



## TEKSTİL TASARIMINDA ELEKTRONİK UYGULAMALAR

**Mehmet ZAHİT BİLİR\***

### Öz

*Geçmişten günümüze kadar yapılan tekstil yüzeylerinden, ihtiyaç duyulan kullanım alanlarına göre, kıyafetler, ev tekstilleri veya fonksiyonellik gerektiren özel tekstil uygulamaları yapılmaktadır. Son yıllarda meydana gelen büyük ilerlemeler tekstil tasarımlarında alışılmadık uygulamalarla beraber yeni tip tasarım uygulamalarının da yer almasını sağlamaya başlamıştır. Tekstil tasarımında meydana gelen bu yeni uygulamaların başında elektronik tekstiller gelmektedir. Bu çalışmada tekstil tasarımında katma değeri ve yenilikçilik boyutu daha yüksek olan elektronik tekstiller hakkında bilgiler verilmektedir. Bu uygulamada, mikro LED lamba ve iletken boyaların düz film baskı tekniği kullanılarak uygulanmasında yaşanan süreç tecrübeleri paylaşılmaktadır. Çalışmada ilk olarak iletken mürekkep ve klasik baskı patlarıyla belirlenen desen için baskı işlemleri yapılmıştır. Sonraki adımda yapılan baskılı t-shirt üzerine LED ve batarya yerleşimi yapılmış ve LED lambanın yanması sağlanmıştır. Çalışma sonucunda, LED lambanın kesintisiz ve parlak şekilde ışık verdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmayla elektronik tekstillerin ülkemiz tekstil sektöründe çalışan daha çok kişiye tanıtılması ve bu yolla katma değeri daha yüksek tasarımların yapılmasına katkı sağlanması hedeflenmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Elektronik tekstiller, tekstil tasarımı, giyilebilir tekstiller, akıllı tekstiller.



## ELECTRONIC APPLICATIONS IN TEXTILE DESIGN

### **Abstract**

*From textile surfaces made from the past to the present, clothes, home textiles or special textile applications that require functionality are made according to the required usage areas. In recent years, great advances have started to take place in new type design applications along with the usual applications in textile designs. Electronic textiles are at the forefront of these new applications in textile design. In this study, information is given about electronic textiles, which have higher added value and innovativeness in textile design. In this application, the experiences related to the application of micro LED lamps and conductive inks using screen printing technique are shared. In the study, printing processes were first carried out for the pattern determined with conductive ink and classic printing masks. In the subsequent step, placement of LED and battery was done on the printed t-shirt, and the illumination of the LED lamp was ensured. As a result of the study, it was determined that the LED lamp emits continuous and bright light. The aim of this study is to introduce electronic textiles to more people working in our country's textile industry and to contribute to the creation of higher value-added designs through this way.*

**Keywords:** *Electronic textiles, textile design, wearable textiles, smart textiles.*

### **1. GİRİŞ**

Tekstil gerek giyinme gerekse farklı kullanım amaçlarıyla insanlık tarihi boyunca hayatın her alanında var olmuştur. Arkeolojik kazılar sonucunda ortaya çıkan buluntular, İ.Ö. 6000'lerde Anadolu'da dokunmuş olan Dünyadaki ilk kumaşlara ait olduğunu göstermektedir. İlk kullanım örneklerinde daha çok zorlu yaşam koşullarında insanların korunmasını sağlayan tekstil yüzeyleri, zamanla estetik ve fonksiyonellik ihtiyaçlarını da yapısına katarak kullanım alanlarını giderek genişletmiştir.

Doğada hazır olarak bulunan doğal liflerin kullanıldığı ilk tekstil ürünleri, ilerleyen yıllarda sentetik liflerin bulunmasıyla birlikte çığır açan yeni özellikleri yapısında

