet kayıpları diğerlerine göre daha fazla görülmüştür. Ölçülen mukavemet ve uzama sonuçlarına bakıldığında hiçbir kumaşın yıkama kaynaklı zarar görmediği söylenebilir.

Ölçüm grafikleri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.5: Farklı taşlar ile yapılan yıkamanın mukavemet testi sonuçları



Şekil 5.6: Farklı taşlarla yapılan yıkamaların uzama sonuçları

5.2.2 Kalınlık ve Gramaj Ölçümleri

Kalınlık ve gramaj ölçümleri değerlendirildiğinde kumaşın sulu proseslerde çekme kaynaklı kalınlık ve m² ağırlığının arttığı gözlemlenmektedir. Polimer taşlar

ve pomza taşı ile yapılan yıkamalar, enzim yıkamalar ile kıyaslandığında kumaşın nispeten incelmediği söylenebilir. Bu sonuçlardan yola çıkarak kumaşın sadece enzim ile yapılan yıkamalarda çekmeden kaynaklı kalınlığının ve gramajının arttığını söylemek mümkündür. Polimer taşlar ve pomza taşı ile yapılan yıkamalarda ise mekanik etkilerden kaynaklı kalınlık daha az ölçülmüştür.

5.2.3 Kumaş Sertliği Değerlendirmesi

Durulama işlemi ile bile önemli ölçüde yumuşama sağlandığı söylenebilir. Enzim 40' koşulu ve pomza taşı 30' koşulunda sertlik en düşük olarak ölçülmüştür. Pomza taşı 40' koşulunda kumaş nispeten daha sert ölçülmüştür. Pomza taşı artıklarının tamamen arındırılmamış olması buna sebep olmuş olabilir.

5.2.4 Renk Ölçümleri

Denim kumaşların renk ölçümü renk ölçüm cihazı Datacolor Spectral Flash 600 ile yapılmıştır. Bu cihaz ölçümleri spektral yönteme göre yapmaktadır. Numunelerin remisyon (%R) değerlerinin ölçümleri D65 standart gün ışığı altında ve 10° standart gözlem açısıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçümler yapılırken her bir numune 4 kat halinde ve 4'er tekrar olacak şekilde çözgü yoğun yüzü okutularak gerçekleştirilmiştir.

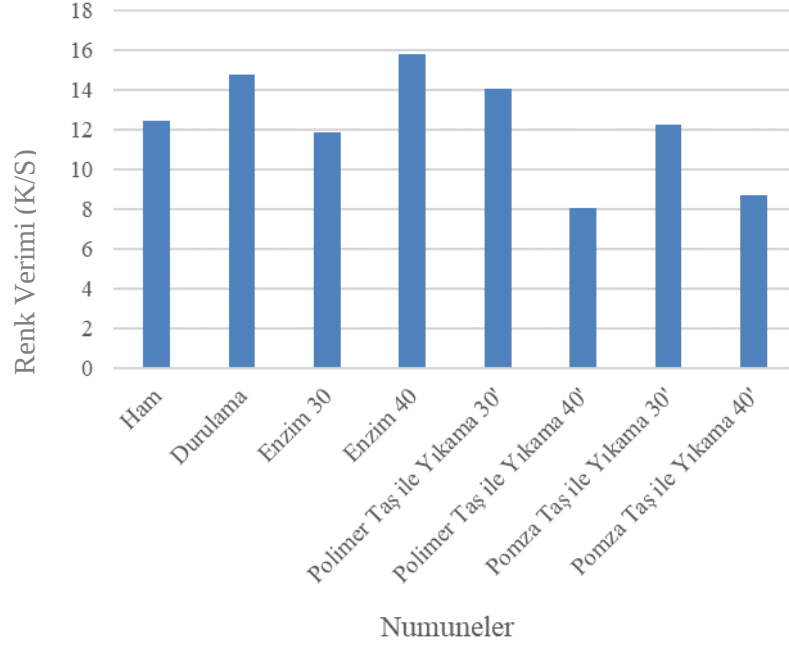
Renk ölçüm sonuçları Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4: Farklı taşlar ile yapılan çalışmanın renk ölçüm sonuçları

	L	K/S	C^*	h°	a^*	b^*
Ham	24,78	12,47	11,3	269,16	-0,16	-11,3
Durulama	28,16	14,79	15,81	264,97	-1,37	-15,73
Enzim 30	31,84	11,88	16,18	262,68	-2,03	-15,87
Enzim 40	25,01	15,77	13,87	268,05	-0,47	-13,86
Polimer Taş ile Yıkama 30'	27,56	14,078	14,72	266,11	-0,99	-14,69
Polimer Taş ile Yıkama 40'	30,71	8,076	7,45	267,37	-0,35	-7,44
Pomza Taş ile Yıkama 30'	31,54	12,238	15,27	262,49	-1,99	-15,14
Pomza Taş ile Yıkama 40'	36,58	8,7	14,65	259,93	-2,56	-14,42

5.2.4.1 Renk Verimi Ölçümleri

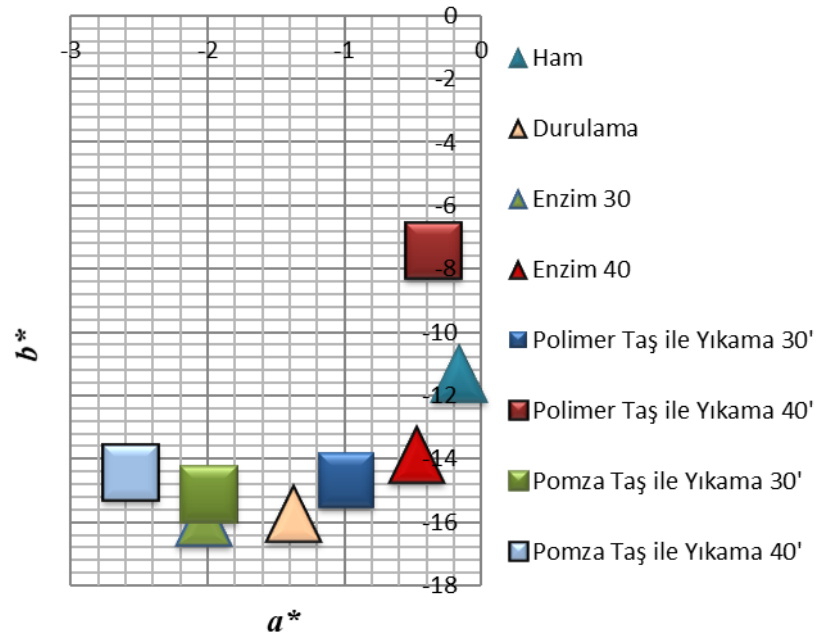
Renk verimlerine bakıldığında en yüksek verim 30 dakika enzim yapılan numunede görülmüştür. Yıkama süreleri arttıkça verim düşüş trendindedir. Ancak ham kumaş ve durulama yapılan numunelere bakıldığında daha düşük bir renk verimi ölçümü alınmıştır. Renk verimi ölçümler Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7: Farklı taşlar ile yapılan çalışmanın K/S grafiği

5.2.4.2 a * (kırmızı-yeşil eksen) -b * (sarı-mavi eksen) Değerleri

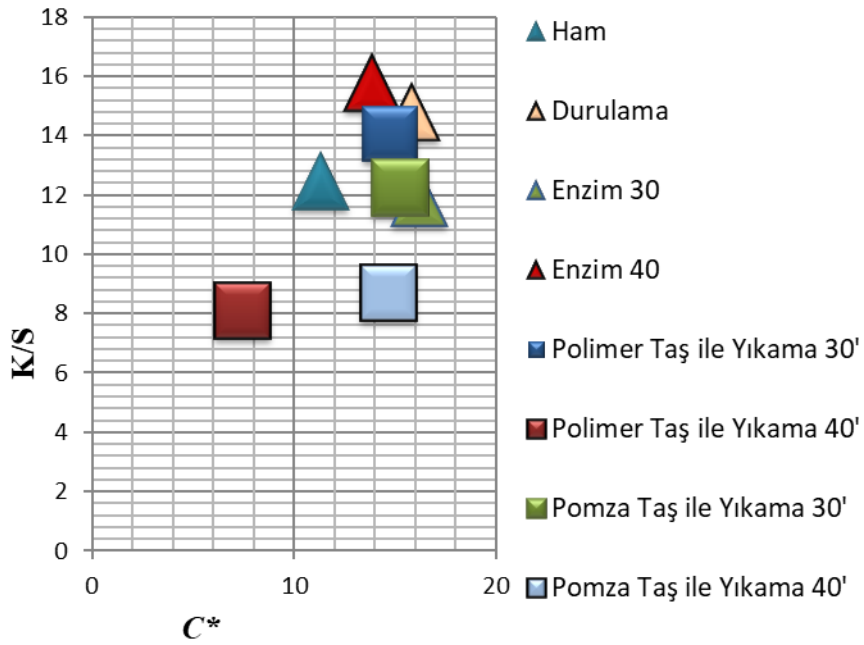
Numunelerin renkleri yıkama yapıldıkça b^* 'e kaymıştır. Yıkama süresi uzun olan numuneler ise a^* 'e yaklaşmıştır. Ölçüm sonuçları Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8: Farklı taşlarla yapılan çalışmanın a^* (kırmızı-yeşil eksen) - b^* (sarı-mavi eksen) değerleri

5.2.4.3 Kroma (Doygunluk)- Renk Verimi (K / S) Değerleri

Ham kumaşta doygunluk ve renk verimi en düşükken, 30 dakika boyunca enzim yıkama yapılmış numunenin hem renk verimi hem de doygunluğu yüksek ölçülmüştür. Pomza taşı kullanılmayan yıkamalarda doygunluk daha yüksekken, pomza taşı kullanılan yıkamalarda doygunluk düşmüştür. Ölçüm grafiği Şekil 5.9'da verilmiştir.

