

Çözelti Üfleme Tekniği ile Farklı Bitim İşlemi Kimyasallarının Tekstil Yüzeylerine İşletme Şartlarında Aktarılması ve Performanslarının Değerlendirilmesi

Koray PEKTAŞ^{1,a}, Onur BALCI^{1,b}

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Avşar Yerleşkesi, Onikişubat, Kahramanmaraş, Türkiye

^aORCID: 0000-0002-9744-8308; ^bORCID: 0000-0001-6885-7391

Makale Bilgileri

Geliş : 16.07.2025

Kabul : 04.09.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1744255

Sorumlu Yazar

Koray PEKTAŞ

koraypektas@ksu.edu.tr

Anahtar Kelimeler

Çözelti üfleme eğirme

Bitim işlemi

Hidrofil silikon

Su iticilik

Atıf şekli: PEKTAŞ, K., BALCI, O., (2025). Çözelti Üfleme Tekniği ile Farklı Bitim İşlemi Kimyasallarının Tekstil Yüzeylerine İşletme Şartlarında Aktarılması ve Performanslarının Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 40(3), 617-626.

ÖZ

Çalışmada, çözelti üfleme eğirme (SBS) tekniği kullanılarak bitim kimyasallarının kumaş yüzeyine püskürtülerek aktarılabilirliği incelenmiştir. Amaç, konvansiyonel yöntemlere kıyasla su, kimyasal ve enerji tüketimini azaltmaktır. Karşılaştırma için emdirme yöntemiyle de uygulama yapılmıştır. Hidrofil silikon emülsiyonu (yumuşatıcı) ve su itici kimyasal, önceden boyanmış süprem ve flamlı süprem kumaşlara önce fular makinesiyle aktarılmış, ardından ramözde kurutma ve kondenzasyon yapılmıştır. Prototip SBS cihazı, ramöz önüne entegre edilerek yeni uygulama yöntemi oluşturulmuştur. Her iki yöntemle işlem gören kumaşlara performans testleri uygulanmış, ayrıca teorik kimyasal ve enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, benzer performans elde edildiğini göstermiştir. Böylece SBS tekniğinin az flotte aplikasyon yöntemi olarak kullanılabileceği ve konvansiyonel yöntemle göre daha az kaynak tüketimiyle çevreci, sürdürülebilir bir alternatif sunduğu belirlenmiştir.

Transfer of Different Finishing Chemicals to Textile Surfaces by Solution Blowing Technique Under Operating Conditions and Evaluation of Their Performance

Article Info

Received : 16.07.2025

Accepted : 04.09.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1744255

Corresponding Author

Koray PEKTAŞ

koraypektas@ksu.edu.tr

Keywords

Solution blowing spinning

Finishing

Hydrophile silicone

Water repellance

How to cite: PEKTAŞ, K., BALCI, O., (2025). Transfer of Different Finishing Chemicals to Textile Surfaces by Solution Blowing Technique Under Operating Conditions and Evaluation of Their Performance. Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 40(3), 617-626.

ABSTRACT

The study investigated the transferability of finishing chemicals onto fabric surfaces by spraying them using the solution blow spinning (SBS) technique. The aim was to reduce water, chemical, and energy consumption compared to conventional methods. For comparison, the application was also performed using the impregnation method. Hydrophilic silicone emulsion (softener) and water-repellent chemical were first transferred to pre-dyed supreme and flamed supreme fabrics using a fulard machine, then dried and condensed in a stenter. A prototype SBS device was integrated in front of the stenter to create a new application method. Performance tests were conducted on fabrics treated with both methods, and theoretical chemical and energy consumption calculations were performed. The results showed similar performance. Thus, it was determined that the SBS technique can be used as a low-flotte application method and offers an environmentally friendly, sustainable alternative with lower resource consumption compared to the conventional method.