barındırmaya başlamıştır. Dupont firmasından Wallace Carothers tarafından 1930'larda tamamen sentetik olarak geliştirilen ilk sentetik lif naylon olmuştur (Çalışkan, 2012). Daha sonraki yıllarda birçok yeni sentetik lif keşifleri de yapılmıştır. Yeni lif keşiflerinin yanı sıra yoğun işçilik gerektiren, üretim hızı ve kalitesi daha düşük olan endüstriyel olmayan tekstil makinelerinde de çığır açan ilerlemeler meydana gelmiştir. James Hargreaves tarafından ilk endüstriyel iplik eğirme makinesi 1764 yılında İngiltere'de geliştirilmiştir (Historycrunch, 2023). Buna benzer birçok endüstriyel ilerlemeler dokuma, örme, terbiye, dokusuz yüzeyler vb. tekstil üretim kısımlarında kullanılan makinelerde de gerçekleşmektedir. Tekstil alanında meydana gelen bu ilerlemelere paralel olarak kimya, malzeme, elektronik ve bilgisayar teknolojileri alanlarında da büyük ilerlemeler sağlanmıştır. Tüm disiplin dallarında meydana gelen bu ilerlemeler, tekstilinde konvansiyonel üretim imkan ve kullanımları dışında yenilikçi üretim ve kullanım özelliklerine kavuşmasını sağlamaktadır.

Tekstil alanında özellikle son 20 yılda meydana gelen değişimlerin başında akıllı tekstiller yer almaktadır. "Akıllı tekstiller, çevredeki değişikliklere uyum sağlamak için dış uyarımları alabilen ve bunlara yanıt verebilen ürünlerdir. Bu malzemeler, farklı fiziksel uyarımlara tepki verme yeteneğine sahiptir ve bu nedenle çevreleriyle etkileşime girebilir" (Khatab vd., 2018; Ramlow vd., 2021). Akıllı tekstiller alanında 2021 yılında Dünya genelindeki market büyüklüğünün 4.12 milyar \$ olduğu ve bu büyüklüğün 2029 yılına kadar 30.45 milyar \$'a yükselmesi öngörülmektedir (Maximize market research, 2022). Akıllı tekstiller içerisinde şekil hafızalı materyaller, faz değiştiren materyaller, kromik materyaller, elektronik tekstiller vb. birçok farklı ürün çeşidini bulundurmaktadır. Akıllı tekstiller içerisinde yer alan elektronik tekstiller, son yıllarda estetik ve/veya fonksiyonellik gerektiren birçok ürün çeşidinde giderek artan şekilde karşımıza çıkmaktadır.

Elektronik tekstiller adından da anlaşılacağı üzere içerisinde, elektrik ve bilgisayar teknolojileriyle ilgili malzeme ve materyalleri, tekstil malzemeleri ile entegre biçimde barındıran bir tekstil çeşididir. Günümüzde giderek artan rekabet koşullarında yenilikçi ve katma değeri daha yüksek ürünlerin tekstil alanında da yapılması ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır. Bu nedenle katma değeri konvansiyonel ürünlere göre daha yüksek olan elektronik tekstiller üzerine çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada elektronik tekstiller hakkında bilgiler verilmekte ve düz film baskı tekniği kullanılarak yapılan elektronik tekstil tasarım uygulama örneği de çalışma içerisinde yer almaktadır. Yapılan bu uygulamada, düz film baskı tekniğinden yararlanılarak mikro LED, jeton pil batarya yuvası ve iletken boya kullanımıyla yapılan süreç tecrübeleri paylaşılmaktadır.