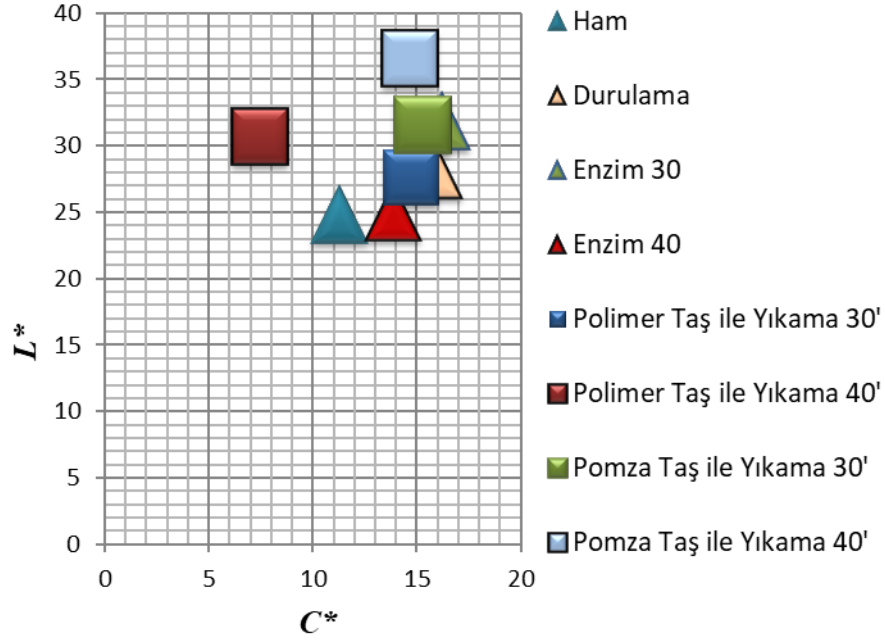


Şekil 5.9: Farklı taşlar ile yapılan çalışmanın kroma- renk verimi değerleri

5.2.4.4 Kroma (Doygunluk)- Açıklık /Koyuluk Değerleri

Numunelerin, ham numune dışında doygunluk değerleri genel olarak büyük farklılıklar göstermemiştir. Ancak yıkama süresi arttıkça açıklık değerlerinde artış görülmüştür.

Ölçüm sonuçları Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10: Farklı taşlarla yapılan yıkamanın kroma- açıklık koyuluk değerleri

5.3 Değerlendirme

Yıkama farklılıklarının kumaş kondisyonunu çok fazla etkilemediği görülmüştür. Denim kumaşlar yapısı gereği sağlam ve dayanıklı kumaşlar olduğu için polimer taşlar ile yapılan yıkamalarda kumaşlarda bozulma görülmemiştir.

Enzimler ile yapılan yıkamalar ile ve polimer taşlar ile yapılan yıkamalar arasında mukavemet açısından önemli farklar ölçülmemiştir. Genel olarak yapılan yıkamaların hiçbiri mukavemet açısından önemli ölçüde zarar görmezken, en çok mukavemet kaybı yaşanan kumaş ise pomza taşı ile 40 dakika olarak yapılan yıkamadır.

Denim kumaşlar indigo boya ile boyalı olduğundan her suya girdiğinde boyarmadde kaybetmektedir. Bu boyarmadde miktarı kimyasal ve mekanik etkilerle her yıkamada artmaktadır. Dolayısıyla pomza taşı ile yapılan yıkamada bu teori pratik ile doğrulanmıştır. Yıkamalara bakıldığında yıkama süresi arttıkça renklerin b bölgesine kaydığı görülmüştür.

6. SODYUM HİPOKLORİT İLE AĞARTMA İŞLEMLERİNE SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR ALTERNATİF OLARAK OZON AĞARTMA

6.1 Denim Ağartma

Denim kumaşlar genellikle indigo veya kükürt boyarmaddeleri ile boyanır. Her iki boyarmadde de aşındırılabilir ve kolay renk sökümü yapılabilir boyarmaddelerdir. Bu özellikler lifin cinsi, hammaddenin elde edilme şekli, boyama koşulları gibi birçok parametreye bağlı değişebilir. Kimi kumaşların üretim şartlarına göre daha kolay renk sökümü yapılırken kimilerinin renk sökümü çok daha kompleks olabilir.

6.1.1 Sodyum Hipoklorit

Denim yıkamada indigo boyalı ürünlerin renk açımında en sık kullanılan renk açıcıdır. Kuvvetli bir bazdır ve tuz olarak sınıflandırılır. pH değeri 13-13.5 civarındadır. Saklama koşullarına dikkat edilmezse çok kolay bozunur. Bozunma sonrası ortaya klor gazı ve su çıkar. Eğer bozunma kapalı bir kapta olduysa kap şişer ve iç dış basınç farkından kapak sıkışır. Yine iç dış basınç farkından patlama olma ihtimali de göz önünde bulundurulmalıdır. Bozunmaya uğramış sodyum hipoklorit suya dönüştüğü için ağartma özelliğini kaybeder. Kullanım alanı oldukça geniştir (Hamano 1997).

Çok iyi bir dezenfektan maddesidir. Yüksek konsantrasyonlarda kullanımında su ile yeterli seviyede arıtilamadığı için mutlaka nötürlenmelidir. İyi nötürlenmemiş kumaş üzerinde kalan sodyum hipoklorit kumaşı sarartır ve çürütür (Hamano 1997).

Sodyum hipoklorit sıvı çözelti halinde uygulandığı için renk açma işlemi sırasında efektlenme olmaz. Sodyum hipoklorit dipten uca ağartma yapar. Liflerin

içine kadar nüfuz ettiği için renk açımı kontrollü yapılmalıdır. Pamuk lifi bazlara karşı dirençli olduğu için sodyum hipoklorit ağartmasında hemen zarar görmez. Ancak uzun süreli uygulamalarda mukavemet kayıpları kaçınılmazdır. Sodyum hipoklorit indigo boyarmaddesiyle girdiği tepkime sonucu boyarmadde pigmentasyonunu kaybeder ve renk açılımı başlar. Zaman ve sıcaklığa bağlı olarak renk açılım oranı değişir (Nergis ve Oğulata 2017).

6.1.2 Ozon

Hammaddesi oksijen olan bir gazdır. Doğal olarak dünyada atmosfer tabakasında güneşten gelen ultraviyole ışınların oksijeni parçalaması ile ve yıldırım düşmesi sonucu yer yüzünde oksijenin parçalanması sonucu oluşur. Ayrıca oksijen tüpleri ile teknoloji sayesinde kolaylıkla üretilir (Avinc ve diğ. 2012).

Temelde 3 adet oksijen atomunun bir araya gelmesiyle oluşmuş kararsız yapıdaki bir gazdır. Kararsız yapıda olduğu için kolayca oksijene dönüşebilir. Ancak yüksek konsantrasyonlarda aşındırıcı etkisi sebebiyle insan sağlığına zararlı olabilir. Aşındırıcı etkisi ile birçok alanda dezenfektan olarak kullanılmaktadır (Avinc ve diğ. 2012).

Ozonun etkisini etkileyen en önemli faktör pH'dır. Asidik ortamda daha yavaş bazik ortamda daha hızlı etki gösterir. Ancak bu durum pH'ın hangi kimyasalla ayarlandığı ve hangi mamule hangi şartta uygulandığına göre değişkenlik gösterebilir. Ozon uygulamalarında sıcaklık ozonlama etkisini arttırmaktadır. Mekanik etkiler (karıştırma vs gibi) ozonlama etkisini arttırmaktadır (Eren ve diğ. 2014).

Denim yıkamada ozon gazı genellikle geri boyamayı temizlemek için düşük konsantrasyonlarda kısa süreli kullanılır. Ancak uzun süreli ve yüksek konsantrasyonlarla yapılan ozon-indigo tepkimelerinde indigo, indigo karmin'e parçalanır. İndigo karmin'in ozon ile girdiği tepkime sonucu ortaya isatin sülfonik asit çıkar (Öztürk ve diğ 2010).

İsatin sülfonik asit ozon tepkimesi sonrası sarı renk veren bir kimyasaldır. pH seviyesi 3-4 arasında değişir. İndigo boyalı kumaşların ozonlama sonrası sararması

ozonun indigoyu parçaladığını gösterir ve sararma seviyesine göre ağartmanın ne kadar olduğu tahmin edilebilir. Ancak işlem sonrası kumaş üzerinde kalan isatin sülfonik asit kumaştan olabildiğince çabuk uzaklaştırılmalıdır. Pamuk lifi asitlere karşı dayanıksız olduğu için düşük pH'larda mukavemet kaybına uğrar. Ozonlama sonrası kumaş ne kadar beklerse isatin sülfonik asit ile pamuk tepkimesi o kadar devam eder ve kumaşın yırtılma ihtimali o kadar artar. Aynı zamanda isatin sülfonik asit kumaş üzerine yerleşir ve sarı rengin giderilmesi iyice güçleşir (Öztürk ve diğ. 2010).

