



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Giyilebilir Elektronik/Akıllı Tekstiller ve Uygulamaları

Wearable Electronic/Smart Textiles and Their Applications

Ayşe Didem EROL¹, Suat ÇETİNER^{1*}

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Suat ÇETİNER, suatcetiner@ksu.edu.tr

ÖZET

Elektronikler ve internetin ilerlemesiyle tekstiller yeni bir durumla karşı karşıya kalmıştır; günümüzde tekstillerden insanları sıcak tutması ve konforlu hissettirmesi yanında ilave fonksiyonlar göstermesi de beklenmektedir. Büyük elektronik cihazlar genellikle rijittir ve düz elektronik devreler esnek olan ince filmler halinde yapılabilmektedir, ancak bunlar genellikle tek yön boyunca eğildiklerinde deforme olurlar ve eğilme veya diğer ciddi deformasyonlar altında başarısız olurlar. Tekstil yapısı, konvansiyonel büyük ve düz yapılar üzerine eşsiz ve umut vadeden avantajlar sunmaktadır. Birçok farklı elektronik sistem herhangi bir giysiye bağlanabilirken, giyilebilir bir sistem daha çok yönlü hale gelmekte ve kullanıcı çevresel değişikliklere ve bireysel tercihiye bağlı olarak görünümünü değiştirebilmektedir. Giyilebilir bilgisayar görüşü, gelecekteki elektronik sistemleri, kişisel asistanlar olarak hizmet eden günlük giyimimizin ayrılmaz bir parçası olarak tanımlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Tekstiller, Elektronik Tekstiller

ABSTRACT

Textiles have faced a new challenge with the advancement of electronics and the internet; textiles are now expected to exhibit additional functionalities besides making people warm and comfortable. The bulky electronic devices are generally rigid, and the planar electronic devices can be made into thin films which are flexible, but they generally deform on bending along one dimension and often fail under twisting or other severe deformations. The textile structure offers unique and promising advantages over conventionally bulky or planar structures. As many different electronic systems can be connected to any clothing, a wearable system becomes more versatile, and the user can change its look depending on environmental changes and individual preference. The vision of wearable computing describes future electronic systems as an integral part of our everyday clothing serving as intelligent personal assistants.

Keywords: Smart Textiles, Electronic Textiles

1. GİRİŞ

Son zamanlarda, elektronikler ve internet teknolojilerinin gelişmesiyle tekstiller, yeni bir durumla karşı karşıya kalmıştır. Artık giysilerden konfor özellikleri yanında ilave fonksiyonlara sahip olması beklenmektedir. Örneğin; elektroniklerde çok fazla arzulanan kendi kendine enerji üretme düşüncesi, giysiler mekanik enerji ve güneş enerjisi gibi enerji kaynaklarını elektrik enerjisine dönüştürdüğünde kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca görüntüleme ve algılama gibi birçok alanda daha etkili olabilmek için giysilere elektronik devreler entegre etmek düşüncesi, akıllı elektronik tekstillerin gelişimi ve aynı zamanda olası pratik uygulamalara sahip olması anlamına gelmektedir (Weng ve ark., 2016).

Gelişen teknoloji ile birlikte artık giyim, örtünme ve süslenmenin yanında, başta sağlık, güvenlik ve enformasyon alanlarında kullanılabilen çok fonksiyonlu akıllı tekstil ürünlerinin üretimi ve kullanımı artmaya başlamıştır. Akıllı özelliğe sahip elektronik gereçler, günlük hayatımızda daha fazla paya sahip olmaktadır. Taşınabilir olma kavramı, birçok uygulama için temel özelliktir ve sağlık, güvenlik, iletişim, spor vb. birçok sektörde uygulama sahası bulmaktadır. Giyilebilir elektronikler veya bilgisayarların temel amacı, günlük giysilerin bir parçası haline gelmektir. Akıllı/elektronik tekstil tasarımında tekstil esaslı yarı ürün ve/veya ürünlerinin kullanımı bu noktada devreye girmektedir. Doğası gereği yumuşak, esnek, konforlu yapı bileşenlerine sahip olan hazır giyim ürünlerinin farklı fonksiyonlara sahip olacak şekilde değişik bileşenler ile donatılması, elektriği iletebilmesi, algılama özelliğine sahip bir yapıya dönüşmesi ve interaktif hale getirilmesi, akıllı/elektronik tekstillerin ortaya çıkması için en uygun ortamı oluşturmaktadır (Kayacan ve Bulgun, 2005).

2. AKILLI TEKSTİLLER

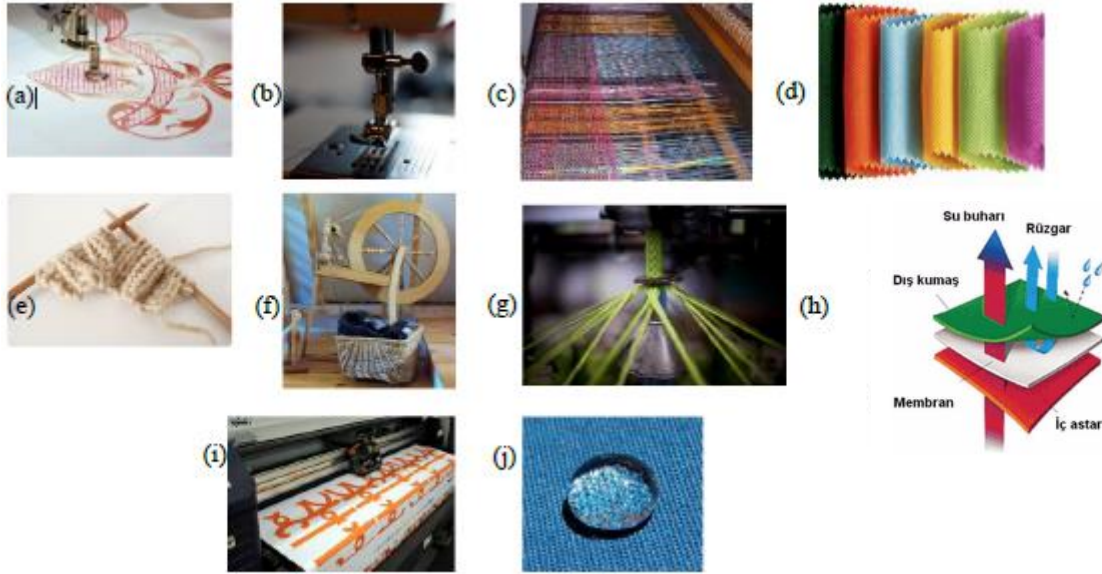
“Akıllı Tekstiller” terimi, kumaşların kullanışlılığı ve işlevselliğini kapsayan geniş bir çalışma ve ürün alanı ile ilgilidir. Akıllı tekstiller, çevre/kullanıcı ile etkileşimde olabilen dokuma, örme, dokusuz yüzeyler ile birlikte lifler, filamentler ve iplikler gibi tekstil ürünleri olarak tanımlanmaktadır. Tekstiller ve elektroniklerin (e-tekstiller) bir noktada birleşmesi, günümüzde rijit ve esnek olmayan elektronik ürünlerde bulunan geniş bir yelpazede fonksiyonları gerçekleştirebilme kabiliyetine sahip olan akıllı materyallerin geliştirilmesi için uygun olabilmektedir. Akıllı tekstiller sosyal refahı artırma aracı olarak hizmet edecek ve refah bütçesinde önemli tasarruflara yol açabilecektir. Üst düzeyde bir anlayışı ifade eden akıllı tekstiller, üç alt gruba ayrılır (Stoppa ve Chiolerio, 2014):

Pasif akıllı tekstiller: Sensörlere dayalı, yalnızca çevre/kullanıcıya duyarlı olabilenler.

Aktif akıllı tekstiller: Bir harekete geçirici (aktivatör) ve bir sensör elemanı içeren, ortamdan uyarıyı algılayıp tepki gösterenler.

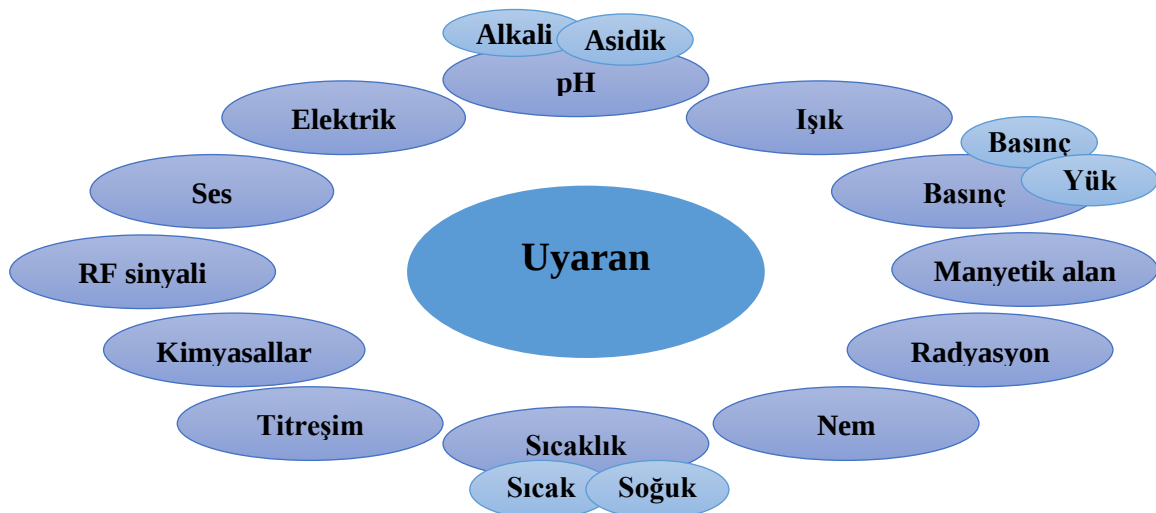
Çok akıllı tekstiller: Duyarlı olabilen, tepki verebilen ve verilen koşullara davranışlarını adapte edebilenler.

Akıllı tekstil ürünlerinin üretimindeki ilk aşama, bu akıllı özelliği gösterecek malzemenin üretilmesidir. İkinci aşama, akıllı malzemelerin bir tekstil yapısına entegrasyonunun sağlanmasıdır. Bu akıllı materyaller, çeşitli şekillerde tekstil yapısının içine dahil edilmektedir (Şekil 1) (Stoppa ve Chiolerio, 2014). Bunlar arasında nakış (URL 1, 2014) dikiş, dokusuz yüzey, örme (URL 2, 2014), dokuma (URL 3, 2014), iplik eğirme (URL 4, 2014), saç örgüsü (URL 5, 2014), kaplama/laminasyon (URL 6, 2014), baskı (URL 7, 2014) ve hidrofobik davranış kontrol etmek gibi belirli özellikler sağlayan kimyasal işlemler (URL 8, 2014) listelenebilmektedir.