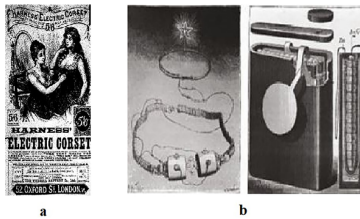
## 2. ELEKTRONİK TEKSTİLLER

Elektronik tekstiller, tekstil alanında e-tekstiller veya giyilebilir elektronikler olarak da bilinmektedir. Bu ürünlerde elektronik ve tekstil yapıları bir arada kullanılmaktadır. “Elektronik tekstiller terimi, içinde elektronik bileşenlerin entegre edildiği tekstil ürünlerini ifade etmektedir. Günümüzde bu tür ürünler, “tekttronik” kavramı altında ele alınmaktadır” (Bilir, 2016). Akıllı kumaşlar, giyilebilir LED'ler, sağlık takibi ve hareket izleme gibi giyilebilir elektronikler, günümüz teknolojilerinde hızla yükselen alanlardır (Gao vd., 2016; Son vd., 2014; Wang vd., 2016). Son birkaç yılda, mekanik esneklik ve elektronik işlevselliğin entegre edildiği giyilebilir elektronik cihazlar, gelişme ve ilerleme açısından büyük bir artış yaşamaktadır (Bariya, vd., 2018; Oh ve Bao, 2019; Shi vd., 2020). Elektronik tekstiller (e-tekstiller), kumaşlara mekanik uygulamalarla konvansiyonel elektroniklerin etkili bir şekilde entegre edilmesiyle oluşturulmaktadır (Castano ve Flatau, 2014; Üner ve Gürcüm, 2019). Sert katmanların kalınlıklarının azaltılması, esnek bağlantı elemanlarıyla yumuşak substratlara sert blokların transfer edilmesi veya doğal olarak esnek malzemelerin

kullanımlarıyla giyilebilir elektronik uygulamaların gerçekleştirilmesi sağlanabilmektedir (Keum vd., 2011; Song vd., 2013; Wang, vd., 2018; Shi vd., 2020). Giyilebilir teknolojiler, vücuda olan yakınlıklarına göre farklı tiplere ayrılmaktadır ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) Standardizasyon Yönetim Kurulu Stratejik Grup 10, giyilebilir teknolojileri, vücuda yakın elektronikler, vücut üstü elektronikler, vücut içi elektronikler ve elektronik tekstiller olarak 4'e ayırmaktadır (Buchilly, 2021). “Geleneksel sert elektronik cihazlarla karşılaştırıldığında, giyilebilir elektronikler, esnek ve/veya esneklik gösteren, cilde uyumlu bir şekilde yama yapılabilen ve potansiyel olarak implant edilebilme gibi benzersiz özelliklere sahip olduğu söylenebilir” (Shi vd., 2020).

### 2.1. Elektronik Tekstillerin Tarihsel Gelişimi

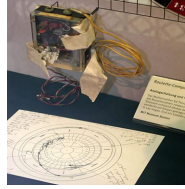
Elektronik tekstillerin ilk çıkış ürünlerinden birisi 1850'li yıllarda elektro-terapi amacıyla yapılan elektrikli korse/kemer uygulamasıdır. (Fishlock, 2001) (Şekil 1a.). Diğer ilk elektronik tekstil örneklerinden biriside, 1883 yılında Paris'teki Conservatoire'deki La Farandole Inn balesinde ışıklı saç bantlarının tanıtımıyla gerçekleşmiştir (Meena vd., 2023; Güler vd., 2016). Bu gösteride dansçılar, giysilerine gizlenen pillerle çalışan elektrikli lambaları olan başlıklarla dans etmişlerdir. (Güler vd., 2016; Değerli, 2019) (Şekil 1b.). Oyuncular bu gösteride başlarına ışıklı elektrikli saç bantları takmışlardı ve ışıklar, kemerlerindeki düğmelere dokunduklarında yanıyordu (Meena vd., 2023).



Şekil 1. a: Elektrikli Korse; b: Giyilebilir Elektrikli Başlık

Kaynak: Fishlock, 2001; Güler vd. 2016; Değerli, 2019.

1955 yılında Edward Thorpe ilk giyilebilir bilgisayarı geliştirmiştir. Thorpe'un geliştirdiği bu tasarımın amacı kumarhanelerdeki blackjack ve rulet oyunlarında çeşitli tahminler yapılmasıdır. Tasarıma gelişmiş son hali ise Claude Shannon ile birlikte verilmiştir. Tasarımda kulaklık, ayakkabılara bağlı mikro anahtarlar ve ana ünite kullanılmıştır (Bilir, 2016) (Şekil 2.).