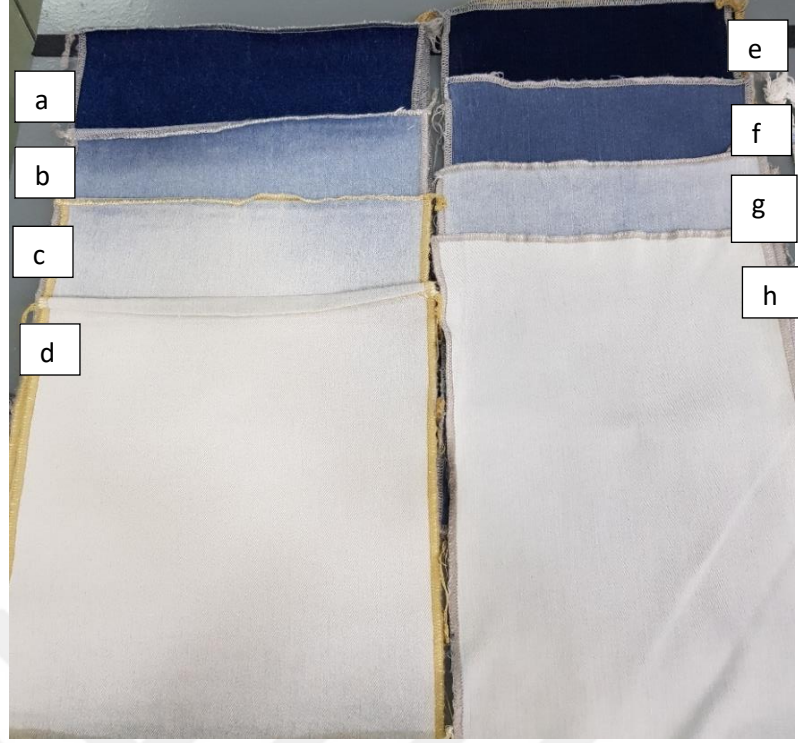
Uzun süreli ve yüksek konsantrasyonlardaki ozonlama sonrası kumaş sadece su ile bile temizlenebilir. Ancak yüzey aktif ve temizleme özelliği olan kimyasallar kumaşın içine işleyen parçalanmış indigoyu, isatini ve tepkime sonrası orataya çıkan yan ürünleri de uzaklaştıracağı için ozonlama sonrası temizlemeye daha uygundur (Öztürk ve diğ. 2010).

6.2 Sodyumhipoklorit Ağartmasına Alternatif Olarak Ozon Ağartma Üzerine Yapılan Çalışma

Bu çalışmada sodyum hipoklorit ağartmasına alternatif olarak ozon gazı kullanılmıştır. Numuneler kuru halde, nemli halde ve hidrojen peroksit ile muamele edildikten sonra farklı şartlarda ozon gazına maruz bırakılmıştır.

Kumaşlara ozon uygulamasından durulama yapılmış ve zemini etkilendirmek için kumaşlar polimer taş ile 30' yıkamaya tabi tutulmuştur.

Kuru olarak ozon gazına maruz bırakılan kumaşlar sırasıyla 10, 20 ve 30 dakika şeklinde muamele edilmiştir. Kurutma işlemi 80 santigrat derecede 40 dakika olarak yapılmıştır. Nemli olarak ozon gazına maruz bırakılan kumaşlar, işletme suyu ile 5 dakika durulandıktan sonra 690 rpm'de 4 dakika sıkıldıktan sonra hiç kurutulmadan sırasıyla 10, 20 ve 30 dakika ozon ile muamele edilmiştir.



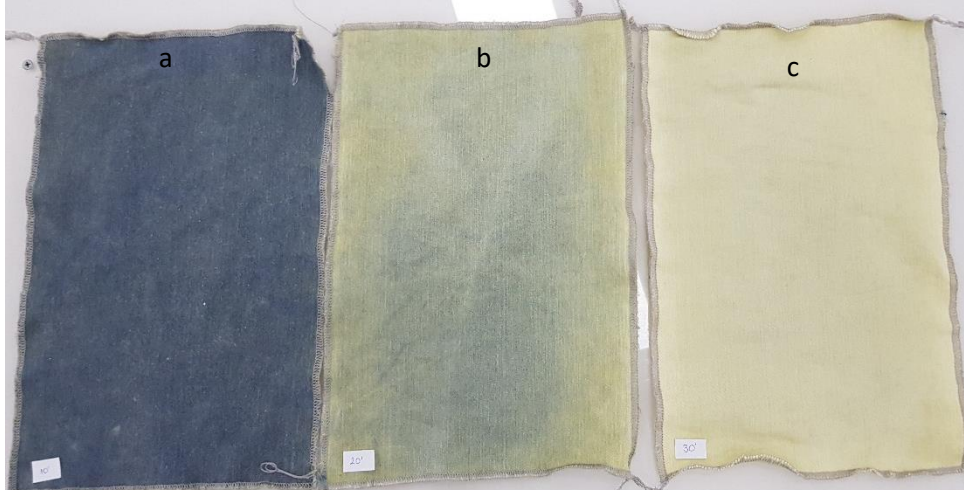
Şekil 6.1: Ozon Ağartma Yapılan Numunelerin Renk Değişimi **a:** %100 Pamuklu Kumaş- Polimer Taş ile Yıkanmış, **b:** %100 Pamuklu Kumaş – 10’ Nemli Ozon, **c:** %100 Pamuklu Kumaş – 20’ Nemli Ozon, **d:** %100 Pamuklu Kumaş – 30’ Nemli Ozon. **e:** %98 Pamuklu Kumaş- Polimer Taş ile Yıkanmış, **f:** %98 Pamuklu Kumaş – 10’ Nemli Ozon, **g:** %98 Pamuklu Kumaş – 20’ Nemli Ozon, **h:** %98 Pamuklu Kumaş – 30’ Nemli Ozon.

%100 Pamuk olan numunelerin nem oranı %71,13 olarak hesaplanmıştır. %98 Pamuk + %2 Likra olan numunelerin nem oranı %60,38 olarak hesaplanmıştır.

Hidrojen peroksitin ozonun etkisini artıracak olduğu düşünülmesi için kumaşlar nemli ve nemsiz olmak üzere iki şekilde ozonlanmıştır. Kumaşların ön yıkaması 5 ml/L hidrojen peroksit ile ve flotte oranı 1:40 olacak şekilde yapılmıştır. Hidrojen peroksit uygulandıktan sonra kumaşlar 80 santigrat derecede 40 dakika boyunca kurutulmuştur ve ardından ozonlanmıştır. Nemli olarak uygulama yapılacak olan hidrojen peroksitli kumaşlar 690 rpm’de 4 dakika sıkıldıktan sonra hiç kurutulmadan 10, 20 ve 30 dakika ozon ile muamele edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda ozonlama ile rengi ağartılmış numuneler Şekil 6.1’de gösterilmiştir.

Yapılan çalışmada yıkama öncesi numunelerin isatin sülfonik asit uzaklaştırılmadan önceki hali Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2: Nemli Olarak Ozonlama Yapılmış Numunelerin Yıkama Öncesi Görüntüleri. **(a):** 10' Nemli Ozonlama. **(b):** 20' Nemli Ozonlama. **(c):** 30' Nemli Ozonlama.

Bu kumaşların uygulama sonrası üzerindeki ozon gazını uzaklaştırmak için deterjan ile yıkama yapılmıştır. Yıkama sonunda 80 santigrat derecede 40 dakika boyunca kurutulmuştur.

6.3 Bulgular

Ozon ağartma yapılan numunelerin fiziki test sonuçları Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de verilmiştir. Yapılan testler %100 Pamuk olan numune için ve %98 Pamuk + %2 Likra olan numuneler için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Tablo 6.1: Ozon ağartma yapılan %100 pamuklu numunelerin test sonuçları

%100 Pamuk	<i>Mukavemet (N)</i>	<i>Uzama (%)</i>	<i>Sertlik (cN)</i>	<i>Kalınlık (mm)</i>	<i>Eğilme Dayanımı (cm)</i>
<i>Ham</i>	1760,00	25,40	3432	0,73	3,8 cm
<i>Polimer Taş Yıkama 30'</i>	1400,33	29,55	2926	0,80	2,5 cm
<i>10' Kuru Ozonlama</i>	1424,40	32,51	3655	0,81	2,6 cm
<i>20' Kuru Ozonlama</i>	1327,00	29,42	3820	0,81	2,3 cm
<i>30' Kuru Ozonlama</i>	1438,60	32,30	3010	0,81	2,1 cm
<i>10' Nemli Ozonlama</i>	1449,60	32,81	3302	0,80	3,3 cm
<i>20' Nemli Ozonlama</i>	1340,00	31,57	3840	0,80	2,3 cm
<i>30' Nemli Ozonlama</i>	1104,00	28,20	3245	0,80	3 cm
<i>10' H₂O₂ Kuru Ozonlama</i>	1370,50	30,86	3006	0,80	3,1 cm
<i>20' H₂O₂ Kuru Ozonlama</i>	1305,50	28,95	3026	0,80	3 cm
<i>30' H₂O₂ Kuru Ozonlama</i>	1360,50	30,79	3150	0,82	3,1 cm
<i>10' H₂O₂ Nemli Ozonlama</i>	1112,50	28,38	4174	0,78	2,1 cm
<i>20' H₂O₂ Nemli Ozonlama</i>	863,00	25,38	3641	0,78	2 cm
<i>30' H₂O₂ Nemli Ozonlama</i>	667,00	22,67	3340	0,79	3,2 cm

Tablo 6.2: Ozon ağartma yapılan %98 pamuk + %2 likra olan numunelerin test sonuçları

