

Gönderim Tarihi: 09.08.2023

Kabul Tarihi: 08.12.2023

**TEKSTİL TASARIMINDA TERMOKROMİK ÇALIŞMALAR VE
BİR BASKI TASARIMI UYGULAMASI**
**Thermochromic Studies in Textile Design And An Application of Printing
Design**

Mehmet Zahit BİLİR

Doç. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Güzel
Sanatlar Fakültesi Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü
mzahitbilir@hotmail.com

ORCID ID: 0000-0001-7194-9211

Çalışmanın Türü: Araştırma

Öz

Akıllı tekstiller son yıllarda kullanıma giderek artan ve gündelik hayatta karşımıza sıkça çıkmaya başlayan özel tekstil ürünleridir. Akıllı tekstiller içerisinde elektronik, bilgisayar bileşenleri, akıllı kimyasallar ve tekstil ürünlerini birlikte barındırabilmektedir. Kromik boyarmaddeler, akıllı tekstiller içerisinde yer alan ve çeşitli ortam koşullarında tersinir renk değiştirebilme özelliğine sahip olan materyallerdir. Kromik boyarmaddeler etkilendiği dış ortam koşuluna göre (ışık, pH, su, sıcaklık vd.) renk değiştirmektedir. Kromik boyarmaddeler içerisinde sıcaklık değişimine göre renk değiştirebilen ürünler termokromik boyarmaddeler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada, akıllı tekstiller, kromik materyaller ve termokromik tekstillerin ne olduğu açıklanmakta ve termokromik boyarmadde kullanılarak yapılabilecek örnek bir tekstil baskı tasarımı uygulaması aşamalarıyla beraber gösterilmektedir. Çalışma sonucunda termokromik boyarmaddeler hakkında tekstil sektöründe çalışan kişilerin daha çok bilgi sahibi olması hedeflenmekte ve termokromik gibi özel materyallerin kullanılarak katma değeri çok daha yüksek spesifik ürünlerin tekstil tasarımında üretilebileceği gösterilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Termokromik, Kromizm, Tekstil Tasarımı, Akıllı Tekstil

Abstract

Smart textiles are special textile products that have been increasingly used in recent years and have started to appear frequently in daily life. Smart textiles can contain electronics, computer components, smart chemicals and textile products together. Chromic dyestuffs are materials that are included in smart textiles and have the ability to change color reversibly under various environmental conditions. Chromic dyestuffs can be applied according to the outdoor conditions (light, pH, water, temperature, etc.). Among the chromic dyestuffs, the products that can change color according to the temperature change are classified as thermochromic dyestuffs. In this study, smart textiles, chromic materials and thermochromic textiles are explained and a sample textile printing design application that can be made using thermochromic dyestuffs is shown together with the stages. As a result of the study, it is aimed that people working in the textile industry have more information about thermochromic dyestuffs and it is shown that specific products with much higher added value can be produced in textile design by using special materials such as thermochromic.

Keywords: Thermochromic, Chromism, Textile Design, Smart Textile

1. GİRİŞ

Tekstil, insanlık tarihi boyunca hayatımızda yeralan ve çoğunlukla dış ortam koşullarından korunmanın yanı sıra bir estetik aracı olarak da kullanılan ürünleri içermektedir. İnsanın tarihsel süreç içerisindeki gelişimine paralel olarak tekstil alanında da ilerlemeler kaydedilmiş olup, korunma ihtiyacını karşılama dışında moda ve fonksiyonel ürünler kapsamında da tekstil ürünleri yer almaya başlamıştır. Son yıllarda sanayi ve teknoloji alanlarında meydana gelen büyük ilerlemeler tekstil sektörünü de etkilemiştir. Meydana gelen bu ilerlemelerin etkisi ile üretilen inovatif ürünler akıllı tekstiller olarak adlandırılmaya başlanmıştır. Akıllı tekstiller, gerçekleştirebildikleri farklı işlevler nedeniyle ilgili ve devrim niteliğinde bir ürün kategorisi haline gelmiştir (Silva de Oliveira & Henrique da Silva Júnior, 2022, s.1; Provin et al., 2021). “Akıllı tekstiller, çevredeki değişikliklere uyum sağlamak için dış uyaranları alabilen ve bunlara yanıt verebilen ürünlerdir. Bu malzemeler, farklı fiziksel uyaranlara (ışık, pH, sıcaklık, farklı polariteli çözücüler, kimyasallar ve elektrik) tepki verme yeteneğine sahiptir ve bu nedenle çevreleriyle etkileşime girebilir” (Khatab Khatab, Rehan, & Hamouda, 2018, ss.143-152; Ramlow, Andrade & Immich, 2021, ss.152-171).

Akıllı tekstillerin tarihine bakılacak olursa, altın ve gümüş folyolar iplik kaplamalarında yaklaşık 1000 yıl öncesine kadar temel tekstil malzemesi olarak kullanılmaktaydı (Marvin, 1990; Syduzzaman, Sarif, Farhana & Sharif, 2015, ss.1-7). Yakın zamana gelindiğinde örneğin 19. Yy’da elektrik parçaları içeren tekstil ürünleri görülmeye başlamıştır (Gere & Rudoe, 2010; Syduzzaman et al., 2015, ss.1-7).

Günümüze gelindiğinde ise akıllı tekstiller neredeyse her alanda kendini göstermektedir. Ebeveynlerini uyaraabilen akıllı bebek tekstillerinden, hayati verileri ölçebilen itfaiyeci kıyafetlerine, özel uzay kıyafetlerinden mp3 çalabilen ceketlere kadar birçok alanda akıllı tekstilleri görebilmekteyiz. Akıllı tekstillerin özellikle sağlık ve tıp alanlarında yara bakım ürünü, cerrahi dikiş ipliği, protez, bandaj, plaster, sağlık personeli giysisi olarak kullanımları üzerine araştırmalarda devam etmektedir (Mecnika, Hoerr, Krievins, & Schwarz, 2014; Pakolpakçıl, Karaca, & Becerir, 2018, s.216) (Şekil 1.).

Yapılan araştırmalarda akıllı tekstiller alanında 2021 yılında Dünya genelindeki market büyüklüğünün 4.12 milyar \$ olduğu ve bu büyüklüğün 2029 yılına kadar 30.45 milyar \$’a yükselmesi öngörüldüğü belirtilmektedir (Maximize Market Research, 2022). Bu araştırmalardan da görüldüğü üzere akıllı tekstiller, yıllar içerisinde giderek artan bir ticari hacme sahip olmaktadır.



a: Hayati verileri ölçebilen kıyafet

b: Akıllı ceket

c: Işıldayan kıyafet

Şekil 1. Akıllı tekstil örnekleri (Dr-hempel-network, 2018; Corder, 2016; Bing, 2023)

Shaheen vd.'ne göre dış uyarıcı veya çevre ile olan etkileşime göre akıllı tekstiller, pasif, aktif ve ultra akıllı tekstiller olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalara bakılacak olursa:

-*Pasif akıllı tekstiller:* Çevreyi veya kullanıcıları algılamada yalnızca sensörler kullanılmaktadır (El-Khodary, Gebaly, Rafaat & AlSalmawy, 2020: ss.90-95). Bu nedenle ilgili kullanıcı veya çevredeki değişimleri algılayabilmekte veya izleyebilmektedir. Antibakteriyel, antistatik, UV koruması, alev geciktirme vb. örnek uygulamalar olarak yer almaktadır (Ferri, Plutino, & Rosace. 2019, ss.1-7; Shaheen, 2022, s. 2275).

-*Aktif akıllı tekstiller:* Yalnızca dış çevresel değişimleri veya uyarıcıları algılamakla kalmayan, aynı zamanda çevre ile algılayıp etkileşime geçebilen tekstillerdir. Su geçirmeyen fakat nemi geçirebilen tekstiller, şekil hafızalı tekstiller vb. örnek uygulamalar olarak yer almaktadır (Shaheen, 2022, s. 2275).

