

ELEKTRİKSEL OLARAK İLETKEN TEKSTİL YAPILARI, ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Ayşe (ÇELİK) BEDELOĞLU¹
Nilşen SÜNTER^{1,2}
Yalçın BOZKURT¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü
²Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Son yıllarda, bilim ve teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesi, sürekli artan çeşitli insan ihtiyaçlarını da karşılamak amacıyla, yeni ve pratik pek çok ürünün geliştirilmesini sağlamıştır. Tekstil biliminin, her geçen gün daha da büyüyen elektronik endüstrisi ile iş birliğine gitmesi ile koruma, savunma, sağlık, iletişim, otomasyon amacıyla kullanılacak tekstil ürünleri, endüstri, askeri, uzay, tıp gibi birçok alanda, rol almaya başlamıştır. Bu çalışma, iletken tekstil malzemeleri (lif, iplik, kumaş vd.) elde etme yöntemlerini ve bu malzemelerin kullanım alanlarını, bu konuda yapılmış olan çalışmalar çerçevesinde açıklamaya çalışmaktadır. İletken tekstiller, sahip olduğu ileri özellikler ve üretim yöntemlerinin çeşitliliği ile gelecekte de pek çok alanda ilgi çekici uygulamalarda kullanılmaya devam edecektir.

Anahtar Kelimeler: akıllı tekstil, hibrit iplik, iletkenlik, kaplama, lif

ELECTRICALLY CONDUCTIVE TEXTILES, PRODUCTION METHODS AND USAGE AREAS

ABSTRACT

In recent years, various novel and practical products have been emerged by the rapid development in science and technology in order to meet human demands. By textile science incorporating with electronic industry, Textile products developed are taking part in different areas including industry, military, space, medical in order to perform needing for health, protection, defense, communication and automation. This study explains manufacturing techniques and uses of conductive textiles by reviewing related studies. Conductive textiles can have interesting application areas in the future due to their excellent properties and a variety of manufacturing techniques.

Keywords: smart textile, hybrid yarn, conductivity, coating, fiber

1. GİRİŞ

Tekstil endüstrisi, yüksek performanslı malzemeleri (lif, iplik ve diğer tekstilleri) de içeren akıllı ve çok fonksiyonlu tekstil malzemeleri alanında büyük bir ilerleme kaydetmektedir. İletken tekstil malzemeleri, sensörler, elektromanyetik koruma, toz ve bakteri önleme, statik yük boşaltma, görüntüleme, bilgi transferi sağlama gibi konularda gerekli endüstriyel ürünlerin üretilmesinde büyük rol oynamaktadır. Araştırmacılar, elektronik ve bilgisayar bilimlerinin gelişmesiyle, farklı uygulama alanları olan ve çeşitli ihtiyaçları karşılayabilecek ürünlerin imal edilmesi konusuna odaklanmışlardır. Bu açıdan, akıllı malzemeleri kullanarak çeşitli işlevleri yerine getiren tekstil ürünleri, hem endüstride hem de günlük hayatta gittikçe daha büyük bir öneme sahip olmaya başlamıştır. İlk olarak elektromanyetik koruma ve ısıtma amaçlarıyla kullanılmış olan elektriksel olarak iletken iplikler, daha sonraları güç transferi, sensörler, vericiler ve mikro denetleyicilerle uyarı kontrolleri sağlamada kullanılarak [1] günümüzde çok farklı gereksinimleri yerine getirmektedir.

1980'lerin ortalarından itibaren pek çok sayıda elektriksel olarak iletken ve yarı iletken tekstil ürünü mevcuttur [2]. Elektroniklerin tekstillere modifiye edilmesi ise ilk olarak 1990ların sonunda Levi's ve Philips in birlikte çalışması ile gerçekleştirilmiştir [3]. İletken iplikler, en yaygın olarak askeri ve tıp alanında (EKG (elektrokardiyografi) ölçen tişörtler, kumaş içine entegre edilen sensörler ile kalp atışlarının izlenmesi ve 2001'den beri fizyoterapi uygulamalarında) kullanılmaktadır. [4]. Askeri giysilerde, tekstil malzemesi içerisinde çeşitli fonksiyonların sağlanması için elektriğin iletilmesi ve iletişimin sağlanması amaçlarıyla kullanılmaktadır [5]. Ayrıca çevresel tehlikelere karşı uyarı veren giysiler, MP3, cep telefonu ve küçük kontrol aygıtları entegre edilmiş ceketler, küresel yer bildirim uydusu ile ailelerin çocuklarını gittikleri yerlerde izleyebilme imkanı sağlayabildikleri çocuk tişörtleri ve optik lif ve sensör içeren gömlekler, iletken ipliklerin kullanıldıkları ürünlere örnek olarak verilebilir. Günümüzde, aktif olarak algılama yapabilen, baskı, sıcaklık gibi uyarıcılara karşılık vermek gibi fonksiyonel tasarımları içeren, akıllı tekstiller (karmaşık iletken kumaşlar) mevcuttur. Bu tekstil ürünlerinin çeşitliliklerinin geliştirilmesi, uygun elektriksel iletkenliğe sahip tekstil malzemelerinin oluşturulmasıyla doğrudan bağlantılıdır [6-7].

Bu çalışma, iletken tekstil ürünlerinin elde edilmesi konusunda yapılmış olan çalışmaları anlatmakta ve ayrıca kullanılan malzeme ve yöntemler ile iletken tekstil ürünlerinin kullanım alanlarını açıklamaktadır.

1.1. Elektriksel İletkenlik

Maddenin temel özelliklerden bir tanesi elektrik akımını iletebilmesi veya iletememesidir. Bu özelliğe göre maddeler

iletken, yarı iletken ve iletken olmayan (yalıtkan veya dielektrik de denilir) diye sınıflandırılmaktadır. Elektriksel olayın ilk defa gözlemlenmesi, statik elektrik çalışmalarıyla başlamıştır. Miletli Tales, M.Ö 600'lü yıllarda, bir amber parçasının kumaşa sürtülmesi ile yüzeydeki tüyleri ve diğer ışık parçacıklarını çektiğini gözlemlemiştir.

“Elektrik” sözcüğü, asıl anlamı amber olan Yunanca kökenli “elektron” sözcüğünden gelmektedir. Tales'den sonra aradan geçen yaklaşık 2300 yıllık süre boyunca, insanoğlu elektrik olgusuyla pek ilgilenmemiştir. Sonraki çalışmalar, Stephen Gray'in 1700'lü yılların başında bazı maddelerin elektriği iletebilirken, bazılarının iletemediğini gözlemlemesiyle başlamıştır. Elektrikle ilgili çalışmalara, bugün adlarını iyi bildiğimiz pek çok bilim insanı (Coulomb, Galvani, Volta, Oersted, Ampere, Ohm, Seebeck, Faraday, Henry, Maxwell, Thomson, Tesla vd.) katkıda bulunmuştur. İletkenlik (σ), bazı formülleri aşağıda verilen Ohm Yasası ile genel olarak açıklanabilir [8]:

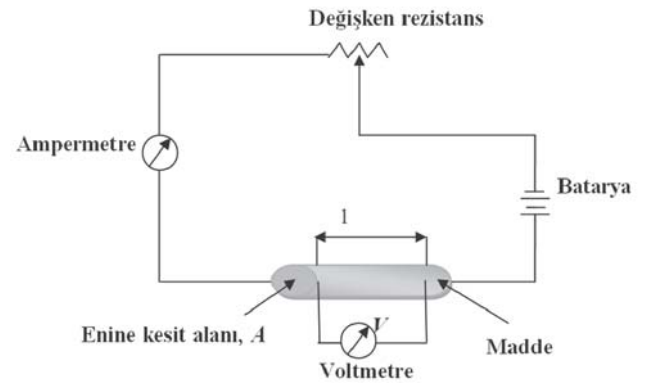
$$V = IR \quad (1)$$

Madde içerisinde, R elektriksel direnci (ohm, Ω), I elektriksel akımı (amper, A), V potansiyel farkı (volt, V) ifade etmektedir.

$$J = \sigma \varepsilon \quad (2)$$

$$J = I/A \quad (3)$$

Verilen formüllerde, J akım yoğunluğu (A/cm^2), iletkenlik ($1/\Omega \text{ cm}$) ve ε elektrik alan kuvvetini (V/cm) belirtmektedir. İletkenlik, elektriksel direncin tersidir ve SI birim sisteminde metredeki siemens ($S.m^{-1}$) olarak da ifade edilir. Ohm yasasının bir devre üzerinde gösterimi Şekil 1'de şematize edilmektedir:



Şekil 1. Ohm yasasının bir devre üzerinde gösterimi [9].

İletkenlik, malzeme içerisinde taşınan yüklerin (elektronların) sayısına ve onların hareketliliğine bağlıdır. Yalıtkanlar sıkıca bağlanmış elektronlara sahip olduklarından, elektron akışı hemen hemen hiç olmaz, malzeme yük akışına yüksek direnç gösterir. İletkenlik için serbest elektronlara ihtiyaç vardır. Metallerde ise, dış elektronlar yükleri taşımakta özgürdür [10]. Yarı iletken normal şartlar altında yalıtkan (elektriği iletmeyen) özellik gösterip dışarıdan bir etki uygulanmasıyla iletken hale gelebilen maddelerdir.