1. GİRİŞ

Endüstride su kullanımı denildiğinde akla ilk gelen endüstrilerden biri hiç şüphesiz tekstildir. Tekstil endüstrisi yaklaşık %20'lik su kullanımı oranı ile kimya endüstrisinden sonra gelmektedir [1,2]. Özellikle tekstil endüstrisinde yaş işlemler sırasında çok fazla miktarda atık su ve kimyasal tüketimi meydana gelmektedir [3]. Atık su ve fazla kimyasal tüketiminin önüne geçmek için yaş işlem proseslerinde az flotte aplikasyon yöntemleri kullanılabilir. Günümüzde bu yöntemler köpük aplikasyon, kiss-roll, vakum ekstraksiyon ve püskürtme yöntemleri karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemler kullanılarak, kimyasal taşıyıcı sıvı miktarı azalmakta, enerji ve su tüketimi düşmekte, migrasyon riski azalırken üretim hızı ve işlem verimliliği artmaktadır [4-6]. Buna bağlı olarak aynı zamanda üretici maliyetleri de düşmektedir. Ancak bu yöntemleri konvansiyonel yöntemler ile kıyaslandığında endüstride kullanım alanının henüz yaygınlaşmadığı görülmektedir. Bu yöntemlerin yanı sıra her geçen gün endüstride de kullanılabilecek yeni aplikasyon yöntemleri geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Yeni aplikasyon yöntemi olarak çeşitli nano püskürtme teknikleri konuşulmaktadır, çözelti üfleme tekniğinin de bunlar arasında yer alabilme potansiyeli bulunmaktadır. Çözelti üfleme ile aplikasyon tekniğinin öncelikli kullanım amacına bakıldığında, sistemin bir nanolif çekim sistemi olduğu ve çözelti üfleme eğirme yöntemi olarak literatürde geçtiği bilinmektedir [7-15]. Ancak bu yöntemin çalışma parametrelerini (besleme hızı, hava basıncı, çözelti konsantrasyonu ve çalışma mesafesi) değiştirerek nanolif çekimi yerine, mikro ve nano boyutta kimyasalların kumaş üzerine aktarılması ve böylece az flotte aplikasyon yöntemi olarak kullanılması mümkün olduğu düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında, çözelti üfleme aplikasyon tekniğinin açık en örgü kumaşlarda kullanılabilmesi için TÜBİTAK TEYDEB 1501 projesi kapsamında bir prototip makine tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu prototip makine ramöz makinesinin önüne adapte edilerek, ramöz makinesi ile kesiksiz çalışması sağlanmıştır. Prototip makinenin konvansiyonel yöntem ile kıyaslanabilmesi için hem emdirme yöntemi hem de çözelti üfleme aplikasyon yöntemi ile kumaşlara hidrofik silikon (yumuşatma) ve su iticilik kimyasalları aktarılmıştır. Farklı aplikasyon işlemleri sonrasında elde edilen numune kumaşlara fiziksel performans testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbirleri ile kıyaslanarak çözelti üfleme aplikasyon yönteminin, konvansiyonel yöntem yerine kullanılabileceği olanağı tartışılmıştır.

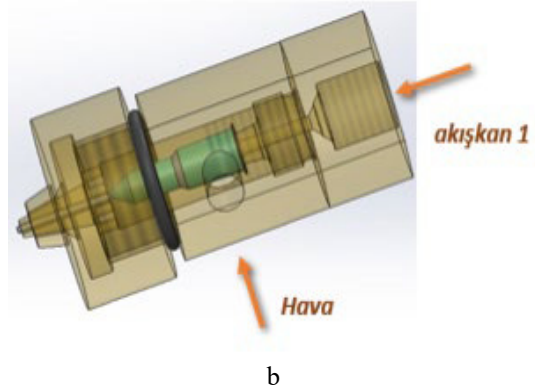
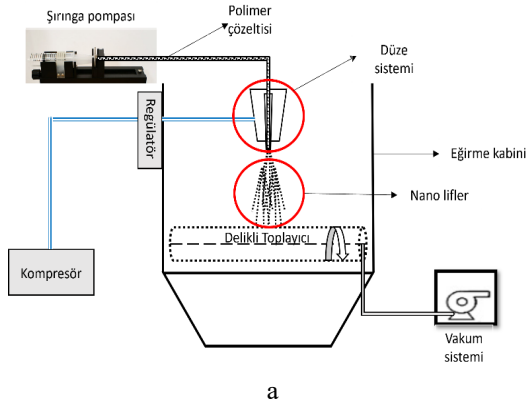
2. YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında iki farklı örgü kumaş kullanılmıştır. Numune olarak süprem ve flamlı süprem örme kumaş seçilmiştir. Bitim işleminde ise yumuşatma amaçlı hidrofik silikon emülsiyonu ve su iticilik kimyasalları kullanılmıştır. Bu kumaşlar, işletme şartlarında ön terbiyesi (sadece ağartma işlemi) ve boyaması (reaktif boyarmaddeler kullanarak, çektirme metodu ile jet boyama makinesinde) yapılan numunelerdir.

