

## Atmosferik Basınç Hava Plazması ile Denim Ağartma İşlemi Yapılarak Silikozis Hastalığının Azaltılmasına Yönelik Alternatif Bir Çalışma

\*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 29.11.2023

Kabul/Accepted: 13.05.2024

Yayımlandı/Published: 27.06.2024

### An Alternative Study for Reducing Silicosis Disease by Denim Bleaching with Atmospheric Pressure Air Plasma

Ferhat BOZDUMAN\* 

Karabük Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı, Karabük, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

#### Öz

Günümüzde denim ağartma işlemlerinde kullanılan silika tekniği ile taşlama bu sektörde çalışan insanların hayatları üzerinde büyük tehlikeler oluşturmaktadır. Uzun çalışma yıllarında çalışanlar üzerinde kalıcı hasara sebep olan bu hastalık silikozis olarak tanımlanmaktadır. Bu sektörde çalışan insanlarda hastalığa yakalanma sayısı her geçen gün artmaktadır. Camın hammaddesi olan silisyum ile bu taşlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem esnasında yüzeye yüksek basınç altında sıkıştırılan kumlar gönderilerek yüzeyden boyanın sökülmesi sağlanmaktadır. Bu çalışmada atmosferik basınç plazma tekniği kullanılarak denim üzerinde kimyasal kullanmadan ve ortama kimyasal salınmadan ağartma işleminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Maddenin 4. hali olan plazma, hava kullanılarak oluşturulmuştur. Havanın iyonize edilerek plazmaya dönüştürülmesi için kapasitif elektrot dizaynı plazma kalemi kullanılmıştır. Plazmanın aşındırıcı ve sökücü etkisinden yararlanılarak denim yüzeyinde ağartma işlemi başarı ile gerçekleştirilmiştir. Geleneksel taşlama yöntemi ile kıyaslandığında plazma işleminin vücuda herhangi bir zararının olmadığı raporlanmıştır. Ağartma işleminin gerçekleştirildiğini ve denim yüzeyine herhangi bir zarar vermediğini belirtmek için elektron ve ışık mikroskobu kullanılarak detaylı yüzey morfolojisi analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına bakıldığında denim yüzeyinde plazmadan kaynaklı bir hasarın oluşmadığı tespit edilmiştir. Renkli kameralı ışık mikroskobu ile oluşan renk tonu farklılığından ağartma işleminin gerçekleştirildiği sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Silikozis; Denim; Ağartma; Atmosferik basınç plazma; Taşlama.

#### Abstract

Grinding with silica technique used in denim bleaching processes today poses great dangers to the lives of people working in this sector. This disease, which causes permanent damage to employees during long working years, is defined as silicosis. The number of people working in this sector is increasing day by day. This grinding process is carried out with silicon, which is the raw material of glass. During this process, sand compressed under high pressure is sent to the surface to remove the paint from the surface. In this study, it is aimed to perform bleaching process on denim without using chemicals and without releasing chemicals into the environment by using atmospheric pressure plasma technique. Plasma, the state of matter 4, was created using air. A plasma pen with capacitive electrode design was used to ionize the air and convert it into plasma. By utilizing the abrasive and removing effect of plasma, the bleaching process was successfully carried out on the denim surface. Compared to the traditional grinding method, the plasma process is reported to have no harm to the body. Detailed surface morphology analyses were performed using electron and light microscopy to confirm that the bleaching process was successful and did not cause any damage to the denim surface. When the analysis results were analyzed, it was determined that there was no damage caused by plasma on the denim surface. We concluded that the bleaching process took place from the color tone difference formed by the color camera light microscope.