-*Ultra akıllı tekstiller:* Algılayabilen, tepki verebilen ve aynı zamanda özelliklerini çevre koşullarına uyarlayabilen tekstillerdir. (Chika & Adekunle, 2017, s.79). Biliş, muhakeme ve aktivasyon özelliklerine sahiptirler (Mohamed, El-Aty, Moawaed, Hashad, Abd-Elaziz, Othman & Hassabo, 2022, s.236). Uzay giysileri, müzik çalabilen ceketler vb. bu sınıflandırma içerisinde değerlendirilmektedir (Çelikel, 2020).

Akıllı tekstillerin yapımında çok çeşitli materyaller kullanılabilir. Faz değiştirebilen materyaller, şekil hafızalı materyaller, kromik materyaller, iletken materyaller, optik lifler vd. akıllı tekstil üretiminde kullanılan materyaller arasında yer almaktadır (Merati, 2014, ss.239-257). Akıllı tekstillerin üretiminde kullanılan bu materyaller arasında renk değiştirebilme özelliği ile kromik materyaller ön plana çıkmaktadır. Kromik materyaller, dış uyaranlarla rengi değişen maddelere verilen genel addır (Merati, 2014, s.246). Kromik maddeler kullanılarak üretilen tekstiller

de tasarım özelliklerine göre renk değiştirebilme yeteneğine sahip olmaktadır. Kromik malzemeler ışıktan, sıcaklık, nemden vb. birçok dış etkiden etkilenecek renk değiştirmektedirler. Sıcaklık değişimi ile renk değişimi yapabilen kromik maddeler termokromik olarak isimlendirilmektedir.

Bu çalışmada, akıllı tekstiller, kromik materyaller ve kromik materyaller içerisinde yer alan termokromik uygulamalar hakkında bilgiler verilmekte ve termokromik materyallerin tekstildeki kullanım örnekleri gösterilmektedir. Çalışmada transfer baskı tekniği ve düz film baskı tekniklerinden faydalanılarak yapılabilecek örnek bir termokromik baskı tasarımı uygulama örneği de aşamalarıyla birlikte gösterilmektedir. Çalışma sonucunda termokromik boyarmaddeler hakkında tekstil sektöründe çalışan kişilerin daha çok bilgi sahibi olması hedeflenmekte ve termokromik gibi özel materyallerin kullanılarak katma değeri çok daha yüksek spesifik ürünlerin tekstil tasarımında üretilebileceği gösterilmektedir.

2. KROMİK MATERYALLER

Yunancadan gelen kromo kelimesi bir şeyin rengini ifade etmektedir. Bir kromojen ise rengin ortaya çıkmasına neden olan kromofor içeren renkli bir kimyasaldır. Kromojenik malzemeler, renk değiştiren boyalardır ve bukalemun olarak tanımlanırlar (Behera, 2022, ss.157-199; Hassabo, Bakr, Zayed & Othman, 2023, p.1). Kromizm bir maddenin geri dönüşümlü renk olgusu olarak tanımlanır (Sasmal & Pal, 2021, s.1). Kromizm, bir malzemenin elektronik, konformasyonel, kristal veya fiziksel yapısının değişmesiyle sonuçlanmaktadır (Tsunashima, Long, Endo, Noro, Akutagawa, Nakamura, Cabrera, McMillan, Kogerlere & Cronin, 2011, ss.7295-7297; Sasmal & Pal, 2021, s.1). Kromik materyaller bir dış uyarıcı etkisiyle geri dönüşümlü olarak renk değiştirebilmektedirler (Van der Schueren & Clerck, 2012, s.82). “Meydana gelen bu renk değişimi çoğunlukla dış uyaran etkisi ile materyalin elektron yoğunluğu ya da moleküler yapısındaki değişim sonucunda gerçekleşmektedir. Uyarıcı dış etken ortadan kalktığı zaman ise materyal daha kararlı olduğu ilk haline ve rengine geri dönmektedir” (Erdem İşmal & Yüksel, 2016, s.93). Seçici kromik materyallere ait kısa bir sınıflandırma Tablo 1.’de verilmektedir.

Tablo 1. Kromik materyallerin sınıflandırılması (Billah, 2014, s.194)

Materyaller (Anahtarlar)	Uyarıcı	Değişim türü	Örnek
Fotokromik	Işık (Bazı durumlarda ısı)	Renk, geometrik şekil, dipol momenti, kırılma indisi vb.	Spiropyranlar, spirooksazinler, diariletlenler, kromenler, fulgidler

Termokromik	Sıcaklık	Renk, geometrik şekil, kırılma indisi vb.	Spirolaktonlar, bianthrones vb.
İyonokromik/Halokromik	pH, İyonlar	Renk, farklı iyonik form üretimi	Fenol kırmızısı, kresol kırmızısı, bromokresol yeşili vb.
Elektrokromik	Elektriksel alan	Renk, farklı iyonik form üretimi	Viologenler

Tablo 1.'de yer alan kromik materyaller (anahtarlar) incelenecek olursa:

-Fotokromik materyaller: Fotokromik özelliğe sahip olan materyaller, bir beyaz ışık ya da UV ışığa maruz bırakıldıklarında geri döndürülebilir bir renk kaymasına sahip olurlar. Bu ışık kaynakları etkisi kaldırıldığında ise renk tekrar ilk haline veya renksiz bir duruma geri döndürülebilmektedir (Shahid, M. & Adivarekar, 2020; Hassabo, Bakr, Zayed & Othman, 2023, s.4) (Şekil 2).



Şekil 2. Fotokromik tekstil örneği (Morsümbül & Kumbasar, 2019, s.3)

-Termokromik materyaller: Termokromik materyaller (termokromik boyalar, pigmentler) sıcaklığın bir fonksiyonu olarak geri dönüşümlü veya geri dönüşümsüz olarak renk değiştirebilmektedir (Billah, 2014, s.210) (Şekil 3).



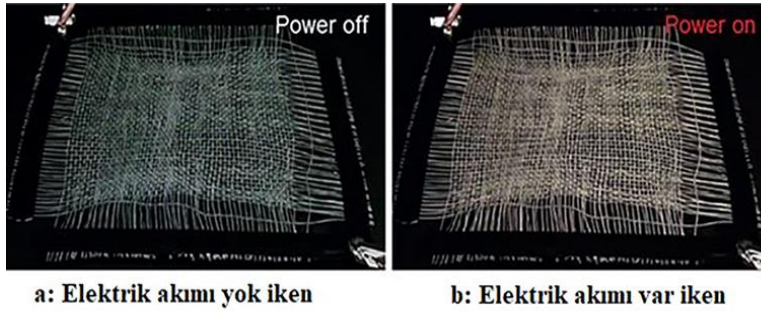
Şekil 3. Termokromik özellik sayesinde çiçek açan duvar kağıdı (Meunier, Kelly, Cochrane & Koncar, 2011, p.30; Meriç, 2016, s.87)

-*İyonokromik materyaller*: Uygun iyonik veya pH koşullarına maruz kaldıklarında renklerini değiştirebilen materyallerdir (Billah, 2014, s.218) (Şekil 4).



Şekil 4. Enfeksiyon kaynaklı pH değişimine duyarlı iyonokromik yara bandı (Van der Schueren & Clerck, 2012, s.85)

-*Elektrokromik materyaller*: Uygulanan voltaj veya akıma tepki olarak farklı ve tersine çevrilebilir renkler gösterebilen materyallerdir (Jensen, Hösel, Dyer & Krebs, 2015, p.2073-2090; Kline, Lorenzini & Sotzing, 2014, ss.73-80, Weng, Chen, He, Sun & Peng, 2016) (Şekil 5).



a: Elektrik akımı yok iken

b: Elektrik akımı var iken

Şekil 5. Elektrokromik kumaş örneği (Weng et al., 2016, s.6152; Peng, vd., 2009; Li, et al., 2014; Laforgue et al., 2012).

Renk değiştiren tekstiller, sadece modada değil, aynı zamanda asker ve silah kamuflajı, iş kıyafetleri ve teknik ve tıbbi tekstillerdeki yararlı ve önemli uygulamalarda da kullanılabilmektedir (Merati, 2014, s.247).

