

İç Mekanda Kullanılan Teknik Tekstillerin Yenilikçi Üretim Yöntemlerine Endüstri 4.0 Çerçevesinden Genel Bir Bakış

Tuğba Beratoğlu^a, Damla Altuncu^b

^a Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Orcid no:
0009-0008-2156-4020

E-mail: tugbaberatoglu@gmail.com

^b Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Orcid no:
0000-0001-5276-2275

E-mail: damla.altuncu@msgsu.edu.tr

Araştırma makalesi

Özet

21. yüzyılda bilim ve teknolojinin hızlı gelişmesi ve bu gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan "Endüstri 4.0" kavramı teknik tekstil sektöründe yenilikçi bir dönüşüme neden olmaktadır. Bu dönüşüm çerçevesinde iç mekânda kullanılan teknik tekstilin önemi giderek artmaya başlamıştır. Ancak yüksek performans özellikleri ile öne çıkan teknik tekstillerin iç mekân kullanımının yaygınlaşması için tasarım, sürdürülebilirlik ve insan sağlığına etki konularındaki bilimsel çalışmaların genişletilmesi gerekmektedir. Bu nedenle teknik tekstillerin mevcut özelliklerine ve üretim tekniklerine yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Geliştirilen yenilikçi üretim yöntemleri ile iç mekân teknik tekstillerin çok yönlü bir malzeme olarak kullanılabilmesi öngörülmektedir. Bu amaç ile çalışmada tekstil Endüstri 4.0 çerçevesinde gelişen akıllı, verimli ve sürdürülebilir üretim anlayışı iç mekân teknik tekstilleri ekseninde araştırılmıştır. Araştırma kapsamında ulusal ve uluslararası literatür ve sektör verilerinden elde edilen bilgiler doğrultusunda iç mekân kullanımına uygun teknik tekstillerin yenilikçi üretim yöntemleri nicel araştırma tekniklerinden tarama betimleme yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Sonuç olarak çalışmada; dijitalleşme ve ekolojik hassasiyet ile üretilen iç mekân teknik tekstillere genel bir bakış sunmak hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: İç Mekan Teknik Tekstilleri, İç Mimarlık, Tekstil Teknolojisi, Endüstri 4.0

An Overview of Innovative Production Methods of Technical Textiles Used in Interior Design from the Framework of Industry 4.0

Abstract

The rapid development of science and technology in the 21st century, along with the concept of "Industry 4.0" that has emerged in parallel with these advancements, is driving an innovative transformation in the technical textile sector. Within the framework of this transformation, the significance of technical textiles used in interior spaces has started to escalate. However, for the widespread adoption of technical textiles, distinguished by their high-performance features, indoors, scientific research on design, sustainability, and their impact on human health needs to be expanded. Consequently, ongoing research and development studies are focusing on the current properties and production techniques of technical textiles. It is anticipated that interior technical textiles can become a versatile material with the aid of innovative production methods. To achieve this goal, the study investigates the smart, efficient, and sustainable production approach developed within the context of Textile Industry 4.0, specifically in the realm of interior technical textiles. In the scope of the research, innovative production methods for technical textiles suitable for indoor use were examined using the scanning description method, a quantitative research technique, based on information gathered from national and international literature and sector data. The aim of the research is to present an overview of interior technical textiles produced with digitalization and ecological sensitivity.

Keywords: Interior Technical Textiles, Interior Architecture, Textile Technology, Industry 4.0

<https://doi.org/10.32955/neujfa202461843>

1. GİRİŞ

İnsan, yaşamını sürdürebilmek için beslenme, barınma ve örtünme gibi ihtiyaçlarını gidermek zorundadır. Eski uygarlıkların doğal şartlardan korunma amacıyla kullandığı hayvan derilerine, zamanla tekstil ürünleri de eklenmiştir. Tekstil üretiminde ilk adımlar bitkisel ve hayvansal lifler kullanarak atılmıştır. Başlangıçta sadece örtünme amaçlı olarak kullanılan tekstil ürünleri, zamanla bir statü göstergesi halini almış, süslenme amaçlı olarak da kullanılmış; bununla beraber çeşitlenerek evlere de girmiştir (Tarakçıoğlu, 2003, URL-1). Ev tekstilleri, kullanıldıkları alan itibariyle özellikle fiziksel konfor koşullarını sağlamada etkili olmuşlardır. Tekstil ürünleri insanlık ilerledikçe çeşitlenmiş, kullanıldıkları yer ve ihtiyaca göre üstün özellikli tekstiller üretilmiştir. Örneğin; "...organ, halat, çuval, yelkenbezi, keçe gibi kısıtlı miktar ve kullanım yeri olan teknik tekstillerin kullanım alanları, ziraatten inşaata kadar her türlü taşıt ve taşıma aracından savunma sanayine, sağlık sektörüne kadar geniş bir alana yayılmıştır (Tarakçıoğlu, 2003, URL-1)." 21. yüzyıla geldiğimizde ise gelişen teknoloji, değişen çevresel faktörler ve yaşam biçimleri tüketim eğilimlerini çeşitlendirmiştir. Bu doğrultuda bireyler giyimden, iç mekân tekstillerine kadar farklı uygulama alanlarında, performans özellikli, yaşamın kalitesini iyileştiren, sınırları zorlayan, tamamen yeni görümlü ve işlevsel tekstil ürünlerini tercih etmeye başlamışlardır. Dijitalleşmenin beraberinde getirdiği yapay zekâ, robotik, nanoteknoloji ve biyoteknoloji gibi gelişmeler tekstil endüstrisinde büyük bir pay sahibi olan iç mekân tekstillerinde ürün çeşitliliğinin ve üretim kapasitesinin artmasına hız kazandırmıştır. Yükselen yaşam standartları ve teknolojik gelişmeler kullanıcıların tekstil sektöründen beklentilerini de arttırmıştır.

Tekstil, insan, mekan ve araç vb. giydirmesi gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilen çok yönlü bir malzemedir. Tekstil endüstrisi tarafından geliştirilen ürünlerin, kullanıcı taleplerine bağlı olarak tercih edilme nedenleri, kullanıcı ihtiyaçlarına göre sürekli değişim göstermektedir. Bu doğrultuda kullanıcı ihtiyaçlarına cevap vermek üzere, iç mekân tekstil ürünleri, lif ve terbiye teknolojilerindeki ilerlemeye paralel olarak gelişmekte; tüketicinin yüksek performans beklentilerine yanıt verebilmek amacıyla, güneş enerjisi kullanma, ısı ve ışık yayma, renk değiştirebilme ve çevreyi koruma gibi özellikler kazanarak yenilenmektedir. Ayrıca fonksiyonellik, buruşmama, vücut ısısını dengeleme, sürdürülebilirlik, kişiselleştirilmiş üretim, hafiflik, kullanım kolaylığı, estetik ve optik zenginlik gibi olumlu özellikler tekstil temelli ürünlere talebin artacağını göstermektedir. Talep artışıyla bağlantılı olarak yükselen bilinçli tüketici oranı, tekstil endüstrisini yenilikçi fikirler üretmeye zorlamıştır.

Gelişen teknoloji doğrultusunda öne çıkan teknik tekstiller; karmaşık sorunlara yenilikçi çözümler sunabilen belirli performans özelliklerine sahip olacak şekilde tasarlanmış tekstil malzemeleri ifade etmektedir. Bitki lifleri ve hayvan kılından yapılan dokuma ürünler dahil olmak üzere yüzyıllardan itibaren var olan ve genellikle yüksek performanslı elyaflardan üretilen teknik tekstiller; koruyucu giysiler, tıbbi tekstiller, jeotekstiller ve otomotiv tekstilleri gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Performans ve işlevselliği geliştirme yetenekleri, sağlık ve çevresel sürdürülebilirlik gibi toplumsal zorlukları ele alma potansiyelleri nedeniyle teknik tekstillerin giderek daha önemli hale geldiği görülmektedir. Eşsiz özellikleri ve avantajları ile teknik tekstiller birçok endüstrinin stratejik bir bileşenidir. 21. yüzyılda teknik tekstiller olarak bilinen ürünlerin miktar ve öneminde belirgin yükseliş söz konusu olacaktır. Bir veya daha fazla tekstil bileşeninin diğer polimer malzemelerle karıştırılmasıyla oluşturulan kompozit teknik tekstil malzemelere olan talebin de büyük ölçüde artacağı tahmin edilmektedir. Örneğin; tekstil malzemesi esaslı kompozit malzemelerle tasarım yapma konusunda "Droog Design" tasarımcısı Marcel Wanders ile Delft Teknik Üniversitesi havacılık fakültesinin ortak bir çalışması bulunmaktadır. Geleneksel makrome tekniklerini, çağdaş havacılık malzemeleriyle sentezleyen Wanders, yüksek performanslı ve yenilikçi bir sandalye formu oluşturmuştur (Şekil 1). Sandalye üretiminde kullanılan karbon lifler ve epoksi kaplı aramid

lifler, hafiflik, dayanıklılık ve ısı direnci özelliğine sahiptir. Geleneksel tekniklerinin ve modern teknolojinin birleştiği çalışma; tekstil esaslı malzemelerin sınırsız tasarım çözümleri sunduğunu göstermektedir (Wanders, 1996, URL-2).

Teknik tekstillerin üstün özelliklerine bir diğer örnek; çok iyi bir inşaat malzemesi olan jeotekstillerdir. Jeotekstillerin işlevsel özellikleri ile sürdürülebilir otoyollar, köprüler ve bentler inşaa etmek mümkündür ve ayrıca jeotekstiller erozyondan toprağı koruyarak doğal afetleri önleyebilecek güçlü niteliklere sahiptir (Hasan, 2020).



Şekil 1: Marcel Wanders'in tekstil esaslı kompozit malzemeler kullanarak tasarladığı "Knotted Chair" (URL:2).