Şekil 1. Farklı tür kumaş/tekstil üretme ve işleme. (a) Nakış; (b) dikiş; (c) dokuma; (d) dokusuz yüzey; (e) örme; (f) iplik eğirme; (g) saç örgüsü; (h) kaplama/laminasyon; (i) baskı ve (j) kimyasal işlem.

Akıllı malzemeler, çevresine veya harici uyarılara duyarlı olma yeteneğine sahip akıllı sistemin bir parçasını oluşturmaktadır ve eğer gerçekten akıllıysa, harici uyarılara tepki verecek ve davranışını ona göre uyarlayacaktır. Uyarılar Şekil 2’de gösterildiği gibi çeşitli kaynaklardan olabilmektedir (Schwarz ve ark., 2010).

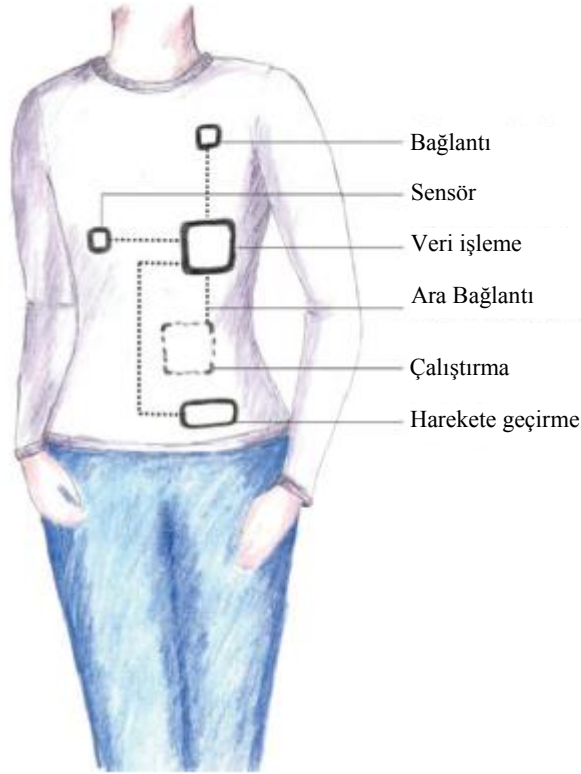


Şekil 2. Akıllı davranış tetikleyen parametreler (Schwarz ve ark., 2010)

Akıllı bir tekstil sistemi oluşturmak için, tekstilin aşağıdaki işlevleri içermesi gerekmektedir (Schwarz ve ark., 2010):

- Algılama
- Harekete geçirme (Aktivasyon)
- Veri işleme
- Çalıştırma/üretme/depolama
- Bağlantı kurma
- Ara bağlantı

Şekil 3'te bu altı fonksiyonu içeren akıllı bir giysi gösterilmiştir, ancak bu altı fonksiyonun hepsinin birarada olması şartı aranmamaktadır (Schwarz ve ark., 2010).



Şekil 3. Altı fonksiyonlu akıllı tekstil sistemi (Schwarz ve ark., 2010)

2.1. Algılama

Algılama işlevine sahip bir akıllı tekstil, çevre koşullarındaki değişiklikleri "hissedebilme" yeteneğine sahiptir. Sensör, çoğunlukla elektrik sinyali şeklinde bilgi sağlayan cihaz olarak tanımlanmaktadır. Sensör, ölçülen nesne veya ortamı algılamakta ve ölçülen miktardaki değişimler ile ilgili bir sinyal yayınlamaktadır (Vassiliadis ve ark., 1996). Ölçülen miktarlar, konum, hız, sıcaklık, nem, kuvvet, basınç, akış vb. şekillerde olabilmektedir (Schwarz ve ark., 2010).



Şekil 4. Tekstil basınç sensörü (Schwarz ve ark., 2010)

Şekil 4'te 2009 yılında Belçika-Ghent Üniversitesi Akıllı Tekstiller Sergisi'nde hazırlanmış tekstil basınç sensörü gösterilmiştir. Basınç sensörü, kırmızı LED için bir açma/kapama düğmesi olarak kullanılmaktadır. Sensör, ara bağlantı olarak çalışan iletken tekstiller tarafından ışığa bağlanmaktadır (Schwarz ve ark., 2010).

2.2. Harekete Geçirme (Aktivasyon)

Akıllı tekstillerdeki aktüatörlerin görevi, sırasıyla sensörden veya veri işleme biriminden gelen sinyale tepki vermektir. Tepkime türü hareket veya ses şeklinde olabilmektedir (Schwarz ve ark., 2010). Akıllı tekstiller alanında, şekil hafızalı malzemeler veya elektroaktif polimerlere dayalı mekanik aktüatörler yönünde yoğun araştırma yapılmaktadır (Carpi ve ark., 2005; Whan Cho ve ark., 2005; Balta ve ark., 2005; Meng ve ark., 2007).

2.3. Veri İşleme

Şimdiye kadar tekstilden yapılmış bir veri işleme birimi mevcut değildir. Elektronik aygıtlar hala bilgi işlem yeteneği sağlamak için gereklidir (Schwarz ve ark., 2010).

2.4. Güç Tedariği ve Depolanması

Akıllı tekstiller, bağımsız bir ünite olarak işlev görmek için enerji tedarik ve enerji depolama kapasitesine ihtiyaç duymaktadır. Akıllı tekstil sistemini oluşturan diğer bileşenler, güç kaynağı teknolojileri tarafından sağlanan elektrik enerjisi vasıtasıyla etkinleştirilir. Esnek solar hücreler (Schubert ve Werner, 2006; URL 9, 2017; URL 10, 2017), mikroyakıt hücreleri (URL 11, 2017), esnek bataryalar (Johnson, 2006; Nishide ve ark., 2004; Suga ve ark., 2007) ve vücut hareketini elektrik enerjisine dönüştürme olanakları (Starner, 1996), elektrik gücü sağlamaya hizmet edebilmektedir. İnteraktif elektronik tekstiller için elektrik gücü sağlayabilen bir batarya örneği NEC tarafından geliştirilmiştir (Şekil 5) (Schwarz ve ark., 2010).



Şekil 5. NEC'in elektronik kağıt şeklinde esnek bataryası (Schwarz ve ark., 2010)

Şekil 6'da fotovoltaiik tekstil teknolojilerini içeren bir akıllı tekstil örneği gösterilmiştir.



Şekil 6. Scotte Vest akıllı ceket (Schwarz ve ark., 2010)

Ceket, omuzlara uygun iki tane küçük fotovoltaik panele sahiptir. Bu solar paneller güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmekte ve yaklaşık bir kart destesi boyutunda gizli bir batarya paketini beslemektedir. Bataryalar bütün ceplere bağlanmış ve ceplere konulan mobil cihazlar için enerji sağlamaktadır (Schwarz ve ark., 2010).

2.5. Bağlantı

Akıllı tekstilin (veya giysinin) bileşenleri arasında ve giysi ile kişi arasında bağlantı olması zorunludur. Kablosuz iletişim teknolojileri, büyük elektronik işlemcileri ve depolama aygıtlarını taşımak zorunda kalmamakta ve elektroniklerle bağlanma görevini basitleştirmektedir. Özellikle tıbbi bir ortamda, riskli durumlarında acil yardım sağlamak için daha uzun bir mesafede iletişim kurmak gerekmektedir (Schwarz ve ark., 2010).

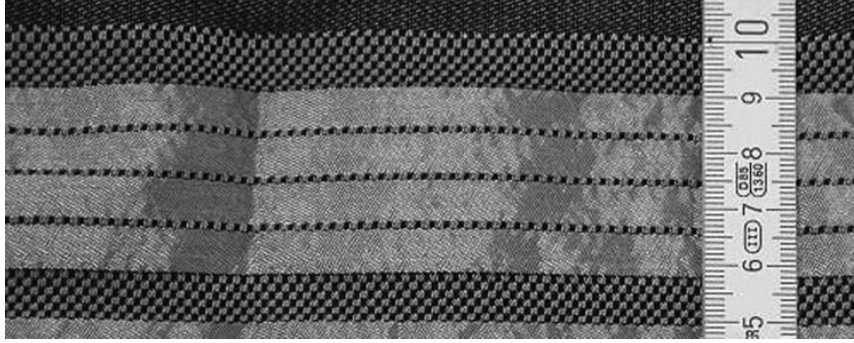
Elektro iletken tekstillerin varlığı, esnek antenlerin üretimine yol açmaktadır. Bunlar giysiler içine kolayca entegre edilebilmektedir (Hertleer ve ark., 2008a; Hertleer ve ark., 2008b; Declercq ve ark., 2008). Şekil 7'de gösterilen mikro şerit yama antenleri, kompakt geometrileri ve düzlemsel yapıları nedeniyle bu amaç için çok uygun görünmektedir. Böyle bir tekstil anteni Ghent Üniversitesi araştırmacıları tarafından geliştirilmiştir. Anten, anten ve zemin yüzeyi için elektroiletken tekstilleri ve anten alt yüzeyi için elektroiletken olmayan tekstil malzemesini birleştiren çok tabakalı bir yapıdan oluşmaktadır (Schwarz ve ark., 2010).



Şekil 7. Mikroşerit yama anteni (Hertleer ve ark., 2008b).