3. TERMOKROMİK TEKSTİLLER

Termokromik malzemeler, sıcaklık değiştiğinde rengi değişen malzemeler olup, özellikle belirli sıcaklıklarda renk değiştirebilen termokromik boyarmaddelerdir (Zhang, Hu, Xiang, Zhai & Zhu, 2018, s.705; Hu & Lu, 2014, ss.437-475). Termokromik bir sistem soğutulduğunda, benzer tersinir veya geri döndürülemez değişiklikler meydana gelebilmektedir (Vikova & Pechová, 2020, ss.2070-2071; Antonov, 2014; Periyasamy, Vikova & Vik. 2017, ss.53-136). Aynı zamanda termokromik geçiş sıcaklığı, renk değişiminin meydana geldiği spesifik sıcaklık olarak ifade edilmektedir. (Vikova et al., 2020). 1990'lardan itibaren tasarım alanında daha çok görmeye başladığımız termokromik boyarmaddeler tarihsel süreçte, 1970'li yıllardan itibaren gelişmeye başlamıştır ve t-shirtlerden, mama kaşıklarına, kahve fincanlarından oyuncaklara kadar geniş bir alanda kullanılmışlardır (Seçim & Akpınarlı, 2018, s.364; Kooroshnia, 2013). Ayrıca civalı termometre, termokulplu termometre ve kızılötesi termal görüntü gibi sıcaklık ölçümü için yaygın olarak kullanılan cihazlarla karşılaştırıldığında, termokromik malzemeler, sıcaklığı görsel sensörler olarak izleme yeteneğine sahiptir (Zhang, Fei, Zhang, Chen, Yi & Wang 2020, s.1). Özellikle, termokromik tekstiller, esneklikleri ve dış sıcaklık uyarılarına yanıt veren farklı renk değişimleri nedeniyle sıcaklık monitörleri olarak avantajlara sahiptir (Zhang et al., 2020: s.1; Cai, Yang, Pan, Cheng, Xia, Wang & Tang, 2018, ss.32726–32735; Lesar, Rao, Williams, Pantano, Ricci, Osher, Hetherington & Kawalec, 2017, ss.200–207). Termokromik materyallerin bu özellikleri giyilebilir cihazlar, bandajlarda ve çeşitli potansiyel uygulamalarda kendini göstermektedir (Zhang et al., 2020, s.1).

Termokromik malzemenin cinsine göre farklı mekanizmalar uygulanabilmekte olup, organik bileşik, inorganik bileşik, polimer ve sol-jel malzeme türlerinin termokromizm sergilediği bulunmuştur (Chowdhury, Joshi & Butola, 2014, s.115; Aitken, Burkinshaw, Griffiths & Towns, 1996, s.1). Bu malzeme türlerinden organik termokromik bileşikler ve inorganik termokromik bileşikler incelenecek olursa:

-Organik Termokromik Bileşikler: “Organik termokromik sistemler, fiberler, optikler, foto-depolama araçları ve optik sensörler gibi birçok uygulamada kullanılabilir. Organik bileşiklerdeki termokromik özellik, kristal yapıda değişim, stereoizomerizm ve moleküler yeniden düzenlenme (löyko boyarmadde) şeklinde olmaktadır. Organik bileşiklerde sıcaklık kontrol edilmesi kolaydır ve termokromik renk değişimi keskin bir şekilde olmaktadır” (Chowdhury et al., 2014, s.115).

Tekstilde daha çok sıvı kristal tip ve moleküler yeniden düzenleme (löyko boya) tipi bileşikler kullanılmaktadır (Zhang et al., 2018, s.705).

Chowdhury vd.'ne göre, tekstil uygulamasında sıvı kristal malzemenin mikrokapsüllenmesi gerekmektedir ve bu mikrokapsüller, uygun bir reçine bağlayıcı kullanılarak tekstil yüzeyine uygulanmaktadır. Bu yöntemle ayrıntılı renk efektleri elde edilebilse de, yüksek maliyet ve düşük renk yoğunlukları nedeniyle sınırlı tekstil uygulamaları olmaktadır.

Kapsüllenmiş termokromik boyalar ilk olarak plastik veya tekstil renklendiricileri içerisine karıştırılmıştır (Özkayalar, Aksoy, Tözüm & Alkan, 2020, ss.57; Periyasamy & Khanna, 2008). Özkayalar vd.'ne göre, dış ortam koşullarına karşı çok hassas olan termokromik boyanın korunmasında, termokromik sistemin sıvı fazda katı olarak tutulabilmesi, renk oluşturma sırasında üçlü sistemin homojen karışımının sağlanabilmesi ve bileşimin oranlarındaki değişimi önlemek için mikrokapsülasyon gereklidir.

Organik bileşikler içerisinde stereoizomerizm sergileyen bileşikler, erime noktalarının üzerinde, genellikle 150°C'nin üzerinde renk geliştirir. Bu nedenle tekstiller için termokromik renklendiriciler olarak uygun değillerdir (Chowdhury et al., 2014, s.116; Aitken et al., 1996, s.1).

Organik bileşikler içerisinde moleküler yeniden düzenleme sergileyen bileşikler tekstilde en çok löyko boyarmaddeler ile yapılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan löyko-boya tipi termokromik sistem, sıcaklık artışlarına maruz kaldığında renkliden renksize geri dönüşümlü bir değişime uğramaktadır (Chen & Huang, 2015, s.1; Bamfield, 2001).

Sahebkar vd.'ne göre, "löyko boya bazlı termokromik malzemeler normalde pH'a duyarlı bir organik boya, zayıf asidik bir renk geliştirici ve bir organik çözücüden oluşmaktadır. Çözücü faz değiştirdiğinde, boya ile geliştirici arasında elektron alışverişine izin vererek boyanın kimyasal yapısında değişikliğe ve dolayısıyla gözlenen renkte bir değişikliğe yol açmaktadır (Geng, 2018, ss.857-869). Kumaşlara uygulanmak üzere, kapsüllenmiş löyko boyalar geleneksel olarak boyanın bir bağlayıcı ile genellikle standart bir akrilik baskı patıyla karıştırılmasıyla uygulanmaktadır".

-İnorganik Termokromik Bileşikler: Chowdhury vd.'ne göre inorganik termokromik sistemler, renk değişimi yüksek sıcaklıkta veya çözelti halinde meydana geldiğinden tekstilde fazla kullanılmamaktadır. Ayrıca renkteki değişiklik geri döndürülemez özellikte olup, tekstilde uygulanabilmesi için,

boyama ve baskı uygulamasına uygun, tersinir, katı (veya kapsüllü) sistem olmaları gerekmektedir.

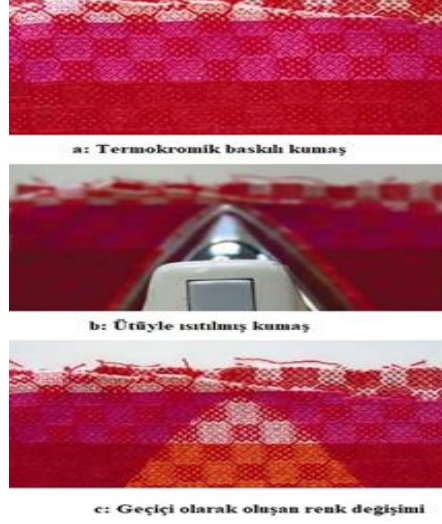
Uygulamaları arasında tıbbi tekstiller, giysiler için esnek iletişimsel ekran, koruyucu tekstiller, hassas malların taşınması vb. yer alan termokromik boyalar, geleneksel tekstil alanında tasarım efektleri ve fonksiyonel tekstil alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Karpagam, Saranya, Gopinathan, & Bhattacharyya, 2017, s.1122; Billah, Christie & Shamey, 2008, ss.223–228; Kulcar, Friskovec & Gunde, 2010; Meunier et al., 2011, ss.429-435). Tıbbi tekstil alanlarında termokromik boya ile yapılan giysiler, enfeksiyon varlığını ve giyen kişinin fizyolojik durumundaki değişikliği tespit etmek için kullanılabilir (Karpagam et al., 2017, s.1122). Yangın sektöründe de termokromik boyalar aşırı sıcaklıklarda vücuttan çıkan ısıyı yansıtmak için koruyucu giysilerde kullanılabilir (Tang & Stylios, 2006, ss.108-128; Karpagam et al., 2017, s.1122). Termokromik sistemlerin olası uygulama alanlarından biri de uyarlanabilir kamuflaj üretimi olup, bu alanda yapılmış örnek çalışma Şekil 6.'da görülmektedir (Vikova & Pechová, 2020: 2071).