%98 Pamuk + %2 Likra	<i>Mukavemet (N)</i>	<i>Uzama (%)</i>	<i>Sertlik (cN)</i>	<i>Kalınlık (mm)</i>	<i>Eğilme Dayanımı (cm)</i>
<i>Ham</i>	2228	28,4	1248,00	0,54	3,8 cm
<i>Polimer Taş Yıkama 30'</i>	1966	27,58	1254,00	0,66	3,9 cm
<i>10' Kuru Ozonlama</i>	2065	28,08	1471,00	0,70	3,1 cm
<i>20' Kuru Ozonlama</i>	2119	27,53	1484,00	0,69	3,4 cm
<i>30' Kuru Ozonlama</i>	2222	27,92	1776,00	0,70	3,4 cm
<i>10' Nemli Ozonlama</i>	2155,5	28,71	1531,00	0,70	2,4 cm
<i>20' Nemli Ozonlama</i>	2080,5	28,195	1300,00	0,69	2,4 cm
<i>30' Nemli Ozonlama</i>	2075	28,695	1139,00	0,70	2,4 cm
<i>10' H₂O₂ Kuru Ozonlama</i>	2117,5	29,22	1342,00	0,68	3,3 cm
<i>20' H₂O₂ Kuru Ozonlama</i>	1956,6	27,1	1571,00	0,69	3,4 cm
<i>30' H₂O₂ Kuru Ozonlama</i>	1654	24,94	1620,00	0,64	3,6 cm
<i>10' H₂O₂ Nemli Ozonlama</i>	2103	28,41	1453,00	0,70	3,4 cm
<i>20' H₂O₂ Nemli Ozonlama</i>	1571,5	24,23	1224,00	0,69	3,3 cm
<i>30' H₂O₂ Nemli Ozonlama</i>	1141,5	20,465	983,00	0,68	3,8 Cm

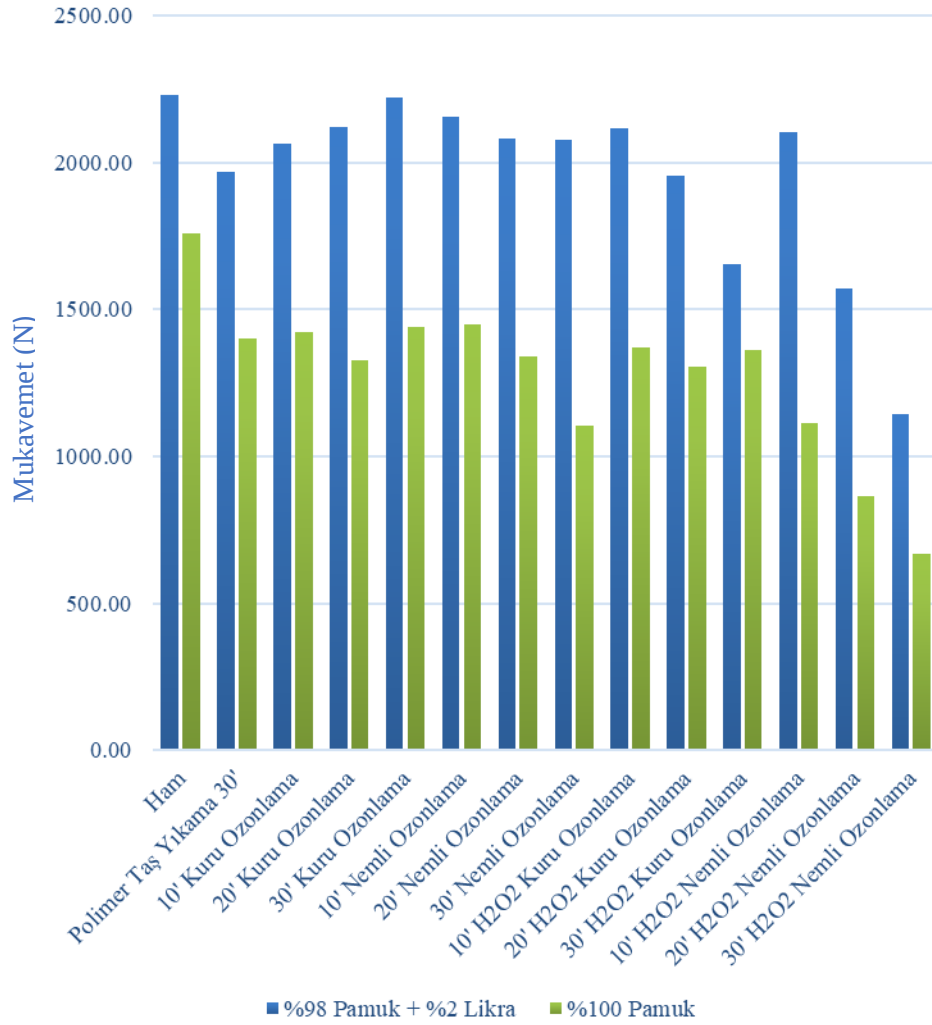
6.3.1 Kopma Mukavemeti ve Uzama Ölçümleri

Mukavemet ozon muamele süresi ile ters orantılı olarak düşmüştür. Yıkama süreleri arttıkça mukavemetin düştüğü söylenebilir. Kuru olarak ozonlama yapılan numuneler nemli olanlar ile kıyaslandığında çok daha mukavim kalırken nemli olarak ozonlamaya tabii tutulan numuneler mukavemetini önemli ölçüde yitirmiştir.

Mukavemet ölçümleri Şekil 6.3'te verilmiştir.

Mukavemet sonuçlarına bakıldığında, ozonlama süresinin nem oranı kadar önemli olmadığı görülmüştür. Nemli olarak yapılan ozonlamanın mukavemete etkisi oldukça önemli ölçüdedir.

Hidrojen Peroksit ile nemlendirilen numuneler de ise 10 ve 20 dakika olarak yapılan ozonlamada önemli fark oluşturmazken 30 dakika ozonlama yapılan numunede Hidrojen Peroksit ile nemlendirilen numunenin mukavemeti, işletme suyu ile nemlendirilen numuneye göre daha düşük ölçülmüştür.



Şekil 6.3: Ozon ağartma yapılan numunelerin mukavemet grafiği

6.3.2 Yıkama Haslığı Değerlendirmesi

Yıkama haslığı değerlerine bakıldığında genel olarak tüm sonuçlar kabul edilebilir aralıkta çıkmıştır.

Yıkama haslığı sonuçları Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3: Ozon ağartma yapılan numunelerin yıkama haslığı sonuçları

	100% PAMUK	98% PAMUK +%2 LİKRA
Ham	4/5	4/5
Polimer Taş Yıkama 30'	4/5	4/5
10' Kuru Ozonlama	4/5	4/5
20' Kuru Ozonlama	4/5	4/5
30' Kuru Ozonlama	4/5	4/5
10' Nemli Ozonlama	4/5	4/5
20' Nemli Ozonlama	5	5
30' Nemli Ozonlama	5	5
10' H ₂ O ₂ Kuru Ozonlama	4/5	4/5
20' H ₂ O ₂ Kuru Ozonlama	4/5	4/5
30' H ₂ O ₂ Kuru Ozonlama	4/5	4/5
10' H ₂ O ₂ Nemli Ozonlama	4/5	4/5
20' H ₂ O ₂ Nemli Ozonlama	5	5
30' H ₂ O ₂ Nemli Ozonlama	5	5

6.3.3 Sürtme Haslığı Ölçümleri

Sürtme haslıklarına bakıldığında genel olarak kuru sürtme haslıklarının kabul edilebilir aralıkta olduğu görülmüştür. Ancak denim kumaşlarda kullanılan indigo boyarmaddesi life çok iyi tutunamadığı için yaş kuru haslığı testlerinde kolayca liften ayrılıp kontrol kumaşını kirletmiştir. Ölçümler Tablo 6.4'te verilmiştir.

Tablo 6.4: Ozon ağartma yapılan numunelerin sürtme haslığı sonuçları

	Kuru Sürtme Haslığı		Yaş Sürtme Haslığı	
	100% Pamuk	98% Pamuk + 2% Likra	100% Pamuk	98% Pamuk + 2% Likra
Ham	4/5	4/5	3/4	3/4
Polimer Taş Yıkama 30'	4	4	4/5	3
10' Kuru Ozonlama	4	4	4/5	3/4
20' Kuru Ozonlama	4	4	3/4	3/4
30' Kuru Ozonlama	4	4	3/4	3/4
10' Nemli Ozonlama	5	5	5	4/5
20' Nemli Ozonlama	5	5	5	5
30' Nemli Ozonlama	5	5	5	5
10' H ₂ O ₂ Kuru Ozonlama	4/5	4/5	3	3/4
20' H ₂ O ₂ Kuru Ozonlama	4/5	4/5	4	3/4
30' H ₂ O ₂ Kuru Ozonlama	4/5	4/5	4	3/4
10' H ₂ O ₂ Nemli Ozonlama	5	5	5	5
20' H ₂ O ₂ Nemli Ozonlama	5	5	5	5
30' H ₂ O ₂ Nemli Ozonlama	5	5	5	5

6.3.4 Sertlik Ölçümleri

Sertlik ölçümlerine bakıldığında genel olarak %2 Likra bulunan numuneler daha yumuşak olarak gözlemlenmiştir. Yıkama süresi arttıkça kumaşın yumuşadığı söylenebilir.

6.3.5 Eğilme Dayanımı Ölçümleri

Eğilme dayanımı ölçümlerine bakıldığında numunelerin yıkama süreleri ve ozonlama süreleri arttıkça dökümlülüklerinin arttığı söylenebilir. Genel olarak %100 pamuk olan numunelerin daha az dökümlü olduğu gözlemlenmiştir.