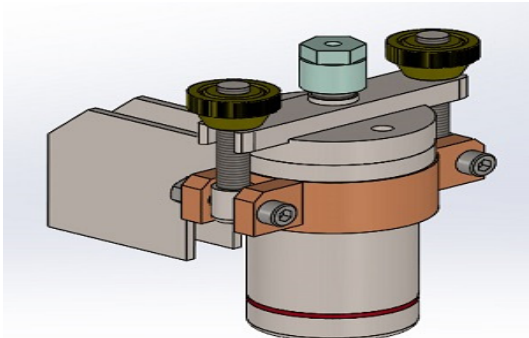
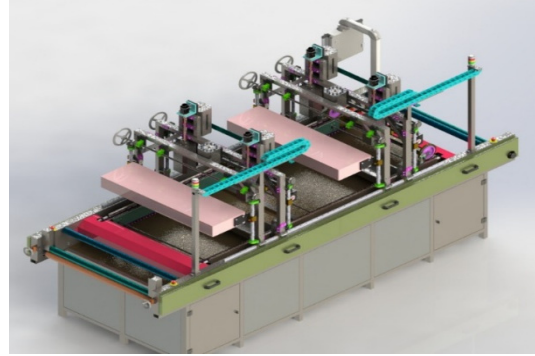
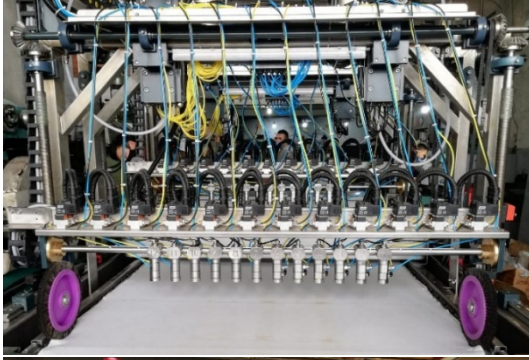
2.2. Metot

Çalışma kapsamında iki farklı aplikasyon yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan bu yöntemlerden biri konvansiyonel metot olarak bilinen emdirmedir. Bir diğer aplikasyon yöntemi olarak ise çözelti üfleme tekniği seçilmiştir. Çözelti üfleme tekniği literatürde nanolif üretim tekniği olarak bilinmekte olup, sistem eş merkezli iki adet düzeden (Şekil 1-b) oluşmaktadır. İç düze kimyasal (lif çekiminde polimer) çözeltisinin akışını sağlamaktadır. Dıştaki düze ise sisteme yüksek basınçlı hava göndererek iç düzeden çıkan çözeltinin toplayıcı tabakaya doğru yönelmesini gerçekleştirmektedir. Lif çekiminde bu basınçlı hava, çözeltideki çözücünün uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Apre aplikasyonunda ise bu basınçlı hava kimyasalın yüzeye yönlendirilmesini sağlamaktadır. Prensibi Şekil 1-a'da gösterilmiştir.

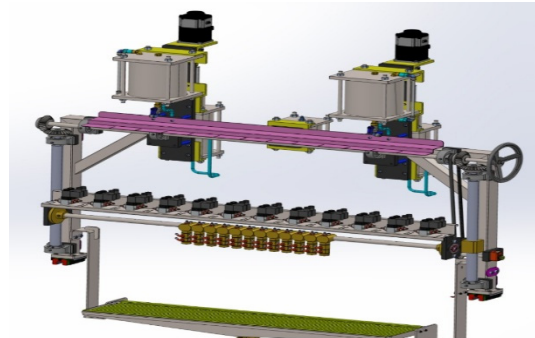


Şekil 1. Çözelti üfleme sistemi şematik çizim ve düze mekanizması

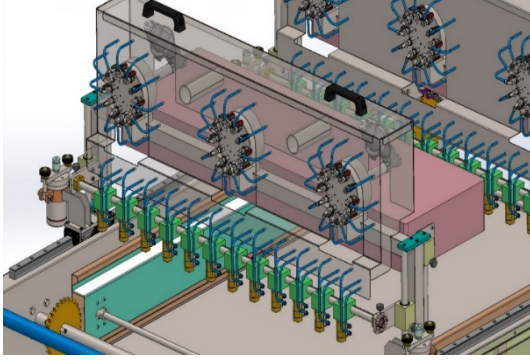
Bu yöntemde nanolif çekimine etki eden parametre ayarları değiştirilerek, kimyasal maddeler taşıyıcı yüzey üzerine mikro ne nano boyutta püskürtülebilmektedir. Böylece esasında bir nanolif çekim yöntemi olan çözelti üfleme eğirme tekniği, az flotte aplikasyon yöntemi olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında prototip olarak elde edilen çözelti üfleme eğirme cihazına ait görsel, Şekil 2'de verilmektedir. Prototip çözelti üfleme cihazının ramöz önüne adaptasyonu ise Şekil 3'te gösterilmektedir.