21. yüzyılın yeni sanayi devrimi Endüstri 4.0 kavramıyla ortaya çıkan yenilikçi uygulamaların teknik tekstil sektörünün gelişimine önemli bir katkısı vardır. Tarihsel süreçte, üretim sektörü üç sanayi devrimi yaşamıştır ve bunların ardından dördüncü sanayi devrimi olarak tanımlanan Endüstri 4.0; önceki sanayi devrimlerinin bir evrimidir (Deepthi ve Bansal, 2022). Bu evrimin başlıca hedeflerinden biri üretime bilişim teknolojilerinin entegre edilmesidir. Böylece "klasik" endüstri tanımı, fiziksel sistemler (CPS) ve nesnelerin interneti (IoT) tabanlıyla sağlanan veri akışıyla yeniden şekillenmektedir (Aneja, vd., 2019). Bahsedilen son teknolojik etkenler, insanların ve makinelerin görevlerini yerine getirmelerini kolaylaştırmakta ve bunun sonucunda üretimde elde edilen; esneklik, hammadde verimliliği, ergonomi, sürdürülebilirlik, ekonomik performans ve müşterileri karakterize edilebilme gibi üstün özellikler "akıllı fabrika" kavramını ortaya çıkartmaktadır (Aneja, vd., 2019). Endüstri 4.0'ın önemli bir parçasını oluşturan akıllı fabrikaların, teknik tekstil alanında sürdürdüğü gelişmiş akıllı/verimli üretim tekniklerini; üç boyutlu baskı (eklemeli imalat), ürün kişiselleştirme, tasarım ve üretim için yapay zeka kullanımı, bulut teknolojisi, robotlar ile işbirliği, karmaşık yapıları robotik hücreler, bilgisayar destekli tasarım (CAD/CAE/CAM) algoritmalarının tasarımı ve uygulanması olarak sıralamak mümkündür. (Jimeno-Morenilla, vd., 2021). Teknik tekstil sektöründe üç boyutlu baskı gibi yeni nesil teknolojiler henüz başlangıç aşamasında olduğu için geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir ve bu teknolojilerin üretimde kullanılması "toplular kişiselleştirme" olarak adlandırılan bireysel müşteri gereksinimlerinden ödün vermeden, endüstriyel ölçekte verimli üretim yapılabilmesine olanak sağlayacaktır (Deepthi ve Bansal, 2022). Teknik tekstil sektörüne, Endüstri 4.0 çerçevesinde üretim yapmanın sunduğu avantajları örneklendirmek gerekirse:

- Üretim süresini azaltan daha yüksek düzeyde bir otomasyon ile artan üretkenlik kapasitesi.
- Makinelerin ve robotların üretim gerçekleştirebilmesi ile artan üretim esnekliği ve bunun sonucunda elde edilen ürün çeşitliliği.
- Artan hız ve yeni simülasyon fırsatları.

- Üretim akışını izleyen sensörler ve aktüatörler aracılığıyla artan ürün kalitesi ve üretim hatalarını düzeltmek için erken müdahale imkanı (Aneja, vd., 2019).

Endüstri 4.0'ın odaklandığı bir diğer önemli nokta ise sürdürülebilirlik ilkesidir. Araştırmalar, çevresel ayak izini azaltmak için, teknolojik gelişmelerin benimsenmesi gerektiğini, geliştirilmiş üretim sistemleri ile daha sürdürülebilir kumaşlar ve lifler elde edilebileceğini göstermektedir (Rathore, 2023). Tekstil endüstrisi kapsamında sürdürülebilirlik ilkesinin öne çıkan hususları şöyledir:

- Organik pamuk veya geri dönüştürülmüş kumaşlar gibi sürdürülebilir malzemelere yatırım yapılmalı.
- Tekstil üretiminin tüm aşamalarında (boyama, eğirme ve terbiye) su verimliliği artırılmalı.
- Tehlikeli kimyasalların kullanımı azaltılmalı.
- Güneş panelleri gibi teknolojiler ile enerji kullanımı en uygun hale getirilmeli.
- Ürünlerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü teşvik edilmeli ve diğer yenilikçi çözümlere yatırım yapılmalı (Rathore, 2023).

Endüstri 4.0 ve teknik tekstiller birlikte ele alındığında görülmektedir ki; üretim süreçlerinin dijitalleşmesi ile esnek, hızlı ve düşük maliyetli üretim yapılabilmektedir. Ayrıca sürdürülebilir üretim stratejileri doğrultusunda doğal liflerin ve geri dönüştürülen atıkların kullanılmasıyla daha az enerji ve hammadde kullanılması hedeflenmektedir. Bu bağlamda, iç mekân malzemesi olarak yenilikçi yöntemler ile üretilen teknik tekstillerin tercih edilmesi; görsel estetik, fonksiyonellik, kullanıcı ihtiyaçlarını kolaylaştırma, verimlilik, çevre dostu üretim, iyi iç mekân hava kalitesi, yüksek kaliteli akustik ve ısı yalıtımı gibi faydalar sağlayabilmektedir. Bu nedenle çalışmada; iç mekânda kullanılan teknik tekstillerin yenilikçi üretim yöntemlerine Endüstri 4.0 çerçevesinden, güncel örneklerin incelenmesiyle genel bir bakış açısı sunmak amaçlanmıştır.

Bu çerçevede gelecek yıllarda yenilikçi üretim yöntemleri ile çeşitlenen teknik tekstillerin iç mimaride önemli bir malzeme olacağı varsayılmaktadır. Çalışmanın kapsamında akıllı, verimli ve sürdürülebilir üretim teknikleri ile üretilen teknik tekstiller araştırılmıştır. Çalışmada konu ile ilgili ulusal ve uluslararası, kitaplar, tezler, makaleler ve web sitelerindeki güncel veriler incelenmiştir. Çalışma nicel araştırma tekniklerinden tarama betimleme yöntemi kullanılarak yenilikçi yöntemler ile geliştirilen teknik tekstiller ekseni etrafında gerçekleştirilmiştir.

2. TEKNİK TEKSTİLLER

Teknik tekstilleri; estetik görünümünden ziyade işlevselliğin ve teknik performansın ön plana çıkarıldığı, disiplinler arası araştırma ve geliştirme çalışmaları ile üretilen, genellikle endüstriyel, havacılık, askeri, makina, tıp, elektroteknik ve inşaat gibi çeşitli alanlarda kullanılan üstün özellikli tekstil ürünleri olarak tanımlamak mümkündür (Can, 2008).

Teknik tekstiller, uluslararası teknik tekstiller fuarı, “Techtextil Frankfurt” organizasyon sorumlusu “Messe Frankfurt” tarafından, fonksiyon ve uygulama alanına göre 12 sınıfa ayrılmıştır. Buna göre;

- Zirai teknik tekstiller (agrotech): Tarım, ormancılık ve bahçecilik ürünlerinde kullanılan tekstiller.
- İnşaat teknik tekstilleri (buildtech): Membran, inşaat ve yol yapımında kullanılan tekstiller.
- Teknik giysiler (clothtech): Giysi ve ayakkabı üretiminde kullanılan tekstiller.
- Jeolojik teknik tekstiller (geotech): Jeolojik tekstiller ile inşaat mühendisliği malzemeleri.

- Endüstriyel teknik tekstiller (indutech): Makine mühendisliği, kimya ve endüstride kullanılan tekstiller.
- Koruyucu teknik tekstiller (protech): Koruyucu donanımda kullanılan tekstiller.
- Ekolojik tekstiller (ecokotech): Çevre koruma, atık bertarafı ve geri dönüşümde kullanılan tekstiller.
- Sportif teknik tekstiller (sportech): Spor ekipmanları ve spor giysilerinde kullanılan tekstiller.
- Tıbbi teknik tekstiller (medtech): Medikal ve hijyen ürünlerinde kullanılan tekstiller.
- Taşıt araçları için teknik tekstiller (mobiltech): Gemi, tren, otomotiv, uçak ve uzay araçlarında kullanılan tekstiller.
- Ambalaj teknik tekstilleri (packtech): Paketleme ve ambalaj tekstilleri olarak sınıflandırılmaktadır.
- Ev teknik tekstilleri (homotech): Zemin, duvar, tavan ve mobilya kaplamalarında kullanılan tekstiller (McCarthy, 2016).

Teknik tekstillerin çoğunlukla birincil üretim amacı, moda değildir. Bu nedenle ürünün başarısı; üretim amacı, kullanılacağı yer, yüklenecek fonksiyon ve üretim yöntemi göz önünde bulundurularak performans değerleri ve teknik özellikleri ile ölçülmektedir. Teknik tekstillerden beklenen temel özellikler Tablo 1’de gösterilmiştir (İTKİB, 2008) (Tablo 1).

Tablo 1: Teknik tekstillerden beklenen özellikler (İTKİB, 2008).

Mekaniksel Özellikler	Değiştirme Özellikleri	İnsan Sağlığı ile İlgili Özellikler	Koruma Özelliği
Mukavemet Takviyelendirme Elastikiyet	Filtrasyon İzolasyon ve iletkenlik Drenaj Su geçirmezlik Emicilik	Mikro organizmalara karşı koruma Anti-bakteriyel özellik Vücuda uyumlu ve biyolojik olarak bozunabilme Ateşe karşı koruma	Mekanik koruma Kimyasallara karşı koruma Kirlenmeme (partikül tutmama özelliği) Elektrik yalıtımı - Ultraviyole ışınlarından korunma (UV koruması) Nükleer, biyolojik, kimyasal koruma Elektro-manyetik alanlardan koruma

2.1. Dünya’da Teknik Tekstillerin Üretimi ve Kullanımı

Dünya’nın gelişmiş veya gelişmekte olan bölgelerinde teknik tekstil pazarı hızla büyümeye devam etmektedir. Beş ana bölgeye ayrılan teknik tekstil pazarı; Kuzey Amerika, Latin Amerika, Doğu ve Batı Avrupa, Asya Pasifik ve Afrika ve Orta Doğu olarak sınıflandırılmıştır (ITA, 2016, URL-3). AB üyesi ülkelerden teknik tekstiller ihraç eden ilk beş ülke (Almanya, İtalya, Fransa, Birleşik Krallık ve Belçika) dünyaya yapılan toplam ihracatın %60’ını temsil etmektedir. Ayrıca, teknik tekstil tekstil ihracatında (giyim dışında) en yüksek payı temsil eden üye ülkeler; Finlandiya, Danimarka, İsveç, Çek Cumhuriyeti ve Macaristan’dır (Euratex annual report, 2016). Fransa’da ise teknik tekstiller toplam tekstil sanayinin %17,5 gibi önemli bir

kısmını temsil etmektedir. Almanya'da tekstil üretiminin %37'sini teknik tekstil oluşturmakta bu oranı giyim ve ev tekstili takip etmektedir. Kuzey Amerika teknik tekstil üretiminde ortalama %30 pazar payı ile önde gelen bölgelerdendir. 21 üye ülkeden oluşan Asya Pasifik Ekonomik İşbirliği Teşkilatı (APEC), 2022 yılında teknik tekstil pazarında büyüyen en büyük bölgedir ve küresel gelirin %46,80'inden fazlasını oluşturmuştur. (Technical textiles report, 2022, URL-4).

