



International
SOCIAL SCIENCES
STUDIES JOURNAL



SSSjournal (ISSN:2587-1587)

Economics and Administration, Tourism and Tourism Management, History, Culture, Religion, Psychology, Sociology, Fine Arts, Engineering, Architecture, Language, Literature, Educational Sciences, Pedagogy & Other Disciplines in Social Sciences

Vol:5, Issue:30
sssjournal.com

pp.535-545
ISSN:2587-1587

2019 / February / Şubat
sssjournal.info@gmail.com

Article Arrival Date (Makale Geliş Tarihi) 25/12/2018 | The Published Rel. Date (Makale Yayın Kabul Tarihi) 10/02/2019
Published Date (Makale Yayın Tarihi) 10.02.2019

AKILLI TEKSTİL MALZEMELERİNİN TEKSTİL VE MODA TASARIMINA KATKILARI

CONTRIBUTION OF SMART TEXTILE MATERIALS TO TEXTILE AND FASHION DESIGN

Arş. Gör. Derya MERİÇ

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Moda ve Tekstil Tasarımı Bölümü, Eskişehir/TÜRKİYE
İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü, deu.deryameric@gmail.com

Doç. Dr. Mustafa Erdem ÜREYEN

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Moda ve Tekstil Tasarımı Bölümü, meureyen@eskisehir.edu.tr,
Eskişehir/TÜRKİYE
ORCID : 0000-0002-9055-322



Article Type : Research Article/ Araştırma Makalesi

Doi Number : <http://dx.doi.org/10.26449/sss.1250>

Reference : Meriç, D. & Üreyen, M., E. (2019). "Akıllı Tekstil Malzemelerinin Tekstil Ve Moda Tasarımına Katkıları", International Social Sciences Studies Journal, 5(30): 535-545.

ÖZ

Günümüzde teknolojik gelişmelerin tekstil ve moda endüstrisi üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Malzeme alanında en ileri seviyeyi temsil eden ürün grubu akıllı malzemelerdir. Temelde uzay, askeri, tıbbi ve spor amaçlı geliştirilen akıllı malzemeler pek çok farklı alanda olduğu gibi tekstil ve giysilere de uyarlanmıştır. Akıllı tekstiller ve giysiler herhangi bir etkiyi veya etki değişikliğini algılama ve buna tepki verme özelliğine sahip ürünlerdir. Öncelikle işlev odaklı olarak geliştirilen akıllı tekstil malzemeleri, üretim yöntemlerindeki gelişmeler ve kullanım olanaklarının artması ile beraber günlük uygulamalarda da kullanılabilir hale gelmiştir. Tekstil ve moda tasarımcıları ile sanatçıların da bu malzemelere ilgi göstererek çalışmalarında kullanmaya başlamaları ise akıllı tekstil ve giysilere farklı bir bakış açısı getirmiştir. Teknolojik ve endüstriyel talepler akıllı giysi ve tekstiller için itici bir güç iken, sanat ve tasarım alanlarında destekleyici bir rol üstlenmeye başlamıştır. Öyle ki, çeşitli moda gösterileri, kavramsal çalışmalar, giyilebilir sanat objeleri gibi pek çok alanda bu malzemelerden yararlanılmaktadır. Yapılan çalışmalar gelişmiş teknolojiye sahip bu yeni malzemelerin tasarım süreçleri açısından potansiyelini ortaya çıkarmış, alışılmadık dışındaki akıllı malzemelerin ürüne dönüşme süreçlerinde tasarımcılara önemli katkılar sunabildiğini göstermiştir. Bu çalışmada akıllı tekstil kavramı, sınıflandırılması ve çeşitli tasarım uygulamaları incelenmiştir. Bu kapsamda akıllı tekstil malzemelerini ve giysileri tasarım nesnesi olarak kullanan çalışmalara değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: akıllı tekstiller ve giysiler, tekstil sanatı, tekstil tasarımı, moda tasarımı.

ABSTRACT

Today, technological developments have a strong influence on the textile and fashion industry. The product group representing the most advanced level in the field of materials are smart materials. Mainly, smart materials have been developed for space, military, medical and sports applications then they are adapted to textiles and clothing as well as many other areas. Smart textiles and garments are products that have the ability to detect and respond to the surrounding environment in a predictable and useful manner. Smart textile materials, which are developed primarily as functional purposes, have been used in daily applications by the improvements in production methods and usage possibilities. Textile and fashion designers and artists have also shown interest in these materials and have started to use in their works. Technological and industrial demands are a driving force for smart garments and textiles and have begun to play a supporting role in art and design. In fact, these materials are used in many areas such as various fashion shows, conceptual works, wearable art objects. The studies have revealed the potential of these new materials with advanced technology in terms of their design processes and showed that they can make important contributions to the designers in the process of transformation of extraordinary smart materials into products. In this study, smart textile concept, classification of smart textiles and various design applications are examined. In this context, the use of smart textile materials and clothing as a design object is mentioned.

Keywords: smart textiles and garments, textile art, textile design, fashion design.

1. GİRİŞ

Tasarım süreçlerinde kullanılan malzemelerin üstlendikleri rol önemlidir. Yeni teknolojiler ve buluşlar ise malzemenin kullanım olanakları, anlatımsal olarak potansiyelleri, ürün tasarım senaryoları ve süreçlerine etkileri gibi birçok konuda ön plana çıkmaktadır. İnsanlık tarihinde önemli bir yere sahip olan tekstil malzemeleri de gelişen teknolojiler ve buluşların da etkisi ile gelişmiştir. 1930'lu yıllarda sentetik liflerin keşfedilmesi ve ticari olarak kullanılmaya başlanmasını takip eden süreçte çok sayıda yeni lif hayatımıza girmiştir. Tekstil malzemelerindeki gelişmeler bu malzemelerin hayatın hemen her alanında farklı kullanım alanları bulmasına yol açmıştır. Tıptan, spor malzemelerine, otomobil parçalarından iş kıyafetlerine kadar pek çok alanda fonksiyonel özellikleri ile çok fazla sayıda ürünün geliştirilmesine yol açan malzemeler, teknik tekstil adı verilen yeni bir ürün grubunu ortaya çıkarmıştır. Günümüzde teknik tekstiller ile başlayan bu süreç akıllı tekstillerin gelişimi ile farklı bir boyut kazanmıştır. Akıllı tekstil malzemelerinin ürün tasarım süreçlerinde yer almasında rol oynayan önemli etkenler arasında malzemelerin karakteristiklerinin ve kullanım alanlarında çeşitli özelliklerinin bilinirliğinin artması ile bu malzemelerin ulaşılabilir hale gelmesi yer almaktadır.