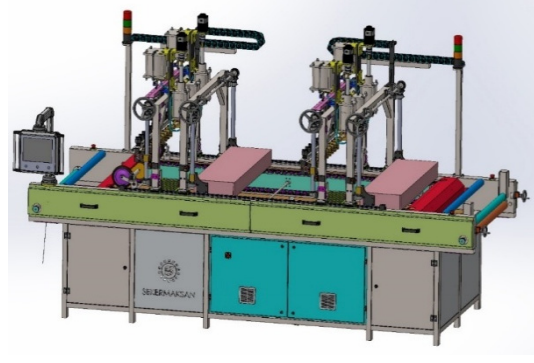
Aplikatör modülü



Sıvı dozajlama sistemi



Düzelerin bulunduğu sıvı dağıtım hattı



Prototip izometrik görüntüsü

Şekil 2. Prototip çözelti üfleme eğirme makinası



Şekil 3. Ram önüne adaptasyonu tamamlanmış endüstriyel hat

Çözelti üfleme cihazında kullanılan alınan flote oranı (kumaşın kuru ağırlığına göre emdiği işlem çözeltisinin yüzde oranı), prototip makine üzerinde çeşitli denemeler yapılarak (besleme hızı, makine hızı, hava basıncı, çalışma mesafesi) ramöz önünde kullanılmak üzere belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında bu yöntemlere ait çalışma parametreleri Çizelge 1-3'te verilmektedir. Kumaşların kurutulması, ısıl işlem görmesi ve boyutsal stabilizasyonunun sağlanması için ramöz makinesi kullanılmıştır. Ramöz makinesinde yapılan kurutma ve kondenzasyon işlemi her 2 aplikasyon için de sabit seçilmiştir.

Çizelge 1. Emdirme yöntemi çalışma parametreleri

Makine hızı (m/dk)	Alınan flote oranı (%)	Sıkma basıncı (bar)
10	90	2,5

Çizelge 2. Çözelti üfleme yöntemi çalışma parametreleri

Makine hızı (m/dk)	Alınan flote oranı (%)	Hava basıncı (bar)	Çalışma mesafesi (cm)
10	67	5	25

Çizelge 3. Ramöz makinesi çalışma parametreleri

Makine hızı (m/dk)	Kurutma sıcaklığı (°C)	Kondenzasyon sıcaklığı (°C)
10)	140	170

Çalışma kapsamında oluşturulan deney planı Çizelge 4'te verilmiştir. Referans olarak her numuneden de işlemsiz (apresiz-boyalı) numune alınmış ve bunlara “Ref 1 ve Ref 2” kodu verilmiştir. Çalışma kapsamında aplikasyon tipi değişken olarak seçilmiştir. Buna göre toplam 4 aplikasyon denemesi gerçekleştirilmiştir. 2 adet işlemsiz numune ile toplam 6 numune elde edilmiştir. Yumuşatma denemeleri Referans 1’e, su iticilik denemeleri ise Referans 2’ye yapılmıştır.

Çizelge 4. Deney planı

Denemeler	Aktarma yöntemi	Kodlar
İşlemsiz kumaş-1(Pamuklu süprem)	-	Ref-1
Kumaş-1	Emdirme	HS-E-1
40 g/L hidrofil silikon		
Kumaş-1	Çözelti üfleme	HS-ÇÜ-1
40 g/L hidrofil silikon		
İşlemsiz kumaş-2	-	Ref-2
(Flamlı süprem)		
Kumaş-2	Emdirme	Sİ-E-2
100 g/L Su iticilik		
Kumaş-2	Çözelti üfleme	Sİ-ÇÜ-2
100 g/L Su iticilik		

2.3. Testler

Çalışma kapsamında emdirme ve çözelti üfleme tekniği ile bitim işlemi uygulanarak elde edilen 6 numune kumaşın fiziksel ve fonksiyonel performanslarının değerlendirilmesi için gramaj (EN ISO 3801), patlama (TS EN ISO 13938-2) mukavemeti, dikey kılcallık emme testi (AATCC 197), su iticilik (AATCC 22), pilling (ISO 12945-1), kuru ve yaş sürtmeye karşı, yıkamaya karşı (ISO 105-C06), suya karşı (ISO 105-E01), asidik ve bazik tere karşı (ISO 105 E04) renk haslığı testleri yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

İşletme şartlarında her iki aktarma yöntemi ile bitim işlemleri yapılan numunelerin performansları çeşitli testlerle değerlendirilmiştir. Çalışma amacı düşünüldüğünde, SBS tekniği ile elde edilen performansın, emdirme tekniğine göre üstün olması beklenmemektedir. Temel amaç, en azından aynı performansı elde ederek, daha az su, kimyasal ve enerji tüketimiyle sonuca ulaşmaktır. Yani çalışmada sadece performans iyileştirmek değil, aynı zamanda sürdürülebilir üretim sağlamakta hedeflenmiştir. Çizelgelerde verilen sonuçların bu şekilde değerlendirilmesi uygun olacaktır.

Çizelge 5’te bitim işlemleri sonrasında numunelere ait pilling, kuru ve yaş sürtme haslığı test sonuçları verilmektedir.

Çizelge 5. Numunelere ait pilling, kuru ve yaş sürtünmeye karşı haslığı test sonuçları

Kodlar	Pilling	Sürtme (kuru)	Sürtme (yaş)
Ref-1	4	4/5	2/3
HS-E-1	4	4/5	3
HS-ÇÜ-1	4	4/5	3
Ref-2	4	4/5	2/3
Sİ-E-2	4	4/5	2/3
Sİ-ÇÜ-2	4	4/5	2/3

Çizelge 5'te elde edilen sonuçlar incelendiğinde, her iki yöntem ile kumaşlara aktarılan silikon emülsiyonu ve su itici kimyasalın kumaş performansı üzerinde herhangi bir değişikliğe neden olmadığı tespit edilmiştir. Çizelge 6'da numunelere ait yıkamaya karşı renk haslığı, suya karşı renk haslığı, asidik ve bazik tere karşı renk haslığı sonuçları verilmektedir.