Uygulanan etki sona erdiğinde, tekrar yalıtkan duruma dönerler. Verilen diyagram (Şekil 2) farklı maddelerin iletkenliklerini göstermektedir:

1.2. Tekstillerde Elektriksel İletkenlik Ölçümü

Tekstil ürünlerinde elektriksel iletkenlik ölçümünde, farklı teknikler ve farklı cihazlar kullanılmaktadır. Tekstil ürünlerinde, genellikle iletkenliğin ölçümü, dört uç tekniği ve iki uç tekniği olmak üzere iki teknikle gerçekleştirilmektedir. Bu kısımda, tekstillerde iletkenlik ölçümü ile ilgili örnekler verilmektedir. Örneğin, iki uç tekniğini kullanarak kumaşların yüzey elektriksel direncini ölçen çalışmada, maksimum 20 megaohm değerine kadar ölçüm yapabilen multimetre cihazı kullanılmıştır. Bu teknikte, elektrotların ve örneğin boyutları önem taşımaktadır. İletkenlik ile örneğin direnci arasındaki bağıntı [11];

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (4)$$

şeklinde. Eşitlikteki ρ , ohm.metre ($\Omega.m$) cinsinden örneğin öz direncini, ℓ örneğin uzunluğu (metre, m), A örneğin enine kesit alanı (m^2), R malzemenin direncini (ohm, Ω), belirtmektedir [11]. Cheng ve ark. (2003) ise iletken kumaşların hacimsel öz direnci ve iletkenliğini Japon Endüstri Standardı JIS K 7194'da açıklanan dört uç tekniğine göre, Loresta-GP (Mitsubishi Chemical Corporation) direnç ölçeri kullanarak yapmışlardır. Hacimsel öz direnç (ρ_v , $\Omega.cm$), enine kesitten belirli bir akım geçerken, aralarında belli bir mesafe olan elektrotlar arasındaki potansiyel fark kaydedilerek ölçülmüştür. İletkenlik, hacimsel öz direnç (ρ_v) ve yüzey öz direnci (ρ_s) verilen formüllerle açıklanmıştır:

$$\rho_v = R(\Omega) \times RCF \times t(cm) \quad (5)$$

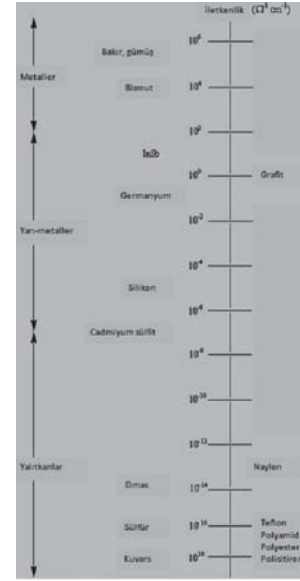
$$\rho_s = R(\Omega) \times RCF \quad (6)$$

$$\sigma = 1/\rho_v \quad (7)$$

R , kumaş örneklerinin direnci (Ω) (elektriksel voltaj/akım), t , kumaşın kalınlığı (cm), RCF, kumaşın öz direnç düzeltme faktörü ve σ , kumaşın iletkenliği anlamına gelmektedir [12].

Devaux ve ark. (2007), iletken ipliklerin elektriksel direnci Agilent 34401A multimetre kullanarak 20–25°C, %60–65 bağıl nem altında ölçülmüştür. Ölçümler 1-20 cm aralığında farklı uzunluklardaki ipliklere 20 defa tekrarlanmıştır ve ortalama değerler hesaplanmıştır. Ölçümün gerçekleştirildiği elektromekanik cihaz (Şekil 3), iletken lifleri multimetreye iki elektrot ile temas ettirmiştir [13].

Fugetsu ve ark. (2009), elektriksel öz direnci, iki nokta prob direnç ölçer ile [14] Rehnby ve ark. ise kaplanmış yüzeylerin elektriksel direncini konsantrik (eşmerkezli) proba sahip Metrosol 2000 (Şekil 4) direnç ölçer ile ölçmüşlerdir [15].



Şekil 2. Bazı malzemelerin oda sıcaklığında elektriksel iletkenlikleri [10]



Şekil 3. Elektromekanik özellikler ölçüm cihazı: (a) bakır elektrotlar ve (b) elektromekanik test cihazı başı [13]



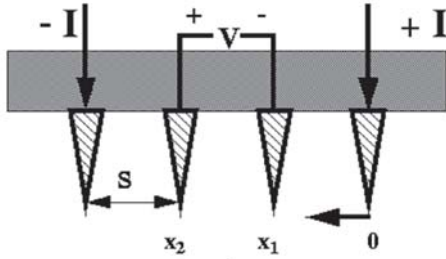
Şekil 4. Konsantrik proba sahip Metrosol 2000 ile yüzey öz direnci [15]

Kaynak ve arkadaşlarının (2008) yaptığı çalışmada iplik örnekleri, testten önce standart koşullar altında 24 saat tutulmuştur. Bütün deneyler bu koşullarda gerçekleştirilmiştir. 0,1g/tex'lik sabit bir ön gerilim uygulanırken, iplik örneklerinin elektriksel direnci Fluke 83 III multimetre ile ölçülmüştür. Çalışmada, tekstil, iplik ve lifler için elektriksel direnci, kütleye özgü direnç (R_s) olarak açıklamak daha uygun olacağı belirtilmektedir. Kütleye özgü direnç R_s ($\Omega g/cm^2$) öz dirence (ρ) (Ω) ve materyalin yoğunluğuna (d) (g/cm^3) bağlıdır:

$$Rs = \rho d \quad (8)$$

$$Rs = \frac{R \cdot N \cdot T}{\ell \times 10^5} \quad (9)$$

Eşitlik (9)da, R (Ω) direnç, ℓ örneğin uçları arasındaki uzaklık (cm), N iplik veya lifteki uçların sayısı, T iplik veya lifin lineer yoğunluğu (g/1000 m) olarak gösterilmektedir [16]. Kim ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada, elektriksel direnç testleri, 25°C, %55,56 bağıl nem altında, iki uç tekniği ile Keithley 617 cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Keithley 617 cihazı, iletken liflere temas ederek değişken voltaj ve doğru akım gücü üretir. Ayrıca, doğru akım gücünün voltajını kontrol eden ve ölçülen akımı kayıt eden bir bilgisayara bağlıdır. Karşılaştırılabilmesi için, Polianilin (PANI) filminin, yüzey elektriksel direnci ile PANI kaplı iletken iplikler aynı yöntemle ölçülmüştür [17]. Rattfalt ve Linden (2007) tarafından yapılan çalışmada, iletken iplikler, deneylerde tekrarlanabilir gerilim sağlanabilmesi için sabit ağırlık kullanmışlardır. Sinusoidal uyarılar, sinyal üreticisinden ipliğe gönderilmiştir. Ölçümler Universal Impedance Bridge ile gerçekleştirilmiştir. Direnç, 50 cm, 100 cm, 150 cm olan üç uzunlukta, 0 g, 50 g, 200 g olan üç gerilimde ve 1 Hz, 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz olan beş frekansta ölçülmüştür. Ölçümler, iplikler için iki veya üç örnekle tekrarlanmıştır [18]. Akşit ve ark. (2010) kaplı kumaşların iletkenlik ölçümünü dört-nokta prob yöntemine göre yapmışlardır. Eşit aralıklı dört probun yer aldığı yöntemde, dıştaki iki prob arasında sabit bir akım geçirilmektedir. İç kısımdaki iki prob boyunca gelen voltaj düşüşü okunarak iletkenlik hesaplanmıştır (Şekil 5) [19].



Şekil 5. Dört nokta prob yöntemi ile iletkenlik ölçümü [20]

$$\sigma(S/cm) = \frac{\ell}{dW} \cdot \frac{I}{V} \quad (10)$$

σ kumaşın iletkenliği, ℓ problar arasındaki uzaklık, d örneğin kalınlığı, W probun uzunluğu, I dış problar boyunca geçirilen akım, V iç problar boyunca meydana gelen voltaj düşüşünü belirtmektedir.

2. İLETKEN TEKSTİLLER

Sentetik tekstil liflerinin üretiminde kullanılan polimerin tipik özgül direnci 10^{10} ohm seviyesinden daha yüksektir. İletken tekstiller terimi, farklı düzeylerde belirli (yüzey) bir iletkenliğe sahip, lif, iplik ve kumaş gibi tekstil malze-

melerinden üretilmiş geniş aralıktaki pek çok ürün için kullanılmaktadır [21-25]. Elektriksel olarak iletken tekstiller, iletişim, eğlence, sağlık, güvenlik, ısıtma, koruma ve moda amaçlı elektronik tekstillerin üretilmesinde kullanılabilir [26]. Tekstillerin elektriksel olarak iletken hale getirilmesi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilmektedir.