Günümüzde teknolojik gelişmelerin tekstil ve moda endüstrisinde güçlü bir etkisi vardır. Teknolojik gelişmeler, farklı sektörlerde olduğu gibi, tekstil ve moda endüstrilerine de yeni malzeme ve üretim yöntemleri olarak yansımıştır. Öncelikle işlevsel odaklı olarak geliştirilen akıllı tekstil malzemeleri, üretim yöntemlerindeki gelişmeler ve kullanım olanaklarının artması ile beraber; günlük uygulamalarda da kullanılır hale gelmiştir. Tekstil ve moda tasarımcıları ile sanatçıların da bu malzemelere ilgi duymaları, çalışmalarında kullanmaya başlamaları akıllı tekstil ve giysilere farklı bir bakış açısı getirmiştir. Dolayısı ile teknolojik gelişmeler ve endüstriyel talepler akıllı giysi ve tekstiller için itici bir güç iken başka bir yandan da sanat ve tasarım alanlarında destekleyici bir rol üstlenmeye başlamıştır. Tekstil ve moda tasarımcılarının çeşitli moda gösterilerinde, kavramsal sanat çalışmalarında ya da giyilebilir sanat objeleri gibi birçok alanda bu malzemeler gözlemlenmektedir. Yapılan çalışmalar gelişmiş teknolojiye sahip bu yeni malzemelerin tasarım süreçleri açısından potansiyellerini gündeme getirmiş, alışılmadık dışındaki akıllı malzemelerin ürüne dönüşme aşamalarındaki tasarım kaygılarını ve farkındalıklarını ön plana çıkarmıştır. Bu çalışmada ilk olarak akıllı tekstillerin tanımı, sınıflandırılması ile gelişim ve tasarım süreçleri açıklanmıştır. Daha sonra akıllı tekstil malzemelerinin ürün tasarımında kullanımına dair örnekler incelenmiş; ürün incelemelerinde ise esas olarak akıllı tekstil malzemelerini ve giysileri sanat ve tasarım nesnesi olarak kullanan çalışmalara değinilmiştir.

2. AKILLI TEKSTİLLERİN TANIMI

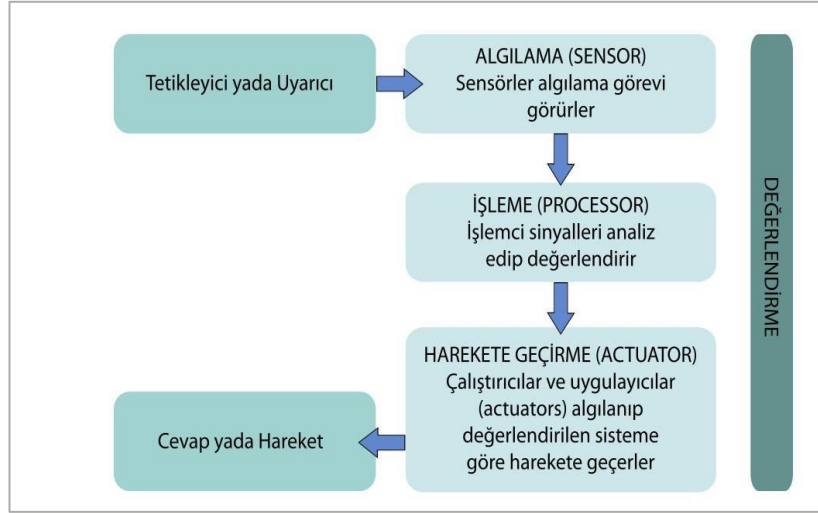
Akıllı tekstil kavramını tanımlamak için önce akıllı tekstilin düşünce bazında temellerini oluşturan teknik tekstil kavramından bahsetmek yerinde bir başlangıç olacaktır. Farklı alanlardaki teknolojik gelişmeler, yeni polimer, malzeme ve üretim yöntemlerinin bulunması tekstil malzemelerinin bilinen geleneksel uygulamaları (giysi ve ev tekstili) dışında da kullanım alanı bulmasına ön ayak olmuştur. Çeşitli ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilmiş, kullanım yerine göre farklı fonksiyonel özelliklere sahip tekstillerin üretimi sonucu teknik tekstil kavramı ortaya çıkmıştır. “Estetik veya dekoratif özelliklerinden ziyade esasen sahip oldukları teknik ve performans özellikleri için imal edilen tekstil ürünleri” (McIntyre & Daniels, 1995) olarak tanımlanan teknik tekstiller gün geçtikçe daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Bazı kaynaklarda teknik tekstil üretiminin başlangıcı olarak gemilerde kullanılan yelken bezlerinin üretilmesinin kabul edilmesi (Akardeniz & Kıraç, 2015), teknik tekstillerin fonksiyon önceliği ile ortaya çıktığının bir göstergesidir. Teknik tekstiller, özellikle 1939 yılında ilk sentetik lif olan poliamidin endüstriyel olarak üretilebilir hale gelmesinden sonra üretim ve uygulama alanlarında büyük gelişme göstermiş, çok farklı özelliklere sahip yeni sentetik liflerin geliştirilmesi ile de pek çok yeni teknik tekstil malzemesinin üretim ve uygulama olanağı doğmuştur. Teknik tekstiller fonksiyonellik özellikleri ile endüstri, uzay çalışmaları, askeriye, denizcilik, tıp, inşaat gibi ileri teknoloji gerektiren sektörlerde ön plana çıkmışlardır. Öyle ki; belirli özellikleri geliştirmek amacı ile başlayan teknik tekstil serüveni ilerleyen teknoloji ile akıllı tekstillere doğru yönelmiş ve akıllı tekstil ürünleri hayatımıza girmiştir.