2.6. Ara Bağlantı

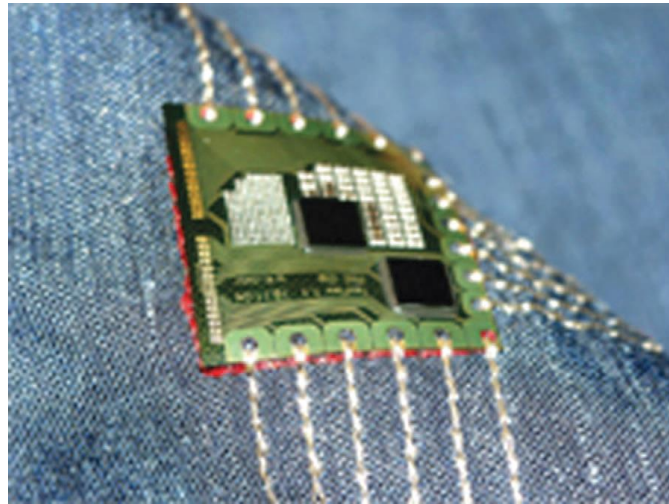
Akıllı bir tekstil sistemini oluşturan elektronik bileşenler, çok yönlü, interaktif sistemler oluşturmak için birbirine bağlanmalıdır. Akıllı bir tekstil sistemini oluşturan farklı bileşenler arasındaki bağlantı, esas olarak tekstiller olarak dokunan elektroiletken ipliklerle gerçekleştirilmektedir (Şekil 8 ve 9). Farklı kısımları bir araya getiren teknikler veya temas mekanizmaları çoğaltılmaktadır. Nakış, Şekil 10'da gösterildiği gibi tekstil klavyeler ve esnek modüller için kullanılabilir (Schwarz ve ark., 2010).



Şekil 8. TITV Greiz tarafından geliştirilen tekstil bağlantı yapısı (Schwarz ve ark., 2010)



Şekil 9. Bir cekete entegre edilebilir elektroiletken şerit örneği (Schwarz ve ark., 2010)



Şekil 10. Fraunhofer IZM tarafından geliştirilmiş, tekstil tuş takımları ve esnek elektronik modüller için nakışlı bağlantılar (Schwarz ve ark., 2010)

3. ELEKTRONİK/İLETKEN TEKSTİLLER

Elektronik ve tekstil malzemelerinin özellikleri birbirinden farklı olduğu için bunların bileşimlerinin ilk etapta imkansız olacağı düşünülmüştür. Çünkü tekstil materyalleri; yumuşak yüzeyli, esnek, sağlam, yıkanabilir, sınırsız üretim prosesleri, insana dayalı kalite değerlendirilme (el ve gözle) özelliklerine sahipken: elektronik malzemeler ise; sert yüzeyli, bükülmez, küçük olma, sert kutular tarafından korunma ve hassas üretim özelliklerine sahiptirler (Coşkun, 2007).

Elektronik tekstil, kumaşla birlikte ağa bağlanan bilgi işlem cihazları gibi sensörler veya eşyalara olanak sağlayan, algılama (biyometrik veya harici), iletişim (genellikle kablosuz), güç aktarımı ve ara bağlantı teknolojilerini birleştiren tekstil yüzeyi anlamına gelmektedir. Elektronik tekstiller vücutta hesaplama yapmaya olanak sağlamaktadır. Genellikle eğrilmiş ya da bükülmüş iletken iplikler ile elektrik iletkenliğini sağlamak için iletken malzeme (gümüş ya da paslanmaz çelik teller gibi) içermektedir (Berzowska, 2005).

Elektronik tekstiller, tekstil ve elektronik teknolojilerini birleştiren, üretim yöntemleri ve süreçlerini yeniden tanımlayan teknikleri araştırmaktadır. Giyilebilir bilgisayarlar alanıyla yakın ilişkisi, giyilebilir elektronikleri birçok olası kesişimlere ve farklı araştırma alanlarına yönlendirmektedir. Yalpazenin bir ucunda, askeri araştırmalar gibi kamuflaj veya yaralı askerleri iyileştirebilen tekstiller gibi faydalı uygulamalar yer almaktadır. Yalpazenin diğer ucunda ise, algılayan giysiler alanındaki tasarımcılar tarafından çevreye ve bireye uyarlanabilir "ikinci deriler" yapılmaktadır. Moda, sağlık ve telekomünikasyon endüstrileri ayrıca, insanların kişiliklerinin, ihtiyaçlarının ve arzularının özelliklerini ifade edebilen veya toplam sosyal bilginin kullanımı ve sergilenmesi yoluyla sosyal dinamikleri artırabilen giyim vizyonunu takip etmektedir (Berzowska, 2005).

Tekstil araştırmaları, genellikle moda veya iç mekan tasarım endüstrilerindeki tüketici talebi tarafından yönlendirilirken, elektronik tekstil araştırmaları, fon kaynakları ve politika kararlarından büyük ölçüde etkilenmektedir. Birçok mevcut proje ve uygulama, yatırım yapılarını ve tüketici elektronik endüstrisi, askeri veya sağlık endüstrisinin yatırımlarını düşünmektedir. Bu projeler sağlık izleme veya biyometrik algılamadaki gelişmelere, zaman yönetimi aygıtlarına olan ihtiyaca ve artan güvenlik endişelerine dayanmaktadır (Berzowska, 2005).

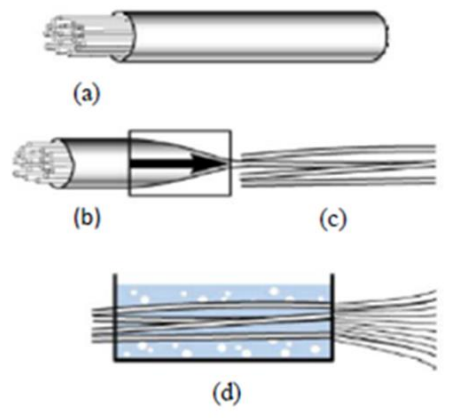
İletken tekstiller terimi, farklı düzeylerde belirli bir iletkenliğe sahip, lif, iplik ve kumaş gibi tekstil malzemelerinden üretilmiş geniş aralıktaki pek çok ürün için kullanılmaktadır. Elektriksel olarak iletken tekstiller, iletişim, eğlence, sağlık, güvenlik, ısıtma, koruma ve moda amaçlı elektronik tekstillerin üretilmesinde kullanılabilir. Tekstillerin elektriksel olarak iletken hale getirilmesi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilmektedir (Bedeloğlu Çelik ve ark., 2010).

3.1. Elektronik/İletken Tekstillerin Üretim Teknikleri

3.1.1. İletken lifler

Başlangıçta iletken iplikler temiz oda giysileri, askeri giyim, tıbbi uygulama ve elektronik imalat gibi teknik alanlarda kullanılmıştır (URL 12, 2014). İletkenlik gösteren veya elektronik ya da hesaplama fonksiyonu hizmeti veren tekstil yapıları elektrotekstiller olarak adlandırılmaktadır (Redström ve ark., 2005). Bunlar, anti statik uygulamalar (URL 13, 2014), elektromanyetik kalkanlama (EMI) (URL 14, 2013), elektronik uygulamalar, kızılötesi emilim veya patlamaya hazır alanlarda koruyucu giysi (McFarland ve ark., 1999) gibi çeşitli fonksiyonlara sahip olabilmektedir.

Metal liflerin üretilmesi için geleneksel işlem, mekanik bir üretim süreci olan tel çekmedir. Bu proses, kaba, orta, ince ve tarama dizisi denilen çeşitli çekim basamaklarıyla karakterize edilmektedir (Şekil 11) (Stoppa ve Chiolerio, 2014).



Şekil 11. (a) Demir tüpe kombine edilmiş metal kaplı tel; (b) Tüpün farklı çaplara küçültülmesi; (c) Tüplerin demetlenmesi; (d) Liflerin süzülmesi, elde edilmesi (Stoppa ve Chiolerio, 2014)

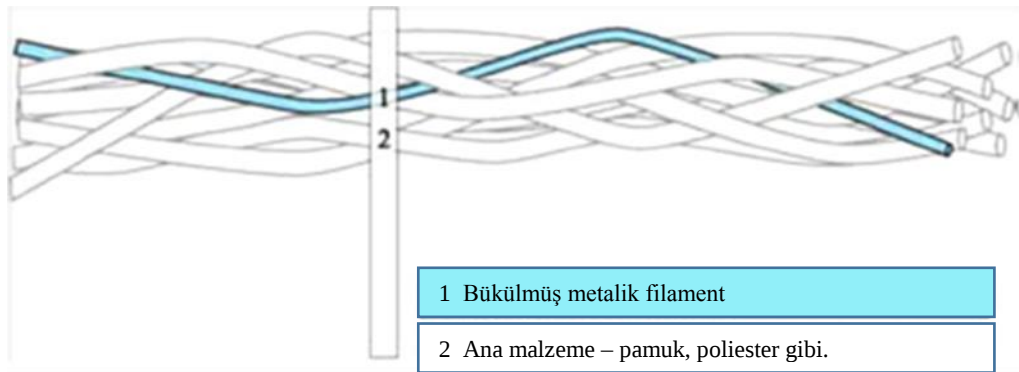
Lifleri çekmek için kullanılan çekim kalıbı, seramik, karbür veya elmaştan bir dolgu ile monte edilmiş bir çelikten oluşmaktadır. Metal telin başlangıçtaki çapı malzemeye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Örneğin; bakır için genellikle 8 mm iken, demir için 5 mm' dir. Çekimden sonra, tel 600-900°C arasında değişen sıcaklıklarda tavlınır. Sonra dinlendirilir. Daha sonra ince metal tel, dönen bir tel çekme silindirin sarılır (Mac ve ark., 2004).

İsviçre firması Elektrisola Feindraht AG, her çeşitte liflerle karıştırılabilen veya örme ve dokumada direkt olarak kullanılabilen metal monofilamentler üretmektedir. En önemlisi, kullanılan materyale göre farklı elektrik özellikleri olmaktadır (Tablo 1). Ürünler, bakır (Cu) ve gümüş kaplı bakır (Cu/Ag) filamentler, pirinç (Ms) ve gümüş kaplı pirinç (Ms/Ag) filamentler, alüminyum filamentlerden bakır kaplı alüminyum (CCA) filamentlere kadar uzanmaktadır (URL 15, 2014).

Tablo 1. Metal monofilament liflerinin elektriksel özellikleri (URL 15, 2014)

Metal	İletkenlik (S'm/mm ²)	Özdirenç (Ω'mm ² /m)	Elektriksel Özellikler		
			Direncin Termal Katsayısı (10 ⁻⁶ K ⁻¹)		
			Min	Tipik	Mak
Cu	58.5	0.0171	3900	3930	4000
Cu/Ag	58.5	0.0171	3900	4100	4300
Ag %99	62.5	0.0160	3800	3950	4100
Ms/Ag	16.0	0.0625	1400	1500	1600
AgCu	57.5	0.0174	3800	3950	4100
Bronz	7.5	0.1333	600	650	700
Çelik 304	1.4	0.7300		1020	
Çelik 316L	1.3	0.7500		1020	

Swiss-Shield® şirketi; pamuk, polyester, poliamid ve aramid gibi zemin ipliklerine dahil edilen metal monofilamentlerin üretiminde uzmanlaşmıştır. Örneğin, metal monofilamentler bakır, pirinç, bronz, gümüş, altın, alüminyumdan yapılmıştır. Şekil 12' de zemin lifleriyle tipik iletken bir iplik ve onların etrafında bükülmüş metal bir monofilament gösterilmektedir (URL 16, 2014).