Tablo 2: 2018 – 2022 tarihleri arası Dünya teknik tekstil ihracat rakamları - (\$) (Trademap, 2023, URL-5).

ÜLKELER	2018	2019	2020	2021	2022
ÇİN	2,494,230	2,498,334	2,588,402	3,361,814	3,593,601
ABD	1,665,688	1,642,820	1,424,934	1,754,300	2,062,937
ALMANYA	1,556,622	1,486,877	1,379,900	1,631,098	1,658,442
HOLLANDA	587,893	576,784	551,352	696,873	770,306
JAPONYA	738,164	705,842	640,953	757,461	752,071
İTALYA	549,906	537,748	498,803	615,910	700,314
GÜNEY KORE	605,169	542,333	512,788	644,438	683,584
BELÇİKA	468,629	446,876	419,478	549,499	636,424
HONG KONG, ÇİN	569,105	535,711	551,515	672,153	611,481
FRANSA	569,764,	556,550	476,082	570,841	606,853

ABD, Çin ve Japonya başta olmak üzere teknik tekstil ihracatında önemli bir yere sahip olan bu ülkelerin tahmin raporlarına göre gelecek yıllarda da hızlı büyüme oranlarına sahip olması beklenmektedir (Trademap, 2023, URL-5). Tablo 2’de görüldüğü gibi teknik tekstillerin ihracat büyüklüğü Çin ve ABD’nin de içinde bulunduğu Asya-Pasifik ülkelerinde giderek artmaktadır (Tablo 2).

Teknik tekstillerin üstün özelliklerine ilişkin artan farkındalık, pazarı olumlu yönde etkilemektedir. Küresel endüstri çevrelerinde, “Kovid-19” krizinin neden olduğu ekonomik durgunluğun ilk aşamasında teknik tekstil pazarı önemli bir gerileme yaşadı. Ancak otomotiv imalatında hafif malzemelere yönelik artan talep nedeniyle ABD’de teknik tekstillere olan ilginin artacağı öngörülmektedir. Teknik tekstil ürünler geleneksel otomotiv malzemelerine göre %15 ila %30 daha hafiftir ve bunun sonucunda teknik tekstillerin araç ağırlığının azalmasına ve yakıt verimliliğinin artmasına katkı sağladığı anlaşılmaktadır (Technical textile report, 2022, URL-4). Avrupa’daki ürün talebine moda - giyim ve ev teknik tekstili uygulamaları öncülük etmektedir. Üretim segmentlerinden üç boyutlu (3B) dokuma teknolojisi 2022 yılında üretim pazarına liderlik ederek küresel gelirin %23,45’inden fazlasını oluşturmuştur. İnşaat, denizcilik, otomotiv gibi endüstrilerinde 3B dokuma teknolojisi tabanlı ürünlere olan talebi giderek artmaktadır. Diğer bir yeni nesil teknik üretim tekniği 3B örgü teknolojisi ise inşaat ve inşaat mühendisliği uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (Technical textile report, 2022, URL-4). Tüm bu gelişmelerin de gösterdiği gibi, küresel anlamda tekstil sanayi bütün tekstil uygulamaları içerisinde en hızlı büyüyen segment olan teknik tekstillere doğru bir yönelim halindedir. Teknik tekstillerin hazır giyim için üretilen

tekstillerden ortalama iki kat hızlı büyüdüğü tahmin edilmektedir. Araştırma raporlarının tahminleri teknik tekstillere ilginin artarak devam edeceğini göstermektedir.

2.2. Endüstri 4.0 Kavramı ve Teknik Tekstiller

Küresel ölçekte endüstriyel değişim, dönüşüm, keşif ve yenilikler endüstri (sanayi) devrimi olarak adlandırılmaktadır. 21. yüzyıl teknolojisinin gelişim hızı paralelinde endüstri devrimlerinin sonuncusu olan Endüstri (Sanayi) 4.0 kavramı ortaya çıkmıştır. 2011 yılında Almanya tarafından duyurulan bu kavram tüm dünyayı etkisi altına almaya başlamıştır. Endüstri 4.0 kavramının temel amacı; dijital dönüşüm ile maliyeti, üretim süresini, harcanan enerji miktarını azaltmak, verimliliği ve nitelikli ürün sayısını artırmaktır. Diğer bir tanımla Endüstri 4.0; üretim ve hizmet konularında ülkelerdeki endüstriyel akışı etkileyecek, gelişen teknolojiyle üretim süreçlerini yeniden yapılandıracak, sektörler arası rekabeti artıracak ve insanların davranış kalıplarını değiştirecek bir olgudur (İlhan, 2019).

Endüstrinin öncü üretim kollarından biri olan tekstil sektörü Endüstri 4.0 kavramını akıllı, verimli, sürdürülebilir üretim anlayışı olarak ele almaktadır (Eurecat, 2019), (Şekil 2). Bu üretim anlayışı çerçevesinde tekstil Endüstri 4.0; endüstriyel teknoloji, dijital teknoloji ve biyoteknoloji kollarına ayrılarak geleneksel üretim süreçlerini daha gelişmiş ve verimli sistemlere dönüştürmede önemli rol oynamaktadır.

• Endüstriyel Teknoloji

Otomasyon ve Robotik: Tekstil üretim süreçlerinde otomatik sistemleri ve robotları kullanarak verimliliği artırmak, işçi maliyetlerini azaltmak ve kaliteyi artırmaktır.

Nesnelerin İnterneti (IoT): Makineleri, cihazları ve sensörleri bağlayarak gerçek zamanlı veri toplamaktır.

Gelişmiş Malzemeler: Yenilikçi malzemeler üretmek veya tekstil üretiminde performansı, dayanıklılığı ve sürdürülebilirliği artıran malzemeleri geliştirmektedir.

• Dijital Teknoloji

Üretimin Dijitalleşmesi: Tasarım, prototip, üretim ve tedarik zinciri gibi çeşitli tekstil üretim aşamalarında dijital teknolojilerin kullanılmasıdır.

Büyük Veri ve Analitik: Üretim süreci boyunca oluşturulan büyük veri setlerinin toplanması ve analizi daha doğru kararlar alınmasını sağlamakta ve maliyetleri azaltmaktadır.

Bulut Bilişim: Veri depolama, işleme ve paylaşma kapasitesinin internet üzerinden sağlanması ile esneklik, ölçeklenebilirlik ve ekonomik üretim mümkündür.

Yapay Zekâ: Kalite kontrolü ve tekstil üretim ortamında işlem optimizasyonu için yapay zekâ algoritmalarının uygulanmasıdır.

• Biyoteknoloji

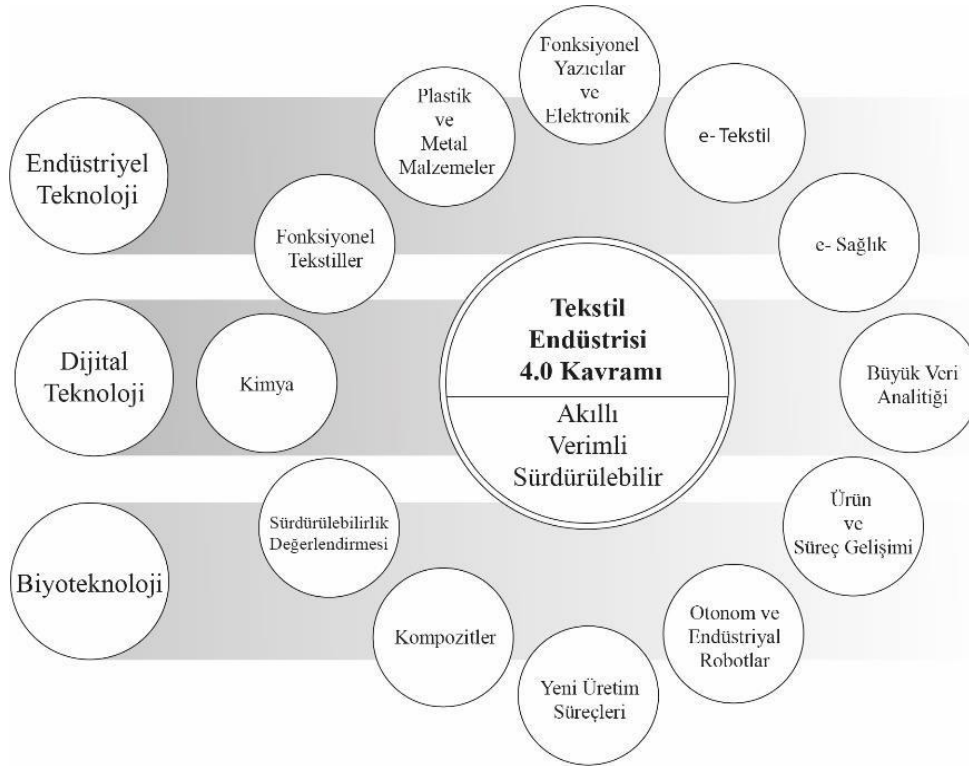
Sürdürülebilir Malzemeler: Doğal lifler veya biyolojik olarak parçalanabilen tekstiller gibi çevre dostu ürünler ile üretim yapılmasıdır.

Akıllı Tekstiller: Biyometrik sensörleri, giyilebilir teknolojiyi ve diğer yenilikleri tekstillere entegre ederek, sıcaklık düzenleme gibi gelişmiş özelliklere sahip "akıllı" kumaşlar oluşturmaktır.