Akıllı tekstiller, belirlenmiş bir teknik özelliğin iyileştirilmesi prensibi ile geliştirilen teknik tekstillerin yanı sıra herhangi bir etkiyi veya etki değişikliğini algılama ve buna bir tepki verme özelliğine sahip tekstil ürünleridir. Akıllı tekstillerin pek çok tanımı bulunmaktadır. Bununla beraber Tao (2001)'nun akıllı malzeme ve yapılar için yapmış olduğu “Mekanik, termal, kimyasal, elektriksel, manyetik veya başka bir kaynaktan gelen çevresel etken ya da uyarıyı algılayan ve reaksiyon gösteren malzeme ya da yapıdır.” tanımı en genel kabul görmüş tanımdır. Bir akıllı malzeme sınıfı olarak akıllı tekstillerin; algılayıcı, işlevci

ve harekete geçirici üç bileşenden oluştuğunu belirten Tao, gösterdikleri reaksiyonlara göre akıllı tekstilleri pasif akıllı tekstiller, aktif akıllı tekstiller ve çok akıllı tekstiller olarak üç gruba ayırmıştır.

- Pasif akıllı tekstiller: çevreden gelen etkileri algılayabilen tekstillerdir.
- Aktif akıllı tekstiller: çevreden gelen etkileri algılayabilen ve tepki gösterebilen tekstillerdir.
- Çok akıllı tekstiller: çevreden gelen etkileri algılayıp tepki göstermenin yanında özelliklerini bu şartlara adapte edebilen tekstillerdir.

Tao'nun aktif, pasif ve çok akıllı tekstil sınıflandırmasına benzer bir sınıflandırma yapan Schwarz ve arkadaşları (2010) "Akıllı malzemeler çevresel ya da dış uyaranları algılama yetisine sahip ve tam anlamıyla akıllı olduğunda ise dış uyaranlara tepki gösterip özelliklerini bunlara göre adapte edebilen akıllı sistemlerden şekillenmiş malzemelerdir" tanımlamasını yapmışlardır. Akıllı tekstillerin çalışma biçimi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Akıllı tekstillerin çalışma prensibi.

3. AKILLI TEKSTİLLERİN SINIFLANDIRILMASI

Tao'nun akıllı tekstiller için pasif, aktif ve çok akıllı olarak yaptığı temel sıralamanın yanı sıra akıllı tekstil malzemelerini malzeme özellikleri, kullanım alanları vb. konularda sınıflayan birçok araştırmacı olmuştur. Bu çalışmada akıllı tekstiller kullanılan malzemelere ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılarak incelenmiştir.

3.1 Malzemelerine Göre Akıllı Tekstiller

Farklı araştırmacılar tarafından akıllı tekstil malzemeleri malzeme özelliklerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmıştır. Hohenstein Institute akıllı tekstilleri Transfer Sistemleri, Adapte Olabilen Sistemler, Akıllı Giysiler, Aktarıcı Sistemler, Mikro teknoloji ve Nano teknoloji olmak üzere beş grupta toplamıştır (Coşkun, 2007). Chapman (2006) akıllı tekstillerde kullanılan malzemeleri uyaran mekanizmayı ve malzemenin buna karşı verdiği tepkiyi esas alarak elektriksel, manyetik, optik, termal ve mekanik olmak üzere beş gruba ayırmıştır. Norstebo (2003) ise akıllı tekstilleri üretim yöntemlerine göre sınıflandırarak faz değiştiren malzemelerden (PCM) elde edilenler, şekil hafızalı malzemelerden (SMM) elde edilenler, kromik malzemelerden elde edilenler, elektronik/iletken tekstillerden ve liflerden elde edilenler, diğer akıllı kumaşlar ve tekstiller olarak gruplandırmıştır. Tang ve Stylios (2006) şekil hafızalı, faz değiştirenler, renk değiştirenler ve giyilebilen elektronikler olarak dört ana grup altında değerlendirmiştir. Tanımlamaların genel olarak birbirine benzediği anlaşılmaktadır. Uygulamada ışık veya sıcaklık değişimine göre renk değiştiren malzemeler (kromikler) en çok kullanılan malzeme grubudur. Faz değiştiren malzemeler ilk olarak NASA tarafından astronot kıyafetleri için geliştirilmiş, günümüzde de özellikle kışlık bazı ürünlerde kullanım olanağı bulmuştur. Şekil hafızalı malzemeler genellikle metal alaşımlarından yapılmaktadır ve tekstil dışında pek çok alanda kullanım alanı bulmaktadır. Şekil hafızalı polimerler ile ilgili de çok sayıda araştırma gerçekleştirilmektedir. Elektronik tekstiller çok ilgi gören bir alandır. Gelecekte çok daha fazla yaygınlaşacağı beklenmektedir. Bu alanda iletken lif ve polimerlerdeki gelişmeler çok önemlidir.

3.2 Kullanım Alanlarına Göre Akıllı Tekstiller

Akıllı tekstillerin özellikleri doğrultusunda çeşitli kullanım alanlarında özelleştikleri görülmektedir. Malzeme türleri ve işlevlerine göre çeşitlilik gösteren akıllı tekstiller, ayrıca pazar segmentlerinde de işlevleri doğrultusunda çeşitli uygulama alanları oluşturmaktadırlar (Chapman, 2006). Diğer pek çok alanda olduğu gibi bu alandaki gelişmeler de ilk olarak çoğunlukla büyük bütçeli ve uzun süreli askeri çalışmalar, tıbbi çalışmalar, spora yönelik araştırmalar ve uzay çalışmalarından elde edilmiştir. Gelişim süreçlerinde de görülebileceği üzere işlevsel özellikleri ile ön plana çıkan akıllı tekstiller zamanla gündelik birçok alanda da yer almaya başlamış ve kullanım alanlarındaki çeşitlilik de giderek artmıştır. Akıllı tekstiller kullanım alanlarına göre genel olarak aşağıdaki biçimde sınıflandırılabilir:

- Askeri amaçlı kullanılan akıllı tekstiller
- Uzay çalışmalarında kullanılan akıllı tekstiller
- İş giysilerinde kullanılan akıllı tekstiller
- Sağlık ürünleri alanında kullanılan akıllı tekstiller
- İç mekân tasarımı ve ev tekstili alanında kullanılan akıllı tekstiller
- Spor/outdoor ve serbest zaman aktivitelerinde kullanılan akıllı tekstiller
- Tekstil ve moda tasarımı alanında kullanılan akıllı tekstiller (Meriç, 2016).