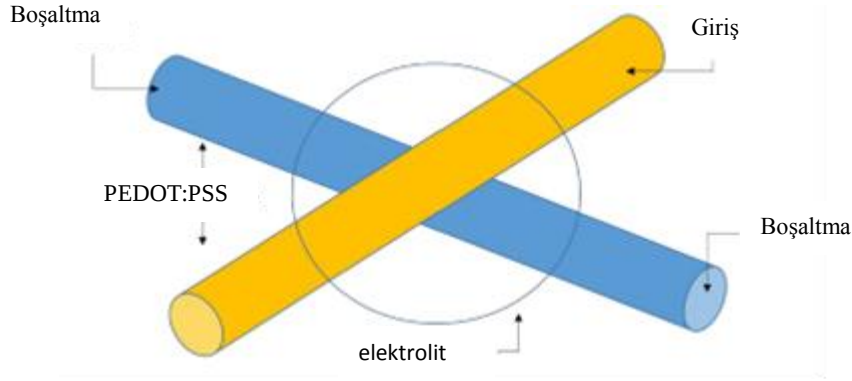


Şekil 12. Normal liflerle bükülmüş iletken lifin şematik gösterimi (URL 16, 2014)

3.1.2. İşlem görmüş iletken lifler

Tekstil yüzeylerine elektroniklerin bağlanması yerine, tekstil iplikleri elektroniklerle işlevsel hale getirilebilmektedir. Elektriksel olarak iletken lifler ayrıca metaller, galvanik maddeler veya metalik tuzlarla kaplanarak üretilmektedir. Genel tekstil kaplama prosesleri; buhar depozisyonu, püskürtme, iletken bir polimerle tekstili kaplamadır (Gimpel ve ark., 2003).

Bir diğer uygun yöntem, bir transistör üretmek için tekstil içerisinde kesişen iplikler kullanmaktır (Hamed ve ark., 2007; Müller ve ark., 2011). İplik esaslı bir transistörün şeması Şekil 13'te gösterilmiştir. Elde edilen transistör, 1,5 voltluk bir giriş voltajıyla çalıştırılabilen 1000'den fazla açma-kapama akım oranı göstermektedir. Şekil 13, birisi transistör için giriş kontağı olarak çalışırken, ikincisi boşaltma ve kaynak kontağı olarak çalışan, PEDOT:PSS ile kaplanmış iki ipliği göstermektedir. İki ipliğin kesiştiği yerde bir elektrolit yerleştirilmiştir. Elektrolit ve PEDOT:PSS arasındaki yüzeyde bir redoks işlemi, transistörü açıp kapamaktadır (Hamed ve ark., 2007).

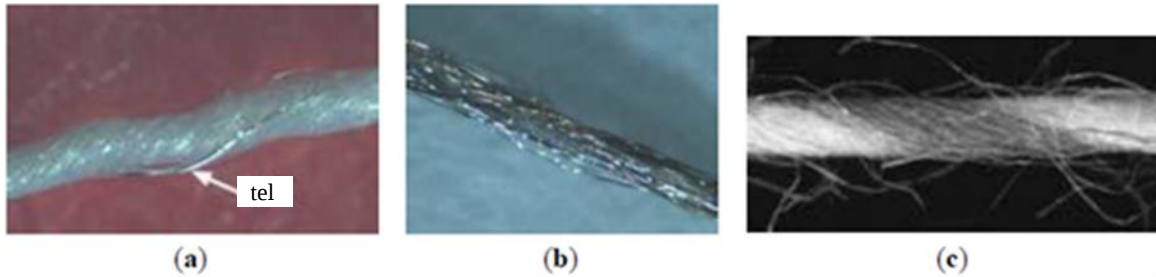


Şekil 13. İplik esaslı transistör (Hamedî ve ark., 2007)

Thuringia-Vogtland Tekstil Araştırma Enstitüsü, metal tabakalarla geleneksel ipliği kaplayarak ELITEX® olarak adlandırılan iletken iplikler üretiminde başarılı olmuştur. Enstitü, ana madde olarak ince gümüş bir tabakayla kaplanmış Shieldex Naylon 66 kullanmıştır. $1.2 \times 10^3 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ civarında özgül iletkenlik ile iplikler $8.34 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ civarında özgül dirence sahip olmaktadır (Scheibner ve ark., 2003).

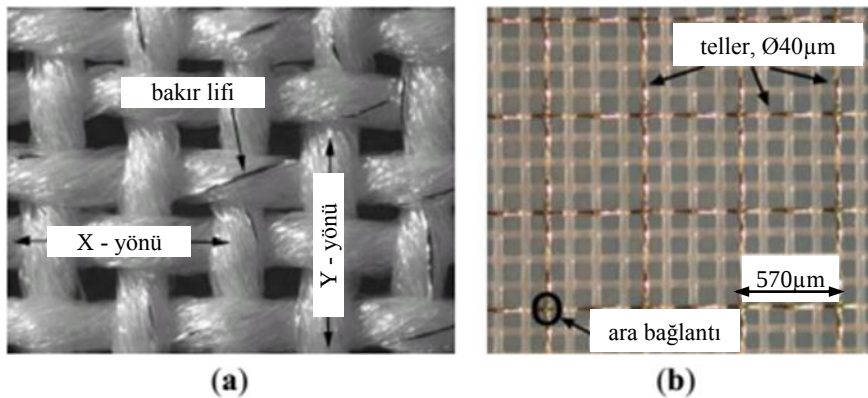
3.1.3. İletken kumaşlar

Elektriksel olarak iletken kumaşlar üretmenin farklı yolları vardır. İlk metot, bir tekstil yapısı içerisinde iletken iplikleri örneğin dokuyarak entegre etmektir. Ancak, elektriksel olarak iletken kumaş giyimde rahatlığı veya sıkı ve rijit olmaktan ziyade yumuşak bir dokunuşu sağlaması gerekirken, yapı içerisinde iletken ipliklerin entegrasyonu, karmaşık ve nadiren tekdüze bir süreçtir. İletkenlik, farklı iplik tipleriyle yapılabilmektedir (Şekil 14) (Stoppa ve Chiolerio, 2014).



Şekil 14. (a) Bükülmüş metal tel: Metal tel polimer etrafında bükülür; (b) Metal kaplama: Polimer ipliği ince metal bir tabakayla fiziksel veya kimyasal olarak kaplanır; (c) İletken lifler: İletken iplikler metal multifilamentlerden oluşur (Locher, 2006).

Bununla birlikte dokuma kumaş yapıları, elektriği ileten ve iletmeyen bileşenlerle özel elektrik devreleri olarak kullanılabilen kompleks bir ağ sağlayabilmektedir ve elektronik cihazları yerleştirmek için birçok katmana ve boşluğa sahip şekilde yapılandırılabilir (Stoppa ve Chiolerio, 2014).

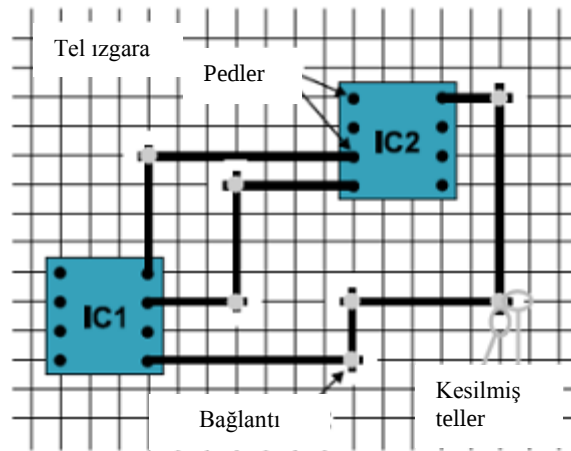


Şekil 15. (a) Polyester liflerle bükülmüş bakır ipliğin standart dizaynı; (b) PETEX (Stoppa ve Chiolerio, 2014)

Zürich'te ETH (Eidgenössische Technische Hochschule) (Federal Teknoloji Enstitüsü)'de elektronik bölümü ve giyilebilir bilgisayar laboratuvarlarında bakır iplikle bükülmüş poliester ipliklerden oluşan düz dokuma tekstil yapısı üretilmiştir. İlk olarak araştırmacılar standart bir tasarımla başlamışlar (Şekil 15a), sonra PETEX olarak adlandırılan hibrit bir kumaş dizayn etmişlerdir (Şekil 15b) PETEX, 42 mikron çaplı poliester monofilament iplik ve 50 ± 8 mikron çaplı bakır alaşım ipliklerin dokumasından oluşur. Her bir bakır tel elektrik yalıtımı için poliüretan vernikle kaplanır. Bakır tel, tekstil yüzeylerinde 570 mikronluk bir boşlukla iç içe geçmektedir (çözgü ve atkıdaki mesh sayısı santimetrede 17.5'tur) (Locher, 2006).

PETEX ile ETH araştırmacıları, akıllı tekstiller için yeni bir yaklaşım ve özellikle yeni bir üretim metodu sunmuştur. Amaç, özel bir tekstil devresi gerçekleştirilmesinin mümkün olabileceğini göstermektir (Şekil 16). Devre elemanları arasında bağlantı yapısı, bakır tel yerleştirilmiş kumaşı bağlayarak kurulmuştur. Bakır teller arasındaki kısa devreleri önlemek için belirli konumlarda parçalar yerleştirilmesi gerekmektedir. Prosedür aşağıdaki gibidir (Locher, 2006):

- Lazer ablasyonu ile belirli kesişimlerde bakır tel üzerindeki kaplamayı uzaklaştırma,
- Sinyal sızıntısını engellemek için telleri lazerle kesme,
- Bir damla iletken yapıştırıcıyla bağlantı oluşturma,
- Bir epoksi reçine birikimi ile elektriksel ve mekaniksel koruma ekleme.