**Keywords:** Silicosis; Denim; Bleaching; Atmospheric pressure plasma; Grinding.

#### 1. Giriş

Çağımızda yaygın olarak kullanılan kot pantolonlar birçok insan tarafından vazgeçilmez hale gelmiş bir tüketim ürünü olarak yerini almıştır. Bir denim giysinin tüm yaşam döngüsü boyunca çevreye etkisi oldukça önemlidir ve çevre dostu olabilmesi için bu etkinin önemli ölçüde azaltılması gerekir (Rıza vd. 2023). Kot pantolonlar da desen görünüşüne üretici firmalar önem vermektedir. Bu nedenle silika kumunu yüksek basınç altında kot pantolona püskürterek kumlama işlemi yapılmakta ve

uygulanan bölge ağartılmaktadır. Değişik hareketler sergilenerek farklı desenlerde kumlama yapılmaktadır. Bu işlemler denetimsiz ve kontrolsüz yapıldıkları zaman inorganik yapıda olan silika partiküllerinin inhalasyonu sonucu gelişme gösteren ve interstisyel bir akciğer hastalığı türü olarak adlandırılan silikozis meydana gelmektedir (Bakan 2011). Silikozis bir meslek hastalığı olarak geçmektedir (Akgün 2005). Denim ağartma işleminde, yıkama sırasında taşlamalı veya taşlamasız olarak sodyum hipoklorit veya potasyum permanganat gibi güçlü bir oksidatif ağartma maddesi eklenir. Üretilen

renk değişikliği genellikle ağartma sıvısı miktarının kuvvetine, sıcaklığa ve işlem süresine bağlı olarak daha belirginleşmektedir. Kısa işlem süresine sahip güçlü bir ağartıcının olması tercih edilir. Ağartılmış ürünlerde nötralizasyon işlemi yapılarak yeterli miktarda antiklemler yapılmalı veya daha sonra sararmayı en aza indirmek için peroksit ile yıkanmalıdır (Ivedi vd. 2021).

Bu mevcut uygulama sistemlerine alternatif olarak plazma teknolojisi farklı bir bakış açısı sunmaktadır. Plazma, toplu davranış sergileyen yüklü türlerden (iyonlar ve elektronlar) ve nötr parçacıklardan (atomlar, moleküller ve radikaller) oluşan, elektriksel olarak yarı nötr bir ortamdır (yaklaşık olarak aynı sayıda pozitif ve negatif parçacık) (Domonkos ve Ticha 2023). Plazma bazlı yüzey modifikasyonu, plazma-katı etkileşimlerine göre üç ana kategoriye ayrılabilir: plazma kaplama; aşındırma/temizleme dekontaminasyonu ve işlevselleştirme.

Plazma aşındırma (yani atomların/iyonların/moleküler parçaların soyutlanması), bir malzemenin belirli parçalarının çıkarılmasına yönelik bir işlemdir (Domonkos ve Kromka 2022). Plazma işlemi, son on yılda tanıtılan tekstil malzemesi modifikasyonu için yeni bir yöntemdir. Tekstil malzemeleri üzerindeki işlemin, hacimsel özellikleri etkilemeden malzeme performansını değiştirmede başarılı olduğu kanıtlanmıştır (Inbakumar 2010). Üstelik plazma işlemi, hiçbir kimyasala ihtiyaç duyulmayan, tamamen kuru, tek adımlı bir işlemdir. Ayrıca diğer ağartma işlemleri ile kıyaslandığında plazma işleminde uygun çalışma parametreleri sağlandığında denim yüzeyinde sararma meydana gelmemektedir. Bu nedenle plazma muamelesi, geleneksel ıslak muameleye potansiyel bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Bhat 2011, Cai ve Qiu 2006, Cai vd. 2003, Matthews vd. 2005, Peng vd. 2009, Vladimirtseva vd. 1995).