4. AKILLI TEKSTİLLERİN GELİŞİM VE TASARIM SÜREÇLERİ

Yukarıda da bahsedildiği üzere akıllı tekstil ve giysilerin geliştirilmesi yüksek bütçe ve uzun zaman gerektiren Ar&Ge çalışmaları içerdiğinden öncelikle askeri ve uzay çalışmaları gibi alanlarda araştırmalara konu olmuş, bununla beraber spor amaçlı ürünler ve özelleşmiş tıbbi ürünler ile ilgili de çalışmalar yapılmıştır. Zamanla gerek gelişen teknolojilerin üretim yöntemlerine yaptığı olumlu katkılar ve maliyetlerin düşmesini sağlaması gerekse hayatın diğer alanlarındaki beklentilerin değişmesi, gündelik kullanım senaryolarının ve kullanıcı taleplerinin başkalaşması ile akıllı tekstil ürünleri daha geniş bir kullanım alanına yayılmaya başlamıştır.

Ariyatun & Holland (2003) akıllı giysi uygulamalarının ilk örneklerinin 1970'lerde geliştirilen giyilebilen bilgisayar sistemlerine dayandığından bahsetmektedirler. Teknolojinin gelişimi ile ivme kazanan bu süreçte son kullanıcı ya da moda tasarımı kavramlarından bağımsız olarak teknolojik ürün gelişimi doğrultusunda konsept projeler gerçekleştirilmiştir. Akademik çalışmaların yanı sıra NASA ve Birleşik Krallık Savunma Bakanlığı gibi devlet destekli askeri veya uzay çalışmaları da akıllı giysi gelişim süreçlerine ivme katan etkenlerden olmuştur. İlerleyen zamanlarda ileri teknoloji odaklı firmalar kendi araştırma laboratuvarları ve ekipleri ile projelerini sürdürmeye başlamıştır. Böylece bu ileri teknoloji ürünleri kullanıcı etkileşimi ön planda olan yeni nesil teknolojik cihazların bir yorumu olarak şekillenmiştir.

Çalışmalarına öncelikle giyilebilen elektronikler odaklı yaklaşan ve söz konusu gelişim sürecinde yönlendirici etkenleri dört grupta toplayan Ariyatun ve Holland (2003) bu etkenleri; hareket kabiliyeti, ürün boyutlarındaki küçülme, giysiye bütünleşmiş elektronik sistemler dolayısıyla yaşanan karmaşıklık problemleri ve akıllı tekstil ve mikro elektroniklerdeki ileri teknoloji içeren gelişmeler şeklinde sıralamışlardır. Bu bakış açısıyla akıllı giysi gelişim sürecinin genel değerlendirmesini:

- Öncelikli olarak sağlık, eğlence, spor ve iletişim alanlarına odaklanan,
- Teknolojik gelişim odaklılıktan kullanıcı odaklılığa doğru gelişim gösteren,
- Gelişim sürecinde teknik yanların önemli bir etkiye sahip olduğu,
- Moda kavramının etkisinin gün geçtikçe arttığı,
- Sınırlı sayıda üretilen ve özelleşmiş kullanıcı kitlesine sunulan ürünler olarak yapmışlardır.

Suh ve arkadaşları (2010) ise akıllı giysilerin tarihsel sürecini incelerken Ariyatun ve Holland'ın çalışmalarından yararlanmışlardır. Çalışmalarında akıllı giysilerin tarihsel sürecini birbirini takip eden dört dönem olarak tanımlamışlardır.

Birinci dönem (1980'lerden 1997'ye kadar), akıllı giysi tanımının giyilebilir bilgisayar fikri ile birlikte ortaya çıktığı dönemdir. Öncelikle taşınabilirlik odaklı yaklaşımdan dolayı giysi taşıyıcı, bilgisayar donanımı ise taşınabilmesi için geliştirilen bölümleri oluşturmaktadır. İkinci dönem (1998'den 2001'e kadar), moda ve tekstil sektörünün ürün tasarımına dâhil olduğu dönemdir. Bu dönemde giyilebilirlik kavramı daha ön plana çıkmıştır fakat teknolojik yetersizliklerden kaynaklı olarak ortaya çıkan ürünler ilkel düzeyde kalmışlardır. Üçüncü Dönem (2002'den 2005'kadar), ürün geliştirme süreçlerinde

pazarlanabilirliğin daha fazla role sahip olduğu bir dönemdir. Ürün geliştirme süreçlerinde moda endüstrisi ve kullanıcı ihtiyaçları girdi olarak ön plana çıkmıştır. Yaklaşımlar teknik kaygılardan öte kullanıcı odaklılığa doğru yönelmeye başlamıştır. Dördüncü dönem (2006'dan 2010'a kadar), öncü moda markalarının akıllı giysi geliştirme süreçlerinde yer aldığı bir dönemdir. Akıllı giysi potansiyeli kişisel bir cihaz yönetimiyle sınırlı kalmaktan öte kullanıcı ile çevre etkileşimi olarak da rol almaya başlamıştır.

Akıllı giysilerin teknolojik özellikler ile giysinin bir arada yorumlandığı ürünler olmasından dolayı kullanıcı faktörü ile birlikte ürün karakteristiği iki bileşenin de özelliklerini barındırır şekilde gelişmek durumundadır. Cho ve arkadaşları (2009) bu iki bileşenin gerektirdiklerini gruplamış ve teknolojik özelliklerin getirdiği kullanılabilirlik, fonksiyonellik, dayanıklılık ve güvenlik ile giysi tanımıyla beraber konfor, moda, sağlık ve güvenlik kavramlarının üzerinde durmuşlardır.

Akıllı tekstil ürünleri tasarım süreçleri incelendiğinde çok disiplinli (multidisipliner) kavramının önemli rol oynadığı gözlemlenmektedir. Bu konuda MeMoGa (Mattila, 2006) projesi örnek olarak gösterilebilir. Yaygın işlemler ve çevresel zekâ üzerine yapılan araştırmalar yoğun çalışmalar gerektirdiğinden bireysel ya da küçük grup araştırmaları ile yürütülmesi mümkün olmamaktadır. Araştırmacıların akıllı giysilere bir araştırma nesnesi olarak yaklaşımı ve farklı disiplinlerin akıllı ürün ve hizmetleri farklı araştırma örneklerine temellendirmesinin incelenmesi çok disiplinli bir yönelim gerektirmektedir. Sonuç olarak adı geçen projede geliştirilen bir ürün olarak akıllı giysiyi oluşturan uçayaktan bahsedilmektedir ve akıllı giysi tasarımı ürün geliştirme süreci tasarım, fizyoloji ve malzeme-teknoloji disiplinleri üzerine oturtulmuştur. Çalışmalara derinlemesine bakıldığında sosyoloji, psikoloji, pazarlama, estetik, mühendislik, semiyotik gibi daha birçok alanın süreç içine dâhil olabileceğini gözlemlemek mümkündür.