Bu kapsamda üretim aşamaları verimli lif üretimi, fonksiyonellik, üç boyutlu dokuma, su ve enerji tasarrufu sağlamak gibi çeşitli konularda güncelleşme sürecindedir. Bu güncelleşmeler ile birlikte teknik tekstil üretiminde teknoloji etkileşimi ve sürdürülebilirliğin öne çıktığı yeni

bir dönem başlamıştır. Teknik tekstil üretimdeki dijital dönüşüm liflerin iyileştirilmesine, elyaf gelişimine, yeni kompozitlerin üretilmesine, mevcut ürünlerin geliştirilmesine ve ekolojik dengeye katkı sağlamaktadır. Tekstil malzemelerin temel hammaddesi lif ve elyaf ile sayısız kombinasyon oluşturmak mümkündür. Bu kombinasyonlar geniş ürün çeşitliliğine olanak sağlamaktadır (Tao, 2015).

Çeşitli üretim aşamalarından geçen lif türleri ve karışımları, geliştirilmiş üretim teknikleri ve yüzey modifikasyonları ile yeni nesil kumaşlara dönüşmektedir. Bu yöntemler sonucunda elde edilen teknik tekstiller metal, beton, ahşap ve plastik gibi diğer tekstil olmayan malzeme türlerine de kolaylıkla uyum sağlamaktadır.



Şekil 2: Tekstil endüstrisi 4.0 kavramı (Eurecat, 2019).

Yenilikçi yöntemler ile üretilen teknik tekstiller ulaşım, tıp, tarım, spor malzemeleri, paketlenme, inşaat, ev tekstili, mobilya, mimari ve iç mimari gibi geniş bir yelpazede kullanım imkânı sunmaktadır. Teknik tekstil sektörünün en yaygın araştırma, geliştirme ve üretim yaptığı alanlardan biri ev tekstilleri ve iç mekân tekstilleridir. Leke tutmayan, kolay temizlenen ve ütü istemeyen yüksek performanslı teknik tekstillerden, hayal gücünü zorlayan elektronik tekstillere kadar geniş bir ürün çeşitliliği vardır. Örneğin; halı ya da perdeye gizlenmiş elektrik düğmeleri, kumaş piyanolar, düşük dozlu elektro manyetik radyasyona karşı koruma sağlayan elektronik kumaşlar ve oda sıcaklığına göre renk değiştiren dokumalar yeni nesil tekstil teknolojisinin iç mekân tasarımında kullanım alanlarından sadece bazılarıdır. Bu örnekler açıkça göstermektedir ki her geçen gün çeşitlenen üretim yöntemleri iç mekânda kullanılan teknik tekstillerin çok sayıda alternatif sunmasına olanak sağlamaktadır.

3. İÇ MEKÂNDAN KULLANILAN TEKNİK TEKSTİLLERİN YENİLİKÇİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Fonksiyonellik, dayanıklılık, görsel estetik, iyi yaşam kalitesi, düşük maliyet, çevreyi ve insan sağlığını koruma gibi çok yönlü üstün özellikler iç mekânda kullanılan teknik tekstillere ilgiyi giderek artırmaktadır. Teknik tekstiller iç mekânın tasarımı ile bütünleşmektedir ve iç mekân tasarımına boyutsal özgürlük, etkileşim, esneklik ve devinim sağlamaktadır. İç mekân konforuna ve iç mekân atmosferine önemli bir katkısı olan yenilikçi teknik tekstil malzemeleri genel olarak duvar kaplamaları, tavan kaplamaları, döşeme kaplamaları, zemin kaplamaları, bölücü panel sistemleri ve perde sistemleri olarak kullanılmaktadır.

Yenilikçi yöntemler ile üretilen teknik tekstiller değişen ihtiyaçlar çerçevesinde birbirinden farklı gereksinime yanıt verme özelliği nedeniyle iç mimarlar ve tasarımcılar tercih edilmektedir. Teknik tekstillerde fonksiyon birincil unsurdur fakat dijital teknolojinin ve akıllı makinelerin yaygın kullanımı yalnızca fiziksel değil aynı zamanda görsel özellikleri de üstün teknik tekstillerin elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Tüm bu süreçleri takiben iç mekân teknik tekstillerinin yenilikçi üretim yöntemleri ile fonksiyonel çözümler sağlayan ve iç mekân kurgusuna göre özelleştirilmiş çözümler üretmek mümkündür. İç mekânda kullanılan teknik tekstillerin yenilikçi üretim yöntemlerini Endüstri 4.0 dönüşümü çerçevesinde; akıllı/verimli üretim ve sürdürülebilir üretim olarak iki kategori altında örneklendirerek incelemek mümkündür.

3.1. Akıllı/Verimli Üretim Yöntemleri

Gelişen hayal gücü ve sürekli bir değişim arayışında olan günümüz tekstil ve ürün tasarımcıları, iç mimari ile ilişkili olarak değişen mekânların, mevcut veya gelişmiş durumlarına uygun, ihtiyaçlara ve beklentilere cevap verebilen ürünleri tasarlayabilme arayışı içerisindeyler. İç mimari ve mobilya tasarımı alanlarında standartlaşmış ölçü birimlerinde görülen değişiklikler ile ilişkili amaca yönelik geliştirilen alternatif çözümler sunması hedeflenmektedir. Yenilikçi üretim yöntemleri teknik tekstillerin, ürün boyutları ve nitelikleri lif ve terbiye işlemleriyle çeşitlendirilmekte, bununla birlikte estetiği işlevle birleştiren alternatif yöntem ve yaklaşımlar araştırılmaktadır.

3.1.1. Üç Boyutlu Örgü Tekniği ile Üretim

Döşemelik teknik tekstillerin üç boyutlu (3B) örgü teknikleri ile üretimi mobilya sektöründe köklü bir yenileşme hareketi başlatmaktadır. Üç boyutlu örgü; üretim kolaylığının yanı sıra malzeme atıklarını en aza indirip, verimliliği artırarak üreticiye avantaj sağlamaktadır ve teknik tekstil üretiminde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Ayakkabı, otomotiv ve hazır giyim endüstrisi 3B örgü tekniklerini deneyimleyen öncü sektörlerdir.

3B örgü teknolojisinin mobilya endüstrisinde kullanımı gelişme sürecindedir ve deneysel çalışmalar ile yenilikçi döşemelik teknik tekstiller üretilmektedir. Bu ürünlerden biri; tasarımcı Floor Skrabanja ve Hollanda/Tilburg tekstil müzesi uzmanlarının iş birliği ile geliştirilen dikiş gerektirmeyen ve böylece kolayca sökülebilen 3B örgü iç mekân oturma elemanı koleksiyonudur (Şekil 3). Bilgisayar programıyla oluşturulan tasarımın dijital olarak örgü makinesine aktarılmasıyla üretim süreci başlamaktadır (3D knitted furniture, 2019, URL-6). 3B örgü makinesinin ihtiyaç miktarı kadar malzeme kullanması atık oluşumunu minimum düzeye indirmektedir. Ayrıca malzeme montajı sırasında dikim işlemi yapılmasına ihtiyaç olmaması nedeniyle tekstil yapısına zarar verilmemektedir. Bu durum malzemenin kolaylıkla geri dönüşümüne ve yeniden kullanımına imkân sağlamaktadır (Cerulo, vd., 2022). 3B örgü teknolojisi, kişileştirme ve seri üretimi birleştiren yeni bir üretim fırsatı sunmaktadır. Kullanıcı

ihtiyacına göre kişiselleştirme seçenekleri ile benzersiz tasarımlar üretmek mümkündür. Tam ölçüsünde dikişsiz üretim maliyeti düşürmekte ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Çeşitli boyutlarda karmaşık tasarımlar veya çoklu tekstil bileşeninden oluşan ürünlerin üretilmesini kolaylaştırmaktadır.

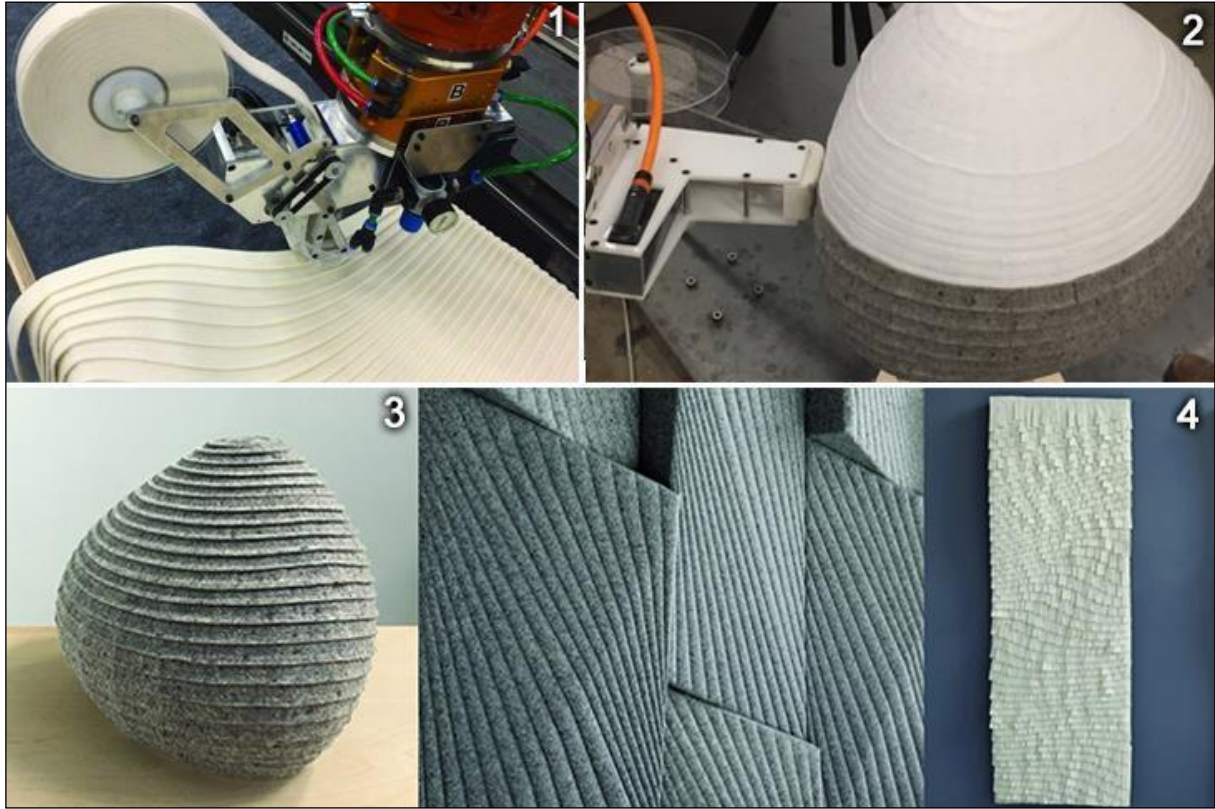


Şekil 3: 3B örgü iç mekân oturma elemanı koleksiyonu (3D Knitted Furniture, 2019, URL-6).