Çizelge 1, plazma işleminin geleneksel ıslak işleme göre avantajlarının bir karşılaştırmasını göstermektedir (Rauscher vd. 2010, Shishoo 2007). Geleneksel işlem görmüş ve plazma işlemine tabi tutulmuş pamuklu kumaşların verdiği sonuçlar, atık su ve ilgili kimyasalların atılmasından kaynaklanan sorunları en aza indirmek için karşılaştırılıp analiz edilmiştir. Ancak literatürde tekstil ağartma işlemleri ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu yüzden denim ağartma işlemlerinde atmosferik basınç plazma teknolojisinin kullanımı önemli bir yere sahiptir. Bu alanda çok az çalışma yapılmıştır. Ayrıca mevcut makalelerin çoğu, pamuklu kumaş üzerinde PVA'nın haşıl sökümü için plazma işleminin uygulanmasıyla ilgilidir (Cai vd. 2003, Peng vd. 2009, Matthews vd. 2005).

Ayrıca, gri pamuklu kumaşın işlenmesinde daha temiz bir seçenek olarak atmosferik basınçlı plazma işleminin

kullanıldığı çok az çalışma rapor edilmiştir (Wang vd. 2013). Bu zorlu ve tehlikeli tekniklerin yanında lazer teknolojisi de kullanılmaktadır. Fakat lazer tekniğininde zehirli duman ve maliyet gibi dezavantajları bulunmaktadır.

**Çizelge 1.** Plazma işleminin geleneksel ıslak kimyasal işlemeye göre sunduğu avantajların karşılaştırılması

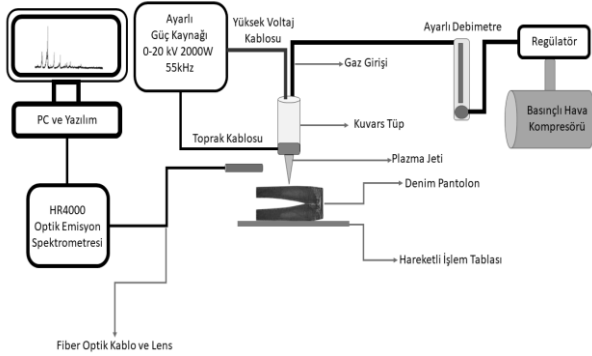
| Üretim Operasyonu                        | Geleneksel Islak İşlem                       | Plazma İşlemi                      |
|--|--|------------------------------------|
| Kimyasalların taşınması ve depolanması   | Evet   | Hayır                              |
| Kimyasalların ve banyoların hazırlanması | Evet   | Hayır                              |
| Su kullanımı                             | Çok  | Yok ya da çok az                   |
| Hammadde tüketimi                        | Yüksek                                       | Nispeten düşük                     |
| Kurutma ve kütleme işlemleri             | Evet   | Hayır                              |
| İşlem adımlarının sayısı                 | Çoklu  | Tek                                |
| Enerji tüketimi                          | Yüksek                                       | Çok düşük                          |
| Ardışık atık su arıtmaları               | Evet   | Hayır                              |
| Çevreye zarar verme                      | Evet   | Hayır                              |
| Ekipmanların kapladığı alan              | Geniş  | Küçük                              |
| Tek kisten çok yönlü üretim              | Tek veya birkaç işlem seçeneğiyle sınırlıdır | Kite bağlı olarak, yüksek olabilir |
| İnovasyon potansiyeli                    | Olumlu                                       | Çok yüksek                         |

Diğer bir çalışmada Illy vd. (2020) atmosferik basınç plazmasını kullanarak denimde farklı tonlarda soldurma işlemleri yapmışlardır. Plazma sisteminin en önemli avantajı tehlikesiz olması ve maliyet açısından kurululumunun kolay olmasıdır. Plazma teknoloji özellikle sabit bir noktanın dışında CNC sistemlerine entegre edilerek farklı desenlerde ağartma işlemlerini mümkün kılmaktadır. Çalışmamız bu konu üzerine yoğunlaşmaktadır. Nemsiz kompresör havasını kullanarak atmosferik basınç plazması elde edilmiştir. Daha sonra bu plazma CNC sistemine entegre edilerek farklı desenlerin elde edilmesi sağlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmanın öncesi olarak kapasitif elektrot düzenekli bir plazma kalemi tasarlandı. Deşarj gazı olarak maliyet ve tehlikesizlik açısından nemi alınmış basınçlı hava kullanıldı. Basınçlı hava bir kompresör yardımı ile sağlandı. Deşarj gazı olarak hava kullanacağımız için plazmanın oluşturulmasını kolaylaştırmak amacıyla plazma kalemi içerisindeki yüksek voltaj elektrotunun gazı direkt olarak görmesi sağlandı. Yüksek voltaj elektrotu olarak 1mm çapında tungsten çubuk kullanıldı. Bu elektrot kalemin