Nihai ürün, göz önünde bulundurulmuş tüm bu etkenlerle birlikte, sürece katkısı olacak disiplinlerin projenin planlaması doğrultusunda çok disiplinli bir takım çalışması ve disiplinler arası etkileşim sağlaması sonucu ortaya çıkar. Sonuç olarak akıllı giysiler hibrit ürünlerdir ve disiplinler arası iş birliği gücü olan ve itimat edilebilir sosyal ve kültürel olarak teknolojinin kabul edilebilir giyim ürünlerine entegrasyonunu sağlamışlardır. Bunun bir yansıması olarak da tasarım süreçleri ve ürün karakterleri bu entegrasyon doğrultusunda şekillenmeye başlamıştır. Bu süreçte tekstil ve moda tasarımcısının karşı karşıya kaldığı durum ise bu alışılmadık yeni hibrit ürünlerin kullanıcı beklentilerine, işlevlerine göre kullanım alanlarına ve kullanıcı kitlesine adaptasyonunu sağlamaktır (Steffen, 2009). Bu adaptasyon sürecinde tartışılması gereken ise tasarlanan akıllı giysilerin yenilikçi karakterlerini yansıtmaya adına farklı görünümlere sahip olmaları mı yoksa konvansiyonel giysiler ile paralellik göstermelerinin gerekliliği mi olmalıdır.

Sonuçta; teknolojiye bağlı olarak akıllı tekstil uygulaması ve hedef kitlesi bakımından özel ölçütlerden bahsetmek gerekmektedir. Bunlar:

- Temel prensip olarak akıllı bir giysinin kullanımı, bakımı ve açıklamaları kolay olmalı ve tüm bileşenlerinin tasarımı doğru kullanıma yönlendirmelidir.
- Akıllı giysiler yüksek fiyat aralığında satılan ürünler olduğu için, ürün karakteri tümüyle yüksek kalite referansı vermelidir.
- Akıllı giysilerde var olan gömülü teknolojinin işlev fazlalığına bağlı olarak akıllı giysilerin anlamsal ifade biçimleri son derece bölünmüş hedef kitlenin beğeni ve beklentileri ile uyumlu olmak zorundadır. Dahası, çeşitli kavramsal tarzlara (iş elbisesi, outdoor giyim, spor giyim, iç çamaşırı vb.) dair tipik özellikler dikkate alınabilmektedir (Steffen, 2009).

5. AKILLI TEKSTİLLERİN GİYSİ VE ÜRÜN TASARIMINDA KULLANIMINA DAİR ÖRNEKLER

Yeni malzemelerin beraberinde getirdiği yeni özellikler, bu yeni malzemelerin kullanıldığı tasarımlarda da yeni işlev tanımlamalarına ve anlamsal ifade biçimlerine yol açmıştır. Son 20 yılda akıllı tekstil ve giysiler ile ilgili olarak çok sayıda çalışma yapılmış ve yeni ürünler ortaya çıkarılmıştır. Bu ürünlerin bir bölümü günlük hayatta da kullanım alanı bulmuştur. Akıllı tekstillerde de teknik tekstillere benzer biçimde işlev öncelikli yaklaşım hâkimdir. Ancak son dönemde, bazı moda ve tekstil tasarımcılarının akıllı malzemeleri kullandığı güncel çalışmalarında da görüldüğü üzere işlev ve estetik kaygıların bir arada olduğu tasarım yaklaşımlarının daha ön plana çıkarıldığı çok ilgi çekici örnekler ortaya çıkarılmıştır.

Akıllı giysilerin anlamsal ifade biçimleri ile ilişkili olarak Schumacher ve Ossevoort'un çocuklar için tasarladıkları "Starflake" ve "Claw" isimli, tasarım açısından yenilikçi, kromik ve parlama özellikleri sayesinde gündüz, gece ve sıcaklık değişimine bağlı olarak desen değişimi yapabilen ceketler Şekil 2'de gösterilmiştir (Steffen et.al., 2009).



Şekil 2. Starflake (üstte) ve Claw (altta) isimli çocuk güvenliği için tasarlanmış akıllı ceketler (Steffen ve ark., 2009, 86).

6-10 yaş grubu kız çocukları için tasarlanan Starflake isimli kışlık ceket iç mekânlarda oda ışığı altında klasik bir çocuk ceketı görünümündedir. Fakat ürün dış mekânda güneş ışığına maruz kaldığında kullanılan fotokromik boyalar sayesinde yüzeyinde farklı formlarda ve boyutlarda, hareketli görünümde kar taneleri ortaya çıkmaktadır. Gün batımında kar taneleri ortadan kaybolmakta ve çocuğun görünürlüğünü sağlayan, farklı geometrik şekillerde parıldayan yıldızlar ortaya çıkmaktadır. Bunu sağlayan ise dokuma kumaşta kullanılan fosforik iplikler ve yansıtıcı ipliklerdir (Şekil 2, üst resim). 6-10 yaş grubu erkek çocuklar için tasarlanan Claw isimli kışlık cekte tasarımcı kurt adamdan ilham almıştır. Çocuk, ceketin ceplerine ellerini soktuğunda, kollar ve ceplerin üstündeki yeşil parça canavar bacağı görünümünü oluşturmaktadır. Gün ışığında bu parça üzerindeki fotokromik boyalar sayesinde canavar kolları çok daha belirgin hale gelirler. Karanlıkta ise aynı kumaş parçaları dokumada yer alan fosforik ipliklerin parıldamaya başlaması ile ejderha derisi görünümüne bürünürler (Şekil 2, alt resim). Bu tasarımlarda malzemenin potansiyeli doğrultusunda ürünlere kazandırılan değer son derece açıktır. Kız ve erkek çocuklar için özelleştirilmiş, etkileyici ve eğlenceli hale getirilmiş olan bu tasarımlar aynı zamanda getirdiği işlev ile ebeveynleri de hedef kitle olarak almaktadır. Güvenlik amaçlı tasarlanan bu ürünlerde görünürlüğü sağlayan şeritler tasarım açısından sadece bir güvenlik bandı olma işlevinin ötesine geçmiş kullanılan desenlendirmeler ve yeni kullanım senaryosu ile aynı zamanda kullanıcı ile etkileşime giren bir ürün olarak yorumlanmıştır.