2.1. İletken Lifler

İletken lif ve iplikler, kendisi doğal olarak iletken olabilir veya sonradan iletkenlik kazandırılabilir. Elektriksel iletkenlik ya da yarıiletkenlik özelliği, liflere, farklı yöntemler ile kazandırılabilir. Bu yöntemlerden bazıları, metal levha veya bantlardan liflerin elde edilmesi [6], farklı üretim ve çekim yöntemleri kullanılarak lif elde edilmesi [27-28], liflerin metaller [29-31], metal oksitleri veya tuzları, iletken karbon ve kendiliğinden iletken olan polimerlerle [32-34] çeşitli yöntemler kullanılarak muamele edilmesi olarak söylenebilir.

İletken lifler, demirli alaşımlar, nikel, paslanmaz çelik, titanyum, alüminyum, bakır gibi elektriksel olarak iletken metallerden üretilmektedir. Metal lifler, çapları yaklaşık 1-80 mikron (μm) arasında değişen çok ince metal filamentler halinde veya kesikli lifler halinde üretilmektedir. Metalik lifler, genellikle, liflerin demet halinde çekim işlemi veya ince metal levhanın kenarlarının traşlanması ile elde edilmektedir. Yüksek iletkenliğe sahip metalik lifler, diğer çoğu tekstil lifine göre daha ağır ve kırılabilir olduğundan başka liflerle homojen karışım yapılması ve iplik üretim işlemleri sırasında zamanla makinaya zarar vermelerinden dolayı (aşınma ile) bilinen iplik eğirme makinelerinde üretilmeleri zordur, dolayısıyla üretimleri de daha maliyetlidir. İletken olmayan lif bantları ile metal bantlarının harmanlanması yüksek iletkenlikte ($10^5 \times cm^{-1}$) karışımlar elde edilmesini sağlayabilmektedir. Sentetik ve doğal liflerin metaller ile harmanlanması özellikle kısa stapel eğirme işlemlerinde başarılı şekilde gerçekleştirilmektedir. Ancak metal lif içeren iplikler ile metal lif içermeyen ipliklerin mukavemetleri arasındaki farklılık tekstil ürününü olumsuz etkilemektedir. İletken karışım iplikler içeren tekstil ürünleri, elektromanyetik koruma amaçlı giysilerde, mobilyalar için kullanılan statik elektriklenmeyi azaltıcı/engelleme kumaşlarda, yeraltı çalışmaları için özel tekstil filtreleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Oluşturulan iletken ipliklerin esnek ve yıkanmaya uygun olması üretilen kumaşların kullanım süresince, sıradan tekstil kumaşı görünümü ve rahatlığı vermesi çok önemlidir [6].

Bekaert firmasından Holvoet ve Verstraeten (2006) yaptıkları patent çalışmasında, demet halinde çekilmiş metal lifleri, en az üç eşmerkezli metal katman (bir öz tabakası, bir yüzey tabakası ve en az bir ara tabaka) içeren radyal kesit alana sahip olarak elde etmişlerdir.

Yüzey tabakası demetten çekilen metal lifin dış yüzeyini oluşturur ve metal lifin eşdeğer çapının %30'undan daha az bir ortalama kalınlık değerine sahiptir. Demet halinde çekilme işlemi için, en az üç katmandan oluşan metal liflerin etrafı kimyasal madde ile kaplanır. Ardından istenilen çapa gelinceye kadar çekim işlemi gerçekleştirilir. Çekme işleminden sonra kompozit telin etrafındaki tabaka ve makriks temizlenir. Elde edilen demet halindeki lifler istenilen miktarda bükülerek iplik elde edilebilir. Böylece demet halinde çekilmiş lifler ince ve eşit çaplarda daha uygun formda elde edilmiştir [7]. De Bondt ve Decrop (2007), patent çalışmalarında, bir matriks malzeme içerisinde yer alan paslanmaz çelik tellerden demetten çekim yöntemi ile paslanmaz çelik lifleri elde edilmesini açıklamışlardır. Paslanmaz çelik liflerin kompozisyonunu başlıca, demir olmak üzere, karbon, manganez, silisyum, nikel, krom, molibden, bakır, azot, kükürt, fosfor elementleri oluşturmuştur. Lif üretim aşamasında, paslanmaz çelik teller demet haline getirilir ve birlikte çekim işlemi gerçekleştirilir. Tek teller uygun bir matriks malzeme ile kaplanarak birbirinden ayrılır ve bir kaplama malzemesi içine konulur. Kaplanmış tellerin oluşturduğu demet istenilen inceliğe gelinceye kadar çekilir, kaplama malzemesi ve matriks malzeme, genellikle kimyasal yolla temizlenir. Genelde, demir veya bakır gibi bir metal, çekime uğrayan çelik tellerle benzer mekanik özellikleri taşıdığı için matriks ve/veya kaplama malzemesi olarak kullanılır. Ancak metal matriks kullanıldığında, ısıtma işlemi yapılırken tellerin ve matriksin birlikte çözülmesi önemli bir dezavantajdır [35].

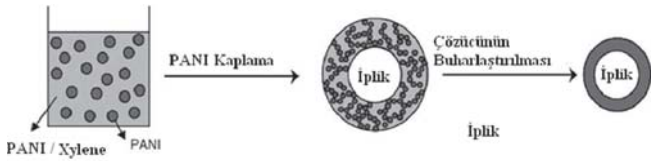
Halı üzerinde yürüyen bir insanın vücut voltajı (potansiyeli) 10000-20000 V kadardır. Bu yüksek potansiyel, elektriğin, sürtünme ile elektriklenme gibi olaylar süresince kişi üzerinde birikmesiyle oluşur. Bir kutba ait yükler halı üzerinde yürüyen kişinin ayakkabı tabanında birikirken, ters yükler halıda kalır. Ne kadar yük oluşacağı halının yapıldığı liflerin kimyasal kompozisyonuna ve ayakkabının malzemesine bağlıdır. Halıda, düşük miktarlarda, iletken iplikler kullanılması, iletimde direk kontak sağlayarak yüklenmenin azaltılmasına yol açar [36]. Örneğin Kessler ve Fisher çalışmalarında (1997), halılarda sürtünme ile oluşan statik elektrik yükünün olumsuz etkisine ve iplikte ve bu ipliklerden üretilen halılarda iletken filamentler kullanarak bu etkinin giderilme yoluna değinmişlerdir. Çalışma, insan vücuduna statik etki ile yüklenen voltajı sınırlamak için halılardaki iletken liflerin etkinliğinin korona yük boşalması ile test edilmesini ve kullanılan iletken liflerin korona performanslarının karakterize edilmesini açıklamıştır. Elektriksel yük birikimini sınırlandırmak için, yeni bir test geliştirilmiş ve halıdaki iletken filamentlerin sağladığı korona yük boşalımı iyonlaşmasının etkinliği ölçülmüştür. Araştırmacılar, pek çok durumda, sürtünme ile elektriklenmenin, halılarda bulunan iletken lifler ile azaltılmasına rağmen, silindirin yükü ile standart yürüme testi ile ölçülen vücut voltajı ara-

sında ilişki bulamamıştır. Test, halıya temas eden malzemenin sürtünme ile elektriklenmesinin, yüklenme derecesi ile ilişkili olduğunu göstermiştir [36]. Diğer bir çalışmada, Maclaga ve Fisher (2001), bir halı içerisine iletken lifler ekleyerek ve dolayısıyla statik yük dağılmasını sağlayarak, halıların üzerinde yürüyen insanlar üzerinde biriken statik yükün azaltılmasını amaçlamışlardır. 70 filamentin bir araya getirilmesi ile üretilen iletken Naylon iplikler, iletken olmayan her iki adet Naylon 6.6 filamentinin dış yüzeyinde karbon dolgulu bir adet Naylon 6 şeridi kullanılması ile elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, statik yükün dağıtılmasının, korona dağıtımı ile iletken ipliklerin uçlarının etrafında oluşan serbest iyonlara bağlı olduğu bulunmuştur. Çalışma sonucunda, kişi üzerinde biriken yük miktarının korona akımı ile ters orantılı olduğu belirtilmiştir [7].