6.3.6 Renk Ölçümleri

Denim kumaşların renk ölçümü renk ölçüm cihazı Datacolor Spectral Flash 600 ile yapılmıştır. Bu cihaz ölçümleri spektral yöntemle göre yapmaktadır. Numunelerin remisyon (%R) değerlerinin ölçümleri D65 standart gün ışığı altında ve 10° standart gözlem açısıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçümler yapılırken her bir numune 4 kat halinde ve 4'er tekrar olacak şekilde çözgü yoğun yüzü okutularak gerçekleştirilmiştir.

Ozon ağartma yapılan numunelerin renk ölçüm sonuçları Tablo 6.5 ve Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.5: %100 Pamuk olan numunenin renk ölçüm sonuçları

%100 Pamuk	K/S	L*	a*	b*	C*	h°
<i>Ham</i>	11.374	26.91	0.43	-10.74	10.75	272.3
<i>Polimer Taş Yıkama 30'</i>	21.456	24.16	0.09	-17.98	17.98	270.3
<i>10' Kuru Ozonlama</i>	14.842	28.62	-0.73	-18.35	18.36	267.7
<i>20' Kuru Ozonlama</i>	11.437	31.42	-0.99	-17.55	17.58	266.8
<i>30' Kuru Ozonlama</i>	14.522	29.15	-0.55	-19.05	19.05	268.3
<i>10' Nemli Ozonlama</i>	12.656	30.45	-0.62	-18.75	18.76	268.1
<i>20' Nemli Ozonlama</i>	13.008	30.33	-0.6	-19.08	19.09	268.2
<i>30' Nemli Ozonlama</i>	12.657	30.49	-0.69	-18.49	18.5	267.9
<i>10' H₂O₂ Kuru Ozonlama</i>	1.139	63.2	-3.22	-9.99	10.5	252.2
<i>20' H₂O₂ Kuru Ozonlama</i>	0.1332	82.97	-1.6	1.35	2.09	139.8
<i>30' H₂O₂ Kuru Ozonlama</i>	0.0592	87.29	-0.95	3.75	3.87	104.2
<i>10' H₂O₂ Nemli Ozonlama</i>	0.4441	74.2	-2.64	-6.96	7.44	249.2
<i>20' H₂O₂ Nemli Ozonlama</i>	0.0833	86.08	-1.37	1.28	1.88	137.1
<i>30' H₂O₂ Nemli Ozonlama</i>	0.0914	85.52	-1.44	1.21	1.88	139.8

Tablo 6.6: %98 Pamuk + %2 likra olan numunelerin renk ölçüm sonuçları

%98 Pamuk+ %2 Likra	K/S	L*	a*	b*	C*	h
<i>Ham</i>	16,77	20,48	1,5	-7,72	7,86	281,02
<i>Polimer Taş Yıkama 30'</i>	24,309	17,78	1,58	-12,03	12,14	277,48
<i>10' Kuru Ozonlama</i>	23,713	18,61	1,23	-13,3	13,35	275,31
<i>20' Kuru Ozonlama</i>	20,962	20,46	0,88	-14,54	14,57	273,45
<i>30' Kuru Ozonlama</i>	20,979	20,26	0,88	-13,97	13,99	273,59
<i>10' Nemli Ozonlama</i>	21,403	19,96	1,22	-14,33	14,38	274,88
<i>20' Nemli Ozonlama</i>	21,606	20,11	1,07	-14,82	14,86	274,14
<i>30' Nemli Ozonlama</i>	21,581	19,99	1,09	-14,36	14,41	274,32
<i>10' H₂O₂ Kuru Ozonlama</i>	4,3557	40,66	-1,1	-13,64	13,68	265,39
<i>20' H₂O₂ Kuru Ozonlama</i>	0,587	68,4	-2,32	-5,69	6,14	247,83
<i>30' H₂O₂ Kuru Ozonlama</i>	0,169	80,69	-1,95	0,05	1,95	178,62
<i>10' H₂O₂ Nemli Ozonlama</i>	5,1892	38,11	-0,9	-13,76	13,79	266,24
<i>20' H₂O₂ Nemli Ozonlama</i>	1,5544	55,83	-2,42	-10,48	10,76	256,99
<i>30' H₂O₂ Nemli Ozonlama</i>	0,3461	74,34	-2,56	-2,96	3,92	229,16

6.3.6.1 Renk Verimi Ölçümleri

Renk verimlerine bakıldığında nemli olarak ozonlamaya tabi tutulan numunelerin renk verimlerinde önemli düşüşler olduğu görülmüştür. Nemli yıkamalarda renk verimi oldukça azalmıştır. %2 Likra bulunan numunelerin renk verimliliği daha yüksek iken %100 pamuk olan numunelerde renk verimi genel olarak daha düşük ölçülmüştür.

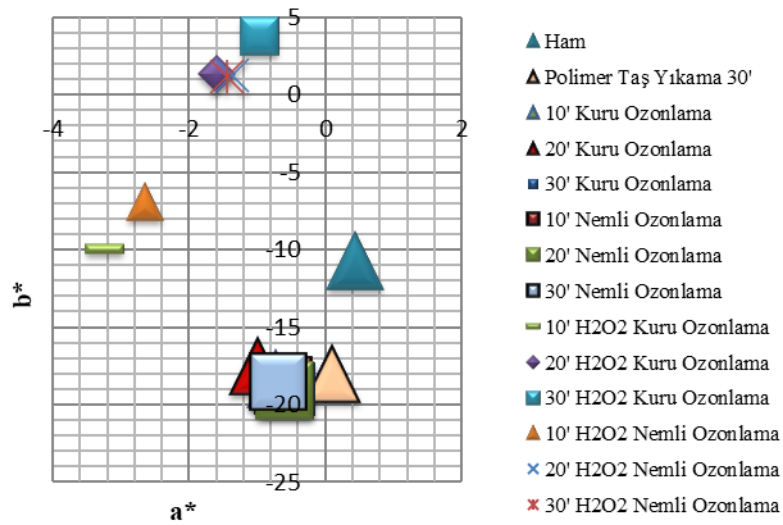
6.3.6.2 a* (kırmızı-yeşil eksen) -b* (sarı-mavi eksen) Değerleri

CIELab sistemine göre renk değerlerine bakıldığında 20 ve 30 dakika nemli olarak ozonlama yapılan numunelerin +b* alanında kümелendiği görülmüştür. Numunelerin uzun süreli nemli ozonlamalarında hidrojen peroksit kullanılmış veya

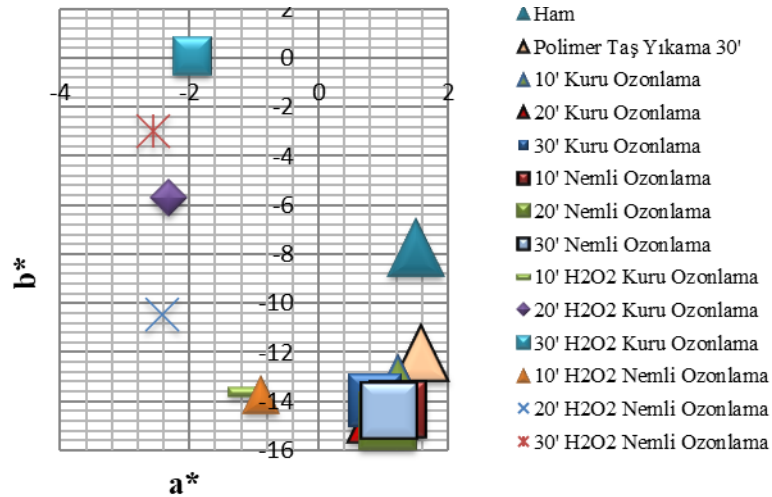
kullanılmamış numuneler fark etmeksizin önemli renk farklılıkları olduğu görülmüştür. 30 Dakika hidrojen peroksit kullanılmayan nemli olarak ozonlanan numune ise en yüksek $+b^*$ olarak ölçülmüştür.

10 Dakika boyunca nemli olarak ozonlanan numuneler $-a^*$ 'da ölçülürken, hidrojen peroksit kullanılmayan numune $-b^*$ 'de ölçülmüştür. Ham ve polimer taşlar ile yıkanan numuneler ise $+a^*$ 'de ölçülmüştür.