Çizelge 6. Numunelere ait yıkamaya karşı renk haslığı, suya karşı renk haslığı, asidik ve bazik tere karşı renk haslığı sonuçları

Kodlar	Haslık			
	Yıkama	Su	Asidik ter	Alkali ter
Ref-1	4/5	4/5	4/5	4/5
HS-E-1	4/5	4/5	4/5	4/5
HS-ÇÜ-1	4/5	4/5	4/5	4/5
Ref-2	4/5	4/5	4/5	4/5
Sİ-E-2	4/5	4/5	4/5	4/5
Sİ-ÇÜ-2	4/5	4/5	4/5	4/5

Çizelge 6'da verilen haslık sonuçları incelendiğinde, aktarma yönteminden bağımsız olarak kumaşların haslık performanslarında bir değişiklik meydana gelmediği görülmüştür.

Numunelere ait kılcallık test sonuçları Çizelge 7'de verilmektedir.

Çizelge 7. Numunelere ait kılcallık test sonuçları

Kodlar	Kılcallık	
	En (mm)	Boy (mm)
Ref-1	105	110
HS-E-1	138	160
HS-ÇÜ-1	130	155
Ref-2	108	130
Sİ-E-2	0	0
Sİ-ÇÜ-2	0	0

Kılcallık test sonuçları incelendiğinde, her iki aktarma yöntemi ile bitim işlemi uygulandıktan sonra benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Hidrofil silikon ile işlem sonrasında kılcallık değerlerinde aktarma yöntemine bakılmaksızın artış meydana geldiği görülmüştür. Çünkü hidrofil silikonların kullanılmasıyla birlikte kumaşın yüzey enerjisi artmış, su temas açısını azalmış, kumaş yüzeyinde film tabakası oluşarak, su damlacıklarının lif yüzeyine yapışma eğilimi düşmüştür. Böylece, su lif yüzeyine daha iyi yayılmıştır. Hidrofilik grupların lif yüzeyinin ıslatma kabiliyeti sayesinde lifler arasındaki boşluklarda suyun nüfuz etme hızı artmış ve son olarak lifler şişerek düzenli bir kanal yapısı oluşmuştur. Buna nedenle kumaşın hidrofilite değerlerinde artış meydana gelmiştir [16-18]. Benzer şekilde su iticilik kimyasalının uygulandığı numunelerde de aplikasyon yöntemine bakılmaksızın aynı sonucun alındığı (0) görülmüştür. Su itici kimyasallar, lif yüzeyine uygulandığında liflerin yüzey enerjisini düşürmüş ve liflerin su ile ıslanabilirliğini azaltmıştır. Böylece su damlacıkları kumaş yüzeyinde yayılmak yerine, yüksek temas açısıyla küresel formda kalmıştır. Bu durum, kılcallıkla emme mekanizmasının ilk aşaması olan yüzey ıslanmasını engellemektedir. Oysa kılcallıkla emme, lif yüzeyinin suyu emmesi ve lifler arası mikro kanallar boyunca kapiller kuvvetlerle yukarı doğru taşınmasıyla gerçekleşmektedir. Ancak hidrofobik yüzey kapiller hareketi başlatacak kadar temas alanı sunmadığı için su, lif yüzeyine tutunamaz ve mikro kanallara nüfuz edemez. Böylece kılcallık mekanizması devre dışı kalmakta ve kumaşın dikey emme performansı önemli ölçüde azalmaktadır [19-21].

Su iticilik kimyasalı uygulanmış numunelere yapılan sprej test sonuçları Çizelge 8 de verilmektedir.

Çizelge 8. Numunelere ait spre test sonuçları

Kodlar	Su iticilik değerleri
Ref-2	1
Sİ-E-2	5
Sİ-ÇÜ-2	4

Spre test sonuçlarına göre su iticilik bitim işlemi görmemiş kumaşın su iticilik değerinin “1” yani kumaşın ıslanabilir düzeyde olduğu görülürken, çözelti üfleme ile aplikasyon sonrasında su iticilik değerinin “4” olduğu görülmüş ve kumaşın su iticiliğinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Emdirme işlemi sonrasında ise su iticilik değerinin “5” olduğu belirlenmiştir. Buna göre su iticilik bitim işlemleri sonrasında her iki yöntem ile su iticilik özellik kazandırılabilceği görülmüştür. Ancak çözelti üfleme işleminin performansı “1” derece düşük çıkmıştır. Bu düşüşün nedeninin ise alınan flotte oranının düşmesi ile birlikte su itici kimyasalında bulunan aktif madde oranının düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Alınan flotte oranı çok düşük olduğunda (düşük aktif madde), hidrofobik etkinin özellikle yıkama sonrası hızla azalması söz konusu olurken; aşırı yüksek oranlarda, kumaşın hava geçirgenliği, bükülme dayanımı ve konfor parametrelerini olumsuz etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, optimum aktif madde aktarım miktarının belirlenmesi, hem hedeflenen su iticilik seviyesini sağlamak hem de kumaşın kullanım performansını, tutumunu ve çevresel sürdürülebilirliğini korumak açısından önem arz etmektedir [22-24].