Elektriksel iletken lif, iplik ve kumaşlar, ayrıca tekstil malzemesinin metal, metal oksitleri ve metal tuzları ile kaplanması ile de elde edilebilmektedir. Kimyasal kaplama ve yüksek konsantrasyonlu reçine içerisindeki metalik parçacıklarla muamele etme ticari olarak da iletken lif elde etmek amacıyla kullanılmakta olan yöntemlerdir. Yarı iletken metal oksitler hemen hemen renksizdir ve lif yüzeyine gömülebilmekte, bikomponent liflere katılabilen veya tekstil malzemesinin yüzeyine kimyasal olarak muamele edilebilmektedir [26]. İletken kaplamalar, kullandıkları taşıyıcı tabakanın (tekstil malzemesinin) özelliklerini değiştirmeden onları elektriksel iletken malzemelere çevirebilmektedir. Kaplama işlemi, elektriksiz kaplama, buharlaştırma ile biriktirme, püskürtme, iletken polimer ile kaplama, lifleri doldurma ve karbonlaştırma gibi yöntemlerle, lif, iplik veya kumaşlara uygulanabilmektedir [37]. Metalik tuzlarla kaplama işlemi, antistatik performans gerektiren halı endüstrisinde kullanılmaktadır. Çeşitli doğal ve sentetik liflere uygulanabilmektedir ($10^{-6} - 10^{-1} \text{ [cm]}^{-1}$). Bunun yanında, galvanik kaplamalar oldukça yüksek iletkenlik ($>10^4 \text{ [cm]}^{-1}$) sağlamaktadır ancak bu yöntem sadece grafit veya karbon lifleri gibi elektriği ileten taşıyıcı tabakalara uygulanabilmektedir. Üretimin maliyetli ve karmaşık olmasından dolayı galvanik kaplamalar genelde tekstil endüstrisi için kullanılmaz [6]. Elektriksiz kaplama yöntemi, bir tekstil malzemesinin, içinde kimyasal reaksiyonların olduğu kaplama çözeltisi içerisine daldırılması işlemine dayanır. Tekstillerin nikel veya bakır ile kaplanması bu yolla gerçekleştirilebilir. Bu yöntemle düzgün ve elektriksel olarak iletken kaplamalar elde edilebilmektedir ancak maliyeti yüksektir [38-39]. Buharlaştırma ile biriktirme işleminde, tekstil yüzeyinde, bakır, gümüş veya altın olan metal, işlem süresince giderek yoğunlaşarak bir kaplama oluşturur. Bu işlem çeşitli kalınlıklarda ve iletkenlikte kaplamalar oluşturmakta kullanılabilmektedir [40-41]. Püskürtme ile kaplama yönteminde, kaplama malzemesi, tek atomlar halinde tekstil malzemesi üzerine fırlatılmakta ve çok ince ve düzgün bir kaplama tabakası meydana getirilmektedir.

Ancak buharlaştırarak kaplama yöntemi ile karşılaştırıldığında hızı çok düşüktür ve maliyeti de daha yüksektir [41-42]. Vakum sprey yöntemi, ucuz bir yöntemdir ve yüksek iletkenliğe ($\sim 10^4$ [x cm]⁻¹) sahip metal kaplı lifler üretilmektedir. Ayrıca metal ve tekstil arasında iyi bir yapışma olmaması, yüksek iletkenlik sağlanmasını güçleştirmektedir [6].

Tekstil malzemeleri, poliofen (PTh), Polianilin (PANI), polipirol (PPy) esaslı iletken polimerlerle kaplanabilir veya muamele edilebilir. Ayrıca kendisi iletken olan lifler, bu iletken polimerler veya bunların başka polimerlerle karışımlarından üretilir [6, 26]. Bu tip polimerler, yüksek iletkenlik, esneklik ve hafiflik sağlamak ve ayrıca yapışma özellikleri de daha iyi olup aşınma problemlerine neden olmamaktadır [43]. Bunun yanında, bilinen yöntemleri kullanarak polimer kaplamanın yapılması zordur [44]. Araştırmacılar tarafından, Polianilin ve polipirol gibi polimerler, çevresel şartlara dayanıklılığı, yüksek elektriksel iletkenliği ve termal ve kimyasal olarak kararlılığından dolayı daha fazla çalışılmaktadır. İletken polimerlerden elektrokimyasal yöntemle lif veya film elde edilmesi, geniş alan uygulamalarında, kırılma problemi ortaya çıkartmaktadır. Bundan dolayı, ince kaplama veya iletken polimerlerin çözeltiden polimerizasyonu yöntemleri daha uygundur [17]. İletken polimerlerle, bıçakla kaplama yöntemi kullanılarak iletken polimer karışımı ile kumaşın kaplanması [15], sürekli buharlı polimerizasyon yöntemi ile pirolün tekstile uygulanması [16], çözeltiden kaplama [13] gibi uygulamalar yapılmıştır. Ayrıca Kim ve arkadaşları (2004) iletken lifleri eriyikten üretim [17]. ve kaplama yöntemlerini kullanarak üretmişlerdir.



Şekil 6. Polyester ipliğe iletken kaplama yapılması [17]

Lif yapısına, iletken karbon ekleyerek iletken özellikler taşıyan tekstil ürünü elde etmek mümkündür. Bu özellik kablo, lif ve mikro veya nano partiküller formundaki karbonun, life eklenmesi ile kazandırılabilir. Karbon lifleri ve karbon eklenmiş lifler iyi iletken özellikler gösterir ve bunlar bilinen tekstil imalat sistemlerinde kolayca işlem görebilmektedir [44]. Yüksek konsantrasyondaki karbon ile lifleri doldurarak, öz-mantodan oluşan bikomponent lifte öze karbon ekleyerek, yan yana bikomponent lifte, bir tanesini karbon lifinden oluşturarak ve karbonu lifin yüzeyine kaplayarak karbon içeren iletken lifler elde edilebilir [26]. Karbonlaştırma işlemi, tekstilin elektriksel olarak iletken hale gelebilmesi için 1000°C'de bir karbonlaştırma ocağı içerisinde işlem görmesidir. Bu işlem sıcaklık

değişimlerine reaksiyon veren giysi üretilmesinde kullanılmaktadır [6]. Polimerik lifler içerisine karbon parçacıkların doldurulmasıyla elde edilen heterojen yapıdaki iletken lifler, sınırlı iletkenliğe ve bazı durumlarda kararsız elektriksel özelliklere sahiptir. Karbon lifleri gibi, homojen yapıdaki elektriksel iletken lifler, 10⁻³ ile 10⁻⁵ .m arasında elektriksel iletkenliğe ve daha kararlı elektriksel özelliklere sahiptir. Karbon liflerinden üretilmiş dokuma kumaşlar ve dokusuz yüzey kumaşlar, özel ısıtıcı giysileri de kapsayan esnek ısıtıcılarda ısıtma tabakası olarak kullanılmaktadır [44]. Bunun yanında, iletken karbon nanotüplerin lif olarak üretilip kullanılmasıyla ilgili de çalışmalar mevcuttur [13]. Reçinede tutulan iletken parçacıklar ile lifleri kaplama yönteminde, lifler yüksek iletkenliğe sahip saf karbon reçinesi ile kaplanmaktadır. Naylon lifleri yüzeyindeki küçük oyuklar sayesinde en iyi kaplama yapılabilen lif olarak değerlendirilmiştir. Bu lifler uzunlamasına oyuklara sahip yüzeyleri ile reçineye yada yapışkan maddeye ihtiyaç duymadan iletken maddeyi hareketsizleştirebilmişlerdir [44]. Örneğin Xue ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan çalışmada, polivinilalkol (PVA) ve karbon nano tüplerden (CNT) oluşan elektriksel iletken iplikler yaş üretim ve kaplama olmak üzere iki metotla üretilmiştir [45]. Bir başka çalışmayı gerçekleştiren Shim ve arkadaşları (2008) en yaygın tekstil lifi olan sıradan pamuk liflerinden üretilmiş dikiş ipliklerini akıllı elektronik tekstillerde kullanılabilecek bir ürün haline getirmek için, daldırma yöntemini kullanarak tek ve çok duvarlı karbon nanotüplerin karışım dispersiyonu ile polielektrolit esaslı kaplama yapmışlardır. Nanotüp ağı sayesinde, etkin yük transferi (20 /cm) (elektriksel iletkenlik) sağlanmıştır [46]. Fugetsu ve arkadaşları (2009) ise karbon nanotüp esaslı boyarmadde-leri, çok duvarlı CNT'lerin suda bir dispersiyonu ve çeşitli yüzey aktif maddeleri kullanarak hazırlamıştır [14].

İletken mürekkep teknolojisi, farklı tekstil malzemeleri üzerinde elektriksel olarak iletken baskıların oluşturulabilmesi için baskı mürekkeplerine, karbon, bakır, altın, gümüş, nikel gibi metallerin eklenmesine dayanmaktadır [6]. Üretilen mürekkepler kullanılarak üretilen devre baskılı esnek tekstil ürünleri, eğilmeye ve yıkanmaya karşı dayanıklı ve kararlı olabilmektedir [8, 26]. Gravür, fleksografik ve rotor baskı yöntemleri mürekkepleri taşıyıcı malzemeler üzerine basmak için kullanılmaktadır. Dijital baskı teknolojisi konusunda, uygun viskoziteli mürekkebin geliştirilmesi, mürekkep deposunda mürekkebin belirli aralıklarla çalkalanarak sabit bir iletkenliğin sağlanması, aynı miktarda mürekkebin sevk edilmesi ve desenin uygun şekilde kurutulması [47-48] gibi sorunlar konusunda çalışmalar devam ederken, bu yöntem, tekstiller üzerine iletken mürekkep uygulamalarını oldukça geliştirmiştir [26].