Kromik özelliğın işlevleri doğrultusunda gündelik hayatta kullanılan ürünlere entegrasyonuna örnek olarak gösterilebilecek diğer bir ürün ise “Chameleon mood” şallarıdır (Şekil 3). Neffa Studio tasarımı bu ürünlerdeki renk değıştiren boyalardan oluşan değışik katmanlar çevresel etkilere göre tepki göstermekte ve değışmekte, böylece değışik durumlara göre farklı desenler ortaya çıkmaktadır. Üründe siyah desenler kullanıcının vücut sıcaklığına göre değışkenlik gösteren termokromik baskılar ile oluşturulmuştur. Korku, stres gibi durumlarda yükselen vücut ısısı ile desenler kaybolmakta ve kullanıcıyı daha az göze çarpan bir görünüme getirmektedir. Bununla birlikte fotoluminesans etkili baskılar ile oluşturulmuş açık renk desenler karanlık ortamlarda görünürlüğü artıracak ışık ve parlaklık etkisi vermektedir. Beyaz yüzeylerde kullanılan fotokromik boyalar ile de gün ışığı etkisi ile beyazdan turuncuya dönüş yaparak dış mekân kullanımında kullanıcı modunu yükseltmesi hedeflenmiştir.



Şekil 3. Neffa Studio tarafından tasarlanmış “Chameleon Mood” Şalları (fashioningtech.com/2015/07/29/chameleon-mood-scarf).

Günümüz dünyasında değişen ihtiyaçlar doğrultusunda ürünlerden beklenen işlevlerde de değişimler gözlemlenmektedir. Ayak konforu, üşüme terleme vb. durumların etkilerini azaltma gibi işlevler beklenen konvansiyonel bir çorabın yanında, teknolojik gelişmeler ve günümüz ihtiyaçlarının değişimleri doğrultusunda artık hızı ve mesafeyi ölçebilen ve koşu analizi yapabilen ve telefon uygulamaları ile uyumlu çalışabilen akıllı spor çorapları gibi ürünler üretilmeye başlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Sensoria tarafından geliştirilen akıllı çorap tasarımı (www.sensoriafitness.com/technology).

İşlevsellik odaklı bu yeni nesil ürün geliştirme süreçlerine akademik düzeydeki yansımaları açısından yaklaşıldığında ise birçok araştırmacının konu üzerinde yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Çeşitli alternatif çözümler ile akıllı tekstil malzemeleri ile geliştirilen ürünlerdeki işlevsellik odağının günün ihtiyaçlarına yönelik olarak nasıl şekillenmesi gerektiğini tartışan birçok çalışma mevcuttur. Kuusk (2016)'un gerçekleştirdiği doktora tezinde de vurguladığı üzere akıllı ürünler güncel teknolojik etkiler ve kullanıcı etkisi ile gelişme göstermektedir. Kuusk'un da belirttiği gibi bu tasarımlar gerekli olan kısıtlara karşı kullanıcı kültürünün de etkisiyle şekillenerek geliştirilmiş temel sürdürülebilir çözümlerdir. Sürdürülebilirlik ve akıllı malzeme teknolojilerinin birleşimi ile ortaya çıkan ürün konsepti ise yeni potansiyeller ve olasılıklar sunmaktadır. Çalışmasında "Üretim ve sürdürülebilirlik nitelikleri nelerdir ve bu nitelikler akıllı tekstil hizmetleri tasarımında nasıl kullanılabilir?" sorusuna yanıt arayan Kuusk'un tez çalışması kapsamında geliştirdiği ürünlerden biri de yatak takımları ile etkileşim içinde kullanılarak etkileşimli masallara dönüşebilen tablet uygulamalarıdır (Şekil 5).



Şekil 5. Kristi Kuusk tasarımı tablet uygulamaları ile etkileşimli masallara dönüşebilen çocuk yatak takımları (www.kristikuusk.com/wp-content/uploads/2016/02/Kristi-Kuusk-PhD-thesis.pdf)

Günümüz kullanım alanları incelendiğinde dikkat çeken diğer bir grup ise tekstil ve moda tasarımı alanlarındaki yaratıcı ve sanatsal uygulamalardır. Birçok araştırma projesi ile yeni işlevlerin gelişmesine yol açan ve son ürüne dönüşmeye başlayan akıllı tekstil ürünlerinin potansiyellerinin keşfi ile tekstil ve moda tasarımcıları moda gösterilerinde, giyilebilir sanat ve performans sanatı çalışmalarında, tasarladıkları sahne giysilerinde ve daha birçok alanda yeni ifade biçimleri geliştirmişlerdir.

Günümüz modern dünyasında stil, süsleme, dekorasyon gibi birçok kavramın ve giysi, aksesuar, ev tekstili, mobilya gibi birçok ürünün moda ve ilişkili iletişim araçları olarak önemli potansiyellere sahip olduğunu söylemek mümkündür. Bununla birlikte, birçok moda takipçisi moda eğilimleri arasında teknolojik gelişmelere ve ürünlere de ilgi duymaktadır. Ancak giyilebilir teknolojiyle bütünleşmiş moda ürünleri, salt moda kavramından daha fazlasını içermektedir. Bu ürünler içerdikleri teknolojik unsurlar ile aynı zamanda etkileşimli ara yüzlere dönüşmektedirler. Giyilebilir teknolojilerin ilk örnekleri işlevsel fakat görünüş ve kullanım açısından kaba bir görüntüye sahipken, moda dünyasının bu ürünlerle tanışması ile ortaya daha şık zarif ve kullanışlı giysiler ortaya çıkmıştır. Ayrıca giyilebilir teknolojiler, potansiyelleri sayesinde sağladıkları yeni kişisel-ifade biçimleri ile moda dünyasında kitlelere hitap etmek adına önemli bir etken olan kişiselleştirme kavramını destekler bir rol üstlenmiştir (Seymour, 2008). Hüseyin Çağlayan, Ying Gao

gibi tasarımcılar çalışmaları ile bu alanda öncü olmuş ve akıllı giysi kavramına farklı bir bakış açısı getirmişlerdir.