Şekil 6. Uyarlanabilir kamuflaj çalışması (Vikova & Pechová, 2020, s.2074)

Termokromizm, tekstil alanında bazı tasarımcılar tarafından kullanılmaktadır, bunlar:

- Linda Worbin tarafından tasarlanan üründe, iki renkli dokuma kumaş kullanılmaktadır. İki farklı kumaş üzerine termokromik olarak tek renkli serigrafî baskı yapılmasıyla ürün elde edilmektedir. Üründe beyaz ve kırmızı ipliklerden oluşan iki renkli dokuma kumaş üzerine bazı desenler yapılmıştır. Üstte kırmızı termokromik baskı yapılırken ısınan bölgelerde küçük bir dokuma yapısı oluşmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Linda Worbin tarafından yapılan termokromik ürün (Worbin, 2006, s.61)

- İtalyan Stone Island firması tarafından ısıya duyarlı ipliklerle üretilen Ice koleksiyonunda, sıcaklığa göre kazakların renkleri değişebilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Stone Island firmasına ait ice koleksiyonu (Pazarlamasyon, 2023)

- Zane Berzina tarafından yapılan “Touch Me” isimli termokromik duvar kağıdı ev/mekan tekstili alanında dikkat çekmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Zane Berzina tarafından yapılan Touch Me isimli termokromik duvar kağıdı (Highlike, 2023)

- Maggie Orth tarafından yapılan “Running Plaid” isimli termokromik çalışmada, tek bir tekstilde farklı renkleri ve desenler nasıl ortaya çıkarabilmektedir. Çalışmada, dokuma iletken iplikler, çift örgülü yapının ön ve arka tarafı arasında dönüşümlü olarak yer almaktadır, böylelikle termokromik boya ısıtılıp farklı desen görünümleri elde edilebilmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Maggie Orth tarafından yapılan “Running Plaid” isimlik termokromik çalışma (Maggiorth, 2007)

- Joanna Berzowska tarafından yapılan termokromik dekoratif tasarımda, elektronik tekstiller ve kromik uygulamalar bir arada kullanılmaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Joanna Berzowska tarafından yapılan “Shimmerin Flower” isimli çalışma (Berzowska, 2015, s.70)

- Angel Chang’a ait tasarımda vücut ısısıyla renk değiştiren tekstil uygulaması görülmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Angel Chang’a ait termokromik tasarım çalışması (Livingit-group2, 2012)

- Radiate Athletics tarafından geliştirilen üründe, vücudun ısınan yerleri renk değiştirerek kendini t-shirt üzerinde gösterebilmektedir. Böylelikle spor faaliyetlerinde vücudun hangi kısımlarının daha çok çalıştığı görülebilmektedir (Şekil 13).



Şekil 13. Radiate Athletics firması tarafından geliştirilen termokromik spor kıyafeti (Donanimhaber, 2013)

- Kuzey Kutup Buzullarındaki erimeye dikkat çekmek üzere tasarlanan termokromik t-shirt uygulamasında, 1980'den 2009 yılına kadar sıcaklık artışı ile olan buzul erimesi gösterilmektedir (Şekil 14).



Şekil 14. Termokromik t-shirt (Polar Ice Cap shirt) (Unifiedmanufacturing, 2023)

4. TERMOKROMİK BASKI TASARIMI UYGULAMASI

4.1. Materyal

Çalışmada kullanılan makine ve malzemelere ait bilgiler Tablo 2.'de yer almaktadır.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan makine ve malzemeler

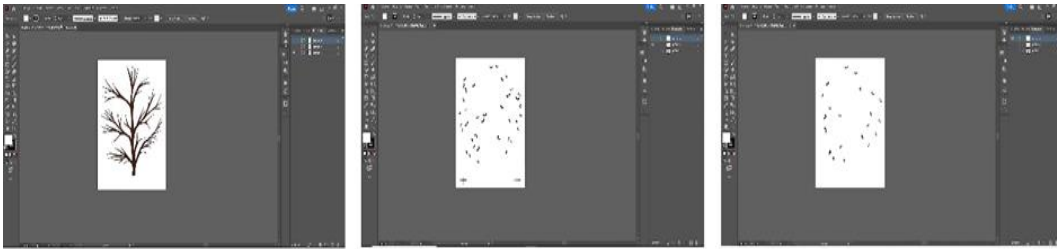
Malzeme Adı	Makine/Malzeme Özellikleri
Termokromik Boyarmadde	Turuncu renk (31°C), yeşil renk (31°C)
Sublimasyon Boyarmadde	Epson L1300 ink-jet yazıcı için siyah, sarı, mavi ve kırmızı renklerde sublimasyon ink-jet boyarmadde
Kumaş	1 metre, %100 poliester, kadife, beyaz renk,
Kasnak	1 adet
Yazıcı	1 adet Epson L1300 model sublimasyon yazıcı, 1 adet Epson L1800 model ink-jet yazıcı
Bilgisayar	1 adet Lenova marka
Çizim programı	1 adet Adobe Illustrator vektörel çizim programı
Transparan film	2 adet A4 boyutunda transparan film.
Transfer kağıdı	1 adet, A4 boyut, sublimasyon kağıdı
Transfer baskı presi	1 adet
İpek germe makinesi	1 adet elek bezi germe makinesi.
Pozlama makinesi	1 adet film pozlama makinesi.
Kurutma makinesi	1 adet Black&Decker marka.
Yıkama makinesi	1 adet şablon yıkama makinesi.
Baskı masası	1 adet
Elek bezi	1 metre, 77T mesh, bezayağı, %100 polyester.
Emülsiyon	Saati Grafic Pu marka hazır emülsiyon.
Ragle	1 adet 25 cm ragle.
Şablon	2 adet 365 x 480 mm boyutunda alüminyum şablon.
Hazır açma patı	200 gr

4.2. Yöntem

Yapılan çalışmada, akıllı tekstiller, kromik materyaller ve termokromik tekstiller hakkında literatür taraması yapılmış olup, termokromik tekstillerin kullanımları hakkında detaylı araştırmalarda yapılmıştır. Çalışmada yapılan tasarım yönteminde, düz film baskı ve transfer baskı tekniklerinden yararlanılmıştır. Çalışmada yapılan tasarıma ait sonuçlar nitel gözlem yoluyla değerlendirilmiştir.

Çalışmada uygulanan işlemler aşağıdaki sırayla yapılmaktadır:

1-Adobe Illustrator programı ile bilgisayarda desenlerin çiziminin yapılması: Hazırlanan figür kahverengi ağaç, turuncu yapraklar ve yeşil yapraklar olarak üç kısımdan oluşmaktadır. Bu nedenle her bir kısım tek bir illüstrasyon çalışma sayfasında çizildikten sonra renklerine göre ayrı sayfalara ayrılmıştır. Çalışmada yer alan kahverengi ağaç figürü çiziminde Pixabay web sitesi resminden faydalanılmıştır (Pixabay, 2023) (Şekil 15).