**Şekil 2.** Edward Thorpe Tarafından Yapılan Giyilebilir Bilgisayar Tasarımı

**Kaynak:** Thefashionspot, 2023; Bilir, 2016.

20. yy'da malzeme bilimi, kimya, elektronik ve bilgisayar alanlarında meydana gelen gelişmelerle birlikte çok daha farklı elektronik tekstil uygulamaları karşımıza çıkmaya başlamıştır. CC Collins tarafından 1977 yılında, görme engelliler için baş üzerine monte edilen bir kameradan alınan görüntülerin dokunmatik olarak dönüştürülmesi için bir yeleğe entegre edilen bir giyilebilir cihaz tasarlanmıştır (Kılıç, 2017). "1990'ların ortasında, Steve Mann liderliğindeki Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) araştırmacılarından oluşan bir ekip, tekstillere takılan ve insan vücudu üzerinde taşınan geleneksel bilgisayar donanımından oluşan bir giyilebilir bilgisayar geliştirmiştir" (Post vd., 2000; Meena vd., 2023). Yine aynı yıllarda, yüksekte çalışan ve artan güvenlik kameralarına bir tepki olarak "sousveillance" adı verilen giyilebilir kamera konsepti yapılmıştır (Değerli, 2019). 21. Yy'a gelindiğinde elektronik tekstiller alanında çığır açan ilerlemeler başlamıştır. "Günümüzde, sağlık ve fitness için iletken iplikler ve teller, entegre devreler, sensörler, ışık yayan diyotlar (LED'ler) ve giysilere gömülü güç kaynakları gibi klasik elektronik bileşenler büyük talep görmektedir. Son yirmi yılda, elektronik bileşenlerin ve cihazların tekstillerle entegrasyonu üzerine yapılan önemli miktarda araştırma, patent ve yayın sayısına yol açmıştır" (Meena vd.,

2023). Nike ve Apple, 2006 yılında bir araya gelerek ayakkabı içine yerleştirilen bir fitness izleme kiti geliştirmiştir ve bu kit, kullanıcıların hareketlerini takip etmelerine ve egzersiz sırasında tükettikleri gerçek zamanlı kalori, mesafe, hız ve egzersiz bilgilerini iPod Nano ekranında görüntüleyebilmelerine olanak sağlamıştır (Visualcapitalist, 2023; Kılıç, 2017) (Şekil 3).



**Şekil 3.** Nike ve Apple'ın Ortak Geliştirdiği Fitness İzleme Kiti

**Kaynak:** Visualcapitalist, 2023.

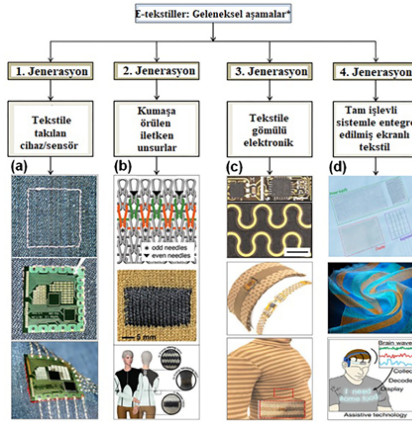
Tommy Hilfiger, 2014 yılının sonlarında kullanıcıların hareket halindeyken telefonlarını şarj etmelerine olanak tanıyan ilk güneş enerjili ceketini piyasaya sürmüştür (Kılıç, 2017). Günümüzde elektronik tekstillerin geldiği son aşamaları gösteren önemli tasarımlardan biriside, Ralph Lauren tarafından tasarlanan ve gümüş liflerle dokunan, OM Signal'in PoloTech bağlantılı tişörtüdür. Bu tişörtte, vücut sıcaklığını, stres seviyelerini, kalp atış hızını ve solunumu izlemek için biyo-sensörleri entegre edilmiştir ve bluetooth aracılığıyla iPhone, iPod ve iWatch üzerinde kullanılabilen bir mobil uygulamaya bağlanan tişört, adımları sayabilmekte, yakılan kalorileri ve aktivite yoğunluğunu kaydedilebilmektedir (Buchilly, 2021) (Şekil 4).