Numunelere ait patlama mukavemeti ve gramaj test sonuçları Çizelge 9’da verilmektedir.

Çizelge 9. Numunelere ait patlama mukavemeti ve gramaj test sonuçları

Kodlar	Gramaj (g/m ²)	Patlama mukavemeti (kPa)
Ref-1	144,10	157,3
HS-E-1	144,40	157,80
HS-ÇÜ-1	145,00	158,10
Ref-2	152,00	122,60
Sİ-E-2	153,00	122,90
Sİ-ÇÜ-2	152,30	123,00

Çizelge 9 incelendiğinde, bitim işlemleri sonrasında elde edilen gramaj ve patlama mukavemeti değerlerinde referans kumaşlara göre önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

Çizelge 5-9’da 6 numunenin sonuçları verilmiştir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde emdirmeye ve SBS tekniğiyle yapılan aplikasyonlar sonucu elde edilen numunelerin kendi aralarında önemli farklar olmadığı belirlenmiştir.

Böylece çalışmanın ilk aşaması başarıyla sonuçlanmıştır. Performans farkının olmamasının tespiti ardından, sürdürülebilirlik analizi yapılmıştır.

Bu nedenle her iki yöntem kimyasal ve enerji tüketimi bakımından kıyaslanmıştır.

Buna göre;

Emdirme aplikasyon yöntemi ile m² kumaş üzerine aktarılacak çözelti miktarı

- Kumaş m² gramajı: 200 g/m²
- Alınan flotte oranı (%): 90
- m² gramaj üzerine alınacak çözelti miktarı: 180 mL
- Makine hızı: 10 m/dk

- Fular kapasitesi: 100 L
- Kumaş Eni: 150 cm
 - 1 saatte aplikasyon yapılacak kumaş metresi: Makine hızı m/dk* 60 dk: 600 m/s
 - 1 saatte aplikasyon yapılacak kumaş m²: 600 m *1,5 m= 900 m² kumaş
 - 1 saatte kumaş üzerine aktarılacak toplam çözelti miktarı:
(900 m² *180 mL)/1000= 162 L + 100 L (İşlem sonrası fuların boşaltılması) = 262 L
 - Saatlik kumaş m² başına çözelti ihtiyacı: 262 L / 900 m² = 291 mL/m²

Çözelti Üfleme Sistemi ile m² kumaş üzerine çözelti ihtiyacı

- Makine hızı: 10 mL/dk
- Kumaş Eni: 1,50 m
- Besleme hızı: 1500 mL/sa
 - 1 saatte aplikasyon yapılacak kumaş metresi: Makine hızı* 60 dk: 600 m/s
 - 1 saatte aplikasyon yapılacak kumaş m²: 600 m*1,5 m= 900 m² kumaş
 - 1 saatte kumaş üzerine aktarılacak toplam çözelti miktarı: 1500 mL * 24 düze = 36 L
 - Saatlik kumaş m² başına çözelti ihtiyacı: 36.000 mL / 900 m²= 40 mL/m²

Yapılan kimyasal tüketimi hesapları incelendiğinde, emdirme aplikasyonu için 1 metre kare kumaş için 291 mL gerekiyken, çözelti üfleme tekniği ile uygulamada 40 mL gerekmektedir. Yapılan bu hesaba göre çözelti üfleme tekniği ile kimyasal tüketiminin emdirme yöntemine göre yaklaşık %86 oranında düştüğü görülmektedir.

Çizelge 10. Kurutma maliyeti hesabı için gerekli veriler

Parametreler	Emdirme aplikasyonu	Çözelti üfleme aplikasyonu
Kumaş gramaj (kg/m ²)	0,2	0,2
Kurutma öncesi alınan flotte oranı (%)	90	67
Kurutma sonrası alınan flotte oranı (%)	8,5	8,5

Bu iki yöntemin enerji tüketimi kıyası Çizelge 10'da verilen bilgiler kullanılarak ve aşağıda verilen formül ile yapıldığında [25-27];

$$E_{kuru} = k \times (PU_{\text{öncesi}} - PU_{\text{sonrası}}) \times m_{\text{kumaş}} \times h_{\text{evap}} \quad (1)$$

E_{kuru} : Kurutma için gereken enerji (kJ)

$PU_{\text{öncesi}}$: Uygulama öncesi alınan flotte oranı

$PU_{\text{sonrası}}$: Uygulama sonrası alınan flotte oranı

$m_{\text{kumaş}}$: Kumaş kütlesi (kg)

h_{evap} : Suyun buharlaşma entalpisi (2256 kJ/kg)

k : Sistem verimlilik faktörü (1 olarak alınmıştır)