3.1.2. Robotik Üretim

21. yüzyıl iç mimari tekstil malzemesi üretiminde yenilikçi çözümler sunan hesaplamalı tasarım, modelleme ve robotik üretim gibi teknolojik gelişmelerden yararlanılmaktadır (Shareef Al-Azzawi ve Al-Alwan, 2021). Robotik üretim, tekstil ürünleri için yeni tasarımlar oluşturmak ve mevcut tasarımları geliştirmek için kullanılabilir. Diğer bir tanımla robotik üretim; yapay zekâ, esneklik, hız, fonksiyonellik ve yüksek performans gibi çeşitli ileri teknoloji özelliklerinin birleşiminden oluşmaktadır. Tasarım problemlerinin çözümünü kolaylaştıran robotik teknolojisi ile yenilikçi teknik tekstiller geliştirmek mümkündür. Örneğin; Amerika Birleşik Devletleri - Michigan Üniversitesi "Taubman" mimarlık ve şehir planlama araştırmacıları robotik teknolojiyle keçe iğneleme işlemi tekniği birleştirerek yeni bir üretim yöntemi geliştirmişlerdir (Aouf, 2019, URL-7). Liflerin birbirine yoğunlaştırılması ve preslenmesiyle elde edilen keçe; doğal (yün), sentetik (polyester) veya doğal/sentetik karışımı elyaflardan üretilen dokusuz (non-woven) bir tekstil malzemesidir. Araştırma ekibi keçe malzemesinin üretimine dijital bir yenilik getirmek amacıyla geleneksel keçe iğneleme tekniğiyle tekstil liflerinin örülmesini sağlayan bir yöntem geliştirmiştir (Şekil 4). Geliştirilen yöntem malzemenin sorunsuz bir şekilde birbirine bağlanmasını sağlamaktadır. Böylece karmaşık üç boyutlu form ve geometrilerin üretimine imkân tanıyan yeni bir teknik oluşturulmuştur (Mcgee, vd., 2019).

İç mekân tasarımında keçe malzemesi; görsellik, dokusallık, akustik veya ısı yalıtımı gibi çok sayıda üstün performans özelliğini bir arada barındırması nedeniyle önem taşımaktadır. Araştırma ekibi, bu özellikleri dijital olarak kontrol edebilen farklı teknikler konusunda da çalışmayı hedeflemektedir. Geliştirilen teknikler ile akustik paneller, duvar kaplamaları, döşeme kaplamaları gibi iç mekân kullanımına uygun çok çeşitli teknik tekstil ürünler üretmek mümkün olacaktır.



Şekil 4: 1- Robotik kol ile kısmen üst üste bindirerek (shiplap tekniği) iğneleme işlemi (URL-7).

2- Robotik kol ile dairesel üretim şekli (Mcgee, vd., 2019).

3- Robotik teknik ile üretilen oturma elemanı (URL-7) 4- Robotik teknik ile üretilen duvar panelleri (URL-7).

3.1.3. Elektronik Tekstil Üretiminde Dokuma ve Örmek Teknikleri

• Dokuma Tekniği

Teknik tekstillere entegre edilen elektronik tekstil teknolojisi hızlı bir gelişim sürecindedir. Ancak halen boyut, şekil ve fonksiyon konularında imkânlar sınırlıdır. Bu nedenle yeni üretim yöntemleri geliştirmek amacıyla çeşitli deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Konu hakkında çalışmalarını sürdüren Cambridge Üniversitesi araştırma ekibi fiber tabanlı elektronik, fotonik, algılama, ışık yayan diyot (LED) teknolojisi ve enerji toplama gibi fonksiyonları birleştiren bir elektronik teknik tekstil geliştirmiştir. Tüm fonksiyonları geleneksel dokuma veya örgü teknikleri kullanarak tekstile entegre edilebilmek amaçlanmıştır. Geliştirilen üründe, her fonksiyon dokunarak iletken poliamid liflere yerleştirilmiştir. Teknolojiyi dokuma ile uyumlu hale getirmek için her bir lif bileşeni özel malzemelerle kaplanmıştır. Böylece geleneksel dokuma işlemi için gerekli olan esnekliği sağlamak ve tekstil ürününe birden fazla fonksiyon eklemek mümkün olmuştur. Bu fonksiyonları radyo frekans sinyallerini izleme, enerji depolama, dokunmayı, ışığı ve sıcaklığı algılama olarak örneklendirmek mümkündür.

Dokuma tekniği ile elde edilen esnek yapı sebebiyle rulo haline getirilebilen elektronik teknik tekstil 117 cm (46 inç) boyutunda yüksek parlak kırmızı-yeşil-mavi-beyaz renkte ışık yayan diyot (RGBW LED) özellikli istenildiğinde aydınlatma olarak da kullanılabilen bir ekrana sahiptir (Şekil 5). Araştırma ekibi uygulanan yöntemin elektronik tekstil üretiminde boyut sınırlamalarının üstesinden gelebilecek öncü bir teknik olduğu vurgulamaktadır (Choi, vd., 2022). Gelecek projelerde iç mekân tasarımı kullanımına uygun; televizyon ekranı özellikli perdeler, enerji toplayan halılar gibi teknik tekstillerle bütünleştirilen yenilikçi çözümler geliştirilmesi hedeflenmektedir. Teknik tekstillerin yüksek performans özelliğiyle elektronik

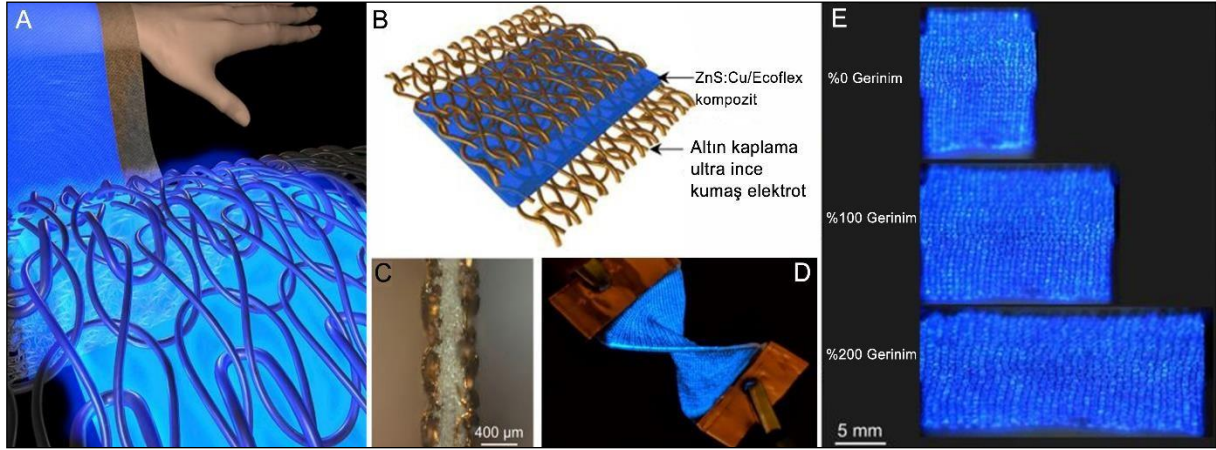
tekstillerin özelliklerinin bütünleştirilmesi iç mekân tasarımında yeni yaklaşımları gündeme getirmektedir.



Şekil 5: Elektronik tekstil; aydınlatma/ekran- eğilebilme-rulo yapılabilme-katlanabilme-duvara monte edilebilme özellikleri (Choi, vd., 2022).

• Örgü Tekniği

Işık yayan cihazların tekstillerle entegrasyonu sağlamak için elektronik ve tekstil teknolojilerinin bir araya getirilmesi iç mekân teknik tekstillerin uygulama alanını genişletmektedir. Bu çerçevede, elektronik teknik tekstillerle ilgili önemli bir çalışma; Kanada, Windsor Üniversitesi'nden bir araştırma ekibi tarafından yapılmıştır (Şekil 6). Elektronik tekstillerin üretim teknikleri genellikle elektronik bileşenlerin, optik fiberlerin veya ışık yayan diyotların (LED'lerin) kumaşa dikilmesi şeklindedir (Wu, vd., 2020). Çalışma, mevcut ışık yayan kumaşların bazı sınırlamalarını ele alarak daha işlevsel tasarımlara dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Mevcut üretim teknikleri kumaşa yeterince esneklik, yumuşaklık ve fonksiyonellik sağlamamaktadır. Bu probleme çözüm bulma amacıyla ışık yayma özelliğini yumuşak ve esnek örme kumaşlara entegre etmeyi hedefleyen yeni bir yöntem geliştirmiştir. %87 naylon ve %13 elastan içerikli 10 denye inceliğindeki şeffaf örme kumaş, elektrotlar oluşturmak için altın filmle kaplanmıştır. Bu yöntem ile metalize edilen kumaşa iletkenlik özelliği kazandırılmıştır. Işık yayan elektronik kumaş geliştirmeye yönelik bu yaklaşım, giysiler için geliştirilmiş olsa da çok çeşitli iç mimari alanda kullanım potansiyeline sahiptir. Kuzey Carolina Eyalet Üniversitesi akıllı tekstil bilimi ve mühendisliği uzmanı Jesse Jur, bu araştırmanın elektronik tekstilleri gelişimi konusunda iyi bir örneği olduğunu vurgulamıştır (Redmond, 2020). Teknik tekstillerin alev direnci, antibakteriyel etki, suya dayanıklılık, nefes alabilirlik, mukavemet gibi çeşitli özelliklerini elektronik ile entegre etmenin iç mekân tasarımları için sınırsız olanaklar sunacağı öngörülmektedir.