Şekil 16. Tel ızgara ile kumaş içerisine devreleri entegre etme yaklaşımı (Locher, 2006)

İngiliz şirketi Baltex, tekstil yapılarına metal telleri dahil etmek için örme teknolojisini kullanmaktadır. Feratec® adı altında ticarileştirdikleri kumaşları, ısıtılabilen tekstiller ve elektro-manyetik koruyucu materyaller olmak üzere başlıca iki amaç için kullanılabilmektedir (URL 17, 2013).

Amerikan şirketi Thermshield LLC, farklı şekil ve profillerde metallendirilmiş dokuma naylon kumaşlar üretmektedir. Kullandıkları metaller gümüş, bakır veya bir bakır nikel kombinasyonudur (URL 18, 2014).

Danimarka şirketi Chr. Dalsgaard, kumaş yapısında dokuma elektroniklerin geliştirilmesi, giyimde elektronik iletkenler, tekstillerde çalışma panelleri (yumuşak klavyeler ve ekranlar vb.) ve mikrosensörler ile ilgili olarak çalışmaktadır. Kullandıkları iletken iplik, bir gümüş katmanla ve poliesterle kaplanmış bir bakır ipliklidir (URL 19, 2013).

İletken bir kumaş elde etmenin diğer yolu, nakış tekniği kullanarak uygun bir zemine iletken bir yapıyı eklemektir. 2000'de Massachusetts Enstitüsü Teknoloji Medya Laboratuvarı araştırmacıları, devre izlerini tanımlayabilen dikişli desen yolu, parça bağlantı pedleri veya devre yerleşimi için geleneksel CAD araçlarıyla dizayn edilmiş duyarlı yüzeyleri önermiştir (Şekil 17) (Post ve ark., 2000).



Şekil 17. (a) Bir tarafında kumaş klavye, diğer tarafında melodi sıralayıcı, ceplerde hoparlör ızgaraları arkasında hoparlörler ve kumaş devrelerinin ceketin içinden görüldüğü müzikal ceket; (b) Ceket arkasına yerleştirilmiş devre kartı ile birlikte kumaş klavye (Post ve ark., 2000)

3.1.4. İletken mürekkepler

İnteraktif elektronik tekstil ürünleri iletken mürekkepler kullanılarak da üretilebilmektedir. Öncelikle tüm iletken mürekkepler; gümüş, bakır ve altın nanopartiküller gibi uygun derecede iletken metal başlatıcı ve taşıyıcı bir araç içermek zorundadır. Bunların çoğu su bazlıdır: su, ana mürekkep bileşenidir ve atıkları sınırlandırmak için mümkün olduğu kadar saf olması gerekmektedir. Bu özel mürekkepler, elektriksel olarak aktif numuneler oluşturmak için aralarında tekstillerin de bulunduğu çeşitli materyallere basılabilmektedir. Film baskı, iletken iplik sistemlerinden daha basit şekilde düzlemsel elektroniklerle birleştirme yapmaktadır. Farklı yüzey üzerine iletken materyali basabilmek için farklı teknolojiler vardır. Film esaslı inkjet (mürekkep püskürtme) ve film baskı, düşük hacimli, yüksek hassasiyetli çalışma için en iyisidir (Stoppa ve Chiolerio, 2014).

İnkjetler, esnek ve çok yönlü olmasının yanında nispeten düşük maliyetlidir (Parashkov ve Becker, 2005). İnkjetler, 100 m²/h daha düşük verim ve düşük çözünürlük (yaklaşık olarak 50 µm) sunmaktadır. Düşük viskozite için, organik yarı iletkenler gibi çözünebilir materyaller oldukça uygundur. Yüksek viskoziteli organik yalıtkan materyaller ve inorganik metal mürekkep uygulamalarında partiküller ağırlığı tıkamadan dolayı işlemi zorlaştırmaktadır. Mürekkep damlacıklar aracılığıyla biriktirildiğinden, kalınlık ve dispersiyon (dağılım) homojenliği azalmaktadır. Aynı anda birçok ağızlık kullanmak ve yüzeye ön işlem uygulamak, verimlilik ve çözünürlükte gelişmelere imkan vermektedir (Blayo ve Pineaux, 2005).

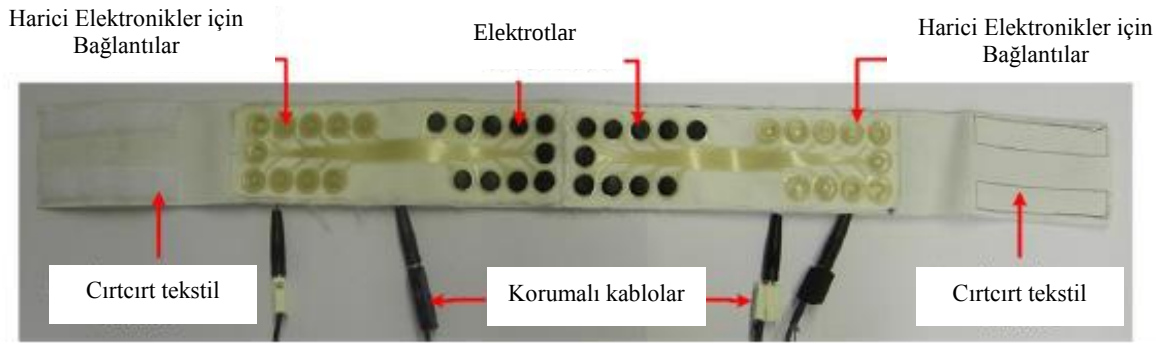
İnkjet baskı için mürekkeplerin aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekmektedir (Stassi ve ark., 2014):

- yüksek elektriksel iletkenlik,
- oksidasyona karşı dayanım,
- baskı sırasında ağırlığı tıkamadan dışarıda kuruma,
- yüzeye iyi yapışma,
- düşük partikül agregasyonu,
- uygun viskozite ve yüzey gerginliği.

Mürekkepler, mürekkep özelliklerini ayarlamak veya spesifik özellikler eklemek için kullanılan katkı maddeleri de içerebilir, böylece performansı artmaktadır (Tiberto, P ve ark., 2013).

Film baskı, macun vb malzemelerden desenli, kalın tabakalar üretebilme özelliğinden dolayı elektronikler üretmek için uygundur. Bir şablon prosesi olan film baskı prosedürü, desenli bir kumaş film vasıtasıyla yapışkan bir macunun basımından oluşmaktadır ve bunun ardından genellikle bir kurutma prosesini izlemektedir. Yöntem, düz ya da silindirik yüzeylere uygulanabilmektedir. Yüzey malzemelerine ve baskılı yapıların gereksinimlerine bağlı olarak, yüksek sıcaklıkta yoğunlaştırma da gerekebilmektedir (Organik yüzey için T<150°C. Cam, seramik ve metal yüzey için T>500°C) (Printing ve ark., 2004).

Bu metot, inorganik malzemelerden (örneğin devre kartları ve antenler için) iletken hatlar üretebilmekte, bundan başka yalıtkan ve pasifleştirici tabakalar da üretebilmektedir (Numakura, 2008). Araştırmacılar, bu teknolojinin biyomedikal uygulamada kullanılabileceğini göstermek için, sinyal yolları için kuru elektrotlar ve iletken mürekkep ile farklı biyolojik potansiyel algılama sistemleri geliştirmişlerdir. Özellikle uygulanan testler; EKG, yüz EMG (Şekil 18) ve önkol EMG'dir (Stoppa ve Chiolerio, 2014).



Şekil 18. Yüz EMG için tekstil kafa bandı (Stoppa ve Chiolerio, 2014)

Kuzey Carolina Eyalet Üniversitesi Ulusal Tekstil Merkezi, EKG, nabız, solunum ve sıcaklık ölçen fizyolojik izleme giysisinin bir prototipini üretmede kullanılan “Nonwoven Kumaşlar Üzerine Basılmış Elektrik Devreleri” ni konu alan bir proje geliştirmiştir. Proje kapsamında iletken mürekkep üreticileri ile birlikte çalışılmıştır (Karaguzel ve ark., 2009).

3.1.5. Sensör olarak iletken malzemeler

Çevresel etkinin bir sonucu olarak elektriksel özelliklerini değiştiren iletken tekstiller, sensör olarak kullanılabilir. Basınç sensörleri, gerilim sensörleri ve solunum sensörleri gibi deformasyonlara tepki gösteren tekstiller, tipik örneklerdir.

3.1.5.1. Gerilim sensörleri

Giysi, büyük bir vücut alanı üzerinde cilt ile temas halinde olduğunda, gerilim sensörleri ağırlıklı olarak gövde parametrelerini algılama ve izleme için kullanılmaktadır. Bu, vücudun çeşitli yerlerinde gerçekleşebilen takip anlamına gelmektedir. Örneğin bu sensörler; nabız, solunum, hareket ve kan basıncını belirlemek için kullanılabilir (Pacelli ve ark., 2006.).



Şekil 19. Esnek sensörlü DataGlove™ VRLOGIC (Huang ve ark., 2008)

Tekstil yapılarına elektronikleri entegre etmede ilk yaklaşım, kullanıcının el hareketlerinden veri almasına olanak sağlayan bilgisayara bağlanan eldivenlerle elde edilmiştir. Eldiven içindeki sensörler, kullanıcının el hareketlerini algılamaktadır (Şekil 19). Bir devre oluşturmak için her parmakta dört tel kullanılmıştır. Ortaya çıkan voltajlar, parmak pozisyonuna bağlı olarak değişmektedir (Huang ve ark., 2008).