Emdirme için;

$$E_{kuru-emdirme} = 1 \times (0,90 - 0,085) \times 0,2 \text{ kg} \times 2256 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{kuru-emdirme} = 367,728 \text{ kJ}$$

Çözelti üfleme tekniği için;

$$E_{kuru-çözelti üfleme} = 1 \times (0,67 - 0,085) \times 0,2 \text{ kg} \times 2256 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{kuru-çözelti üfleme} = 263,952 \text{ kJ}$$

Teorik kurutma enerjisi emdirmeye yöntemi için 367,728 kJ hesaplanırken, bu SBS tekniği için 263,952 kJ olarak hesaplanmıştır. Emdirme yöntemi uygulanmış kumaşlar için teorik kurutma enerjisi oranının çözelti üfleme yöntemine göre yaklaşık %39 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Çalışmada TÜBİTAK TEYDEB 1501 projesi kapsamında prototip olarak geliştirilen çözelti üfleme cihazını, işletmede çalışan bir ramöz kurutma makinesi önüne çeşitli revizeler yapılarak entegre edilmiştir. Böylece ramöz ile kesiksiz çalışan yeni bir aplikatör yapılmıştır. Daha sonra bu ramöz ile çalışarak iki farklı kumaşa, yumuşatıcı ve su iticilik bitim işlemleri uygulanmıştır. Bu kimyasallar aynı zamanda aynı ramözde, emdirmeye yöntemi ile de kumaşlara aktararak iki yöntemin kumaş performansı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Uygulanan pilling, aşınma dayanımı, haslık, kılcal emme ve su iticilik testleri incelendiğinde, çözelti üfleme cihazının kumaşa aktarılmasıyla daha düşük alınan flotte oranı (%90 alınan flotte oranı değerinden - %67 alınan flotte oranı değerine) ile aynı kumaş performansına ulaşılabildiği görülmüştür. Buna göre sürdürülebilirliğin son derece önemli olduğu bu dönemde hem kimyasal hem su tüketiminin hem de buna bağlı enerji tüketiminin çözelti üfleme tekniği kullanılarak düşürülebileceği ispat edilmiştir. Çalışmada su tüketiminde %86, enerji tüketiminde ise %39 oranında düşüş tespit edilmiştir. Ayrıca az su tüketimine bağlı olarak aynı oranda çevreye daha az atık yük getirdiği için, bu yöntemin konvansiyonel yöntemle göre çok daha çevreci olduğu söylenebilmektedir. Böylece ürün bazlı karbon ayak izi ve su ayak izinde düşüşler elde edilebilecektir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 3191059 nolu “Çözelti Üfleme Tekniği Kullanılarak Ramöz Önü Aplikasyon Sistemi Tasarımı, Apre Proseslerinin Geliştirilmesi” başlıklı TÜBİTAK TEYDEB 1501 Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı kapsamında yürütülen proje çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Sağladığı maddi destek için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu’na (TÜBİTAK) teşekkür ederiz. 3191059 nolu projede proje ortağı olarak yer alan Inovaktif Ar-Ge Danışmanlık Kimya Ozon Sistemleri Kozmetik San. Tic. Ltd. Şti.’ne proje süresince vermiş olduğu destekler için teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Kanmaz, N., Kavurucu, B., Ekmen, E., Yaman, Ö., Yazan, S.Y. & Ünver, Ü. (2022). Türkiye’de endüstriyel su tüketimi ve arıtımı. *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 3(1), 19-33.
2. Chen, X., Memon, H.A., Wang, Y., Marriam, I. & Tebyetekerwa, M. (2021). Circular economy and sustainability of the clothing and textile industry. *Materials Circular Economy*, 3(1), 1-9.
3. Uluçay, A., Ceyhan, G., Balci, O., Işık, C. & Yavuz, S. (2024). Investigation of dyestuff recycled from wastewater containing indigo/sulfur dyes. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(4), 969-978.
4. Basyigit, Z.O., Kut, D. & Hauser, P. (2020). Development of multifunctional cotton fabric via chemical foam application method. *Textile Research Journal*, 90(9-10), 991-1001.
5. Omerogullari Basyigit, Z. (2021). Application technologies for functional finishing of textile materials. *İçinde Textiles for Functional Applications* (1-21). IntechOpen.
6. Yavuz, S. & Balci, O. (2024). Pamuklu ipliklerin köpük aplikasyon metodu kullanılarak indigo boyarmadde ile boyanması dyeing of cotton yarns with indigo dyestuff using the foam application method abstract. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(2), 515-526.
7. Tapanyigit, E.B., Pektaş, K., Özdemir, M. & Balci, O. (2022). Farklı dokusuz yüzeyler üzerinde çözelti üfleme eğirme tekniği ile poliamid 6.6 esaslı nano lif eldesi ve araç kabin filtreleri için uygunluğunun araştırılması. *Tekstil ve Mühendis*, 29(127), 116-124.
8. Gao, Y., Zhang, J., Su, Y., Wang, H., Wang, X.X., Huang, L.P. & Long, Y.Z. (2021). Recent progress and challenges in solution blow spinning. *Materials Horizons*, 8(2), 426-446.
9. Silva, M.J., Dias, Y.J. & Yarin, A.L. (2023). Electrically-assisted supersonic solution blowing and solution blow spinning of fibrous materials from natural rubber extracted from *havea brasiliensis*. *Industrial Crops and Products*, 192(October 2022), 116101.
10. Medeiros, E.S., Glenn, G.M., Klamczynski, A.P., Orts, W.J. & Mattoso, L.H.C. (2009). Solution blow spinning: A new method to produce micro- and nanofibers from polymer solutions. *Journal of Applied Polymer Science*, 113(4), 2322-2330.