**Şekil 4.** Ralph Lauren Tarafından Tasarlanan OM Signal Polotech Tişört

**Kaynak:** Buchilly, 2021.

Daha birçok farklı örneklerle destekleyebileceğimiz tarihsel süreç içerisinde, elektronik tekstillerde son yıllarda meydana gelen gelişim süreçlerini üç aşamada yani üç nesilde sınıflandırabilmekteyiz. Bu gelişim aşamaları, 1. nesil olarak, bir anten veya elektronik cihaz gibi sert bir bileşeni giysisinin yüzeyine dikilerek veya takılarak içeren ürünler oldukları, 2. nesil olarak, iletken ipliklerin tekstil yapısına örülerek veya dokunarak elektronik olarak işlevsel hale getirildiği ürünler oldukları, 3. nesil olarak, sensörler ve elektronikler giysilere gömülerek teknoloji ve kumaşların bir araya getirildiği ürünler oldukları ve 4. nesil olarak da elektronik işlevselliğin tekstillere sorunsuz bir şekilde tamamen entegre edilebileceği son teknoloji gelecek ürünleri olacağı söylenebilir (Linz vd., 2005; Uzun vd., 2019; Wicaksono vd., 2020; Meena vd., 2023) (Şekil 5.).



Şekil 5. Elektronik Tekstillerin Gelişimi

**Kaynak:** Linz vd., 2005; Uzun vd., 2019; Wicaksono vd., 2020, Woo vd., 2020; Meena vd., 2023; Shi vd., 2021.

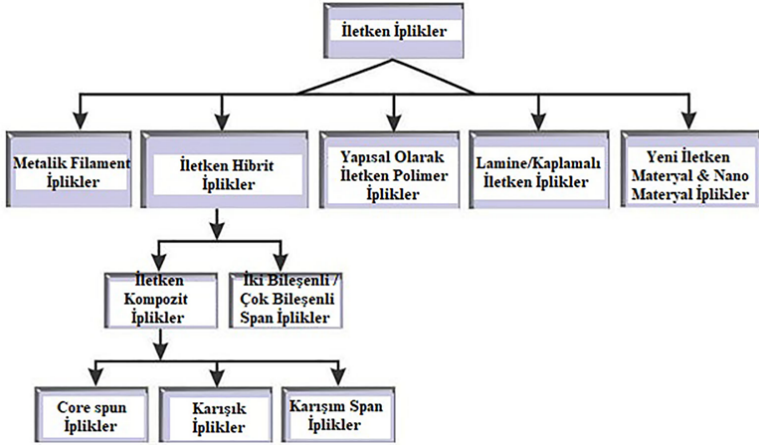
## 2.2. Elektronik Tekstil Tasarımlarında Kullanılan Malzemeler

Elektronik tekstiller (E-tekstiller) alanında kullanılan malzemeler genel olarak tekstil tabanlı veya elektrik malzemesi tabanlı olarak sınıflandırılabilir. Bu bağlamda elektronik tekstil ürünlerinde kullanılabilen bazı malzemeler sırasıyla aşağıda verilmektedir:



**-İletken lif:** İletken lifler çoğunlukla iletken iplik yapımında kullanılıp daha sonra yapılan iletken iplikler direkt iplik formunda veya dokuma/örme yoluyla yüzey formunda ihtiyaç duyulan alanda elektrik iletkenliğini sağlamak amacıyla kullanılabilir. “Elyaf ve ipliklerdeki iletkenlik, sadece elektrik iletimi ve algılama için değil, aynı zamanda antimikrobiyal, antistatik ve elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin sağlanmasında da kullanılmaktadır” (Xue vd., 2012; Topp vd., 2014; Qu ve Skorobogatiy, 2015; Mao ve Guo, 2013; Xu vd., 2013; Maity vd., 2013; Raji vd., 2017). İletken lif üretiminde çoğunlukla metalik lifler kullanılmaktadır. Ayrıca liflere sonradan iletkenlik özellikleri kazandırma konusunda çeşitli yöntemler uygulanabilmektedir. Bu yöntemler arasında, metal levha ve bantlar kullanarak lif üretimi, farklı çekim ve üretim yöntemleriyle lif üretimi ve liflere çeşitli malzemelerle işlem yaparak iletkenlik kazandırma yöntemleri de bulunmaktadır. (Bedeloğlu vd., 2010; Bilir, 2016).