merkezinde kalacak şekilde sabitlendi. Plazma kaleminin gövdesinde 10mm dış çapında, 8 mm iç çapında kuvars cam tüp kullanıldı. Toprak elektrotu ise plazma kaleminin nozul kısmına çıkış gazını görecektir şekilde yerleştirildi. Böylece akış halindeki gaz içerisinde deşarjın kolay bir şekilde oluşması mümkün oldu. Gaz akışının ölçülüp kontrol edilebilmesi için analog kontrollü debimetre kullanıldı. Yapılan çalışmanın deney şeması Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekil 2'de plazmanın oluşturulması için kullanılan plazma kaleminin detaylı şeması verilmiştir. Plazma kalemi kapasitif elektrot yapısıyla tasarlanmıştır. Aynı zamanda elektrotların ve gazın birbirlerini direkt olarak görmesi sağlanmıştır. Çünkü deşarj gazı olarak hava kullandığımız için iyonlaşma enerjisinden dolayı elektrotlar arasında dielektrik malzeme kullanmamamız gerekiyor. Deşarjın hava ortamında başlaması için elektrotlar arasında ark oluşması gerekmektedir. Kırılma voltajı dediğimiz bu olay plazmanın başlatılabilmesi için önemli bir koşuldur.



Şekil 1. Deney düzeneğinin bileşenleri

Gaz elektrotları direkt olarak görmelidir. Güç kaynağı olarak frekansı ve gücü kontrol edilebilen bir ünite kullanıldı. İşlem yapılacak malzeme olarak denim pantolon tercih edildi. Denim pantolon üzerine yapılması planlanan ağartma deseni bilgisayar ortamında çizilerek CNC cihazına aktarıldı. Bunun öncesinde plazma kalemi CNC cihazının Z eksine sabitlendi. İşlem sırasında dijital osiloskop, yüksek voltaj ve akım probu kullanılarak güç kaynağının çıkış parametreleri 12 kV, 55 kHz ve 10 mA olarak ölçüldü. Plazma jetinin sıcaklığını ölçmek için K tipi termokupl kullanıldı. Nozuldan çıkan plazma jetinin sıcaklığı 80 °C olarak ölçüldü. Plazma kaleminin sabit bir noktada durması yerine hareketli olması avantaj sağlamaktadır. Çünkü termal etkiden dolayı yüzey deforme olabilmektedir.

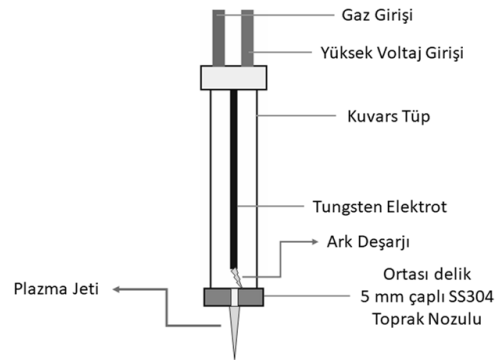
Bu çalışmada hava akış miktarı 50 lt/dk olarak ayarlandı. Plazma jet nozul uç çapı 5 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Plazma jet ile denim arasındaki mesafe 15 mm olarak optimize edildi. Böylece ideal sonuçlar için bu

parametreler sabitlendi. Çünkü akış miktarının ve güç parametrelerinin doğru ayarlanmaması sonucunda işlem yaparken denim yüzeyinin zarar gördüğünü gözlemledik. Uygulama sırasında oluşan plazmanın optik emisyon spektrometresi kullanılarak analizi yapıldı. Bu analizin sonucunda işlem sırasında ortamda oluşan serbest radikaller tespit edildi. Çizelge 2'de deney düzeneğinin çalışma parametrelere ve birimleri gösterilmiştir.