Şekil 6: A- %87 naylon ve %13 elastan içerikli 10 denye inceliğindeki ışık yayan şeffaf örme kumaş
 B- Işık yayan örme kumaşın katmanları C- Altın kaplama örgü liflerin mikroskop görüntüsü
 D- Işık yayan örme kumaşın esnek özelliği E- Işık yayan örme kumaşın gerinim özelliği (Wu, vd., 2020).

3.2. Sürdürülebilir Üretim Yöntemleri

Teknik tekstillerin toprak, hava ve su üzerindeki çevresel etkileri tartışılmaktadır. Bu nedenle teknik tekstil endüstrisinden kaynaklanan ekolojik etkileri azaltmaya yönelik teknikler ve çözümler araştırılmaktadır. Teknik tekstil sektöründe hammaddelerin doğal kaynaklı olması, lif üretiminde kimyasal madde kullanımının azaltılması, üretim aşamalarında geri dönüşümün sağlanabilmesi, atık oluşumuna neden olmayan üretim sistemleri geliştirilmesi gibi sürdürülebilirlik konuları oldukça önemlidir. Teknik tekstil üretiminde hammadde miktarı, yüksek kalite, uzun ömür, son teknoloji malzeme kullanımı ve geri dönüşüm stratejilerine öncelik verilmektedir. Ayrıca üretim sırasında meydana gelen olumsuz çevresel etkileri azaltmak da hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda enerji, su, arazi ve hammadde kullanımını minimum miktara indirmek için çeşitli bilimsel araştırmalar yapılmaktadır. Bu bağlamda teknik tekstillerin toprak, hava ve su üzerindeki ekolojik etkilerinin azaltılması önemli bir araştırma konusu olmuştur (Aldabahi, vd., 2021). Yapılan araştırma ve deneyler çevreye zarar vermeyen lif türlerinin geliştirilmesine ağırlık vermektedir.

3.2.1. Geri Dönüştürülmüş Malzeme Kullanımı

%100 geri dönüştürülmüş iplikten üretilen teknik tekstil zemin kaplamalarının bir örneği endüstriyel atıklardan ve balık ağlarından üretilmiştir (Şekil 7). Balık çiftlikleri için çok sayıda üretilen ve sıklıkla değiştirilen balık ağları büyük miktarlarda atık oluşturmaktadır ve okyanuslara, denizlere, deniz canlılarına zarar vermektedir (Object carpet, 2018, URL-8). Bu nedenle proje kapsamında atık balık ağlarını temizlemek ve geri dönüşümünü sağlamak amaçlanmıştır (Fishing nets, 2021, URL-9). Balık ağlarının geri dönüşümü ile bir termoplastik türü olan polyamid-6 (PA6) hammaddesi elde edilmektedir. Yapısı gereği polyamid-6 malzemesi mekanik ve fiziksel açıdan yüksek dirençlidir. PA6 lifleriyle üretilen teknik tekstil zemin kaplama; uzun ömürlü, aşınmaya dayanıklı, alev dirençli, elektriksel özellikli, kimyasala ve suya dayanıklı bir malzemedir (Ecolabel with history, 2021, URL-10). Petrol bazlı malzemelerle karşılaştırıldığında sera etkisini %80'e kadar azaltmaktadır. Kir, toz ve leke korumasına sahiptir. Sürdürülebilir, ekolojik, verimli olma gibi çözümlere yönelik talebi karşılamaktadır. Teknik tekstil zemin kaplama, Dünya'nın ilk yeşil etiketi olan "Blue Angel" (Blauer Angel/Mavi Melek) etiketini almıştır (Technical information the Blue Angel, 2016). "Blue Angel" etiketi alan bir ürünün çevre ve insan sağlığını koruma gibi kriterleri karşılaması gerekmekte ve bu kriterler teknolojik gelişmeler paralelinde sıklıkla güncellenmektedir (bu

durum ekolojik etiket alan ürünlerin yenilikçi kalmasını sağlamaktadır). Halı tabanında akustik özellik sağlayan, sıcaklık ve nemin etkilerini dengeleyen özel bir katman oluşturulmuştur. Katman; lateks, bitüm gibi kanserojen maddeler içermemektedir. Yüksek sıcaklık ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Düşük alerjen malzemelerden yapılmış ve alerjisi olanlar için ‘güvenilirlik’ etiketi almıştır. İç mekân tasarımına ve kullanıcı ihtiyacına uygun çeşitli renk ve desen seçenekleri ile üretilen yenilikçi malzemenin (konut, ofis, havaalanı, ulaşım araçları vb.) geniş bir kullanım alanı vardır.



Şekil 7: Balık ağlarının geri dönüşümü ile elden edilen teknik tekstil zemin kaplama (URL-8).

Sürdürülebilirlik bakış açısıyla hammadde üretiminden teknik tekstil üretim işlemlerinde ekolojik dengeyi koruyacak çok çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Örneğin; Polietilen Tereftalat (PET) tek kullanımlık su şişelerinin yapımında kullanılan ve en çok tercih edilen termoplastik malzemelerden biridir. Yaygın kullanımı nedeniyle büyük oranda atık oluşumuna neden olan PET esaslı ürünlerin geri dönüştürülerek tekstil ürünü olarak yeniden değerlendirilmesi ile çevreyi korumak ve atıklardan fayda sağlamak mümkündür. Geri dönüştürülmüş PET kullanımı ile ilgili yapılan bir çalışma sonucunda teknik tekstil zemin kaplama ürünü geliştirilmiştir. Keçe benzeri yapıya sahip ürün çok katmanlıdır. 24x24 inç (60.96cmx60.96cm) boyutundaki her bir karo 18 (0,5L) adet şişeye eşdeğerdir. Malzeme fonksiyonel yapısı ile esnek tasarım ve renk seçeneklerine olanak sağlamaktadır. Lekeye, ışığa, aşınmaya karşı dayanıklıdır ve ses emilimi özelliği vardır (Dichroic lookbook, 2019, URL-11). Polivinil klorür (PVC), bitüm ve lateks gibi alerjen kimyasallar içermemektedir. PET, gerilme mukavemeti ve elastikiyeti yüksek bir polimerdir (Zander, vd., 2017). Yüksek performans özellikli teknik tekstil malzemeyi ticari amaçlı iç mekân zemin kaplaması olarak kullanmak mümkündür (Şekil 8). Çok katmanlı olarak üretilen teknik tekstil zemin kaplamasının, zemin koruyucu alt katmanı ürünün performansında çok önemli bir rol oynamaktadır ve çevreye ve insan sağlığına zarar verebilecek zehirli kimyasal gazlar (VOC) içermemektedir. İç mekân zemin tasarımına uygun renk bloklamayı ve bölgelere ayırmayı destekleyen çok sayıda tasarım seçeneği vardır. Ses emiliminin arttırılmasına katkıda bulunmakta ve neme, lekeye, ışığa, statik ve aşınmaya karşı dayanıklıdır (Fibre2Fashion news desk, 2019, URL-12). Teknik tekstil zemin kaplamalar konut, hastane, otel, ofis, üniversite, kütüphane, mağaza ve spor salonu gibi çeşitli iç mekânlarda kullanılabilir. Araştırmalardan elde edilen bulgulara göre PET atıklarının geri dönüşümünü ve geri dönüştürülen PET kullanımının yaygınlaşması sağlamak için daha fazla mekanik ve kimyasal çalışmaya ihtiyaç vardır (Kaynak ve Sarıoğlu, 2018).



Şekil 8: Geri dönüştürülmüş PET teknik tekstil zemin kaplama (URL-11).

3.2.2. Zararlı Kimyasal Maddelerin Kontrolü

Teknik tekstillere alev geciktiricilik, ses emicilik, ışığa dayanıklılık, ısıya duyarlılık, nefes alabilirlik, kendi kendini temizleyebilme, aşınma dayanımı, anti bakteriyel etki veya suya dayanıklılık gibi üstün özellikler kazandırmak için çeşitli kimyasal bitim işlemleri uygulanmaktadır. 20. yüzyıl teknolojisinde bu işlemlerde çoğunlukla çevreye ve insan sağlığına zararlı bileşenler kullanıldığı görülmektedir. Ancak diğer tüm tekstil üretim süreçlerinde olduğu gibi tekstillerin bitim işlemlerinde de yenilik çok yönlü olmuştur. Yeni ürünler geliştirilerek yüzey bitirme işlemlerinin alternatif ve çevre dostu çözümlere yönelmesine olanak sağlanmaktadır (Rowe, 2009).

Döşemelik teknik tekstillere alev geciktirici özellik kazandırmak için genellikle halojen içerikli kimyasallar kullanılmaktadır. Ancak hammaddesi brom, klor gibi kimyasallardan oluşan halojen insan sağlığına ve çevreye zarar vermektedir. Bu nedenle Dünya genelinde birçok ülkede kullanımı sınırlandırılmıştır veya İngiltere gibi bazı Avrupa ülkelerinde tamamen yasaklanmıştır. Yapılan çalışmalara göre, yangın yayılımını azaltan fosfor içerikli alev geciktiriciler daha az toksik madde salınımı yaparak kimyasalların çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini minimuma indirmektedir (Van der veen ve Boer, 2012). Bu bağlamda halojen içermeyen yeni bir döşemelik teknik tekstil geliştirilmiştir. Teknik tekstil üretiminde kullanılan yüksek fosfor içerikli (22.000 ppm) polyester elyafı, yüzey ve kenar tutuşmasına karşı güçlü direnç göstermektedir. Polyester kumaşlarda yüksek fosfor kapasitesine sahip ilk halojen içermeyen alev geciktirici teknolojidir. Diğer halojen içermeyen teknolojiler, yaklaşık 6500 ppm fosfor ile sınırlandırılmıştır (Frax-innovations products, URL-13). Fosfor kullanımı ile büyük miktarda petrol tasarrufu yapılabilmektedir ve işlenmemiş malzemelerin üretiminden çok daha az enerji harcanmaktadır. Ayrıca atık miktarının azalması ve denizlerin temizlenmesinde büyük rol oynamaktadır. (Flame retardant upholstery fabrics, 2022, URL-14). Üretilen yenilikçi teknik tekstil nefes alabilirlik ve aşınma direnci gibi üstün özellikler de sağlamaktadır.