2.2. İletken İplik ve Kumaş Elde Edilmesi

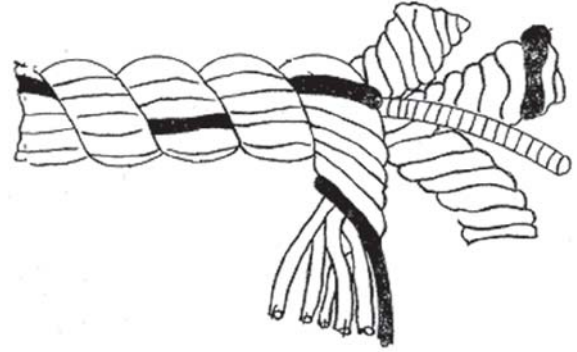
İletken iplikler, iletken filamentlerden, kesikli iletken liflerden veya iletken lif veya tellerin iletken olmayan tekstil lifleri ile birlikte eğrilmesi ile elde edilebilmektedir. Ayrıca iletken olmayan ipliklerin, iletken metal malzemelerle sarılması ile de iletken tekstiller üretilebilmektedir. İletken kumaşlar ise, yapılarında iletken ipliklerin veya tellerin kullanılması ile ya da kumaşın iletken malzemelerle kaplanması veya muamele edilmesi ile elde edilmektedir.

Metalik iplikler, iletken olmayan bir ipliğin bakır, gümüş veya altın tel veya folyo gibi metalik bir malzeme ile birlikte sarılmasıyla elde edilebilmekte ve ayrıca iletken tekstillerin üretilmesinde kullanılabilir [49-50]. Tekstil elektrotlarında iletken malzemeler, bir takım özelliklere ve kararlı polarizasyon potansiyeline sahip olmak zorundadırlar. Bu özellikler, yıkanabilir olma, alerjik olmama ve sıkı uygulamalarda deride rahatsızlık hissi yaratmama şeklinde sıralanabilir. Daha ince ve daha yüksek mukavemetli iletken iplikler, dikiş ipliği olarak elektronik tekstillerin dikilmesinde kullanılabilir. Yapının iletkenliği dikişlerin yeri ile kontrol edilebilmektedir [49]. Özlü iplik üretimi, genel olarak, modifiye edilmiş ring iplik makinesinde [51-56] ve açık uç Dref-3 özlü iplik eğirme sisteminde [57] yapılabilmektedir.

Özlü bir iplik, öz ve manto denilen iki bileşenden oluşmaktadır. İpliğin merkezinde yer alan ve monofilament, multifilament veya kesikli liften oluşan öz ile onu saran kesikli liflerden oluşan manto, birlikte kompozit iplik yapısını oluşturur [58]. İletken özlü iplik üretiminde, metal bir tel veya iletken malzemelerle kaplı bir iplik öz veya mantoda kullanılmaktadır. Tekstil kullanım özelliklerine uygun olması açısından kullanılacak iletken malzemelerin de ince, esnek veya katlanabilir özellikte olması gerekmektedir. Friksiyon özlü iplik eğirme sisteminde, özde bulunan filament eğirme işlemi sırasında büküm almamaktadır. Delikli eğirme silindirleri tarafından sağlanan hava emişi sayesinde, açıcı silindir tarafından açılan manto lifleri, eğirme silindirinin yüzeyine tutunur. Eğirme silindirlerinin dönüşü ile sağlanan sürtünme sonucunda, mantodaki lifler özdeki filament etrafında tur atar ve özlü iplik yapısı oluşur [57].

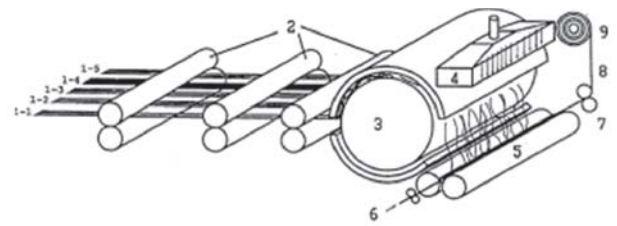
Bramley (1966), patent çalışmasında, hafif ve yüksek mukavemetli elektriksel olarak iletken bir malzeme (halat) (Şekil 7) üretilmesini amaçlamıştır. Üretilen iletken halatın, hayvanların hareket alanını kontrol etmek veya bir alandan diğer alana geçişi engellemek için (çit gibi) kullanılmaya uygun olduğu belirtilmiştir. Halat, birlikte bükülmüş çok sayıda iplikten oluşmuştur. Her bir iplik belirli sayıda filament içermiştir. Bu filamentlerin en az bir tanesi iletken ve en az bir tanesi yalıtkan olarak seçilmiştir. Metalik iletken filament, ipliğe verilecek bükümün miktarıyla tespit edilen aralıklarda yüzeyde yer alacak şekilde her

bir iplik birlikte bükülmüştür [59]. Douglas ve Watson'ın patentlerinde (1999), bükümlü veya bükümsüz liflerden oluşan bir özün etrafına, bir filamentin sarılması ile elde edilen iletken iplik açıklanmıştır [60]. Chiou ve ark.nın (1999) yaptıkları patent çalışmasında, iletken iplik üretimi, 1-2 mm civarında kalınlığa sahip metal bir katmanın iplik etrafına sarılmasıyla iletkenlik özelliği kazandırılmasına dayanmıştır. İki adet iletken metal (paslanmaz çelik) telin, iletken olmayan iplik etrafında karşılıklı sarılması sonucu iyi iletkenliğe ve mukavemete sahip bir tekstil yapısı elde edilmiştir. Bu yöntemle üretilen iletken özellikteki tekstil yapısı üretim maliyetlerinin düşük olması, daha yüksek mukavemet değerine sahip olması, yüksek rijitliğe sahip olması gibi avantajlara sahiptir [61].



Şekil 7. İletken halat yapısı [59]

Ueng ve Cheng (2001), açık uç friksiyon iplik makinesinde iletken özlü iplik üretmişler ve bu iplikleri kullanarak statik elektrikten ve elektromanyetik etkilerden korunmak için iletken bir kumaş geliştirilmesi üzerine çalışmışlardır. İplik makinesinde (Şekil 8), ürün maliyetini düşürmek için paslanmaz çelik, özde ve polyester ile paslanmaz çelik kesikli lifleri, mantoda kullanılarak özlü iplik üretimi yapılmıştır. Daha sonra, tek veya katlı iplikler, yarı otomatik dokuma tezgahında 2/2 dimi ve 4lü çözgü sateni yapılarında dokunmuştur. Kumaş tipi, kumaş sıklığı ve iletken iplik miktarının, elektromanyetik koruma etkinliği ve statik elektrik boşalmasını azaltma konusunda etkili olduğu bulunmuştur [62].



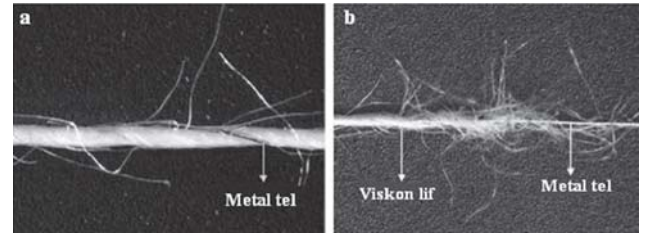
Şekil 8. DREF III, açık uç friksiyon eğirme yöntemi: 1-1, 1-3, 1-5: kesikli liflerden oluşan kılıf tülbent, 1-2, 1-4: kesikli paslanmaz çelik liflerinden oluşan kılıf tülbent, 2: Çekim ünitesi, 3: taraklama tamburu, 4: Sıkıştırılmış hava, 5: Sürtünme tamburu, 6: Paslanmaz çelik telle öz besleme, 7: Çekme silindiri, 8: açık uç friksiyon özlü ipliği, 9: Sarım silindiri [62]

Cheng ve arkadaşlarının çalışmasında (2003), paslanmaz çelik (kılıf), kevlar veya viskon (öz) kesikli lif ve paslanmaz çelik tel (öz), DREF III, açık uç friksiyon eğirme yöntemi (Şekil 8) kullanılarak açık uç friksiyon özlü ipliği oluşturmak için bir araya getirilmiştir. Farklı karışım oranlarında üretilen iletken açık uç friksiyon özlü iplik kullanılarak elektromanyetik korumayı sağlayan kumaş (bezayağı, 2/2 dimi ve 4lü çözgü sateni), yarıotomatik dokuma makinasında üretilmiştir. 2100 MHz in altındaki frekanslarda, iletken dolgu içeriğiyle dokuma kumaşın elektromanyetik koruma verimliliği artmıştır. Ayrıca, tüm frekanslarda atkı ve çözgü sıklığının artırılması da olumlu etki göstermiştir. Aynı iletken dolgu ile viskon kullanılan kumaş, kevlar kullanılabildiği gibi daha yüksek elektromanyetik koruma verimliliği göstermiştir [12]. Lin ve Lou (2003) [63] ile Su ve Chern (2004) [64] karmaşık dokuma kumaşlar üretmek için paslanmaz çelik kesikli lif ve filamentleri karmaşık iplikler elde etmek için kullanmışlardır. Lin ve Lou (2003) yeni bir cihaz (rotor-wrapping-twister) kullanarak paslanmaz çelik filamentler, polipropilen dokusuz yüzey şeritler ve takviye filamentleri içeren iplikler üretmişlerdir. Kancalı dokuma makinasında, bu iplikler kullanılarak karmaşık kumaşlar dokunmuştur. 170°C'de farklı sürelerde ısıtılan lamine yapılar ve kumaşların elektriksel özellikleri ölçülmüştür [63].