a: Kahverengi ağaca ait vektörel çizim

b: Turuncu yapraklara ait vektörel çizim

c: Yeşil yapraklara ait vektörel çizim

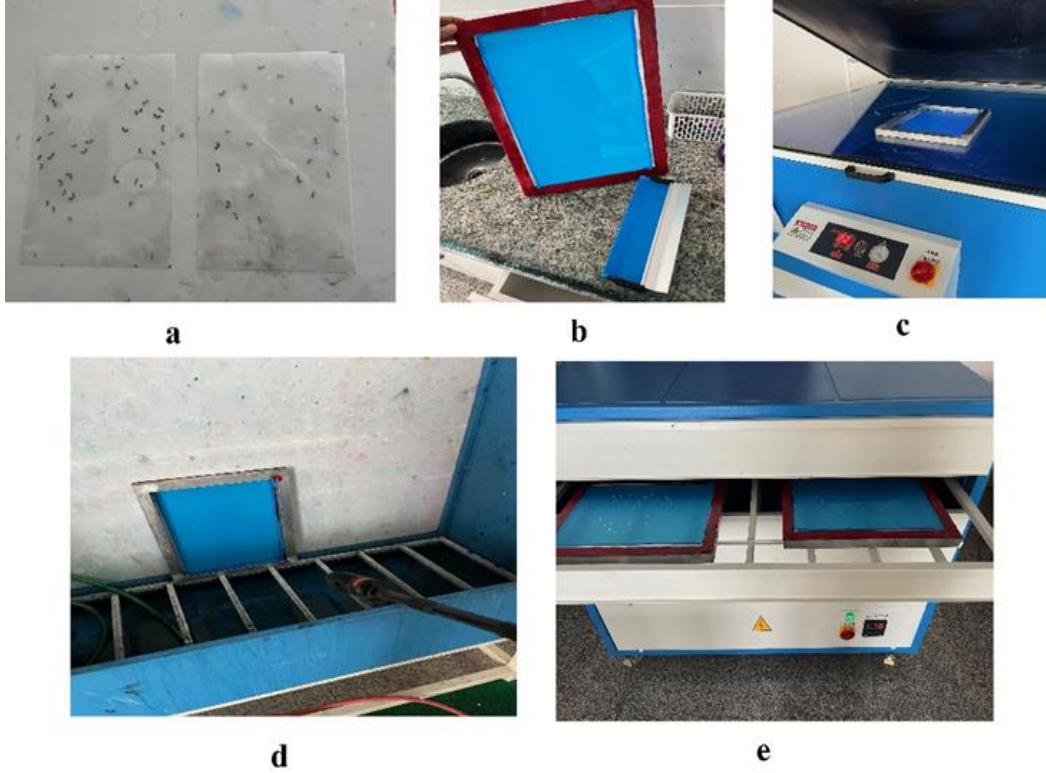
Şekil 15. Figürlerin Adobe Illustrator programında çizilmesi

2-Bilgisayarda çizimi yapılan düz film baskıya ait desenlerin yazıcıdan çıktı alınması: Bu aşamada vektörel olarak çizimleri yapılan desenlerden yeşil ve turuncu renkli yaprak çizimleri, L1800 ink-jet yazıcıdan A4 boyutlu transparan filmler üzerine çıktıları alınmaktadır (Şekil 16/a).

3-Işığa duyarlı emülsiyonun hazırlanan iki çerçeveye sürülmesi ve çerçevelerin kurutulması: Diazosu içerisinde hazır bulunan emülsiyon her iki çerçeveye içten ve dıştan olmak üzere tek kat olarak sürülmektedir (Şekil 16/b). Emülsiyon sürülmesinden sonra çerçeveler 10 dk süresince 40°C'de kurutulmak üzere kurutma fırınında bekletilmektedir.

4-Kurutulan çerçevelere ayrı ayrı yaprak desenli transparan film çıktılarının pozlanması: Her bir çerçeve üzerine yeşil ve turuncu renkler için alınan transparan filmler ayrı ayrı yerleştirildikten sonra 30 sn vakumlama ve 22 sn pozlama süresince pozlama işlemi yapılmaktadır (Şekil 16/c).

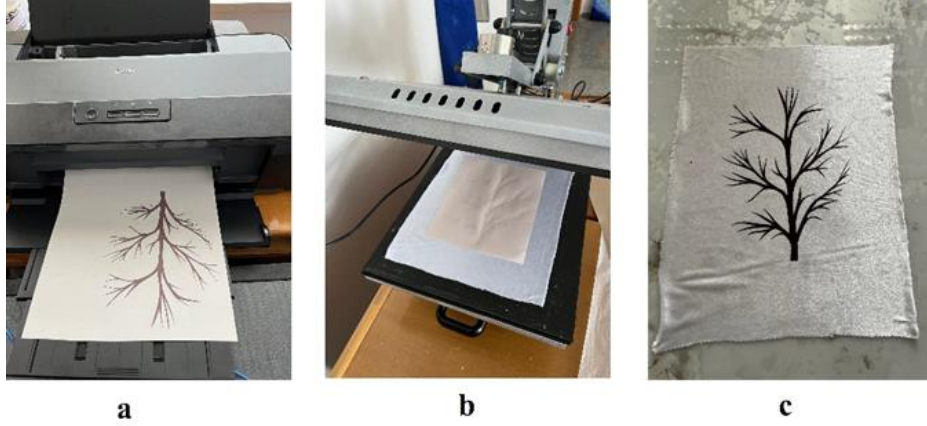
5-Yıkama ve kurutma: Pozlama işlemi yapılan çerçeveler üzerinde baskı patı geçecek kısımların ortaya çıkarılması amacıyla basınçlı su ile yıkama işlemi yapılmaktadır (Şekil 16/d). Daha sonra yıkama işlemi biten çerçeveler 40 °C'de 10 dk süresince kurutma fırınında kurutulmaktadır (Şekil 16/e).



Şekil 16. Düz film baskı ön aşamaları

6-Bilgisayarda çizimi yapılan transfer baskıya ait desenin yazıcıdan çıktı alınması: Bu aşamada kahverengi renk ağaç çiziminin L1300 sublimasyon yazıcı ile sublimasyon boyaya duyarlı A4 boyutunda kağıda çıktısı alınmaktadır (Şekil 17/a).

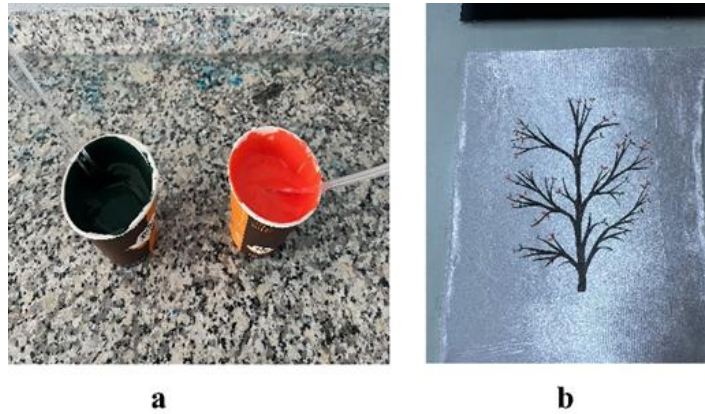
7-Sublimasyon kağıda çıktıları alınan desenlerin baskısının yapılması: Poliester olan kadife beyaz kumaş transfer baskı presine yerleştirildikten sonra, transfer baskı presi sıcaklığı 190 °C ve süresi 90 sn olacak şekilde ayarlanmaktadır. Transfer baskı presi ayarlanan sıcaklığa geldiğinde hazırlanan transfer baskı kağıdı ön yüzü kumaşa bakacak şekilde ve yerleşim yerlerine dikkat ederek basılmaktadır. (Şekil 17/b,c).



Şekil 17. Transfer baskı ön aşamaları

8-Düz film baskı işleminin yapılması: Kahverengi ağaç figürü transfer baskı ile beyaz kadife kumaş üzerine basıldıktan sonra önce turuncu renk daha sonra yeşil renk için düz film baskı işlemi yapılmaktadır. Bu amaçla ilk olarak baskı patları %4'lük termokromik boyarmadde içerecek şekilde her bir renk için ayrı ayrı hazırlanmaktadır (Şekil 18/a). Daha sonra ilk olarak turuncu renk için baskı işlemi ve ardından fikse işlemi yapılmaktadır. Turuncu rengin baskı ve fikse işlemi bittikten sonra yeşil renk içinde aynı aşama uygulanıp nihai ürün elde edilmektedir (Şekil 18/b).