Ölçüm sonuçları Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.4: %100 Pamuk olan numunelerin a^* (kırmızı-yeşil eksen) $-b^*$ (sarı-mavi eksen) değerleri

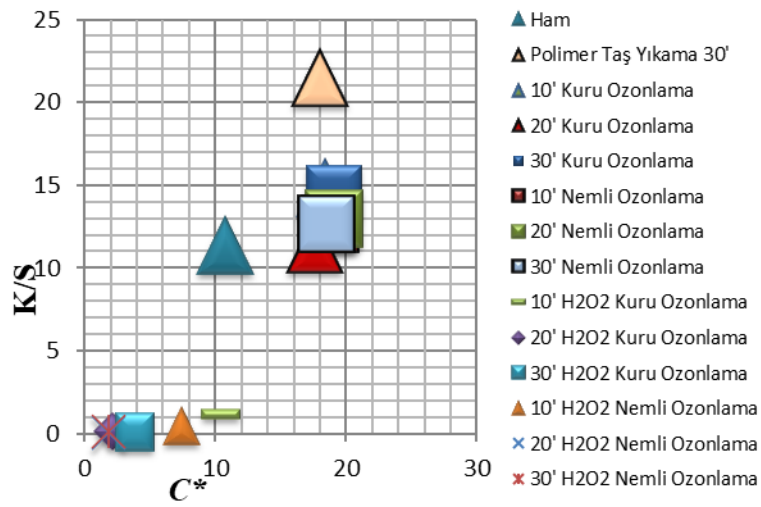


Şekil 6.5: %98 + %2 Likra pamuk olan numunelerin a^* (kırmızı-yeşil eksen) $-b^*$ (sarı-mavi eksen) değerleri

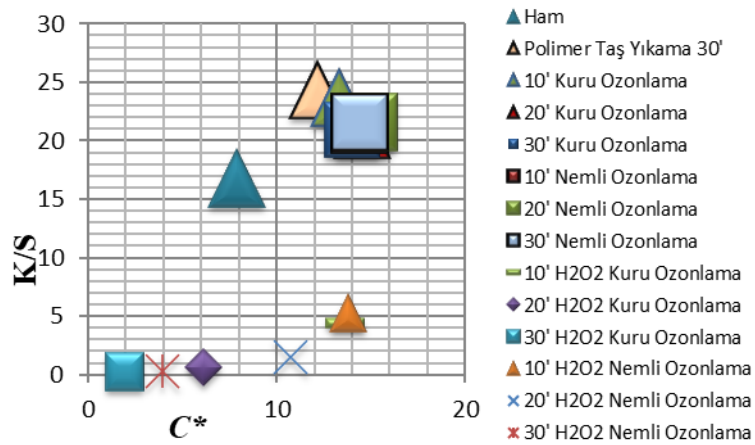
6.3.6.3 Kroma (Doygunluk)- Renk Verimi (K / S)

Renk verimi ve doygunluk kuru ozonlama yapılan ve polimer taş ile yapılan yıkamalarda daha yüksektir. Her iki tip kumaş örneğinde de sonuçlar birbirini takip eder niteliktedir. Nemli olarak ağartma yapılan numuneler renk olarak daha çok açıldığı için renk verimi düşük ölçülmüştür.

Ölçümler Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de gösterilmiştir.



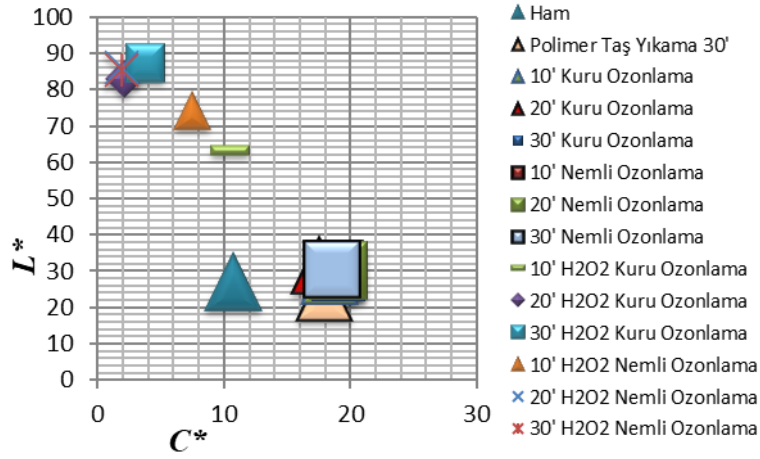
Şekil 6.6: %100 Pamuk olan numunelerin kroma-renk verimi değerleri



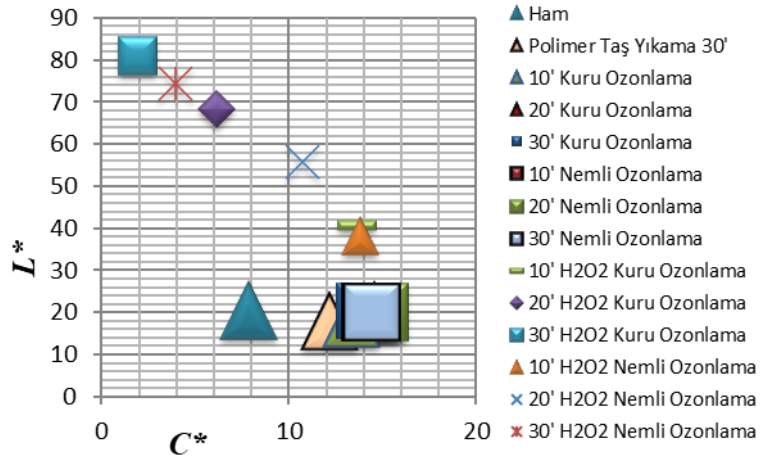
Şekil 6.7: %98 Pamuk + %2 likra olan numunelerin kroma-renk verimi değerleri

6.3.6.4 Kroma (Doygunluk)- Açıklık-koyuluk (L)

Ozon ağartma yapılan numunelerin yıkama süresi ve ozonlama süresi arttıkça renklerin açıldığı görülmüştür. Nem faktörü önemli ölçüde numunelerin renk açılımını arttırmıştır. Renk ölçümlerine bakıldığında L değeri en yüksek numuneler nemli olarak ozonlama yapılan numunelerdir. Ölçümler Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.8: %100 Pamuk olan numunelerin kroma-açıklık/koyuluk değerleri



Şekil 6.9: %98 Pamuk + %2 likra olan numunelerin kroma-açıklık/koyuluk değerleri

6.4 Değerlendirme

Genel olarak ozon ağartma sonuçlarına bakıldığında kalınlık ölçümlerinde önemli farklılıklar gözlemlenmemiştir. Ozon ağartma işlemlerinin kumaşın kalınlığına önemli ölçüde etki etmediği söylenebilir.

Sertlik ölçümlerine bakıldığında numunelerin yıkama süresi arttıkça numunenin sertlik değerlerinin azalma trendinde olduğu görülmüştür. %100 Pamuk olan numunenin genel olarak sertlik ölçümlerinin, %98 Pamuk + %2 Likra olan numuneye göre daha yüksek ölçüldüğü gözlemlenmiştir. Sertlik ölçümlerine eğilme dayanımı ile bakıldığında yine likralı numunelerin daha dökümlü olduğu ve sertlikle orantılı olarak değişim gösterdiği görülmüştür. %100 Pamuklu olan numunelerin ise aynı şekilde eğilme dayanımları daha yüksek ölçülmüştür.

Mukavemet sonuçlarına bakıldığında beklendiği gibi yıkama süresi az olan numuneler daha mukavim olarak ölçülmüştür. Likralı numunelerin uzama değerleri daha yüksek ölçülürken, mukavemetleri de %100 pamuk olan numunelere göre yer yer daha yüksek ölçülmüştür. Ozonlama sırasında doğal bir lif olarak pamuk lifinin zarar görmesi nedeniyle %100 pamuk olan numuneler de mukavemet kaybı daha yüksek olmuştur. Aynı şekilde %98 Pamuk + %2 Likra olan numunelerde sentetik bir lif olan likra ozondan daha az etkilenmiştir.

Renk ölçümlerine bakıldığında nemli olarak ozonlama yapılan numunelerde renk açılımının daha fazla olduğu ölçülmüştür. Ham ve polimer taşlarla yıkanan numuneler ve kuru ozonlama yapılan numunelerde renkler daha parlak ölçülürken nemli ozonlamaların L değerleri daha yüksek ölçülmüştür. Gözlemlenen sonuçlarla kolorimetrik ölçüm sonuçları bu anlamda örtüşmektedir. Numuneler nemli olarak ozonlandığında önemli ölçüde renk beyazlamıştır. Hidrojen peroksit ile nemlendirilen numunelerin ise -b* 'ye daha yakın olduğu ölçülmüştür.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında hedeflenen kazanım sürdürülebilir moda uygulamalarının mümkün olduğunu göstermek ve bunun işletmelerde uygulanabilirliğini göstermektir. Yapılan tez çalışmasında genel olarak çevreci olmayan denim yıkama prosesleri alternatif sürdürülebilir yöntemler ile kıyaslanmıştır.

İşçi emeği ile su zımparası kullanılarak yapılan bıyık ve rodeo efekti çevreye verdiği zarar dolayısıyla sürdürülebilir bir yöntem değildir. Hem işçinin soluduğu hem çevreye yayılan indigo parçacıkları sağlık açısından da tehlikeli kabul edilebilir. Bu nedenle lazer aşındırma yöntemi ile bıyık ve rodeo efektleri yapmak hem çevre hem insan sağlığı için daha sürdürülebilir bir yöntem olarak kabul edilebilir.

Lazer uygulamaları için mukavemet sonuçlarına bakıldığında, denim kumaşların oldukça sıkı ve sert bir yapısının olduğunu görebiliriz. Bu test sonuçlarına göre lazer proseslerinin denim kumaşların mukavemetini ciddi anlamda düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Düşük lazer derecelerinde mukavemetin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek derecelerde ise düşen mukavemetin sebebi selülozun moleküler üstü yapısının değişerek makro molekül zincirleri arasındaki bağların lazer gücü ile kopması sonucu ortaya çıktığı görülmüştür. Ağartma proseslerinde ise; ağartmanın lazer işleminden önce yapıldığı durumlarda kumaş numunesi testi yapılamayacak kadar hasar görmüştür. Hasar gören kumaşın herhangi bir güç uygulamasına karşı mukavim olmadığı görülmüştür.