11. Sinha-Ray, S., Sinha-Ray, S., Yarin, A.L. & Pourdeyhimi, B. (2015). Application of solution-blown 20-50nm nanofibers in filtration of nanoparticles: The efficient van der waals collectors. *Journal of Membrane Science*, 485, 132-150.
12. Khan, M.K.R. & Hassan, M.N. (2021). Solution blow spinning (SBS): A promising spinning system for submicron/nanofibre production. *Textile & Leather Review*, 4(3), 181-200.
13. Liu, Y., Zhang, G., Zhuang, X., Li, S., Shi, L., Kang, W. & Xu, X. (2019). Solution blown nylon 6 nanofibrous membrane as scaffold for nanofiltration. *Polymers*, 11(2), 1-15.
14. Dirany, Z., González-Benito, J., Ginatta, P., Nguewa, P. & González-Gaitano, G. (2025). Solution blow spun polymeric nanofibres embedding cyclodextrin complexes of miltefosine: An approach to the production of sprayable dressings for the treatment of cutaneous leishmaniasis. *Carbohydrate Polymers*, 353(September 2024), 123173.
15. Rossi, P.F., dos Santos, D.M., Marangon, C.A., Teodoro, K.B.R., Costa, C.S., Inada, N.M. & Oréfice, R.L. (2025). Biobased composite fibrous membrane using PLA and lignin carbon dots fabricated via solution blow spinning for wound dressing application. *Materials Today Communications*, 42(November 2024), 111418.
16. Gao, Q., Zhu, S., Huang, Y., Wen, C., Zhang, Z., Yang, F. & Feng, Y. (2024). Fast sweat wicking enabled by unidirectional water transport in biodegradable trilayered porous membranes produced via papermaking. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 12(21), 8041-8050.
17. Zaman, M., Liu, H., Xiao, H., Chibante, F. & Ni, Y. (2013). Hydrophilic modification of polyester fabric by applying nanocrystalline cellulose containing surface finish. *Carbohydrate Polymers*, 91(2), 560-567.
18. Shi, W., Pei, L., Gu, X. & Wang, J. (2023). Investigation on decontamination mechanism of moisture-wicking fabrics during home laundry. *Journal of Surfactants and Detergents*, 26(5), 693-702.
19. Akinci, F.C., Kaynak, H.K. & Korkmaz, Y. (2018). Effects of filament fineness and weft sett on the permeability properties of microfilament woven fabrics. *Tekstil ve Muhendis*, 25(111), 234-240.
20. Mazloompour, M., Ansari, N. & Hemmatinejad, N. (2007). Wetting behaviour of raw and water-repellent cotton fabrics using wetting kinetic measurements. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 32(1), 93-98.
21. Simile, C.B. (2004). Critical evaluation of wicking in performance fabrics. Georgia Institute of Technology, *Master of Science in the School of Polymer, Textile, and Fiber Engineering*.
22. Chowdhury, M.J. & Nasrin, S. (2017). Effect of performance finish on woven fabric properties. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 7(7), 814.
23. Chowdhury, K.P., (2018). Effect of special finishes on the functional properties of cotton fabrics. *Journal of Textile Science and Technology*, 04(02), 49-66.
24. Ho, L.Y. & Kan, C.W. (2022). Effect of resin finishing on some properties of 100% cotton light weight woven fabric. *Coatings*, 12(11).
25. Cay, A., Tarakcioğlu, I. & Hepbasli, A. (2009). A study on the exergetic analysis of continuous textile dryers. *International Journal of Exergy*, 6(3), 422-439.
26. Raafi, S.M. & Fatema, U.K. (2021). Implementation of pre-heating system in stenters for improving machine performance and increasing efficiency. *Journal of Textile Science and Technology*, 07(04), 143-151.
27. Wei, Y., Gong, R.H., Ning, L. & Ding, X. (2018). Enhancing the energy efficiency of domestic dryer by drying process optimization. *Drying Technology*, 36(7), 790-803.