Lou (2005) tarafından yapılan çalışmada, iletken iplik, ring iplik makinesinde, öz kısmında metal tel kullanılarak (Şekil 9) üretilmiştir. Bakır ve paslanmaz çelik materyaller öz olarak değerlendirilmiş, arka silindirden beslenen %100 viskon ve polyester/viskon karışımı, fitil kaplama (manto) materyalleri olarak kullanılmıştır. Bilinen ring iplik üretimine benzer bir şekilde, eğirme işlemi gerçekleştirilmiş ve metal tel, kılavuzdan geçirilerek ön silindirden beslenmiştir. Kılavuz mekanizması tarafından beslenen özlü iplik, 50°, 70° ve 90° olan besleme açılarıyla beslenmiş, besleme kılavuzunun üst ön silindire temas ettiği durumda ipliğin en yüksek mukavemete ulaştığı gözlemlenmiştir. Visikon ve polyester/viskonun fitil, bakır ve paslanmaz çelik telin öz olarak kullanıldığı, iletken özlü ipliğin, mukavemetinin, manto malzemesinin numarası Ne15 iken (11~22 CN/tex değerleri arasında) en yüksek olduğu görülmüştür. Büküm seviyesinin artmasıyla tüylülüğün azaldığı görülmüş, viskon ve polyester/viskon karışımının karşılaştırılması sonucu, viskondan yapılmış hibrit ipliklerin tüylülüğünün %50 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen iletken özlü iplikler (Şekil 10) ile kumaş elde edilebileceği (dokunarak ya da örülerek) ve statik elektriklenmeyi engelleyici, azaltıcı ve elektromanyetik dalgalardan koruyucu tekstillerde kullanılabileceği belirtilmiştir [65].



Şekil 9. Modifiye edilmiş ring iplik makinasında, fitil ve metal telin özlü iplik eğirme sistemi mekanizmasındaki işlevini gösteren diyagram [65]

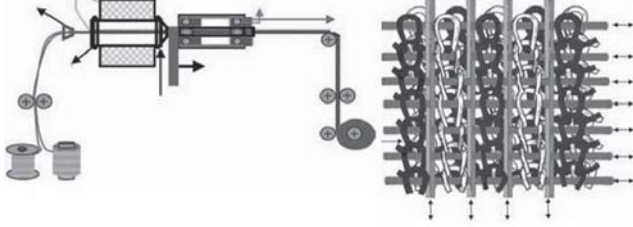


Şekil 10. Metal telin, fitilin dışından (a) ve ortasından (b) beslendiği iplik görünümleri [65]

Rattfalt ve Linden (2007) tarafından yapılan çalışmada tekstil elektrotlarının yapılarından kaynaklanan davranışlar ele alınmıştır. Çalışmada, örnek olarak alınan üç elektrot, elektrot empedans ve polarizasyon potansiyeli açılarından test edilmişlerdir. Birinci iplik, %100 paslanmaz çelik ve birinci elektrot süprem örgü kumaştır. İkinci iplik, %20 paslanmaz çelik, %80 polyesterden oluşan kesikli lif ipliği ve ikinci elektrot örme kumaştır. Üçüncü iplik özü polyester liflerinden oluşan ve gümüş kaplı bakır bir mono filamentin bu özün etrafına sarıldığı bir iplik, elektrotu ise dokuma kumaştır. Birinci çoklu filamentten oluşmuş iplik, düşük iplik direnci nedeniyle uygun olmasına rağmen, bu ipliklerden örme kumaşlar elde edildiğinde, kesikli lif ipliği (ikinci) daha iyi değerinde elektrot empedansına sahip olmuştur. Çoklu filamentten oluşmuş iplik, daha düşük polarizasyon potansiyel çekimine sahip olmuştur. Üçüncü monofilament iplik ise yüksek elektrot empedansına sahiptir ve iletken materyal ve cilt ile küçük temas alanları nedeniyle değişen ortalama polarizasyon potansiyeline sahip olmuştur. Sonuç olarak araştırmacılar, tekstil elektrotlarının performanslarının üretim tekniklerine göre değiştiğini belirtmişlerdir [18].

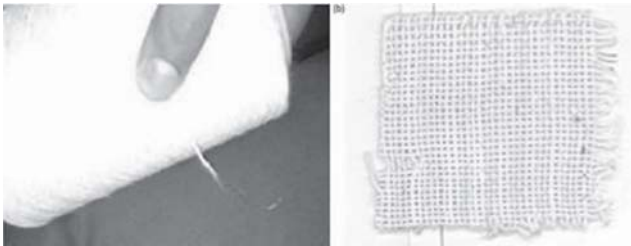
Chen ve ark. (2008) örme ve dokuma işleminde kullanılmak üzere iletken hibrit iplikler üretmişlerdir. Bakır tel ve polyamid filament özlü iplik olarak, paslanmaz çelik tel ise sarıcı iplik olarak, örme yapının ilmek ipliklerini oluşturmak için kullanılmıştır.

Cihaz (rotor twister) ile üretilen iletken hibrit iplikler, örme ve dokumayı birlikte yapan makinede, iletken dokuma-örme kumaşlar üretmek için kullanılmıştır (Şekil 11). İletken örme-dokuma kumaşlar, farklı açılarda dört ve altı kat olmak üzere lamine edilmiştir. Elde edilen malzemele- rin yüzey özgül direnci, elektromanyetik koruma etkinliği ve statik elektrik yük boşalımı araştırılmıştır [66].



Şekil 11. Makine üzerinde hibrit iplik üretiminin gerçekleştirilmesi (solda) ve dokuma-örme kumaş görünümü (sağda) [66]

Ramachandran ve Vigneswaran (2009), çalışmalarında, öz-mantodan oluşan iletken ipliklerin (Şekil 12) tasarlanması ve geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Dref-3 friksiyon iplik eğirme sisteminde öz olarak bakır filament, manto olarak pamuk kullanılmıştır. Özel kılavuz mekanizması üniform iletken özlü iplik yapısı oluşturmak için tasarlanmış ve kullanılmıştır. 67/33, 80/20, ve 90/10 olmak üzere üç farklı öz/manto oranı kullanılmış ve taraklanmış pamuk şeridinin öz komponenti sarması için beslendiği ikinci çekim birimindeki çekim değiştirilmiştir. İletken ipliğin nominal iplik lineer yoğunluğu 328 tex olmuştur ve öz, tüm iplik tipleri için 261 tex olarak sabit tutulmuştur. İletken ipliklerin elektriksel özellikleri üç farklı voltaj (6 V, 12 V ve 24 V) uygulanarak çalışılmıştır. İletken özlü ipliklerin, 3–28 M arasında değişen çok düşük dirence sahip olduğu görülmüştür [67].



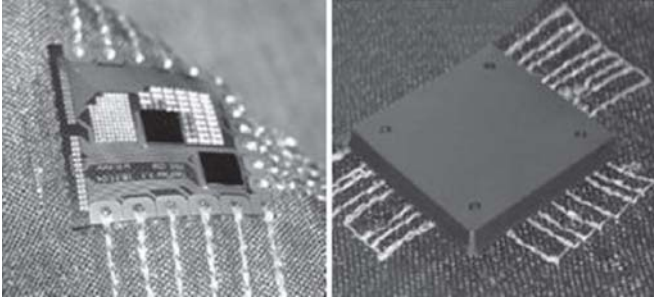
Şekil 12. Bakır özlü iletken iplik (a) ve atkı ve çözgüsünde bakır özlü iletken iplik içeren bakır özlü iletken kumaş (b) [67]

Perumalraj ve Dasaradan (2009) bakır özlü ipliklerden üretilen örme kumaşların elektromanyetik koruma verimliliğini (20-18000 MHz frekans aralığında) araştırmışlardır. 0,1 , 0,11 ve 0,12 mm çaplarındaki bakır iletken teller dolgu olarak seçilmiştir. Pamuk lifi kap malzemesi olarak kullanılmıştır. Ring iplik makinasına, öz materyali eklenerek farklı iletkenlikte bakır özlü iplikler elde edilmiştir. Bu iplikler kullanılarak süprem, rib ve interlok örme kumaşlar üretilmiştir. İlmek sıra sıklığı, ilmek çubuğu

sıklığı ve örme sıklık faktörü arttıkça, koruma etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Bakır telin çapı arttıkça ise koruma etkinliğinin düştüğü gözlenmiştir [68]. Roh ve arkadaşları (2008) çalışmalarında, ürettikleri metal içeren çok fonksiyonlu kompozit kumaşların elektromanyetik koruma, elektriksel iletkenlik, konfor (termal yalıtım gibi) ve estetik özelliklerini incelemişlerdir. Metal kompozit kumaşların üretiminde, metal kompozit iplikler kullanılmıştır. İpliklerde kullanılan metal filamentler, gümüş (Ag) kaplı bakır (Cu) ve paslanmaz çelik (SS) olarak seçilmiştir. İplik üretimi boş iğ iplik eğirme makinasında gerçekleştirilmiştir. Bezayağı olarak üretilen kompozit kumaşlar şişli dokuma tezgahında üretilmiştir. Toplam elektromanyetik koruma etkisi metal içerik ile artmıştır. Metal ızgara boyutu ve geometrisi, elektromanyetik koruma etkisini değiştirmiştir [69].