Tüm bu mukavemet testlerinin sonucu olarak; Yıkama işleminin ardından lazer uygulaması yapılan kumaşların kopmaya daha dayanıksız olduğu ve esnekliğini kaybettiğini; Öncesinde lazer uygulaması yapıp ardından yıkama yapılan kumaşların daha dayanıklı ve esnekliğini diğerlerine göre daha çok koruduğunu ve bunun indigo boyar maddesinin kumaş yüzeyinde oluşturduğu tabakadan kaynaklı olarak gözlemlendiğini söyleyebiliriz. Tüm yapılan deney ve sonuçları göz önüne alındığında genel olarak indigo boyarmaddesinin denim kumalarda oluşturduğu

tabakanın yıkama yolu ile uzaklaştırıldıktan sonra lazer uygulamasına tabii tutulması; tuşe, dökümlülük, sertlik, eğilme dayanımı, hava geçirgenliği gibi konfor testlerinde olumlu yanıt verirken; mukavemet ve uzama (esneklik) gibi uzun ömürlülük ile ilgili testlerde de olumsuz yanıt verdiği tahmin edilmektedir. Aynı şekilde yaş işlem görmemiş mamul lazer uygulamaları aplike edildikten sonra yaş işleme tabii tutulduğunda daha mukavim olduğu ancak konfor testlerinde yeterince iyi olmadığı görülmüştür. Yine tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında yıkamaların selüloz enzimi ile yapıldığı ve ağartma işlemleri için sodyum hipoklorit kullanıldığı düşünülürse pamuk lifinin mukavemet kaybetmesi sebebiyle sonuçlar önce lazer sonra yıkama olarak işlem sırası tercih edildiğinde mukavemet açısından daha iyi sonuç verdiği düşünülmektedir.

Ancak önce yıkama sonra lazer işlem sırası tercih edildiğinde pamuk lifinin selüloz yapısının bozulmuş olması ve pamuk lifinin kendi doğal mukavemetini koruyamaması ve ardından lazer işlemlerine tabii tutulduğu durumlarda mukavemet açısından olumlu sonuçlar alınamamıştır.

Yaptığımız diğer bir çalışma olan pomza alternatifi olarak sentetik polimerlerin kullanılması çalışmasında ise pomza taşının çevreye verdiği zararın ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Pomza taşı artıklarının ciddi bir arıtma tesisi ihtiyacı olması ve çamur atığı oluşturması çevre için ciddi problemler oluşturmaktadır. Neatchimica firmasının ürettiği düzensiz şekilli sentetik polimerlerin ise çevreye karşı zararsız olduğu ileri sürülmüştür. Atık oluşturmaması bakımından pomza taşı için oldukça çevreci bir alternatif olduğu düşünülmektedir.

Yaptığımız test sonuçlarına bakıldığında genel olarak mukavemet testlerinde olumsuz sonuçlar alınmamıştır. Pomza taşı ve Eco Rock uygulamaları kıyaslandığında kumaşa önemli ölçüde tahribat yaratmamıştır.

Dökümlülük ve tuşe olarak kumaşlar incelendiğinde pomza taşı ile yapılan yıkamalarda kumaşın sertleştiği ve dökümlülüğünü kaybettiği gözlenmiştir. Bunun sebebi ise pomza taşının suda çözüldükten sonra kumaş yüzeyinden tamamen uzaklaştırılamamış olma ihtimali olabilir.

Ozon ağartma yapılan numuneleri genel olarak değerlendirecek olursak en önemli etkenin nemlendirme olduğunu söyleyebiliriz. Nem ile kumaştaki oksijen

miktarını arttırarak ozonun etkisini önemli ölçüde yükselttiğimizi söylemek mümkün. Yapılan çalışmalarda sertlik, eğilme dayanımı, kalınlık gibi ölçümlerde numunelerin önemli ölçüde değişim göstermediğini söylemek mümkündür. Ancak mukavemet ve renk ölçümlerine bakıldığında önemli farklılıklar gözlemlenmiştir.

Yapılan mukavemet testlerinde ozonlama süresi uzun olan nemli numuneler önemli ölçüde mukavemetini kaybetmiştir. Ancak bu kayıplardan sonra bile denim kumaş olan numunelerin gözlemlenen sonuçlara göre sağlamlığını koruduğu söylenebilir. Uzama değerlerine bakıldığında likra bulunan numuneler daha yüksek uzama değerine sahiptir. Ozonlama süresi uzadıkça numuneler esnekliğini kaybetmiştir. Bunun sebebi yıkama sırasında yaşanan lif kaybıdır.

Renk ölçümlerine bakıldığında nemli olarak ozonlanan numunelerin L değerleri oldukça yüksek ölçülmüştür. Neredeyse beyaz olan 30 dakika nemli olarak ozonlanan numunelerin ise hidrojen peroksit ile nemlendirilen numuneleri daha mavimsi ölçülürken, hidrojen peroksit kullanılmayanlar daha sarımsı ölçülmüştür. Hidrojen peroksitin sararmayı engellediği söylenebilir. Kesin sonuçlar için daha detaylı çalışmalar yapılmalıdır.

Genel olarak bakıldığında denim ürünlerin üretilmesinden yıkama aşamasına gelene kadar su ve enerji kaybının yüksek olmasının yanı sıra çevreci olmayan uygulamaların da çok oldukça fazla olması sürdürülebilir yaşam anlayışı ile örtüşmemektedir. Denim mamullerin piyasada geniş bir payı olması sebebiyle çevreye verdiği rahatsızlık da bu oranda büyüktür. Aynı zamanda geleneksel yöntemlere bağlı kalan denim yıkama yapan firmaların da 21. yüzyıl gerekliliklerine göre yeniden şekillenerek sürdürülebilir çözümlere odaklanması gerekmektedir. Böylece daha temiz bir gelecekte denim ürünler de yerini bulacaktır. Daha sürdürülebilir tekstil üretimine katkıda bulunulacaktır.

8.KAYNAKLAR

Amutha K., “Environmental Impacts Of Denim”, Woodhead Publishing, ISBN 9780081020432 (2017).

Annapoorani, S.G., “Introduction To Denim”, *Bharathiar University*, Coimbatore, India, ISBN 9780081020432, Doi: 10.1016/B978-0-08-102043-2.00001-0, (2017).

Avinc O., Eren H.E., Uysal P., and Wilding M., “The Effects Of Ozone Treatment On Soybean Fibers”, *Ozone: Science & Engineering*, 34 (3), 143-150, Doi:10.1080/01919512.2012.654762, (2012).

Bağıran, İ.C., “Denim Yıkamada Karşılaşılan Sorunlar ve Bunlara Yönelik Çözüm Önerileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim dalı*, İzmir, (2011).

Bairoch, A., "The Enzyme Database in 2000", *Nucleic Acids Research*, 28, 304-305, Doi:10.1093/Nar/28.1.304., PMID 10592255, (2000).

Dalbaşı, E., ve Kayseri, G., “Denim Kumaşlarda Farklı Yıkama İşlemlerinin Kumaşların Fiziksel Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(1), 199-208, (2018).

Daly, H. and J. Cobb, “For The Common Good: Redirecting The Economy Toward Community”, *The Environment and Sustainable Future*, Boston, Beacon Press, 0-8070-4703-1, (1989).

Dhakal, K.P.; and Oh, J.S., "Integrating Sustainability Into Highway Projects: Sustainability Indicators And Assessment Tool For Michigan Roads", *T&DI Congress American Society Of Civil Engineers*, 987-996, Doi:10.1061/41167(398)94, ISBN 9780784411674, (2011).

Eren, H.A., Avinc, O., and Erişmiş, B., “Ultrasound-Assisted Ozone Bleaching Of Cotton. Cellulose”, 21, 4643–4658, Doi:/10.1007/S10570-014-0420-2, (2014).

Gedikli, S., Aytar P., Çabuk, A., Ünal, A., ve Kolankaya, N., “Lakkaz Enzimi İle Kot Boyarmaddesinin Dekolorizasyonu”, *Anadolu University Journal of Science and Technology, Life Sciences and Biotechnology*, 1-1, 59-70, (2010).

Gould, R.G. "The LASER, Light Amplification By Stimulated Emission Of Radiation", *The Ann Arbor Conference On Optical Pumping*, OCLC 02460155, The University Of Michigan, (1959).

Gürcüm, B.H., ve Bulat, F., “Tekstil Tasarımında İnovatif Bir Yaratıcılık Aracı Olarak Lazer Kesim”, *İdil*, 6, 28, (2016).

Hamano, A., “The Formation And Decomposition Of Sodium Hypochlorite Anhydrous Salt and Its Pentahydrate”, *Kayaku Gakkaishi*, 58(4), 152-156, (1997).

Karaahmetoğlu A., “Moda ve Tekstil Sektörü Özelinde Marka Başvurusunda Mutlak Ret Nedenleri”, Doi: 10.33432/Ybuhukuk.806088, (2021).

Kates, R., Parris, T., Leiserowitz A., "What Is Sustainable Development? Goals, Indicators, Values, And Practice", *Environment*, Harvard, 47 (3). 8-21. 10, (2005).

Koçak K., “Selülaz Enzimi Üreten Suş İzolasyonu ve Enzim Aktivitesi Üzerine Ortam Koşullarının Etkisinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Biyomühendislik Anabilimdalı (2018).

Liam M., Andy S., Paul J., James A. T., Lin P., Sarah H., Hepu D. and Felicity C., "Reframing Social Sustainability Reporting, Towards An Engaged Approach". *Environment, Development and Sustainability*, 15 (1), 225-43, Doi:10.1007/S10668-012-9384-2, (2013).