Şekil 3'de CNC tablasına bağlı olan atmosferik basınç plazma kaleminin denim üzerinde ağartma işlemi gösterilmektedir. CNC makinasındaki kodlar kontrol edilerek farklı desenlerde ağartma işlemi yapılması mümkün olmaktadır.

Çizelge 2. Plazma ünitesinin çalışma parametreleri

| Parametre                                  | Değer        |
|--|--------------|
| Güç ve Voltaj                              | 120W ve 12kV |
| Frekans                                    | 55 kHz       |
| Çalışma Mesafesi                           | 15 mm        |
| Gaz Akışı                                  | 50 lt/dk     |
| CNC XY Ekseni Hareket Hızı Z Ekseni: Sabit | 5 m/dk       |



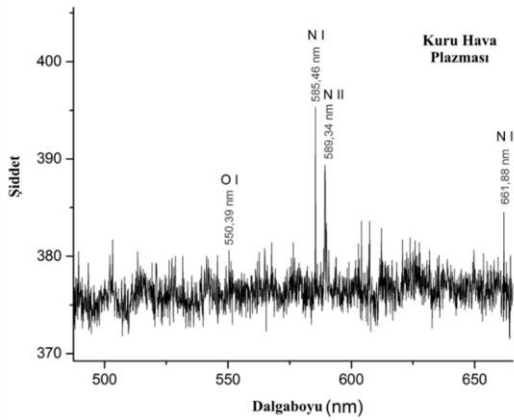
Şekil 2. Plazma kaleminin bileşenleri



Şekil 3. Plazma kaleminin denim üzerinde işlem yapması

### 3. Bulgular

Şekil 4'te Ocean Optics marka HR4000 model ve 200-1100 nm ölçüm aralıklı optik emisyon spektrometresi kullanılarak hava plazmasının spektrum değerleri elde edilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi havanın deşarjına bağlı olarak azot ve oksijen piklerinin oluştuğunu görülmektedir. 550 nm'de uyarılan oksijen O I çizgisi, 585 nm'de uyarılan azot N I çizgisi, 589,34 nm ve 661 nm'de 1. iyonlaşma düzeyinde olan azot N II çizgileri ortaya çıkmıştır. Çünkü kuru havanın bileşenleri %78 Azot ve %21 Oksijen 'den oluşmaktadır. Oluşturulan plazmaya yanıt veren ölçüm aralığı 450-700 nm'dir. Spektrum çizgileri NIST (Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü) web sayfasından referans olarak alınmıştır (NIST, 2023).