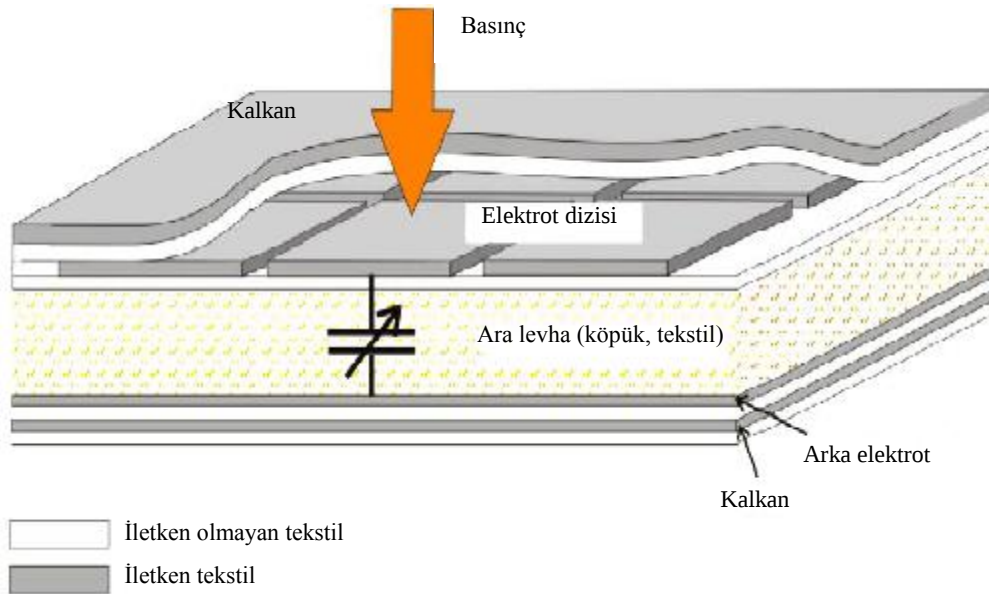
Aralarında Ghent Üniversitesi Tekstil Bölümü’nün de bulunduğu, üniversitelerin ve şirketlerin Flaman konsorsiyumu, Intellitex adında bir prototip giysi geliştirmiştir. Bu giysi, hastanede çocukların nabız ve solunumunun uzun vadeli izlenmesi için kullanılan biyomedikal bir giysidir. EKG’yı ölçmek için üç elektrodlu bir konfigürasyon kullanılmaktadır. İki ölçüm elektrodu toraks üzerinde yatay bir hatta yerleştirilir, referans olarak hareket eden (sağ hareketli bacak) üçüncüsü ise, karnın alt kısmına yerleştirilir (Hertleer ve ark., 2004).

3.1.5.2. Basınç sensörü

Basınç sensörleri genelde ya elektronik cihazlarda anahtar (şalter) ve arabirim olarak ya da kullanıcının hayati belirtilerini takip etmek için kullanılmaktadır.

Düz basınç sensörleri üretmek için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir (Ashruf, 2002; Rothmaier, 2008). Çalışma prensibi, iletken iplik matrisi ile kaplanmış elastik bir köpüğün neden olduğu kapasitans değişiklikleri veya basınç ile oluşan piezoelektrik rezonans frekansındaki değişimlere dayalıdır. Kapasitif sensörler için, parazitik kapasitans ve rezistanstaki bir değişim elektroniklerle karşılanabilmektedir (Meyer ve ark., 2006).

ETH Zurich'in Giyilebilir Bilgisayar Laboratuvarı, bir kıyafet parçasına entegre etmek için çeşitli kapasitif basınç sensörü içeren bir matris geliştirmiştir (Şekil 20). Bu yöntemle insan vücudundaki basıncı ölçebilmiş ve üst koldaki kas aktivitesini tespit edebilmişlerdir. Bu matrisi farklı vücut alanlarına uygulayarak, hareket izlemede veya kasların fiziksel durumunu saptamada daha fazla ayrıntı sağlayabilmektedir (Meyer ve ark., 2006).

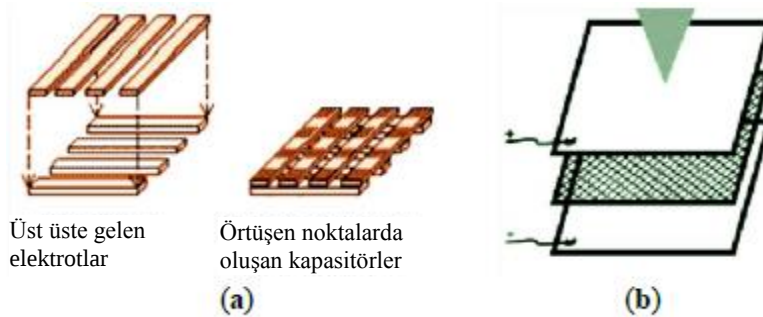


Şekil 20. Bir dizi tekstil kapasitörüne sahip sensör şeması (Meyer ve ark., 2006)

İngiliz firması Eleksen Limited, yumuşak ve esnek tekstil esaslı sensör kumaşını ElekTex® Akıllı Kumaş Arayüzleri markası adı altında ticarileştirmiştir. Bu kumaş, iletken liflerin ve naylonun bir kombinasyonudur. Bu kombinasyondan dayanıklı, yıkanabilir ve giyilebilir 3D bir yapı elde edilmiştir (URL 20, 2017).

ABD şirketi olan Pressure Profile Systems A.Ş., Tactarray ve ConTacts adı verilen yüksek performanslı çok elemanlı basınç ve dokunmatik algılama sistemleri tasarlamakta, geliştirmekte ve üretmektedir (Şekil 21a) (URL 21, 2014).

Surrey'de (İngiltere) Brunel Üniversitesi Yaşam Merkezi Tasarım ekibi, engelli çocukların anlaşılabilmesi için kullanılabilecek bir kumaş (Duyusal Kumaş) geliştirmiştir (Şekil 21b). Duyusal Kumaş, iletken olmayan bir katmanla bölünmüş iki katmandan oluşmaktadır. Tekstile basınç uygulandığında, bir iletken tabaka diğerine temas etmekte ve bunun sonucu olarak bir elektrik akımı oluşabilmektedir (URL 22, 2014).

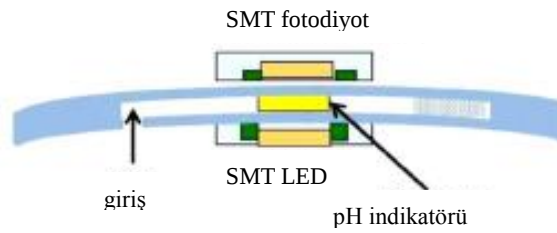


Şekil 21. (a) ABD şirketi olan Pressure Profile Systems A.Ş. tarafından geliştirilmiş kapasitif sensörün şeması (URL 21, 2014) ve (b) Surrey'deki Brunel Üniversitesi Yaşam Merkezi için tasarım (URL 22, 2014)

3.1.5.3. Elektrokimyasal sensörler

Yeni üretim metodolojileri ve elektrokimyasal tekniklerle ilgili son zamanlardaki bilgiler, geleneksel fiziksel ölçümleri (nabız, EEG, EKG, vb.) arttıracak kimyasal sensörlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Windmiller ve Wang, 2012). Yeni bilgiler, geleneksel fiziksel sensörleri daha fazla bilgi ile geliştirebilecek yeni nesil tekstil esaslı kimyasal sensörlerin geliştirilmesine neden olmuştur. Esnek ve tekstil esaslı film baskılı elektrokimyasal sensörler, invazif olmayan (vücut içine işlemeyen) izleme için uygun olabilir, ancak bu cihazlar vücuda (özellikle deriye) kolaylıkla bağlanamaz (Stoppa ve Chiolerio, 2014).

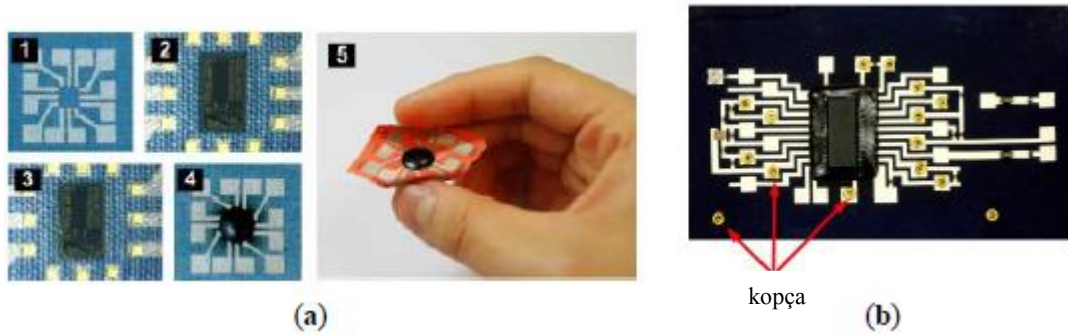
Dublin Kent Üniversitesi Ulusal Sensör Araştırma Merkezi'nin araştırmacıları, kişiyi ve çevreyi izleyen, giyilebilir kimyasal sensör örnekleri sunmaktadır. Özellikle kimyasal sensör, vücutta gerçek zamanlı olarak ter ölçüp analiz edebilmiştir. Ter pH'ındaki değişiklikleri ölçmek için platform bir mikroçip modeli geliştirmişlerdir (Şekil 22). pH'a duyarlı kumaşın renk değişikliği, çipin her iki yanına bir yüzeyden montajlı (SMT) LED ve fotodiyot modülü yerleştirilerek tespit edilmiştir. Elde edilen cihaz (180 µm kalınlıkta) esnektir ve vücuda uyarlanabilir (Stoppa ve Chiolerio, 2014).



Şekil 22. pH analizi için elektrokimyasal sensörün şeması (Stoppa ve Chiolerio, 2014)

3.1.6. Düzlemsel modaya uygun devre kartı

Düzlemsel modaya uygun devre kartı, giyilebilir elektronik uygulamalar için bezayağı yama kumaş üzerinde bir devre kartının uygulanmasına izin veren yeni teknolojilerden biridir. Normal giysiler gibi yumuşak ve esnek bir izlenime sahiptir.



Şekil 23. (a) Tek katmanlı düzlemsel modaya uygun devre kartı sistemi üretim süreci (Kim ve ark., 2008); (b) Kopça kullanılarak çok katmanlı bağlantı uygulaması (Seulki ve ark., 2009)

Düzlemsel modaya uygun devre kartı yüzeyi dokuma kumaşlar kullanılarak üretilmektedir. Düzlemsel elektrotlar, direkt olarak iletken epoksinin film baskısıyla veya altın püskürtme ile yama kumaş üzerine biriktirilerek yapılmaktadır. İlk etapta devre kartı, yama kumaş üzerine film baskı yapılmaktadır. Daha sonra entegre devre, kumaşın üzerine yerleştirilmekte ve desenli elektrotlara tellerle bağlanmaktadır. Son olarak, entegre devre iletken olmayan epoksi ile kalıplanmaktadır (Şekil 23a) (Kim ve ark., 2008). Bu tekniklerle Kore Modern Bilim ve Teknoloji Enstitüsü araştırmacıları aynı zamanda çok katmanlı bir devre geliştirmişlerdir (Şekil 23b). Bu araştırma, maksimum güç tüketimi, maksimum akım yoğunluğu, komşu iki hat arasındaki karışma ve dayanıklılık gibi elektriksel ve mekanik özelliklerin ve faydalı sistem tasarım parametrelerinin nasıl elde edildiğini vurgulamaktadır (Seulki ve ark., 2009).