Baskılarda kumaş esnemesinden kaynaklı renk oturtma problemleri olacağına gözlendiği durumlarda, ilgili kısım çerçeve üzerinde bantlama ile kapatılarak o kısım baskıdan çıkartılmış veya o kısım ayrıca bölgesel olarak baskı işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 18. Düz film baskı patı (a) ve nihai ürün (b)

9-Nihai ürünün sıcaklık artışı ile renk değişiminin gözlenmesi: Baskı işlemi biten ürün 31°C'nin üzerindeki sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra üzerinde yer alan termokromik yeşil ve turuncu renklerin kaybolup kaybolmadığına bakılmaktadır (Şekil 19/a,b).



Şekil 19. Sıcaklık artışı ile termokromik değişimin gözlenmesi

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Uygulama sıralarına göre işlem basamakları değerlendirilecek olursa, Adobe Illustrator vektörel çizim programında çizimi yapılan ağaç ve yaprak desenlerinde, ağaç kısmı transfer baskı yapılacak şekilde kahverengi renkli, yapraklar ise düz film baskı ile mevsim geçişi etkisini gösterebilmek adına yeşil ve turuncu renkli olarak seçilmiştir. Yaprakların termokromik boyarmadde ile oluşturulmasının sebebi meydana gelecek renk değişim estetik etkisini en iyi yapraklarda görülebilecek olmasıdır. Vektörel çizimleri yapılan desenlerin baskı tekniğine göre işlem basamakları uygulanmıştır. Gerek düz film baskıda olsun gerek transfer baskıda olsun kullanılan kumaş türünün baskı sonucuna önemli etkisi olmaktadır. Çalışmada beyaz polyester kadife kumaş kullanılmış olup, bu kumaşın parlak bir görüntüye olması estetik açıdan tercih edilme nedenleri arasında yer almaktadır. Transfer baskı aşamasında, pres tarafından uygulanan yüksek basınç ve sıcaklık kumaş yüzeyinin düzleşmesine ve bir miktar açılmasına/genişlemesine sebep olmaktadır. Transfer baskı aşamasında kağıdın yerleşim ayarlamasının, transfer baskı presinin optimum sıcaklık, süre ve basınç ayarlarının düzgün

yapılması çok önemlidir. Burada yapılacak olan hata, baskı kalitesine direkt yansiyabilmektedir. Transfer baskıdan sonra düz film baskı aşamasında yüksek bir basınç uygulama imkanı teknik gereği mümkün olmadığından, desen oturtmada bazı problemler oluşabilmektedir. Bu problemlerin giderilmesinde kumaş kayma önleyici yapışkan sprey kullanımı, çerçeve altında kumaşın daha çok açılmaya/genişletilmeye çalışılması, bazı çok kayma yapan desen yerlerinin çerçeve üzerinde bantla kapatılarak baskı yapılmaması veya bu kayma olan yerlerin bantla kapatıldıktan sonra bireysel olarak istenilen bölgeye baskının daha sonra yapılması uygulamaları kullanılabilir. Düz film baskı aşamasında öncelikle termokromik turuncu renk basılıp fikselenmiş daha sonra ise termokromik yeşil renk basılarak fikselenmektedir. Her iki rengin baskı aşamasında iki ragle geçişi uygulanarak termokromik boyarmaddenin yüzeyde iyice yer alması sağlanmaya çalışılmaktadır. Renklerin uygulanma sırası seçiminde, turuncu rengin daha açık bir renk olması nedeniyle öncelik açık olan renge verilmektedir.

Tüm aşamalar bittikten sonra son hale getirilmiş olan ürün 31°C üzerine ayarlanmış kurutma tabancası ile ısıya maruz bırakılmış ve sıcaklık artışı ile termokromik boyarmadde ile basılan renklerin hızlıca kaybolduğu ve soğutulduğunda ise tekrar hızlı bir şekilde ortaya çıktığı gözlenmiştir.

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Yapılan uygulama çalışması üzerinde, kurutma tabancası ile 31°C'nin üzerinde sıcaklık uygulaması yapıldığı an termokromik yeşil ve turuncu renklerin ani şekilde rengini kaybederek yok olduğu (Şekil 19), sıcaklık uygulamasının kaldırıldığı an da ise termokromik turuncu ve yeşil renklerin tekrar eski haline çok kısa süre içerisinde (1 sn) döndüğü gözlenmektedir. Isı uygulaması esnasında transfer baskı ile oluşturulan kahverengi ağaç deseninde herhangi bir bozulma olmadığı ve termokromik etkinin ısıya bağlı olarak ölçülemeyecek kadar çok sayıda tekrarlanabildiği görülmektedir. Yapılan nitel gözlemler neticesinde ısı altında termokromik uygulamaların çok dikkat çekici renk değişimleri oluşturduğu ve termokromik ürünlerin ihtiyaç duyulan yere göre, gerek estetik gerekse fonksiyonel amaçlarla kullanılabilirleri sonucuna ulaşılmaktadır. Çalışmada sublimasyon transfer baskı ile termokromik boyarmadde kullanılan düz film baskının birlikte uygulanması sonucunda baskılı ürün tasarımı elde edilmektedir. Mevcut çalışmalarda, sublimasyon transfer baskı ve termokromik boyarmadde kullanılan düz film baskının birlikte uygulanmasına yönelik araştırmaların oldukça az sayıda olduğu gözlenmektedir. Bu yönüyle çalışmanın, farklı

baskı tekniklerinin birarada kullanılmasının görülmesi ve incelenmesi açılarındanda farklılık taşıdığı düşünülmektedir.

Çalışma sonucundan da görüleceği üzere termokromik tekstiller özel ürünlerdir. Termokromik uygulamalar, sağlıktan paketlemeye, otomotivden tekstile birçok alanda kullanılabilir. Günümüzde giderek artan rekabet koşullarında, termokromik materyallerin tekstilde kullanılması ile gerek tekstil sektörüne gerekse ülke ekonomisine pozitif katkı sağlanabileceği düşünülmektedir. Çalışmada termokromik boyarmaddelerin düz film baskı tekniği ile uygulanabileceği ve buna ek olarak konvansiyonel boyarmaddelerin kullanıldığı transfer baskısında aynı tasarım uygulamasına entegre edilebileceği gösterilmektedir. Termokromik boyarmaddelerle birlikte konvansiyonel boyarmaddelerin, tek bir tasarım üzerinde farklı baskı teknikleri kullanılarak uygulanmasıyla, çok farklı ve albenisi daha yüksek tasarımlar oluşturulabileceği düşünülmektedir. Yapılan bu çalışma sonucunda, tekstil ve moda alanında çalışan kişilerin termokromik tekstil uygulamaları hakkında daha çok bilgi sahibi olması, yapılacak olan tasarımlarda, katma değeri daha yüksek olabilen termokromik uygulamalara daha çok yer verilmesi ve bunların sonucu olarakda ülke ekonomisine ve tekstil sektörüne yönelik katkı sağlanması hedeflenmektedir.

7. SUMMARY

Thermochromic materials are substances that change color when there is a temperature variation, particularly exhibiting color changes at specific temperatures. They are essentially thermochromic colorants capable of reversible or irreversible alterations when a thermochromic system is cooled. These characteristics of thermochromic materials manifest themselves in wearable devices, bandages, and various potential applications. In this study, smart textiles, chromic materials and thermochromic textiles are explained and a sample textile printing design application that can be made using thermochromic dyestuffs is shown together with the stages. As a result of the study, it is aimed that people working in the textile industry have more information about thermochromic dyestuffs and it is shown that specific products with much higher added value can be produced in textile design by using special materials such as thermochromic.

Textiles encompass products that have been present in our lives throughout human history, serving predominantly as a means of protection from external environmental conditions, as well as functioning as an aesthetic tool. Parallel to the historical progression of humanity, advancements have also been made in the field of textiles, expanding beyond the need for

protection to encompass textile products within the realms of fashion and functional items.

In recent years, significant advancements in the fields of industry and technology have also impacted the textile sector. The influence of these advancements has led to the emergence of innovative products, which are now referred to as smart textiles. Smart textiles are products that can receive external stimuli to adapt to changes in their environment and respond accordingly. These materials possess the ability to react to various physical stimuli such as light, pH, temperature, different polar solvents, chemicals, and electricity, enabling them to interact with their surroundings.