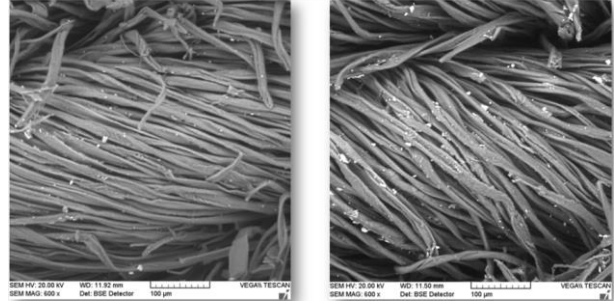


Şekil 4. Kuru hava plazmasının spektrum çizgileri

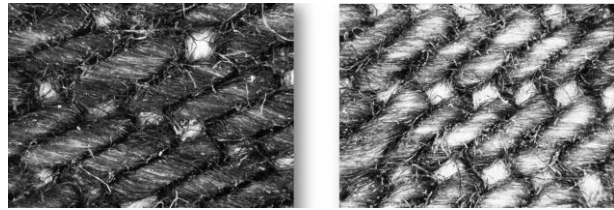
Uygulama sonrasında denim yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve ışık mikroskobu kullanılarak işlem öncesine ve işlem sonrasına ait görüntüleri alındı. Şekil 5'te TESCAN VEGA II LSU model taramalı elektron mikroskobu kullanılarak denim yüzeylerinden elde edilen görüntüler verilmiştir. Görüntüleri incelediğimizde denim yüzeyine herhangi bir zararın verilmediği anlaşılmaktadır. Ölçümler büyütme olarak 600X seviyesinde olup analizlerin gerçekleştirilebilmesi için yeterli seviyede olduğuna karar verilmiştir. TEM görüntülerinde görülen beyaz partiküller plazma oluşumu sırasında yüksek debili akan havanın tozları dağıtmasından dolayı oluşmuştur.

SEM görüntüleri detaylı olarak incelendiğinde denim yapı bütünlüğünde herhangi bir parçalanmanın, hasarın ve delinmenin oluşmadığı açıkça görülmektedir. Optik mikroskoba kıyasla elektron mikroskobu yüzey morfolojisi anlamında daha detaylı sonuçlar vermektedir. Bu nedenle yüzeyde hasarı tespit etmek için elektron mikroskobu kullandık. Şekil 6'te Nikon ShuttlePix P-400R model renkli dijital ışık mikroskobu kullanılarak denim yüzeyinin işlem öncesi ve işlem sonrası renkli görüntüleri alınmıştır.

Görüntülerde plazma tarafından ağartma işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği görülmektedir. Işık mikroskobunun renkli görüntü alabilme kabiliyetini kullanarak ağartma işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini kanıtladık. Görüntülere bakıldığında da yüzeyde ciddi bir hasarın oluşmadığını söyleyebiliriz. Yapılan görüntü analizleri hasar tespiti ve ağartma işleminin kanıtlanması açısından yeterlidir.



Şekil 5. Taramalı elektron mikroskobu kullanılarak denim yüzeyinin işlem öncesi ve işlem sonrası görüntüleri a) İşlem Öncesi, b) İşlem Sonrası



Şekil 6. Optik mikroskop kullanılarak denim yüzeyinin işlem öncesi ve işlem sonrası görüntüleri a) İşlem Öncesi, b) İşlem Sonrası

Şekil 7'de çalışmada kullanılan denim pantolonun üzerinde CNC destekli plazma kalemi ile oluşturulan ağartma deseni görülmektedir. CNC yardımı ile plazma tabanlı ağartma işlemi daha fazla esneklik kazanmaktadır. Oluşturulan plazmanın yüzeye temas etmeden ağartma işlemi yapması düzgün olmayan yüzeyler için büyük bir avantajdır.

### 4. Tartışma ve Sonuç

Elde edilen optimizasyon ayarlamaları ile beyazlatmanın diğer yöntemlere göre insan sağlığı açısından tehlikesiz bir şekilde elde edildiği gözlemlendi. Çünkü ortama zararlı herhangi bir gazın emisyonu bulunmamaktadır. Plazma oluşturmak için düşük frekanslı sinyal kullanılmıştır. Bu yönüyle vücudumuz için tehlike teşkil etmemektedir. Ayrıca literatürde daha önce CNC-plazma kombinasyonu kullanılarak yapılan bir denim ağartma işlemi mevcut değildir. Tekstil alanında literatürde bulunan plazma ile ilgili çalışmalar genellikle boyama için ön işlem, hidrofilik ve hidrofobik özellikler için yapılmıştır. Denimin ağartılma ihtiyacı günümüzdeki giysilerin tüketilme miktarı ile

orantılı olarak artmaktadır. Bu yönüyle çalışma bir ilk olmaktadır. Plazma işleminden sonra denim yüzeyinde önemli bir hasar oluşmadı. Sistem maliyet ve iş gücü açısından geleneksel sisteme kıyasla daha verimli olarak hedef sorunu çözmek için yeni yollar açtı.