Hüseyin Çağlayan akıllı malzemelerin giysi ile etkileşim potansiyelini tasarladığı ürünler ile giyilebilir performans sanatına dönüştürmüş ve pek çok başarılı örneğe imza atmış öncü tasarımcılardandır. İnsan doğa ve teknoloji arasındaki ilişkiye odaklandığı “Before Minus Now” bu örneklerden biri olarak gösterilebilir. Koleksiyondaki elbiseler düzensiz geometrik şekillere sahip sert ve hareketli panellerden oluşmaktadır. Bir uzaktan kumanda sistemi ile çalışan giyside hareket sonucu sert panellerin içinden tül doku ortaya çıkmaktadır (Şekil 6) (Seymour, 2008).



Şekil 6. Hüseyin Çağlayan tasarımı “Before Minus Now” (ilkbahar/yaz 2000) (tech0n.files.wordpress.com/2013/05/img05.jpg).

Yaratıcı ve sanatsal uygulamalar açısından moda tasarımında öne çıkan bir diğer isim ise Ying Gao’dur. Ying Gao giysi hakkındaki varsayımlarımızı kentsel tasarım, mimari ve medya tasarımı ile kombinleyerek sorgulamaktadır. Sosyal ve kentsel çevrenin dönüşümlerinden ilham alarak giysi yapısını açıklama yoluna giden Gao, uluslararası birçok müze ve galeride bu çalışmalarını sergilemiştir. Gao’nun çalışmalarında tasarım, teknoloji tarafından şekillenen bir araç olarak giysi kavramını daha esprili ve etkileşime açık bir hale getirmektedir. Moda tasarımı ve medya sanatları arasındaki alanda konumlanan, Origami ve Archigram’dan etkilenerek tasarladığı “Walking City” çalışması, buldukları çevreye tepki gösterebilen üç elbise tasarımına odaklanmıştır. İlk giyside, giysi arkasına yerleştirilmiş dokunmaya duyalı sensörler bulunmaktadır. İkincide kullanıcının nefes alışverişine göre aktive olan bir sese duyarlı sensör mevcuttur. Üçüncü giysi ise yaklaşıldığında hareketlenmektedir. Tüm giysilerde bulunan hava basınçlı sistem, kullanıcının hareketlerini, çıkardığı sesleri ve nefes alışveriş hızını analiz etmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Ying Gao tasarımı “Walking City” (imperfect.it/it/ying-gao/).

Artut (2014)’un da söylediği gibi teknolojinin getirdiği karmaşa ve düzenin yapısı, toplum hayatının ritmini değiştirmekte ve hayatın renklerini oluşturan sanatın anlatım yapısını etkileyerek, ortaya çıkan yeni tanımlarla yeni sanat dillerinin gelişmesine neden olmaktadır. Teknolojinin yansımaları doğrultusunda akıllı giysilerin bu potansiyelleri sanatsal açıdan yeni ifade yöntemlerinin gelişmesine ön ayak olmuş ve giyilebilir sanat adına çok çeşitli performansların geliştirilmesinde ve sergilenmesine katkıda bulunmuştur.

New Yorklu sanatçı Daniel Rozin tasarımı interaktif bir yerleştirme olan “Pom Pom Mirror”ın yüzeyi tamamen kürk topçuklardan oluşan bir çeşit “ayna” olarak tasarlanmıştır. Aynanın üzerindeki siyah ve bej renkli topçukların hareketi yüzlerce motorun kontrolüyle sağlanmakta ve alıcıları sayesinde karşısındaki hareketlere senkronize olan ayna, hareket değişimlerini takip ederek, ayna karşısındakinin silüetini oluşturmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Karşısında duran kişinin hareketlerine senkronize olarak desenlenen kürklü ayna “Pom Pom Mirror” (freshersmag.com/fluffy-pompom-mirror/).

Autodesk’in “Pier 9 Artists in Residence” programının bir parçası olarak hazırlanmış 3D baskı yöntemiyle üretilen interaktif giysi ise giyilebilir performans objelerine örnek olarak gösterilebilir. Etkileşim tasarımcısı Behnaz Farahi’nin imzasını taşıyan giysi sivri uçlarıyla bir zırhı ya da yeniçağın insanların hayali kürkünü andırmakta ve karşısında durup ona bakan gözleri algılayarak giysinin sivri uçları senkronize bir şekilde hareket ederek estetik bir biçimde karşılık vermektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Karşısındakinin bakışlarını algılayıp tepki gösterebilen interaktif giysi tasarımı (http://behnazfarahi.com/caress-of-the-gaze/).

6. SONUÇ

Öncelikli olarak uzay, askeri, tıbbi ve sporla ilgili malzeme ve ürünleri hedefleyen kapsamlı bilimsel araştırmaların sonunda geliştirilen akıllı tekstil malzemeleri günümüz dünyasının teknolojiyle ilişkisinin de etkisi ile günlük hayattaki kullanım senaryolarına ilham kaynağı olmaya başlamış ve bu konuda örnek olacak ürünlerin ortaya çıkması söz konusu olmuştur. Geliştirilen akıllı tekstil ve giysi çözümleri günümüz tekstil ve giyim sektörlerine yön veren yeni etkenlerden biri haline gelmiştir. Son yıllarda akıllı tekstil malzemeleri tekstil ve moda tasarımcılarının da yoğun ilgisini çekmeye başlamıştır. Bu durum bir yandan ileri teknolojinin kullanımı ile birlikte yaratıcılık, estetik ve sanat kaygılarının da ön plana çıktığı ilgi çekici ve özgün tasarım ürünlerine yol açarken; bir yandan da bu teknolojilerin içselleştirilmeye başlandığını ve yakın gelecekte hayatımızın önemli parçaları haline geleceklerinin de bir göstergesi niteliği-taşımaktadır.

Norman'ın (2009) da belirttiği üzere akıllı teknolojiler sağladığı fayda ve işlevler ile hayatımızda yer almakta ve yaşam pratiklerimizde rol edinmektedirler. Bu akıllı teknolojilerin bir yansıması olan akıllı giysiler de birçok örnekte de gözlemlenebildiği üzere kullanıcı ihtiyaçlarını ve çevresel şartları algılayıp, kullanıcının asgari çabayla yönetebileceği, doğru yer ve zamanda uygun hizmeti sağlamak amacıyla tasarlanmış ürünlerdir (Ariyatun ve ark., 2005).