Smart textiles are virtually ubiquitous in today's world, making their presence felt across nearly every domain. From smart baby textiles that can alert parents to firefighter suits capable of measuring vital signs, and from specialized space suits to jackets that can play MP3s, we can observe the influence of smart textiles in various fields. Ongoing research particularly focuses on the utilization of smart textiles in the realms of health and medicine, encompassing applications such as wound care products, surgical sutures, prosthetics, bandages, plasters, and healthcare personnel uniforms.

A wide range of materials can be used in the production of smart textiles. Among the materials used in the production of smart textiles, chromic materials with the ability to change color stand out. Chromic materials are a collective term for substances that change color in response to external stimuli. Textiles produced using chromic materials also possess the ability to change color based on design characteristics. Chromic materials undergo color changes due to various external factors such as light, temperature, humidity, and more. Chromic substances capable of color changes through temperature fluctuations are referred to as thermochromic materials.

This study provides information about chromic materials and thermochromic substances, along with showcasing examples of their usage in textiles. The study demonstrates a practical example of thermochromic printing design, utilizing techniques such as transfer printing and screen printing, with step-by-step illustrations. Through qualitative observations conducted during the application, it is evident that thermochromic applications generate captivating color changes when subjected to heat, and these thermochromic products can be utilized for both aesthetic and functional purposes, depending on the intended use. The aim of this study is to enhance the knowledge of individuals in the textile sector about thermochromic colorants and to highlight the potential for creating significantly higher value-

added, specialized products in textile design by employing unique materials like thermochromic substances.

8. KAYNAKLAR

- Aitken, D., Burkinshaw, S. M., Griffiths, J. & Towns, A. D. (1996). Rev. prog. *Coloration*, 26, 1.
- Antonov L. (2014). *Tautomerism: Methods and theories*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co..
- Bamfield, P. (2001). *Chromic phenomena: technological applications of colour chemistry*, Cambridge: RSC Publishing.
- Behera, A. (2022). *Advanced materials*. USA: Springer Nature Switzerland AG.
- Berzowska, J. (2015). Electronic textiles: wearable computers, reactive fashion, and soft computation. *Textile The Journal of Cloth and Culture*, 3(1), 58-74.
- Billah, S. M. R., Christie, R. M., & Shamey, R. (2008). Direct Coloration Of Textiles With Photochromic Dyes. *Part 1: Application Of Spiroindolinonaphthoxazines As Disperse Dyes To Polyester, Nylon And Acrylic Fabrics. Coloration Technology*, 124 (4), 223–228.
- Billah, S.M.R. (2014). Smart textiles and the effective uses of photochromic, thermochromic, ionochromic and electrochromic molecular switches. Mondal, İ.H. (Editör) *Textiles history, properties and performance and applications* içinde. USA: Nova.
- Bing(2023).Fiber2fashion. 18 Şubat 2023 tarihinde <https://static.fibre2fashion.com/ArticleResources/Images/69/6862/smart-and-interactive-big.jpg>–Bing adresinden erişildi.
- Cai, G., Yang, M., Pan, J., Cheng, D., Xia, Z., Wang, X. & Tang, B. (2018). Large-scale production of highly stretchable cnt/cotton/spandex composite yarn for wearable applications. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 10 (2018), 32726–32735.
- Chen, H. J. & Huang, L. H. (2015). An investigation of the design potential of thermochromic home textiles used with electric heating techniques. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*, (2015), 1-5.
- Chika, Y-B. & Adekunle, S.A. (2017). Smart fabrics-wearable technology. *International Journal Of Engineering Technologies And Management Research*, 4(10), 78-98.
- Chowdhury, M. A., Joshi, M. & Butola, B. S. (2014). Photochromic and thermochromic colorants in textile applications. *Journal Of Engineered Fibers And Fabrics*, 9(1), 107-123.
- Corder, R. (2016). Connected smart technology set to be sewn into clothing for the elderly. care home professional. 26 Şubat 2023 tarihinde <https://www.carehomeprofessional.com/connected-smart-technology-set-to-be-sewn-into-clothing-for-the-elderly-2/> adresinden erişildi.

- Çelikel, D.C. (2020). Smart e-textile materials. Tasaltin, N., Nnamchi, P.S. & Saud, S. (Editör) *Adv. funct. mater.* içinde. London: IntechOpen. intechopen.87879.
- Donanimhaber (2013). Vücut sıcaklığına göre renk değiştirebilen kıyafet teknolojisi, "radiate". 20 Mart 2023 tarihinde <https://www.donanimhaber.com/Vucut-sicakligina-gore-renk-degistirebilen-kiyafet-teknolojisi-Radiate--44906> adresindne erişildi.
- Dr-hempel-network (2018). The age of smart fabrics | smart textiles in healthcare. 19 Şubat 2023 tarihinde <https://www.dr-hempel-network.com/digital-health-technology/smart-textiles-in-healthcare/> adresindn erişildi.
- El-Khodary, E., Gebaly, B., Rafaat, E. & AlSalmawy, A. (2020). Critical review on smart chromic clothing. *Journal Of Design Sciences And Applied Arts*, 1(1), 90-95.
- Erdem İşmal, Ö. & Yüksel, E. (2016). Tekstil ve moda tasarımına teknolojik bir yaklaşım: akıllı ve renk değiştiren tekstiller. *Yedi Sanat, Tasarım ve Bilim Dergisi*, 16, 87-98.
- Ferri, A., Plutino, M.R. & Rosace, G. (2019). Recent trends in smart textiles: wearable sensors and drug release systems. *AIP Conference Proceedings*, 2145(1), 020014-1-7.
- Geng X, Li W, Yin Q, Wang, Y., Han, N., Wang, N., Bian, J. Wang, J. & Zhang, X.(2018). Design and fabrication of reversible thermochromic microencapsulated phase change materials for thermal energy storage and its antibacterial activity. *Energy*, 159, 857–869.
- Gere, C. & Rudoe, J. (2010). *Jewellery in the age of queen victoria: a mirror to the world*. London: The British Museum.
- Hassabo, A.G., Bakr, M., Zayed, M. & Othman, H.A. (2023). Chromic dyes for smart textile: a review. *Letters In Applied Nanobioscience*, 12(4), 1-12.
- Highlike (2023). Zane berzina. 23 Mart .2023 tarihinde <https://highlike.org/text/zane-berzina/> adresindn erişildi.
- Hu, J. & Lu, J. (2014). Smart polymers for textile applications. Aguilar, M. R. & Roman, J. S. (Editör) *Smart polymers and their applications* içinde (ss.437-475). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Jensen, J., Hösel, M., Dyer, A.L. & Krebs, F.C. (2015). Development and manufacture of polymer-based electrochromic devices. *Advanced Functional. Materials*, 25, 2073 – 2090.
- Karpagam, K. R., Saranya, K. S., Gopinathan, J. & Bhattacharyya, A. (2017). Development of smart clothing for military applications using thermochromic colorants. *The Journal of The Textile Institute*, 108(7), 1122-1127.
- Khattab, A., Rehan, M., & Hamouda, T. (2018). Smart textile framework: photochromic and fluorescent cellulosic fabric printed by strontium aluminate pigment. *Carbohydrate Polymers*, 195, 143–152.
- Kline, W.M., Lorenzini, R.G. & Sotzing, G.A. (2014). A review of organic electrochromic fabric devices. *Coloration Technology*, 130, 73 – 80.