**Şekil 7.** CNC sistemi ile oluşturulan plazma ağartma deseni

Çünkü çalışmada kullanılan gaz havadan kompresör yardımı ile sağlanmaktadır. Çünkü plazma sistemlerinde özel gazların (helyum, argon gibi) kullanılması önemli bir maliyet ölçüsüdür. Gaz olarak yüksek basınçlı kuru hava kullanılarak çevreye herhangi bir kimyasal madde bırakmadan işlem gerçekleştirildi. Aynı zamanda bu sistemin kurulumunun maliyet anlamında ekonomik olduğunu söyleyebiliriz. Çünkü sistemde herhangi bir sarf malzeme kullanılmamaktadır. Bunun yanında CNC sisteminin kombinasyonu ile iş gücü önemli ölçüde azalmaktadır. Çünkü CNC makinesine gönderilen kodlar ile farklı ağartma desenlerinin elde edilmesi mümkün olmakta ve plazma kodlara bağlı olarak açılıp kapanabilmektedir. Kısaca bu işlemin yapılabilmesi için bir operatör yeterli olmaktadır. Plazma ile beyazlatma işleminin kalıcılığı klasik taşlama yöntemindeki kalıcılık ile aynı değerde bulunmaktadır. Buradaki temel faktör yıkanma sonrasında denimde kullanılan boya maddesinin yüzeye tutunma değerinin zayıf olması nedeniyle boyanmanın oluşabilmesidir. Özellikle yüksek yıkanma sıcaklıklarında (90°C gibi) bu durum ortaya çıkmaktadır. Denim malzemeli giysiler genellikle 30°C sıcaklığında yıkandığı için beyazlatmanın kalıcılığı hakkında herhangi bir sorun oluşmamaktadır. Beyazlatmanın kalıcılığı denimin ömrü boyunca devam etmektedir. Sonuç olarak elde edilen yöntem sayesinde klasik kuşlama

yönteminden kaynaklı ortaya çıkan silikoz hastalığının önüne geçilmiş olacaktır. Plazma kavramının gün geçtikçe multidisipliner alanlara yayılmasıyla kolaylıkların yolu açılmış olacaktır. Özellikle atmosferik basınç plazmalarının ekonomik kurulum maliyeti ve geniş uygulama alanları açısından önemi artacaktır.

#### **Etik Standartlar Bildirgesi**

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

#### **Yazarlık Katkı Beyanı**

Ferhat Bozduman: Kaynakların hazırlanması, deneylerin yapılması, sonuçların yorumlanması ve makalenin yazılması.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### **Verilerin Kullanılabilirliği**

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

#### **Teşekkür**

Bu çalışma Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi teknokentinde bulunan PlazmaTek şirketinin plazma fiziği laboratuvarı altyapısının desteği ve imkanları ile gerçekleştirilmiştir.

#### **5. Kaynaklar**

- Akgun, M., Gorguner, M., Meral, M. et al. 2005. Silicosis caused by sandblasting of jeans in Turkey: a report of two concomitant cases. *Journal of Occupational Health*, **47**, 346–349. <https://doi.org/10.1539/joh.47.346>
- Atav, R., Gunduz, O., Yaz, S., Cakan, G. and Sevgili, B., 2023. Laser-Activated Organic Bleaching Process as an Environmentally Friendly Clean Alternative to Permanganate Bleaching in Denim Washing. *Fibers and Polymers*, **24**, 2725–2730. <https://doi.org/10.1007/s12221-023-00251-3>
- Bakan, N.D., Özkan, G., Camsarı, G., Gür, A., Bayram, M., Acıkmese, B. and Cetinkaya, E., 2011. Silicosis in denim sandblasters. *Chest*, **140**(5), 1300–1304. <https://doi.org/10.1378/chest.10-1856>
- Bhat, N.V., Netravali, A.N., Gore, A.V., Sathianarayanan, M.P., Arolkar, G.A. and Deshmukh, R.R., 2011. Surface modification of cotton fabrics using plasma technology. *Textile Research Journal*, **81**, 1014–1026. <https://doi.org/10.1177/0040517510397574>
- Cai, Z.S. and Qiu, Y.P., 2006. The mechanism of air/oxygen/helium atmospheric plasma action on PVA. *Journal of Applied Polymer Science*, **99**, 2233–2237. <http://dx.doi.org/10.1002/app.22307>