Dall'Acqua ve arkadaşları(2004) yaptıkları çalışmada, iletken polimerlerin ince liflerinin iplik ve kumaş içerisine nüfuz etmesi esasına dayanarak, tekstil yapılarına iletkenlik kazandırma yöntemini açıklamışlardır. Bu çalışmada, pirol basit bir bitim işlemi yöntemiyle oda sıcaklığında, lif içerisine reaktif olmayan boya gibi nüfuz eden monomerin bir sulu bir çözeltisinden uygulanmıştır. Daha sonraki polimerizasyon işlemi ile lifin iç yapısında kalıcı çözülmezlik sağlanmıştır. Bu da, malzemeye yüksek seviyelerde yıkama haslılığı ve ışık haslığını sağlamıştır [70].

Akıllı elektronik tekstillerin üretilmesinde kullanılan iletken dikiş iplikleri, iletken ipliklere göre daha ince ve mukavemetli olup dikişlerin yerlerinin ayarlanması ile kontrollü bir iletkenliğe sahip olurlar. Diğer tekstil malzemelerinde olduğu gibi, elektriksiz kaplama, buharlaştırarak ve püskürtme ile kaplama, iletken polimerlerle kaplama, lifleri iletken dolgu maddeleri ile doldurma ve karbonizasyon gibi yöntemler dikiş ipliklerine de uygulanabilir. Orth'un (2002) yaptığı çalışmada, tekstil üretim işlemleri için gerekli iletken metal tellerin dikilebilirlik özellikleri belirtilmiş, paslanmaz çelik ipliklerinin esnekliği ve dikilebilmesini test etmek için biçimsel kıvrım testi gösterilmiştir. Liflerin ve ipliklerin esnekliği, niteliksel özelliklere ve matematiksel bir modele dayalı olarak incelenmiştir [50]. Linz ve arkadaşları (2005) tarafından yapılmış çalışma ise, elektroniklerin nakış yoluyla tekstil mamülüne dikilmesi (Şekil 13) esasına dayanmıştır. Mekanizmada iletken iplikler kullanılarak esnek elektronik modüller boyunca nakış yapılmış ve böylece sensörler, bataryalar ve tekstil klavyeleri gibi diğer modüllerin bağlantıları da gerçekleştirilmiştir. Esas amaç, farklı koşullar altında tekstil bağlantılarının iletkenliğinin ölçülmesi ve kontakların sağlamlığının test edilmesidir [71].



Şekil 13. Esnek elektronik modülün nakış yardımıyla iletken iplik ile bağlanması ve kot kumaşı üzerinde kapsülasyon yapılması [71]

3.GENEL DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, tekstilleri elektriksel olarak iletken hale getirmek için kullanılacak yöntemleri ve yapılmış önemli çalışmaları kısaca anlatmaktadır. Farklı alanlarda kullanılacak iletken tekstil malzemelerinin geliştirilmesi konusuna olan ilgi son yıllarda daha da artmıştır. Tekstillerle iletkenlik kazandırılması için kullanılan yöntemlerin çeşitliliği ve bu yöntemlerin farklı ölçeklerde iletken tekstil malzemeleri elde etmek için kullanılabilmesi çalışmaları çok daha ileri bir boyuta taşımaktadır. Üniversiteler ve firmaların ortak çalışmalarıyla, bu tür özel nitelikli lif, iplik ve diğer tekstil ürünlerinin ülkemizde geliştirilmesi ve üretilmesi, bugünkü küresel rekabet ortamında, ülkemizi daha iyi bir konuma getirecektir.

KAYNAKLAR

1. Vassiliadis, S., Provatidis, C., Prekas, C., Rangussi, M., "Novel Fabrics with Conductive Fibres", Intelligent Textile Structures-Application, Production & Testing International Workshop, Greece, 2005.
2. Smith, W., (1988), *Metallized Fabrics-Techniques and Applications*, Journal of Coated Fabrics, 17, 4, 242-253.
3. Langenhove, L. V. ve Hertleer, C., *Smart Clothing: a New Life*, http://www.iafnet.com/files/iaf_03_presentations/Smart%20Clothing-%20a%20new%20life.pdf
4. Aniolczyk, H., Koprowska, J., Mamrot, P., Lichawska, J., (2004), *Application of Electrically Conductive Textiles as Electromagnetic Shields in Physiotherapy*, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 12, 4 (48), 47-50.
5. *Wearable Electronics*, http://www.saphotonics.com/technology/wearable_electronics.html, 01.07.2010.
6. Anderson, K. ve Seyam, A., (2002), *The Road To True Wearable Electronics*, JTATM, 2,2.
7. Maclaga, B., Fisher, W.K., (2001), *Static Dissipation Mechanism in Carpets Containing Conductive Fibers*, Textile Research Journal, 71, 4, 281-286.
8. Hummel, R.E., (2000) *Electronic Properties Of Materials*, Springer-Verlag, 3rd edition.
9. *Electrical Properties Of Materials*, <http://smse.sjtu.edu.cn/mintro/downloads/jpkc/lecture-5-1.pdf>
10. <http://www.ch.ic.ac.uk/local/projects/nagar/conductivities4.JPG>
11. Adamhasan, A.S., (2008), *Poliester/Polianilin, Pamuk Polianilin Kompozit Kumaşlarının Hazırlanması Ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.

12. Cheng, K.B., Cheng, T.W., Lee, K.C., Ueng, T.H., Hsing, W. H., (2003), *Effects of Yarn Constitutions And Fabric Specifications On Electrical Properties of Hybrid Woven Fabrics*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 34, 10, 971-978.
13. Devaux, E., Koncar, V., Kim, B., Campagne, C., Roux, C., Rochery, M., Saihi, D., (2007), *Processing and Characterization Of Conductive Yarns By Coating Or Bulk Treatment For Smart Textile Applications*, The Institute of Measurement and Control, 29, 3-4, 355-376.
14. Fugetsu, B., Akiba, E., Hachiya, M., Endo, M., (2009), *The Production of Soft, Durable, and Electrically Conductive Polyester Multifilament Yarns By Dye-Printing Them With Carbon Nanotubes*, Carbon, 47, 527-544.
15. Rehnby, W., Gustafsson, M., Skrifvars, M., *Coating of Textile Fabrics with Conductive Polymers for Smart Textile Applications*, <http://bada.hb.se/bitstream/2320/4110/2/RehnbyGustafssonSkrifvarsAmbience08.pdf>
16. Kaynak, A., Najar, S.S., Foitzik, R.C., (2008), *Conducting Nylon, Cotton And Wool Yarns By Continuous Vapor Polymerization of Pyrrole*, Synthetic Metals, 158, 1-2, 1-5.
17. Kim, B., Koncar, V., Devaux, E., Dufour, C., Viallier, P., (2004), *Electrical and Morphological Properties of PP and PET Conductive Polymer Fibers*, Synthetic Metals, 146, 2, 167-174.
18. Rattfalt, L. ve Linden, M., (2007), *Electrical Properties of Textile Electrodes*, Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 5735-5738.
19. Akşit, A., Onar, N., Kayatekin, I., Ebeoğlugil, M.F., Çelik, E., Özdemir, İ., (2009), *Polianilin ve Polipirol Kaplanan Kumaşların Elektromanyetik Korumacılık ve İletkenlik Özellikleri*, Tekstil ve Mühendis, 14, 67, 9-16,
20. *EE143: Four-Point Probe Manual*, microlab.berkeley.edu/ee143/Four-Point_Probe/
21. Lewin, M., Preston, J., (1993), *High Technology Fibers, Vol. III, Part C; Handbook of Fiber Science and Technology Series*, Marcel Dekker Inc., New York.
22. Okoniewski, M., (1994), Intern. Techtexil Sympos., 2, 18, 1-9.
23. Holvoet, J. ve Verstraeten, S., (2006), *Bundle Drawn Metal Fiber with Three Layers*, WO/2006/120045.
24. Neudeck, A., Möhring, U., Müller, H., Gimpel, S., Scheibner, W., (2004), Proceedings of the 4th International Conference on Textile Coating and Laminating, ENSITM Mulhouse.
25. Stegmaier, T., Schmeer-Lioe, G., Vogel, H.-P., Planck, H., (2006), Techn. Text., 49, 57-60.
26. Xue, P., Tao, X.M., Leung, M.Y., Zhang, H., (2005), *Electromechanical Properties Of Conductive Fibres, Yarns And Fabrics*, in Wearable Electronics And Photonics, Woodhead Textiles Series No. 46, 81-104.
27. Pormfret S.J., Adams P.N., Comfort N.P., Monkman A.P., (1999), *Advances in processing routes for conductive polyaniline fibers*, Synthetic Metals, 101, 1-3, 724-725.
28. Kim, B., Koncar, V., Devaux, E., Dufour, C., Viallier, P., (2004), *Electrical and Morphological Properties of PP and PET Conductive Polymer Fibers*. Synthetic Metals, 146, 2, 167-174.
29. Lu G., Li X., Jiang H., (1996), *Electrical and Shielding Properties of ABS Resin Filled With Nickel-Coated Carbon Fibers*, Composites Science and Technology, 56, 2, 193-200.
30. Tzeng S.S., Chang F.Y., (2001), *Electrical resistivity of electroless nickel coated carbon fibers*. Thin Solid Films, 388, 1-2, 143-149.
31. De Rossi, D., Carpi, F., Lorussi, F., Paradiso, R., Scilingo, E.P., Tognetti, A., (2005), *Electroactive fabrics and wearable man-machine interfaces*, in: Tao XM, (editor), *Wearable electronics and photonics*. Woodhead Publishing Co. UK.