3.1.7. Giyilebilir anten

İletken tekstillerin üretimindeki hızlı ilerleme sayesinde yeni, esnek ve uyumlu akıllı yapıları kullanan giyilebilir antenlerde önemli bir gelişme başlamıştır (Giddens ve ark., 2012). Amaç, giyilebilir ve otonom bir sistem geliştirmekse, anten

önemlidir. Anten, giysi içinde barındırılan sensörlerden bir kontrol ünitesine bilgi aktarılmasına veya diğer elektronik parametrelerin izlenmesine olanak tanımaktadır (Stoppa ve Chiolerio, 2014).

Bu nedenle, giyilebilir bir anten, elektronik cihazları daha az rahatsız edici hale getirerek, giysileri iletişim sistemine entegre eden bir bağdır. İyi sonuçlar elde etmek için, giyilebilir antenlerin ince, hafif, düşük bakım, sağlam, ucuz ve radyo frekanslı (RF) devrelere kolayca entegre olması gerekmektedir. Düzlemsel yapılar, esnek iletken ve yalıtkan malzemeler, giyilebilir antenler için özel gerekliliklerdir (Zhang ve ark., 2012; Grupta ve ark., 2010).

Malzemelerin çeşitli özellikleri antenin davranışını etkilemektedir. Örneğin, düzlemsel bir mikrobant antenin bant genişliği ve verimliliği esasen, yüzeyin geçirgenliği ve kalınlığı ile belirlenmektedir (Liu ve ark., 2011; Brebels ve ark., 2004).

Doğru bir anten projesi için kurallar aşağıdaki gibidir:

- Tekstil antenin yerleşimini doğru seçilmelidir (Ouyang ve Chappell, 2008; Kaija ve ark., 2010)
- Tekstil anteni, farklı kumaşları istifleterek doğru bir kalınlık ile yapılmalıdır (Kaija ve ark., 2010)
- Yamanın geometrik boyutları sabit kalmalıdır (Hertleer ve ark., 2009)
- Katmanlar arasındaki bağlantılar elektriksel özellikleri etkilememeli ve "e-giysiler" in diğer bölümleri ile bağlantıları stabil ve sağlam olmalıdır (Matthews ve Pettitt, 2009).

Bu noktalardan bazıları takip edilmezse, cihazın çalışmasında istenmeyen etkiler ortaya çıkabilmektedir.

Özellikle biyomedikal uygulamalarda deforme edilebilir elektronik devrelere ihtiyaç vardır. E-tekstiller, bu amaç için aday teknolojidir ancak bileşenlerin ve cihazların arasındaki bağlantıları önemli bir unsur olarak hesaba katmak gerekmektedir. Çoğu durumda kullanılan bu yaklaşım, gerdirilebilir bir alt tabaka malzemesinde kavisli galvanize edilmiş metalik teller geliştirecektir (Brosteaux ve ark., 2007).

Aslında, yüksek frekanslı sinyal ile ara bağlantı, gerilebilir olmalı ve bu nedenle alt tabaka ve iletkenler de gerilebilir olmalıdır. Genellikle bir polimerik malzeme kapsülleyici alt tabaka olarak seçilmektedir, çünkü gerilebilirdir ve ayrıca biyolojik olarak uyumlu olabilmektedir (Huyghe ve Rogier, (2008)).

4. SONUÇ

Elektronik tekstiller, elektronik ve tekstillerin algılayabilen, hesaplayabilen, iletebilen ve harekete geçirebilen kumaşlar halinde bir noktada birleşmesini tanımlamaktadır. Birçok farklı elektronik sistem herhangi bir giysiye bağlanabilirken, giyilebilir bir sistem daha çok yönlü hale gelmekte ve kullanıcı çevresel değişikliklere ve bireysel tercihiine bağlı olarak görünümünü değiştirebilmektedir. Giyilebilir bilgisayar görüşü, gelecekteki elektronik sistemleri, kişisel asistanlar olarak hizmet eden günlük giyimimizin ayrılmaz bir parçası olarak tanımlamaktadır. Bu nedenle, bu tür giyilebilir algılayıcılar algılama yeteneklerini normal giyim gereksinimleri altında korumalıdır.

Bu makalede öncelikle akıllı tekstiller hakkında genel bilgiler verilmiştir. Daha sonra elektronik tekstiller ve elde edilmiş yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Tekstil teknolojilerindeki güncel gelişmeler, yeni malzemeler, nanoteknoloji ve minyatür elektronikler, giyilebilir sistemleri daha uygun hale getirmektedir ancak kullanıcıların giyilebilir cihazları kabul etmesindeki en önemli parametre, yeterli konfordur. Bu amaca, insan vücudu ve çevrenin elektronikler için zorlu bir ortam olduğu kabul edildiğinde, mekanik direnci ve dayanıklılığı ele alarak ulaşılabilir olduğu görülmektedir. Ayrıca akıllı tekstillerin geliştirilmesinin devre tasarımı, akıllı malzemeler, mikro-elektronik ve kimya bilgilerinin temel olarak tekstil üretiminin derin bir anlayışıyla bütünleştirildiği çok disiplinli bir yaklaşım gerektirdiği ortaya çıkmaktadır.

Giyilebilir elektronikler sayesinde mobil elektronik cihazları şarj eden sistemler; nabız, solunum, sıcaklık, ter pH'ı gibi fiziksel aktiviteleri izleyebilen sistemler; tekstil devre sistemleri ve kablosuz veri aktarımı sağlayan sistemler geliştirilebilmektedir. Bu durum başta sağlık sektörü olmak üzere, günlük yaşantıyı da kapsayan birçok alanda hayatımızı kolaylaştırmaktadır.

Bu alanda daha fazla yeniliklerin sunulabilmesi için akıllı tekstil ürünlerinin tanıtımına odaklanılmalıdır. Bilimsel ve tıbbi topluluklar tarafından kabul görmesi için araştırma faaliyeti geliştirilmelidir. Akıllı tekstil sistemlerinde yapı taşları oldukları için, elektro iletken polimerler, lifler ve kumaşların uzmanlığının geliştirilmesi teşvik edilmelidir. Akıllı tekstil ürünlerinin kullanıcı tarafından kabulü, kullanıcılara gelişmeleri takip etme fırsatı vermek için teknolojileri daha küçük saffhalarda tanıtarak ve son kullanıcı eğitimini sağlamak için satış noktalarında, kullanım kılavuzları, servis hatları, bilgi yerleri şeklinde iyi bir servis sistemi sunarak güçlendirilebilir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından (Proje No: 2016/6-22 YLS) desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Ashruf, C.M.A. (2002). Thin flexible pressure sensors. *Sensor Review*. 22, 322–327.
- Balta, J.A., Bosia, F., Michaud V., Dunkel G., Botsis J., Månson, J.A. (2005). Smart composites with embedded shape memory alloy actuators and fibre Bragg grating sensors: activation and control. *Smart Materials and Structures*. 14, 457–465.
- Bedeloğlu Çelik, A., Sunter, N., Bozkurt, Y. (2010). Elektriksel Olarak İletken Tekstil Yapıları, Üretim Yöntemleri ve Kullanım Alanları. *Tekstil ve Mühendis*. 79, 7–17.
- Berzowska, J. (2005). Electronic Textiles: Wearable Computers, Reactive Fashion, and Soft Computation. *Textile: The Journal Of Cloth & Culture*. 3(1), 58–74.
- Blayo, A., Pineaux, B. (2005). Printing processes and their potential for RFID printing. *In Proceeding of Joint sOc-UESAI Conference, Grenoble, France*. 27–30.
- Brebels, S., Ryckaert, J., Boris, C., Donnay, S., De Raedt, W., Beyne, E., Mertens, R.P. (2004). SOP Integration and Codesign of Antennas. *IEEE Transactions on Advanced Packaging*. 27, 341–351.
- Brosteaux, D., Gonzalez, M., Vanfleteren, J. Design and Fabrication of Elastic Interconnections for Stretchable Electronic Circuits. *IEEE Electron Device Letters*. 2007, 28, 552–554.
- Carpi, F., De Rossi, D. (2005). Electroactive polymer-based devices for e-textiles in biomedicine. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 9(3), 295–318.
- Coşkun, E. (2007). Akıllı Tekstiller Ve Genel Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı. Adana.
- Declercq, F., Rogier, H., Hertleer, C. (2008). Permittivity and Loss Tangent Characterization for Garment Antennas Based on a New Matrix-Pencil Two-Line Method. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 56, 2548–2554.
- Giddens, H., Paul, D.L., Hilton, G.S., McGeehan, J.P. (2012). Influence of body proximity on the efficiency of a wearable textile patch antenna. *In Proceeding of the 6th European Conference Antennas & Propagation (EuCAP), Prague, Czech*. 1353–1357.
- Gimpel, S., Moehring, U., Mueller, H., Neudeck, A., Scheibner, W. (2003). The galvanic and electrochemical modification of textiles. *Band-und Flechtindustrie*. 40, 115–120.
- Gupta, B., Sankaralingam, S., Dhar, S. (2010). Development of Wearable and Implantable Antennas in the Last Decade: A Review. *In Proceedings of Mediterranean Microwave Symposium (MMS), Guzelyurt, Turkey*. 251–267.
- Hamedi, M., Forchheimer, R., Inganäs, O. (2007). Towards woven logic from organic electronic fibres. *Nature Materials*. 6, 357–362.
- Hertleer, C., Grabowska, M., Van Langenhove, L., Catrysse M., Hermans, B., Puers, R., Kalmar, A., Van Egmond, H., Matthys, D. (2004). Toward a Smart Suit. *In Proceeding of Wearable Electronic and Smart Textiles, Leeds, UK*.
- Hertleer, C., Laere, A.V., Rogier, H., Langenhove, L.V. (2009). Influence of Relative Humidity on Textile Antenna Performance. *Textile Research Journal*. 80, 177–183.
- Hertleer, C., Tronquo, A., Rogier H., Van Langenhove, L. (2008a). The Use of Textile Materials to Design Wearable Microstrip Patch Antennas. *Textile Research Journal*. 78(8), 651– 658.
- Hertleer, C., Van Langenhove L., Rogier, H. (2008b). Printed Textile Antennas for Off-body Communication. *Advances in Science and Technology*. 60, 64–66.
- Huang, C.T., Shen, C.L., Tang, C.F., Chang, S.H. (2008). A wearable yarn-based piezo-resistive sensor. *Sensors and Actuators A: Physical*. 141, 396–403.