- Kooroshnia, M. (2013). Leuco dye-based thermochromic inks: recipes as a guide for designing textile surfaces. *13th Autex World Textile Conference kitabı içinde*. Germany.
- Kulcar, R., Friskovec, M., & Gunde, M. K. (2010). Thermochromic inks – dynamic colour possibilities. *CREATE Conference kitabı içinde*, Norway.
- Laforgue, A., Rouget, G., Dubost, S., Champagne, M.F. & Robitaille, L. (2012). Multifunctional resistive-heating and color-changing monofilaments produced by a single-step coaxial melt-spinning process. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 4, 3163 – 3168.
- Lesar, J. D., Rao, N. M., Williams, N. M., Pantano, J. P., Ricci, M. L., Osher, L. S. Hetherington, V. J. & Kawalec, J. S. (2017). A novel thermochromic liquid crystal fabric design for the early detection of high-risk foot complications: a proof-of-concept study. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 107 (2017), 200–207.
- Li, K., Zhang, Q., Wang, H., & Li, Y. (2014). Red, green, blue (rgb) electrochromic fibers for the new smart color change fabrics. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 6, 13043 – 13050.
- Livingit-group2 (2012). Angel chang. 22 Mart 2023 tarihinde <http://livingit-group2.blogspot.com/2012/05/angel-chang.html> adresinden erişildi]
- MaggieOrth (2007). Running plaid. 23 Mart 2023 tarihinde http://www.maggieorth.com/art_RunningPlaid.html adresinden erişildi.
- Marvin, C. (1990). *When Old Technologies Were New: Thinking About Electric Communication in the Late Nineteenth Century*. USA: Oxford University Press.
- Maximize Market Research (2022). Smart textile market: global challenges, market analysis and forecast 2029. 26 Şubat 2023 tarihinde <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-smart-textile-market/28970/> adresinden erişildi.
- Mecnik, V., Hoerr, M., Krievins, I. & Schwarz, A. (2014). Smart Textiles for Healthcare: Applications and Technologies, *Rural Environment Education Personality bildiriler kitabı içinde* (ss. 150-161). Jelgava.
- Merati, A.A. (2014). Smart textiles. Monda, I.H. (Editör). *Textiles içinde*. (239-257).
- Meriç, D. (2016). Akıllı *Tekstillerin Ürün Tasarımında Kullanım Olanakları ve Moda Tasarımına Yönelik Uygulamalar*. Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Meunier, L., Kelly, F.M., Cochrane, C. & Koncar, V. (2011). Flexible displays for smart clothing: part ii- electrochromic displays. *Indian Journal of .Fibre & Textile Research*, 36, 429-435.
- Mohamed, M., El-Aty, M.A., Moawaed, S.S., Hashad, A.M.E, Abd-Elaziz, E., Othman, H.A. & Hassabo, A.G. (2022). Smart textiles via photochromic and thermochromic colorant. *Journal of Textiles. Coloration and Polymer Science*, 19(2), 235-243.
- Morsümbül, S. & Kumbasar Akcakoca, E.P. (2019). Photochromic textile materials. *Aegean International Textile and Advanced Engineering Conference kitabı içinde* (ss. 1-5), Bristol: Iop Publishing.

- Özkayalar, S., Aksoy, S. A., Tözüm M. S. & Alkan, C. (2020). Tekstil uygulamaları için fluoran boyalar içeren termokromik sistemlerin poli(metil metakrilat) duvar ile mikrokapsülasyonu. *Tekstil ve Mühendis*, 27(118), 56-63.
- Pakolpakçıl, A., Karaca, E. & Becerir, B. (2018). Halokromik akıllı tekstil yüzeyleri ve tıbbi amaçlı kullanım olanakları. *Tekstil ve Mühendis*, 25(111), 216.
- Pazarlamasyon (2017). Stone island'dan ısı ile renk değiştiren kazak koleksiyonu: ice. 23 Mart 2023 tarihinde <https://www.pazarlamasyon.com/stone-islanddan-isi-ile-renk-degistiren-kazak-koleksiyonu-ice> adresinden erişildi.
- Peng, H., Sun, X., Cai, F., Chen, X., Zhu, Y., Liao, G., Chen, D., Li, O., Lu, Y., Zhu, Y. & Jia, Q. (2009). Electrochromatic carbon nanotube/polydiacetylene nanocomposite fibres. *Nature Nanotechnology*, 4, 738 – 741.
- Periyasamy, S. & Khanna, G. (2008). *Thermochromic Colors in Textiles. Engineering.*
- Periyasamy A. P, Vikova, M & Vik M. (2017). A review of photochromism in textiles and its measurement. *Text Prog*, 49, 53-136.
- Pixabay (2023). Gdj. 28 Ocak 2023 tarihinde <https://pixabay.com/tr/vectors/a%c4%9fa%c3%a7-bitki-bitki-%c3%b6rt%c3%bcs%c3%bc-do%c4%9fa-2069726/> adresinden erişildi.
- Provin, A.P., A. Regina de Aguiar Dutra, Machado, M.M. & Vieira Cubas, A.L. (2021). New materials for clothing: rethinking possibilities through a sustainability approach – a review. *J. Clean. Prod.* 282, 124444.
- Ramlow, H., Andrade, K.L. & Immich, A.P.S. (2021). Smart textiles: an overview of recent progress on chromic textiles. *The Journal Of The Textile Institute*, 112(1), 152-171.
- Sahebkar, K., Indrakar, S., Srinivasan, S., Thomas, S. & Stefanakos, E. (2022). Electrospun microfibers with embedded leuco dye-based thermochromic material for textile applications. *Journal of Industrial Textiles*, 51(2S), 3188S-3200S.
- Sasmal, A.K. ve Pal, T. (2021). Chromism of chemical compounds. *Journal of the Indian Chemical Society*, 98, 100073, 1-4.
- Seçim, E., & Akpınarlı, F. (2018). Teknoloji kavramının tekstil malzemelerine getirdiği yenilikler; renk değiştiren tekstiller. *Asos Journal The Journal of Academic Social Science*, 6(78), 362-371.
- Shahid, M. & Adivarekar, R. (2020). *Advances In Functional Finishing Of Textiles*. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Shaheen, T.I. (2022). Nanotechnology for modern textiles: highlights on smart applications. *The Journal Of The Textile Institute*, 113(10), 2274-2284.
- Silva de Oliveira, C.R., Henrique da Silva Júnior, A., Serafini Immich, A.P. & Fiates, J. (2022). Use of advanced materials in smart textile manufacturing. *Materials Letters*, 316(2022), 1-5.
- Syduzzaman, M., Sarif, U.P., Farhana, K. & Sharif, A. (2015). Smart textiles and nano-technology: a general overview. *Textile Science & Engineering*, 5(1), 1-7.

- Tang, S. L. P., & Stylios, G. K. (2006). An overview of smart technologies for clothing design and engineering. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 18, 108–128.
- Tsunashima R, Long D-L, Endo T, Noro S, Akutagawa T, Nakamura T, Cabrera RQ, McMillan PF, Kogerlere P & Cronin L. (2011). Exploring the thermochromism of sulfite-embedded polyoxometalate capsules. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 13, 7295–7297.
- Unifiedmanufacturing, 2023. Now you see it, now you don't: 8 awesome thermochromic designs. 23 Mart 2023 tarihinde <https://www.unifiedmanufacturing.com/blog/thermochromic-designs/> adresinden erişildi.
- Van der Schueren, L & De Clerck, K. (2012). Coloration and application of pH-sensitive dyes on textile materials. *Coloration Technology*, 128, 82-90.
- Vikova, M. & Pechová, M. (2020). Study of adaptive thermochromic camouflage for combat uniform. *Textile Research Journal*, 90(17-18), 2070-2084.
- Weng, W., Chen, P., He, S., Sun, X. & Peng, H. (2016). Smart electronic textiles. *angewandte chemie, International Edition*, 55, 6140-6169.
- Worbin, L. (2006). Textile disobedience when textile patterns start to interact. *Textile Journal*, 51-69.
- Zhang, Y., Hu, Z., Xiang H., Zhai, G. & Zhu, M. (2018). Fabrication of visual textile temperature indicators based on reversible thermochromic fibers. *Dyes and Pigments*, 162(2019), 705-711.
- Zhang, W., Fei, L., Zhang, J., Chen, K., Yi, Y. & Wang, C. (2020). Durable and tunable temperature responsive silk fabricated with reactive thermochromic pigments. *Progress in Organic Coatings*, 147(2020), 1-9.

Çatışma beyanı: Araştırmada herhangi bir kişi ya da kurum ile finansal ya da kişisel yönden bağlantı bulunmamaktadır. Araştırmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Destek ve teşekkür: Çalışmada herhangi bir kurum ya da kişiden destek alınmamıştır.