32. Mazzoldi, A., De Rossi, D., Lorussi, F., Scilingo, E.P., Paradiso, R., (2002), *Smart textiles for wearable motion capture systems*, Autex Res J.;2, 4, 199–203.
33. Xue, P., Tao, X.M., (2005), *Morphological and Electromechanical Studies Of Fibers Coated With Electrically Conductive Polymer*. J Appl Polym Sci, 98, 4, 1844–1854.
34. De Rossi, D., Santa, A.D., Mazzoldi, A., (1999), *Dressware: wearable hardware*, Mater Sci Eng C, 7, 31–35.
35. De Bondt, S., ve Decrop, J., (2007), *Bundle Drawn Stainless Steel Fibers*, United States Patent 7166174.
36. Kessler, L. ve Fisher, W.K., (1997), *A Study Of The Electrostatic Behaviour Of Carpets Containing Conductive Yarns*, Journal of Electrostatics, 39, 4, 253-275.
37. Kim, B. ve Koncar, V., (2006), *Electrical, Morphological And Electromechanical Properties Of Conductive Polymer Fibres (Yarns) in Intelligent Textiles and Clothing* (2006), H. R. Mattila (editor), 308-323.
38. Vaskelis, A., (1991), *Electroless Plating, Coatings Technology Handbook*, Marcel Dekker, Inc., New York, 187-200.
39. Liu, X., Chang, H., Li, Y., Huck, W.T.S., Zheng, Z., (2010), *Polyelectrolyte-Bridged Metal/Cotton Hierarchical Structures for Highly Durable Conductive Yarns*, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2, 2, 529–535.
40. Smith, W. (1988), *Metallized Fabrics -Techniques and Applications*, *Journal of Coated Fabrics*, 17, 4, 246-247.
42. Sen, A., K., Damewood, J., (2001), *Coated Textiles: Principles and Applications*, CRC Press.
42. Siefert, W., (1993), *Anodic Arc Evaporation - A New Vacuum – Coating Technique for Textiles and Films*, *Journal of Coated Fabrics*, 23, 7, 30-33.
43. Knittel, D., ve Schollmeyer, E., (2009), *Electrically high-conductive textiles*, *Synthetic Metals*, 159, 14, 1433-1437.
44. Perepelkin, K.E., (2001) *Chemical Fibers with Specific Properties for Industrial Application and Personnel Protection*, *Journal Of Industrial Textiles*, 31, 2, 87-102.
45. Xue, P., Park, K.H., Tao, X.M., Chen, W., Cheng, X.Y., (2007), *Electrically conductive yarns based on PVA/carbon nanotubes*, Composite Structures, 78, 2, 271-277.
46. Shim, B.S., Chen, W., Doty, C., Xu, C. Kotov, N.A., (2008), *Smart Electronic Yarns and Wearable Fabrics for Human Biomonitoring made by Carbon Nanotube Coating with Polyelectrolytes*, *Nano Lett.*, 8, 12, 4151-4157
47. Miles, L. (1994), *Textile Printing* (2nd ed.), Bradford, West Yorkshire, England: Society of Dyers and Colorists.
48. Krebs, F.C., Jørgensen, M., Norrman, K., Hagemann, O., Alstrup, J., Nielsen, T.D., Fyenbo, J., Larsen, K., Kristensen, J., (2009), *A complete process for production of flexible large area polymer solar cells entirely using screen printing - first public demonstration*, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 93, 422–441.
49. Post, E.R., Orth, M., Russo, P.R., Gershenfeld, N. (2000), *Embroidery: Design and Fabrication of Textile-Based Computing*, *IBM Systems Journal*, 39, 3 & 4.
50. Orth, M., Post, E.R., (1997), *Smart Fabric, or Washable Computing, Digest of Papers of the First IEEE International Symposium on Wearable Computers*, 10, 13, 167-168.
51. Sawhney, A.P.S., Harper, R. J., Ruppenicker, G. F., Robert, K.Q., (1991), *Comparison of Fabrics Made with Cotton Covered Polyester Staple-Core Yarn and 100% Cotton Yarn*, *Textile Res. J.*, 61, 2, 71-74.
52. Sawhney, A.P.S., Robert, K.Q., Ruppenicker, G.F., Kimmel, L.B., (1992), *Improved Method of Producing Cotton Covered/Polyester Staple-Core Yarn on a Ring Spinning Frame*, *Textile Res. J.*, 62, 1, 21-25.
53. Sawhney, A.P.S., Ruppenicker, G.F., Kimmel, B., Robert, K.Q., (1992), *Comparison of Filament-Core Spun Yarn Produced by New and Conventional Methods*, *Textile Res. J.*, Vol. 62, 2, 67-73.
54. Sawhney, A.P.S., Robert, K.Q., Ruppenicker, G.F., (1989), *Device for Producing Staple- Core/Cotton-Wrap Ring Spun Yarns*, *Textile Res. J.*, 59, 9, 519-524.
55. Merati, A. A., Konda, F., Okamura, M., Marui, E., (1998), *Filament Pre-tension in Core Yarn Friction Spinning*, *Textile Research J.*, 68, 4, 254-264.
56. Miao, M., How, Y.L., Ho, S.Y., (1996), *Influence of Spinning Parameters on Core Yarn Sheath Slippage and Other Properties*, *Textile Res. J.*, 66, 11, 676-684.
57. Aydogmus, Y., Behery, H.M., (1999), *Spinning Limits of the Friction Spinning System (DREF-III)*, *Textile Res. J.*, 69, 12, 925-930.
58. Goswami, B.C., Martindale, J.G., Scardino, F.L., (1977), *Textile Yarns Technology, Structure and Application*, Wiley-Interscience Publication.
59. Bramley, A., (1966), *Electrically Conducting Rope*, United States Patent 3291897.
60. Watson, D.L., (1999), Electrically Conductive Yarn, United States Patent 5927060
61. Chiou, H.-H., Chiu, S.F., Liu, J.-K., Wu, C.-C., (1999), *Conducting Yarn*, United States Patent 5881547.
62. Ueng, T.H., Cheng, K.B., (2001), *Friction Core-Spun Yarns For Electrical Properties Of Woven Fabrics*, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 32, 10, 1491-1496
63. Lin, J.H., Lou, C.W., (2003), *Electrical Properties of Laminates Made from a New Fabric with PP/Stainless Steel Commingled Yarn*, *Textile Research Journal* 73, 322-326.
64. Su, C.I., Chern, J.T., (2004), *Effect of Stainless Steel-containing Fabrics on Electromagnetic Shielding Effectiveness*, *Textile Res. J.*, 74, 1, 51–54.
65. Lou, C.-W., (2005), *Process of Complex Core Spun Yarn Containing a Metal Wire*, *Textile Research Journal*, 75, 6, 466-473.
66. Chen, H.C., Lin, J.H., Lee, K.C., (2008), *Electromagnetic Shielding Effectiveness of Copper/Stainless Steel/Polyamide Fiber*, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27, 187.
67. Ramachandran, T., Vigneswaran, C., (2009), *Design and Development of Copper Core Conductive Fabrics for Smart Textiles*, *Journal of Industrial Textiles*, 39, 81.
68. Perumalraj, R., Dasaradan B.S., (2009), *Electromagnetic Shielding Effectiveness Of Copper Core Yarn Knitted Fabrics*, *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 34, 149-154.
69. Roh J.-S., Chi, Y.-S., Kang, T.J., Nam, S.-W., (2008), *Electromagnetic Shielding Effectiveness of Multifunctional Metal Composite Fabrics*, *Textile Research Journal*, 78, 9, 825-835
70. Dall'Acqua, L., Tonin, C., Peila, R., Ferrero F., ve Catellani, M., (2004), *Performances and Properties of Intrinsic Conductive Cellulose–Polypyrrole Textiles*, 146, 2, 213-221.
71. Linz, T., Kallmayer, C., Aschenbrenner, R., Reichl, H., (2005), *Embroidering Electrical Interconnects with Conductive Yarn for The Integration of Flexible Electronic Modules into Fabric*, *Proceedings of the 2005 Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'05)*.