Kimyasal madde geliştirme araştırmaları ve polimer tekstil üreticilerin alev geciktirici ürünler ile ilgili çalışmaları devam etmektedir (Fibre2Fashion news desk, 2022, URL-15). İç mekân zemin teknik tekstillerinde zararlı kirleticilere maruz kalmayı azaltmak ve sürdürülebilirlik geliştirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır (Noorian Najafabadi, vd., 2022).

3.2.3. Organik Malzeme Kullanımı

Sürdürülebilirlik kapsamında önemli bir kavram olan organik malzeme kullanımı ve hakkında yapılan deneysel çalışmalar her geçen gün önem kazanmaktadır. Vietnamlı tasarımcı Uyen Tran, çok sayıda deney ve araştırmalar sonucunda atık deniz kabuklarından ve kahve telvesinden biyolojik esaslı deriye alternatif üstün özellikli yenilikçi bir teknik tekstil üretmiştir.

Kabuklu su ürünleri atıklarının kitosan liflerine dönüşmesiyle elde edilen teknik tekstil malzemeye “TômTex” adı verilmiştir (Interview with Uyen Tran, 2022, URL-16). Malzeme, yumuşak dokusunun aksine yüksek performanslı ve yapısı gereği suya dayanıklıdır. Suya dayanıklılık özelliğini balmumu kaplaması kullanarak geliştirmek mümkündür. Odun kömürü, kahve gibi doğal pigmentler kullanılarak boyanmaktadır (Şekil 9). Deri görünümlü biyotekstil malzeme kalıba döküldükten sonra iki gün oda sıcaklığında kurumaması için bekletilmektedir. Kurutma işlemi aşamasında makine işlemi gerekmediği için enerji tasarrufu sağlanmaktadır ve ayrıca doğaya bırakıldığında kısa sürede biyolojik olarak parçalanmaktadır. Malzemenin üretim tekniği farklılaştırılarak kauçuk veya plastik görünümlü ürünler elde edilebilmek mümkündür. Tasarımcı ürünün iç mekân tasarımında kullanılan hayvan derisi veya sentetik deri malzemelere bir alternatif olduğunu vurgulamaktadır (Hahn, 2020, URL-17). TômTex üretim sürecinde; çeşitli atıklardan hammadde olarak fayda sağlamanın yanı sıra doğal hayvansal deri veya sentetik deri üretimine kıyasla önemli ölçüde daha az su, enerji ve arazi kullanıldığı görülmektedir (Pham, 2021, URL-18). Geleneksel deriden beklenen özelliklerin birçoğuna sahip ümit verici yeni bir biyotekstil malzeme olup, geleneksel deriye kıyasla daha sürdürülebilir olmasının yanı sıra dayanıklılığı, aşınmaya, yıpranmaya karşı direnci ve temizleme kolaylığı ile çok yönlü bir alternatiftir. Malzemenin üretiminde herhangi bir hayvansal ürün veya kimyasal kullanılmaması ürünü hipoalerjenik bir seçenek haline getirmektedir. Teknik tekstil üretiminde biyo bazlı malzeme tercihi doğal kaynakların korunması konusunda önemli bir adımdır.



Şekil 9: “Tomtex” doğal hammadde ile üretilen ve deri görünümü verilen teknik tekstil (URL-18)

4. SONUÇ

Tarih öncesi çağlardan itibaren insan yaşamının önemli bir gereksinimi olan tekstil ürünleri gündelik hayatın çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Tekstil genellikle görsel estetiğe hitap eden bir malzeme olarak düşünülse de özellikle 21. yüzyılın ilk çeyreğinden itibaren tekstilden beklenen işlevler hızla değişmektedir. Çağdaş tasarımcının yeni kavramlarla oluşan hayal gücü ve beraberinde değişen tarz anlayışıyla birleşen üretim teknikleri ve teknolojiler, tekstil tasarımında yenilikleri körüklemektedir. Tekstil üretim süreci Endüstri 4.0 kavramı çerçevesinde teknoloji, fizik, kimya, malzeme bilimi, mimarlık, sanat ve tasarım gibi farklı araştırma disiplinlerinin etkileşimi sonucu yeniden şekillenmektedir. Bu şekillenme sadece var olan lif ve iplikleri gelişmiş özellikleriyle kullanmanın yanı sıra yeni hammaddeler ve üretim yöntemleri geliştirmeyi de kapsamaktadır. Endüstri 4.0'ın beraberinde getirdiği yenilikçi yaklaşım ve dijital dönüşüm sonucunda tekstil ve hazır giyim sektöründe hızlı bir gelişim yaşanmaktadır. Bu çerçevede, tekstil sektöründe dijital dönüşüme en uygun alanlardan biri olan teknik tekstiller çok yönlü bir değişim sürecindedir. Kullanıcı ihtiyacı veya kullanım alanına

göre bir ya da birden fazla yüksek performans gereksinimi karşılayan teknik tekstiller; üç boyutlu üretim, robotik, yapay zekâ, nesnelere interneti, doğal veya yapay kaynaklardan elde edilen optik fiberler, sürdürülebilir ekolojik üretim, atıkları değerlendirme gibi birbirinden farklı bilimsel alanların birlikte getirdiği çözümler ile gelişmektedir. Geliştirilen teknik tekstiller; tarım, tıp, endüstri, taşımacılık, ambalaj, spor, inşaat ve ev tekstili gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Teknik tekstil ürünlerinde üstün performans ve fonksiyonun yanı sıra estetik ve dekoratif özellikleri geliştirme yönünde bir eğilim başlamıştır. Bu eğilim iç mimarların ve tasarımcıların tekstil tekstillere olan ilgisini artırmaktadır. Renk, doku, biçim ve form gibi tasarım öğelerini, işlevsellik ve yüksek mukavemet ile bütünleştiren teknik tekstiller iç mekân tasarımında sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır. Tasarımcılar ve araştırmacılar iç mekân tasarımı için önemli olan elastikiyet, katlanabilirlik, opaklık veya şeffaflık gibi niteliklere sahip olan teknik tekstilleri zemin, duvar, tavan gibi yüzeylere uyguladığında görsel ve fonksiyonel olarak başarılı sonuçlar elde etmektedir. Ayrıca yüksek dayanıklılık avantajı nedeniyle yenilikçi yöntemler ile üretilen teknik tekstilleri ahşap, cam veya metal gibi farklı malzemelerin yerine kullanmak mümkündür.

Tekstil sektöründe Endüstri 4.0 kavramı çerçevesinde uygulanan; akıllı, verimli ve sürdürülebilir yaklaşım, iç mekânda kullanılan teknik tekstillerin üretim yöntemlerinin gelişimini olumlu yönde etkilemektedir. Dijitalleşme lif üretiminden bitim işlemlerine kadar tekstil ürününün her aşamasında etkisini göstermektedir. Geliştirilen tasarım ve üretim yöntemleri arasında; robotik, üç boyutlu baskı ve örgü teknikleri öne çıkan başlıklar arasındadır. Bu yöntemler tasarım sürecini ve üretim süresini hızlandırırken maliyeti düşürmektedir. Ayrıca depolama, paketleme, nakliye ve atık oluşturma gibi konularda da avantaj sağlamaktadır.

Robotik teknolojisi, insan gücünü en aza indirerek önemli bir fayda oluşturmaktadır. Bilgisayar yazılımları ve robotik kol ile ince el işçiliği gerektiren tasarımlar kolaylıkla üretilebilmektedir. Geniş hacimli iç mekân çözümleri için üç boyutlu üretim esnek tasarım çözümleri sunmaktadır. Üç boyutlu örme teknikleri ile doğal lifler, kimyasal lifler, mineral lifler veya metalik (iletken) teller gibi farklı malzemeleri teknik tekstillere işlemek mümkündür. Tek parça olarak üretilen üç boyutlu örme tekstiller daha az dikim işlemi gerektirir ve en büyük avantajlarından biri esneklik özelliğidir. İç mekân teknik tekstillerinde üretilmesi zor karmaşık geometrik şekil ve dokuları bilgisayar yazılımları kullanarak tasarlamak ve üç boyutlu üretmek süreci kolaylaştırmaktadır. İç mimari uygulamalarda daha fazla fonksiyon elde edebilmek için üç boyutlu baskı veya örgü teknolojisine yeni hammaddeler geliştirmek gerekmektedir. Araştırma ve geliştirme aşamasında üç boyutlu üretim teknolojisinde kullanılan malzeme türleri konusunda derinleşme sağlanmasıyla fonksiyonelliğin artacağı beklenmektedir. Konu ile ilgili bilimsel çalışmalarda doğal lif, doğal lif karışımları veya doğal lif yapısına benzer yeni hammaddelerin üretilmesi konularına ağırlık verilmiştir.

Sürdürülebilirlik politikası kapsamında yenilikçi teknik tekstil üretiminde çevreyi korumak ve iyileştirme sağlamak hedeflenmiştir. Küresel tekstil endüstrisi çevreye en fazla zarar veren sektörler arasında yer almaktadır. Lif eğirme işleminden, üretilen ürünün nakliyesine kadar birçok aşamada önemli ölçekte atık ve kirletici madde doğaya bırakılmaktadır. Bu zararlı etkiyi minimuma indirmek için doğal hammadde üretimini artırmak, atık ürünleri yeni liflere dönüştürmek, terbiye işlemlerinde kullanılan kimyasallara alternatif çözümler üretmek ve verimli üretim süreçleri planlamak gibi çeşitli önlemler alınmaktadır. Ayrıca doğal lif üretimi sırasında kullanılan böcek öldürücü gibi kimyasal içeriklere dikkat etmek gerekmektedir.