Manning S., Boons F., Von Hagen O., and Reinecke J., "National Contexts Matter: The Co-Evolution Of Sustainability Standards in Global Value Chains", (2011)

Marsh, G.P., *Man and Nature*, Cambridge, Belknap Press Of Harvard University Press, (1864).

Milne, M. J., Kearins, K., and Walton, S., "Creating Adventures in Wonderland: The Journey Metaphor and Environmental Sustainability Organization", 13 (6), 801-839, Doi:10.1177/1350508406068506, (2006).

Muthu, S.S., “Sustainability in Denim”, ISBN 978-0-08-102043-2, Woodhead Publishing, (2017).

National Research Council, “Sustainability and The U.S. EPA”, Washington, DC, The National Academies Press, Doi: /10.17226/13152, (2011).

Nergis A., ve Oğulata, R.T., “Taş Yıkamanın Denim Kumaş Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24, 107, 160-171, (2017).

Nergis A., ve Oğulata, R.T., “Hipoklorit Ağartmanın Denim Kumaş Performans Özellikleri Üzerine Etkisi”, *Ulusal Çukurova Tekstil Kongresi*, Çukurova Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana, (2017).

Oğulata, R.T., ve Nergis A., “Farklı Yıkamaların Denim Kumaş Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 87-98, (2017).

Öztürk D., ve Eren H.A, “Tekstil Terbiyesinde Ozon Kullanımı” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 15, Sayı 2, (2010).

Url_1 “Türkant, B., Türkiye’nin Denim Kumaş ve Konfeksiyon Dış Ticareti ile Dünya Denim Pazarı için 2014 Tahminleri” [online] (18/5/2020)
www.itkib.org.tr

Url_2 “Denim Market” [online] (8/7/2021)
https://www.sebi.gov.in/sebi_data/attachdocs/1430568646805.pdf

Url_3 “Denim Market” [online] (8/7/2021)
https://www.business-standard.com/article/markets/excess-capacity-hits-denim-industry-114082100969_1.html

Url_4 “Sustainability” [online] (28/5/2021)
https://www.etymonline.com/search?q=sustain&ref=searchbar_searchhint

Url_5 “Sustainabilty” [online] (5/6/2021)
https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/american_english/sustain

Url_6 “Sustainabiliy Primer” [online] (12/3/2021)
https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-05/documents/sustainability_primer_v7.pdf

Url_7 “Birleşmiş Milletler Genel Kurulu (2005)” [online] (12/2/2021)
https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_60_1.pdf

Url_8 “Blue Jean History” [online] (20/08/2021)
<https://www.thoughtco.com/levi-strauss-1992452>

Url_9 “Denim Washing” [online] (28/3/2021)
<https://www.denimsandjeans.com/denim/manufacturing-process/denim-washing-basic-steps-and-guide/908>

Url_10 “Laser” [online] (5/5/2021)
<https://www.bbc.co.uk/programmes/articles/2grMKJ29Ghlw36WXCHGJvKk/7-words-you-probably-didnt-know-were-acronyms>

Url_11 “Laser” [online] (5/5/2021)
<https://www.merriam-webster.com/words-at-play/laser-acronym-light-amplification>

Url_12 “Laser” [online] (5/5/2021)
<https://en.wikipedia.org/wiki/Laser>

Url_13 “Aged Jeans” [online] (5/7/2021)
<https://long-john.nl/the-reason-why-nudie-jeans-started-their-brand/nudiejeans-nudie-longjohn-misterdenim-jeans-denim-rigid-unwashed-wornoutprojects-2/>

Rahman, O., Fung, B. C., Chen, Z., Chang, W.-L., and Gao, X., “A Study of Apparel Consumer Behaviour in China and Taiwan”, *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 13(3), 1-12, (2010).

Reinecke, J., Manning, S., and Von Hagen, O., "The Emergence Of A Standards Market: Multiplicity Of Sustainability Standards in The Global Coffee Industry", (2012).

Salazar, J.B., "Fashioning The Historical Body: The Political Economy Of Denim". *Social Semiotics*. 20 (3), 293–308. Doi:10.1080/10350331003722851, ISSN 1035-0330, S2CID 144304564, (2011).

Seyrek Kurban N., ve Babaarslan O., “Süper Streç Denim Kumaşların Özelliklerine Dair Literatür İncelemesi”, *Tekstil ve Mühendis*, 26: 113, 104-115, (2019).

Sougata B., Trisha B., “An Analytical Study On The Men’s Denim Wear Market in India – Identification Of The Key Factors Influencing The Consumer Buying Behavior in The Economy Segment”, *Amity Journal Of Marketing*, Admaa, 4 (1), (46-63), (2019).

St. Clair, K., *The Golden Thread: How Fabric Changed History*, John Murray Press, London, 177, ISBN 978-1-4736-5903-2, OCLC 1057250632, (2018).

Taylor, N., “Laser: The Inventor, The Nobel Laureate, And The Thirty-Year Patent War”, *Simon & Schuster*, ISBN 978-0684835150, (2000).

Upadhyay, D., and Ambavale, R., “A Research Study On Preference With Reference To Denim Jeans in Female Segment in Ahmedabad City”, *International Journal Of Management and Social Sciences*, 2(4), 153- 159, (2013).

Yeung, K.W., Li, Y., and Yao, L., *The China and Hong Kong Denim Industry*, 11, Elsevier, (2003).

William F., Martin H., Hannes K., Stefan A., and Anders V., “Flexible Strategies For Long-Term Sustainability Under Uncertainty”, *Building Research & Information*, 40:5, 545-557, Doi: 10.1080/09613218.2012.702565, (2012).

Worldwatch Institute, “State Of The World” 2013, Island Press, Washington, DC, 978-1-61091-458-1, (2013)



EKLER

EKLER

EK A1

Lazer ile soldurma yapılan numunelerin; Hava Geçirgenliği ($\ell/\text{m}^2/\text{s}$), Kalınlık (mm), Sertlik (cN), Gramaj (gr/m^2), Eğilme Dayanımı (cm), Kopma Mukavemeti (N) ve Uzama (%) test sonuçları.



Tablo A1: Lazer ile soldurma yapılan numunelerin; Hava Geçirgenliği ($\ell/m^2/s$), Kalınlık (mm), Sertlik (cN), Gramaj (gr/m²), Eğilme Dayanımı (cm), Kopma Mukavemeti (N) ve Uzama (%) test sonuçları.

Numune	Hava Geçirgenliği ($\ell/m^2/s$)	Kalınlık (mm)	Sertlik (cN)	Gramaj (gr/m ²)	Eğilme Dayanımı (cm)	Mukavemet (N)	Uzama (%)
Ham	83,27	0,68	2206,00	351,85	9,03	1449,08	27,82
Durulama	39,36	0,76	-	403,00	8,80	-	-
1 μ s Lazer Soldurma + Durulama	37,22	0,76	1682,00	381,83	8,13	1825,33	31,14
10 μ s Lazer Soldurma + Durulama	40,08	0,75	1613,00	383,60	7,78	1356,00	28,62
30 μ s Lazer Soldurma + Durulama	72,61	0,67	1436,00	335,10	7,25	995,42	24,21
50 μ s Lazer Soldurma + Durulama	103,81	0,63	1063,00	300,71	5,95	191,13	14,75
Pomza Yıkama	25,11	0,82	-	381,83	6,50	-	-
1 μ s Lazer Soldurma + Pomza Yıkama	21,93	0,81	2256,00	432,10	8,98	1791,00	31,65
10 μ s Lazer Soldurma + Pomza Yıkama	24,21	0,80	2002,00	431,22	8,16	1720,67	30,53
30 μ s Lazer Soldurma + Pomza Yıkama	64,83	0,71	1063,00	375,66	8,10	750,42	20,37
50 μ s Lazer Soldurma + Pomza Yıkama	131,20	0,67	1091,00	328,04	6,45	179,53	13,62
Pomza Yıkama + 1 μ s Lazer Soldurma	21,62	0,81	1694,00	425,93	6,88	1600,67	30,90
Pomza Yıkama + 10 μ s Lazer Soldurma	22,83	0,80	1969,00	424,16	5,91	1341,00	29,52
Pomza Yıkama + 30 μ s Lazer Soldurma	26,33	0,75	1956,00	398,59	6,35	548,25	21,91
Pomza Yıkama + 50 μ s Lazer Soldurma	31,12	0,69	950,00	356,26	4,18	8,15	1,94
Pomza Yıkama + Ağartma	34,18	0,78	-	395,06	7,15	-	-
1 μ s Lazer Soldurma + Pomza Yıkama + Ağartma	28,17	0,77	1306,00	405,64	6,80	1728,67	30,92
10 μ s Lazer Soldurma + Pomza Yıkama + Ağartma	30,74	0,77	1428,00	403,88	7,10	1638,00	30,93
30 μ s Lazer Soldurma + Pomza Yıkama + Ağartma	84,21	0,68	1170,00	324,52	5,68	797,47	22,57
50 μ s Lazer Soldurma + Pomza Yıkama + Ağartma	175,86	0,69	626,00	250,44	4,56	160,02	13,78
Pomza Yıkama + Ağartma + 1 μ s Lazer Soldurma	27,93	0,79	1442,00	395,06	6,85	1197,42	28,30
Pomza Yıkama + Ağartma + 10 μ s Lazer Soldurma	29,00	0,78	1589,00	389,77	7,58	788,25	25,85
Pomza Yıkama + Ağartma + 30 μ s Lazer Soldurma	34,04	0,74	1702,00	359,79	6,21	207,47	18,00
Pomza Yıkama + Ağartma + 50 μ s Lazer Soldurma	43,76	0,69	463,00	256,30	-	-	-