- Cai, Z.S., Zhang, C.Y., Qiu, Y.P., Hwang, Y.J. and McCord, M., 2003. Effect of atmospheric plasma treatment on desizing of PVA on cotton. *Textile Research Journal*, **73**,670–674.  
<http://dx.doi.org/10.1177/004051750307300803>
- Domonkos, M. and Kromka, A., 2022. Nanosphere lithography-based fabrication of spherical nanostructures and verification of their hexagonal symmetries by image analysis. *Symmetry*, **14**, 2-16.  
<https://doi.org/10.3390/sym14122642>
- Domonkos, M. and Ticha, P., 2023. Low-Temperature Atmospheric Pressure Plasma Treatment in the Polymer and Textile Industry. *IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE*, **51**, 1671-1681.  
<http://dx.doi.org/10.1109/TPS.2023.3235266>
- Ilya, K., Christian, D.P. and Fabrizio, D., 2020. Colour fading of denim with atmospheric pressure plasma jet using air. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, **63**, 79-84.  
<http://dx.doi.org/10.3233/JAE-209110>
- Inbakumar, S., Morent, R., De Geyter, N., Desmet, T., Anukaliani, A., Dubruel, P., et al., 2010. Chemical and physical analysis of cotton fabrics plasma-treated with a low-pressure DC glow discharge. *Cellulose*, **17**, 417–426.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10570-009-9369-y>
- Ivedi, I., Yagci, K., Tagaç, E., 2021. Development Of Ecological Denim Bleaching Methods. *International Conference on Textile and Connected R&D Domains (TEXTEHX)*,81-87.  
<http://dx.doi.org/10.35530/TT.202.07>
- Matthews, S.R., McCord, M.G. and Bourham, M.A., 2005. Poly (vinyl alcohol) desizing mechanism via atmospheric pressure plasma exposure. *Plasma Processes and Polymers*, **2**, 702–708.  
<https://doi.org/10.1002/ppap.200500056>
- Peng, S.J., Gao, Z.Q., Sun, J., Yao, L. and Qiu, Y.P., 2009. Influence of argon/oxygen atmospheric dielectric barrier discharge treatment on desizing and scouring of poly (vinyl alcohol) on cotton fabrics. *Applied Surface Science*, **255**, 9458–9462.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2009.07.058>
- Rauscher, H., Perucca, M., and Buyle, G., 2010. Plasma technology for hyperfunctional surfaces – Food, biomedical, and textile applications. Wiley-VCH, 137.
- Vladimirtseva, E.L., Sharnina, L.V. and Blinicheva, I.B., 1995. Application of the low-temperature plasma in preparation processes of linens. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, **2**, 30–31.
- Wang, C.X. and Qiu, Y.P., 2007. Two-sided modification of wool fabrics by atmospheric pressure plasma jet: Influence of processing parameters on plasma penetration. *Surface and Coatings Technology*, **201**, 6273–6277.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.11.028>
- Wang, L., Xiang, Z.Q., Bai, Y.L. and Long, J.J., 2013. A plasma-aided process for grey cotton fabric pretreatment. *Journal of Cleaner Production*, **54**, 323–331.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.003>

#### İnternet Kaynakları

[https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines\\_form.html](https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html), (10.09.2023)