- Huyghe, B., Rogier, H. (2008). Design and manufacturing of stretchable high-frequency interconnects. *IEEE Transactions on Advanced Packaging*. 31, 802–808.
- Johnson, G. (2006). Thin battery technology. *Paper presented at the Meeting of the Printed Electronics USA 2006, Phoenix, AZ, USA*.
- Kaija, T.; Lilja, J.; Salonen, P. (2010). Exposing Textile Antennas for Hash Environment. In *Proceedings of 2010 Military Communications Conference, San Jose, CA, USA*. 737–742.
- Karaguzel, B., Merritt, C.R., Kang, T., Wilson, J.M., Nagle, H.T., Grant, E. (2009). Pourdeyhimi, B. Flexible, durable printed electrical circuits. *The Journal of The Textile Institute*. 100, 1–9.
- Kayacan, O., Bulgun E. (2005). Akıllı Tekstiller ve Elektrik İleten Tekstil Esaslı Malzemeler. *Tekstil ve Mühendis*. 58, 29-34.
- Kim, H., Kim, Y., Yoo, H.J. (2008). A 1.12 mW continuous healthcare monitor chip integrated on a planar-fashionable circuit board. In *Proceeding of the IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC) Digest of Technical Papers*, San Francisco, CA, USA. 150–151.
- Liu, N., Lu, Y., Qiu, S., Li, P. (2011). Electromagnetic Properties of Electro-Textile for Wearable Antennas Applications. *Frontiers of Electrical and Electronic Engineering*. China. 6, 553–566.
- Locher, I. (2006). Technologies for System-on-Textile Integration. Ph.D. Thesis, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich, Switzerland.
- Matthews, J.C.G., Pettitt, G. (2009). Development of Flexible, Wearable Antennas. In *Proceedings of EuCAP 2009: 3rd European Conference on Antennas and Propagation, Berlin, Germany*. 273–277.
- McFarland, E.G., Carr, W.W., Sarma, D.S., Dorrity, J.L. (1999). Effects of Moisture and Fiber Type on Infrared Absorption of Fabrics. *Textile Research Journal*. 69, 607–615.
- Mac, T., Houis, S., Gries, T. (2004). Metal Fibers. In *Proceeding of the International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies, Baden-Baden, Germany*. Volume 47.
- Meng, Q., Hu, J., Zhu, Y., Lu, J., Liu, Y. (2007). *Journal of Applied Polymer Science*. 106(4), 2515–2523.
- Meyer, J., Lukowicz, P., Tröster, G. (2006). Textile Pressure Sensor for Muscle Activity and Motion Detection. In *Proceeding of the 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers, Montreux, Switzerland*.
- Müller, C., Hamed, M., Karlsson, R., Jansson, R., Marcilla, R., Hedhammar, M., Inganäs, O. (2011). Woven electrochemical transistors on silk fibers. *Advanced Materials*. 6, 898–901.
- Numakura, D. (2008). Advanced Screen Printing—Practical Approaches for Printable & Flexible Electronics. *3rd International Microsystems, Packaging, Assembly & Circuits Technology Conference, Taipei*.
- Nishide, H., Iwasa, S., Pu, Y.J., Suga, T., Nahasara, K., Satoh, M. (2004). Organic radical battery: Nitroxide polymers as a cathode-active material. *Electrochimica Acta*. 50, 827–831.
- Ouyang, Y., Chappell, W.J. (2008). High Frequency Properties of Electrotiles for Wearable Antenna Applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 56, 381–389.
- Pacelli, M., Loriga, G., Taccini, N., Paradiso, R. (2006). Sensing Fabrics for Monitoring Physiological and Biomechanical Variables: E-textile solutions. In *Proceedings of the 3rd IEEE-EMBS International Summer School and Symposium on Medical Devices and Biosensors MIT, Boston, MA, USA*.
- Parashkov, R.E., Becker, E. (2005). Large area electronics using printing methods. *Proceedings of the IEEE*. 93, 1321–1329.
- Post, E.R., Orth, M., Russo, P.R., Gershenfeld, N. (2000). E-broidery: Design and fabrication of textile-based computing. *IBM Systems Journal*. 39, 840–860.

- Printing, S., Sauer, M., Meilchen, S., Kalleder, A., Mennig, M., Schmidt, H. (2004). Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users. *Springer*, Norwell, MA, USA. Volume 1.
- Redström, M., Redström, J., Mazé, R. (2005). IT + Textiles. *The Interactive Institute*, Borås, Sweden. 59–93.
- Rothmaier, M., Luong, M.P., Clemens, F. (2008). Textile Pressure Sensor Made of Flexible Plastic Optical Fibers. *Sensors*. 8, 4318–4329.
- Scheibner, W., Feustel, M., Moehring, U., Hofmann, J., Linz, T. (2003). Textile electrical connecting cables. *Band-und Flechtindustrie*. 40, 76–78.
- Schubert, M.B., Werner, H.J. (2006). Flexible solar cells for clothing. *Materials Today*. 9(6), 42–50.
- Schwarz A, Van Langenhove L, Guermonprez P, Deguillemont D. (2010). A roadmap on smart textiles. *Textile Progress*. 42(2), 99.
- Seulki, L., Binhee, K., Yoo, H.J. (2009). Planar Fashionable Circuit Board Technology and Its Applications. *Journal of Semiconductor Technology and Science*. 9, 174–180.
- Starter, T. (1996). Human-powered wearable computing. *IBM Systems Journal*. 35, 618–629.
- Stassi, S.; Cauda, V.; Canavese, G.; Manfredi, D.; Roppolo, I.; Martino, P.; Chiolerio, A. (2014). Nanosized Gold and Silver Spherical, Spiky, and Multi-Branched Particles. In Handbook of Nanomaterials Properties, Bhushan, B., Ed.; *Springer-Verlag*, Berlin/Heidelberg, Germany. 199–202.
- Stoppa, M., Chiolerio, A. (2014). Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review. *Sensors*. 14(7), 11957-11992.
- Suga, T., Konishi, H., Nishide, H. (2007). Photocrosslinked nitroxide polymer cathode-active materials for application in an organic-based paper battery. *Chemical Communications*. 17, 1730–1732.
- Tiberto, P., Barrera, G., Celegato, F., Coisson, M., Chiolerio, A., Martino, P., Pandolfi, P., Allia, P. (2013). Magnetic properties of jet-printer inks containing dispersed magnetite nanoparticles. *European Physical Journal B*. 83, 173–179.
- URL 1. Popular Embroidery Techniques Used to Decorate Fabrics. (erişim tarihi: 04.02.2014) <http://nanetteparker.hubpages.com/hub/Popular-Embroidery-Techniques-Used-to-Decorate-Fabrics>
- URL 2. Creative Sewing. (erişim tarihi: 04.02.2014) <http://www.creativesewing.co.nz/>
- URL 3. Loominous. (erişim tarihi: 04.02.2014) <http://www.loominous.co.uk/studio.html>
- URL 4. Cornell University—Fabrics of Our Livelihoods. (erişim tarihi: 04.02.2014) <http://smallfarms.cornell.edu/2011/07/04/fabrics-of-our-livelihoods/>
- URL 5. CMI. (erişim tarihi: 04.02.2014) <https://www.colonialmills.com/PublicStore/catalog/Braiding-Process,156.aspx>
- URL 6. Textile Innovation Knowledge Platform. (erişim tarihi: 04.02.2014) <http://www.tikp.co.uk/knowledge/technology/coating-and-laminating/laminating>
- URL 7. Custom Fabric Printing. (erişim tarihi: 04.02.2014) <http://sophiasdecor.blogspot.it/2012/09/inside-spoonflower-custom-fabric.html>
- URL 8. Durable water repellent. (erişim tarihi: 04.02.2014) http://en.wikipedia.org/wiki/Durable_water_repellent
- URL 9. (erişim tarihi: 14.02.2017) <http://www.dephotex.com>
- URL 10. (erişim tarihi: 14.02.2017) <http://www.siliconsolar.com/visual-directory/12-v-consumer-ready-panels.html>
- URL 11. (erişim tarihi: 14.02.2017) <http://www.enfucell.com/products-and-technology>

URL 12. Resistat Fiber Collection. (erişim tarihi: 12.01.2014) <http://www.resistat.com/>

URL 13. Sophitex Ltd. (erişim tarihi: 31.01.2014) <http://www.sophitex.com>

URL 14. LessEMF. (erişim tarihi: 15.07.2013) <http://www.lessemf.com/fabric.html>

URL 15. Elektrisola Feindraht AG. (erişim tarihi: 11.01.2014) www.textile-wire.com

URL 16. Spoerry & Co AG, Swiss Shield®. (erişim tarihi: 12.01.2014) www.swiss-shield.ch

URL 17. Baltex. (erişim tarihi: 11.11.2013) <http://www.baltex.co.uk>

URL 18. Thermshield. (erişim tarihi: 12.01.2014) <http://www.thermshield.com/ThermshieldPages/MetallizedFabric.html>

URL 19. Ohmatex, Smart Textile Technology. (erişim tarihi: 03.06.2013) <http://www.ohmatex.dk>

URL 20. Eleksen Ltd. (erişim tarihi: 16.02.2017) <http://www.eleksen.com>

URL 21. Pressure Profile Systems, Inc. (erişim tarihi: 11.01.2014) <http://www.pressureprofile.com/presStrip.php>

URL 22. Swallow, S., Peta Thompson, (erişim tarihi: 01.02.2014) <http://www.intelligenttextiles.com>

Whan Cho J., Won Kim J., Seo Goo N. (2005). Electroactive Shape-Memory Polyurethane Composites Incorporating Carbon Nanotubes. *Macromolecular Rapid Communications*. 26, 412–416.

Weng, W., Chen, P., He, S., Sun, X., Peng, H. (2016). Smart Electronic Textiles. *Angewandte Chemie International Edition*. 21, 6140.

Windmiller, J.R., Wang, J. (2012). Wearable Electrochemical Sensors and Biosensors: A Review. *Electroanalysis*. 1, 29–46.

Vassiliadis, S. (1996). Automation and the Textile Industry. *Universidade do Minho, Greece*.

Zhang, L., Wang, Z., Psychoudakis, D., Volakis, J.L. (2012). Flexible Textile Antennas for Body-Worn Communication. *In Proceedings of IEEE International Workshop on Antenna Technology, Tucson, ZA, USA*. 205–208.