Bir diğer önemli unsur olan geri dönüşüm konusunda ise araştırma ve geliştirme merkezleri çalışmalarını sürdürmektedir. Geri dönüşüm ile elde edilen liflerden, çeşitli teknik uygulamalarla dokuma, örme veya dokuma olmayan tekstil yapılarını üretmek mümkündür. Petrol türevli kimyasal lifler yerine doğal liflerin üretimine yönelim; düşük maliyet, yüksek direnç, elastikiyet ve biyo-bozunabilirlik gibi avantajlar sağlamaktadır.

Sonuç olarak yenilikçi teknik tekstiller disiplinlerarası bilim dallarının ortak çalışmalarıyla multidisipliner bir anlayış çerçevesinde üretilmektedir. Üretim sürecinde; akıllı sistemler, teknolojik-dijital gelişmeler ve malzeme kullanımını minimuma indirerek sınırlı olan doğal kaynakların dikkatli kullanılmasını sağlamak gibi konular önem taşımaktadır. İnsan sağlığına ve çevreye verilen zararları azaltmak için yeni yöntemler geliştirilmektedir. Bu bağlamda atık geri kazanımı ve yeniden kullanımı üzerine çalışmalar yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Bilimsel araştırmalar ve geliştirmeler yenilikçi teknik tekstil üretim yöntemlerinin; konforlu, güvenli ve çevreye duyarlı iç mekân malzemesi oluşturmada önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bu nedenle, teknolojik çözümler ile üretilen iç mekân teknik tekstillerin, analiz, sentez ve değerlendirmeler çerçevesinde geliştirilmesi ve kullanım alanlarının genişletilmesi süreci küresel çapta devam etmektedir.

KAYNAKÇA

Aldalbahi, A., & El-Newehy, Mohamed & Rahaman, M., & Hatshan, M., & Khattab, T., (2021). Effects of Technical Textiles and Synthetic Nanofibers on Environmental Pollution. *Polymers*. 13. 10.3390/polym13010155.

Aneja, A.P., Kupka, K., Militký, J., & Kadi, N. (2019). 1B3_0287_ Textile Industry 4.0 – Preparing For Digital Future.

Jimeno-Morenilla, A., Azariadis, P., Molina-Carmona, R., Kyratzi, S., Moulianitis, V. (2021). Technology enablers for the implementation of Industry 4.0 to traditional manufacturing sectors: A review, *Computers in Industry*, Volume 125, 2021, 103390, ISSN 0166-3615, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103390>

McCarthy, B.J. (2016). An overview of the technical textiles sector. In: *Handbook of technical textiles* Woodhead Publishing, pp. 1-20. DOI: 10.1016/B978-1-78242-458-1.00001-7

Can, Ö. (2008). Endüstride Kullanılan Teknik Tekstiller Üzerine Bir Araştırma. *Teknolojik Araştırmalar, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt.2, Sayı.3, s.31-43, 2008.

Cerulo, B., Papile, F., Motta, M., Marinelli, A., Conti, G. M., Del Curto, B., (2022). 3D knitting for upholstery: guidelines to design at the interface of sustainable fashion and furniture. 10.54941/ahfe1001547.

Choi, et al., (2022). Smart textile lighting/display system with multifunctional fibre devices for large scale smart home and IoT applications. *Nature Communications*. 13. 10.1038/s41467-022-28459-6.

Deepthi, B., & Bansal, V. (2022). Industry 4.0 in Textile and Apparel Industry: A Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis of Global Research Trends. *Vision*, 0(0). <https://doi.org/10.1177/09722629221130233>

Eurecat. (2019). *Innovating with companies to create next-generation textile solutions* Erişim Tarihi: (28.01.2023). https://eurecat.org/wp-content/uploads/2019/07/Textile_eng.pdf

Euratex annual report. (2016). Erişim Tarihi: 19.06.2023 <https://euratex.eu/wp-content/uploads/2019/05/Euratex-annual-report-2016-LR.pdf>

Hasan, R. (2020). An overview of geotextiles: industrial application in technical textiles. *J Text Sci Fash Technol*, 4(4).

Kaynak H. K., & Sarıoğlu, E., (2018). PET Bottle Recycling for Sustainable Textiles. 10.5772/intechopen.72589.

İlhan, İ. (2019). Tekstil üretim süreçleri açısından endüstri 4.0 kavramı. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25 (7), 810-823. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/pajes/issue/50906/664812>

İTKİB, İstanbul Tekstil Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri. (2008). Teknik Tekstiller Üzerine Genel ve Güncel Bilgiler. Mart 2008. İstanbul

Karla J. Nielson. (2007). Interior Textiles: Fabrics, Application, and Historic Style / Edition 1

Mcgee, W., & Ng, T., & Peller, A. (2019). Hard + Soft: Robotic Needle Felting for Nonwoven Textiles: Foreword by Sigrid Brell-Çokcan and Johannes Braumann, Association for Robots in Architecture. 10.1007/978-3-319-92294-2_15.

Noorian Najafabadi, S. A., Sugano, S., & Bluysen, P. M. (2022). Impact of carpets on indoor air quality. *Applied Sciences*, 12(24), 12989.

Redmond, K. (2020). Ultrasheer fabric electrodes increase wearability of light-emitting e-textiles Erişim tarihi (25.06.2023). <https://www.cambridge.org/core/journals/mrs-bulletin/news/ultrasheer-fabric-electrodes-increase-wearability-of-light-emitting-e-textiles>

Rathore, B. (2023). Textile Industry 4.0: A Review of Sustainability in Manufacturing. *International Journal of New Media Technology*. 10. 38-43.

Rowe, T. (2009). Interior textiles: Design and developments.

Shareef, R. A., & Al-Alwan, H. A. S. (2021). Sustainable textile architecture: history and prospects. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1067, No. 1, p. 012046). IOP Publishing.

Tao, X. (2015). Handbook of Smart Textiles. 10.1007/978-981-4451-45-1

Technical Information The Blue Angel - Dünyanın ilk eko-etiketi uluslararası pazarlarda Erişim Tarihi: (03.05.2023) <https://www.yesilist.com/wpcontent/uploads/2016/09/BlueAngelNedirTurkce.pdf>

Van der Veen, I., & de Boer, J. (2012). Phosphorus flame retardants: properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis. *Chemosphere*, 88(10), 1119-1153.

Wu, Y., Mechael, S. S., Lerma, C., Carmichael, R. S., & Carmichael, T. B. (2020). Stretchable ultrasheer fabrics as semitransparent electrodes for wearable light-emitting e-textiles with changeable display patterns. *Matter*, 2(4), 882-895.

Zander, N. E., Gillan, M., & Sweetser, D. (2017). Composite fibers from recycled plastics using melt centrifugal spinning. *Materials*, 10(9), 1044.

İNTERNET KAYNAKLARI

URL-1: Tarakçıoğlu, I. (2003). <http://www.porttex.com/dünyatekstilverileri>

URL-2: Wanders, M. (1996). *Knotted Chair*. Erişim Tarihi: (24.01.2023)
<https://www.marcelwanders.com/work/knotted-chair>

URL-3: ITA Technical Textiles Top Markets Report. (2016). Erişim Tarihi: (14.07.2023)
https://legacy.trade.gov/topmarkets/pdf/Textiles_Top_Markets_Report.pdf

URL-4: Technical Textile Raport. (2022). Erişim Tarihi: 14.06.2023
<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/technical-textiles-market>

URL-5: Trademap. (2023). Erişim Tarihi: 11.06.2023
https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7cTOTAL%7c%7c%7c2%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c1%7c%7c1

URL-6: 3D Knitted Furniture | Circular high tech textile coding.(2019) Erişim tarihi (29.06.2023) <https://www.skrabanja.com/3d-knitted-sofa>

URL-7: Aouf R. S. (2019,12 September). *3D printing meets felt in new additive manufacturing technique*. Erişim tarihi (28.06.2023): <https://www.dezeen.com/2019/09/12/robotic-needle-felting-taubman-college-design/>

URL-8: Object carpet. (2018). Erişim Tarihi: (05.07.2023) <https://www.object-carpet.com/en/products/loesungen/technical-solutions/welltex-tiles-construction>

URL-9: Fishing nets from aquaculture and fish industry and ghost nets. Erişim Tarihi: (02.06.2023). <https://www.econyl.com/blog/fishing-nets-from-aquaculture-and-fish-industry-and-ghost-nets/>

URL-10: Ecolabel with history Erişim Tarihi: (03.06.2023) <https://www.blauer-engel.de/en/blue-angel/our-label-environment/ecolabel-history>

URL-11: Dichroic Lookbook. Erişim Tarihi (01.06.2023)
https://www.patcraft.com/getmedia/be84740c-ffbe-48f3-b785-02936b821c55/dichroic_lookbook.pdf.aspx

URL-12: Fibre2Fashion News Desk. (2019). Patcraft unveils non-woven composite flooring. Erişim Tarihi (01.06.2023) <https://www.technicaltextile.net/news/patcraft-unveils-non-woven-composite-flooring-254189.html>

URL-13: Frx-innovations products. Erişim Tarihi: (05.07.2023) <https://www.frx-innovations.com/products>

URL-14 Flame Retardant Upholstery Fabrics. (2022). Erişim Tarihi: (01.07.2023)
<https://www.textileworld.com/textile-world/2022/10/frx-innovations-sichuan-em-technology-co-jointly-develop-flame-retardant-upholstery-fabrics-for-u-k-market/>

URL-15: Flame retardant fabric. (2022). Erişim tarihi: (12.05.2023)
<https://www.technicaltextile.net/news/us-frx-sichuan-develop-1st-halogen-free-flame-retardant-fabric-283488.html>

URL-16: Interview with Uyen Tran. (2022). Erişim tarihi: (16.06.2023)
<https://www.technicaltextile.net/interviews/tom-tex-co/uyen-tran/13424-1/>

URL-17: Hahn, J., (2020). Tômtex is a leather alternative made from waste seafood shells and coffee grounds. Dezeen. Erişim tarihi (29.05.2023).
https://www.dezeen.com/2020/08/22/tomttx-leather-alternative-biomaterial-seafoodshells-coffee/?li_source=LI&li_medium=bottom_block_1

URL-18: TômTex's Vegan Leather is Gorgeous & Eco-Friendly. (2021). Erişim tarihi: (18.06.2023). <https://www.nokillmag.com/articles/tomttx-ecofriendly-biodegradable-vegan-leather/>