Yeni bir malzeme ve ürün grubu olarak hayatımıza dâhil olmaya başlayan akıllı tekstiller tasarım süreçlerinde de sahip oldukları yüksek potansiyel doğrultusunda farklılıklar getirmiş ve bu farklılıklarla gerek ürün işlevleri gerekse kullanım senaryolarında önemli bir rol edinmişlerdir. Akıllı tekstil malzemelerinin getirdiği bu yeni nesil tasarım süreçlerinde tasarımcılar farklı malzemeleri ve malzeme birleşimlerini anlamak ve bu malzemelere adapte olmak durumundadırlar. Çünkü tasarımcı için malzemeyi anlayabilmek deneyimlenen özellikler (yoğunluk, sertlik, parlaklık, doku, renk, süreç özellikleri, koku vb.) ile bilgi ve beceriyi geliştiren bir keşif süreci olarak şekillenmektedir (Van Bezooyen, 2013).

Uzak olanı yakınlaştıran, görünmeyeni gösteren teknoloji, insanların yaşamlarında radikal değişikliklere yol açmıştır. Bedenlerimizle sürekli bir etkileşim içinde olan teknoloji, bedenlerimizin içinde veya dışında yer alarak, adeta bir uzantısı haline gelmiştir (Artut, 2014). Akıllı tekstil sınıfına giren bir malzemenin akıllı bir giysi olarak gündelik yaşama girmesi yeni farklı parametreleri ön plana çıkarmıştır. Kullanıcı dostu, pratik, ergonomik olmak gibi beklentilerin yanı sıra bu teknolojilerin ürünün tekstil yüzeylerindeki yerleşimleri, kullanım şekilleri hem teknolojik altyapı hem de kullanım senaryosu olarak çözülmesi gereken birçok odak noktasını gündeme getirmiştir. Bilgi odaklı toplumlar, bilim ve teknolojinin yaşamdaki ürün, servis ve kullanıcı ihtiyacına olan etkilerinin artışı ile karşı karşıya gelmektedirler.

Akıllı malzemelerin günümüzdeki uygulamalarında konfor, güvenlik, sağlık gibi alanlardaki kullanım ihtiyaçlarını çözmek amacıyla geliştirilen ürünlerle birlikte, yaratıcı ve sanatsal alanlarda da işlev kavramını sorgulayan ve bu kavrama dair yeni tanımlamalar getiren çok çeşitli örneklerin geliştirildiği gözlemlenmiştir. Tarihsel ilerlemelerin de gösterdiği üzere yeni form ve estetik anlayışları tasarımcıların fikirlerini gerçekleştirebilmek için malzeme ve üretim süreçlerindeki gelişimlere paralel olarak yeni ve alışılmadık malzeme kullanımlarının sonucunda ortaya çıkmaktadır. Yani malzeme ve tasarım birlikte gelişmektedir (Van Bezooyen, 2013).

Akıllı tekstiller alanı da bilim, teknoloji, tasarım ve sosyal bilimleri bir çatıda toplayan disiplinler arası bir çalışma olarak, oluşan bu tabloda yerini almıştır ve gelecekte daha birçok teknolojinin ortak çalışması ile beslenebilecek bir potansiyele sahiptir. Akıllı tekstillerin getirdiği fonksiyonelliği ve verimliliği arttıran, koruyucu özelliklerinin yanı sıra, bu etkilerle geliştirilen yeni kullanım senaryoları ile kullanıcı ihtiyacının tanımı yeniden şekillenmekte ve yüksek değerli bir ürün olmakla beraber kullanıcıyı duygusal ve yaratıcılığa dair tatminini sağlayan ürünler ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- Akardeniz, E. & Kırac, F. (2015). "Rekabet ve Yoğunlaşma Düzeyinin Ölçülmesi; Gaziantep Teknik Tekstiller Piyasası", Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 3(10): 451-472.
- Ariyatun, B. & Holland, R. (2003). "A Strategic Approach to New Product Development in Smart Clothing", Proceedings of the 6th Asian Design Conference, Tsukuba, Japan.
- Ariyatun, B., Holland, R., Harrison, D. & Kazi, T. (2005). "The Future Design Direction of Smart Clothing Development", Journal of the Textile Institute, 96(4): 199-210.
- Artut, S. (2014). Teknoloji-insan birlikteliği, Ayrıntı Yayınları, İstanbul.
- Chapman, R. (2006). Development in smart fabrics, Pira International Ltd, United Kingdom.
- Cho, G., Lee, S. & Cho, J. (2009). "Review and reappraisal of smart clothing", International Journal of Human-Computer Interaction, 25(6): 582-617.
- Coşkun, E. (2007). "Akıllı tekstiller ve genel özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kuusk, K. (2016). "Crafting sustainable smart textile services", PhD thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- Mattila, H. (Ed.). (2006). Intelligent textiles and clothing, Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- McIntyre, J.E. & Daniels, P. N. (1995). Textile terms and definitions, Textile Institute, Manchester.

- Meriç, D. (2016). “Akıllı Tekstillerin Ürün Tasarımında Kullanım Alanları ve Moda Tasarımına Yönelik Uygulamalar”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Sanatlar Anabilim Dalı Moda Tasarımı Programı, Eskişehir.
- Norman, D. (2009). *The Design of Future Things*, Basic Books, New York.
- Nørstebø, C.A. (2003). Intelligent textiles, soft products. *Journal of Future Materials*, 1-14. <http://www.ivt.ntnu.no/ipd/fag/PD9/2003/artikkel/Norstebo.pdf>
- Schwarz, A., Van Langenhove, L., Guermontprez, P. & Deguillemont, D. (2010). “A roadmap on smart textiles”, *Textile Progress*, 42(2): 99-180.
- Seymour, S. (2008). *Fashionable technology: The intersection of design, fashion, science, and technology*. Springer, Vien.
- Steffen, D., Adler F. & Marin, A.W. (2009). “Smart semantics: Product semantics of smart clothes”, *IASDR*, Seoul, Korean Society of Design Science, 79-88.
- Suh, M., Carroll, K.E. & Cassill, N.L. (2010). “Critical review on smart clothing product development”, *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 6(4): 1-18.
- Tao, X.M. (2001). “Smart technology for textiles and clothing-introduction and overview”, (Ed. X.M. Tao), *Smart fibres, fabrics and clothing: fundamentals and applications*, ss. 1-7, Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Van Bezooyen, A. (2013). “Materials driven design”, (Eds. E. Karana, O. Pedgley & V. Rognoli), *Materials experience: Fundamentals of materials and design*, ss. 277-286, Elsevier, UK.