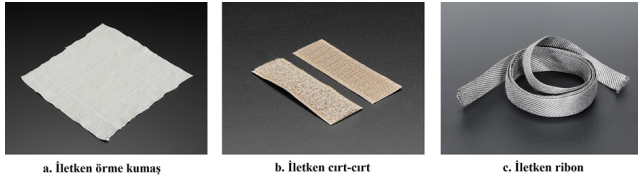
**-İletken iplik:** İletken iplikler, filament şeklindeki iletken liflerden, kesikli formda üretilen iletken liflerden, iletken liflerin veya tellerin çeşitli eğrilme yöntemleriyle eğrilmesinden veya çeşitli kaplama yöntemleriyle üretilebilmektedir (Bedeloğlu vd., 2010; Bilir, 2016). “Bugün, teknolojideki değişiklikler tüm metalik filamentlerin üretimini etkilemiştir. Tüm metalik ipliklerin üretiminden, metalik elyafların ve kesik elyafların veya filamentlerin karıştırıldığı ipliklerin üretimine, iletken kompozit malzemelerin hazırlanmasına, geleneksel doğal ve sentetik elyafların ve ipliklerin iletken malzemelerle kaplanmasına, yeni nano-malzemelere ve metal olmayan doğal olarak iletken malzemelerin geliştirilmesine kadar bir paradigma değişimi yaşanmıştır” (Smiechowicz vd., 2011; Maity vd., 2013; Ilicheva vd., 2012; Huang vd., 2011; Cui vd., 2015; Bashir vd., 2013; Brook vd., 2013; Jang vd., 2012; Woltornist vd., 2015; Kim vd., 2004; Raji vd., 2017). Şekil 6’da iletken ipliklerin sınıflandırması verilmiştir.



Şekil 6. İletken İpliklerin Sınıflandırması

Kaynak: Raji vd., 2017.

**-İletken tekstil yüzeyleri:** Elektriksel iletkenlik özelliği taşıyan tekstil yüzeylerinin elde edilmesinde dokuma, örme, dokusuz yüzeyler ve nakış gibi teknikler kullanılabilir. Her tekniğin ortak noktası iletken lif veya ipliğin üretimde kullanılmasıdır (Şekil 7).



Şekil 7. Çeşitli İletken Tekstil Yüzey Örnekleri

Kaynak: Adafruit, 2023.

**-İletken mürekkep (iletken boya):** Yapısında iletken malzemeleri içeren ve elektriksel olarak iletkenlik sağlayabilen bir mürekkep türüdür. Elektronik tekstil uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan mürekkep türü, gümüş içeren mürekkep olup ayrıca karbon siyahı ve PEDOT: PSS (Poli(3,4-etilendioksitiyofen)-poli(stiren sülfonat)) gibi iletken polimerler de sıkça kullanılmaktadır (Üner vd.,

2019). Giyilebilir elektronikler genellikle fotolitografi, buhar birikimi, elektroliz kaplama gibi çeşitli yöntemlerle üretilmekle birlikte bunlara alternatif olarak düz film baskı, gravür, fleksografi, inkjet baskı gibi yöntemler de elektroniklerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır (Quyang vd., 2015; Kong vd., 2001; Gao vd., 2017; Üner vd., 2019).

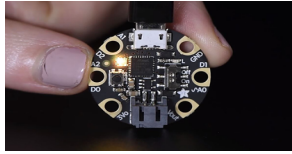
**-Sensörler:** Sensörler, dış etkileri elektriksel sinyallere dönüştürebilen araçlar olarak tanımlanmaktadır. Sensörler, dışarıdan ölçülmek istenen bir olayı elektriksel olarak algılayarak anlamlandırma görevini yerine getirmektedir. (Bilir, 2016). Gelişen sensör teknolojisiyle birlikte, tekstil içinde sensörlerin kullanımı son yıllarda önemli ölçüde artmakta ve özellikle uzay, sağlık ve askeri alanlarda kullanılan tekstil kıyafetlerinde, çeşitli sensör uygulamalarının entegrasyonu ile başarılı tasarımlar elde edilmektedir (Bilir, 2016). Basınç sensörleri, gerilim sensörleri ve solunum sensörleri gibi deformasyonlara tepki gösteren tekstil tasarım uygulamaları, sensör içeren elektronik tekstil tasarımlarına örnek olarak gösterilebilmektedir (Erol ve Çetiner, 2017).

**-GPS vs gsm modülleri:** GPF, bir nesnenin konumunu belirlemek için NMEA ve SIRF gibi iletişim protokollerini kullanarak enlem ve boylam bilgisini sağlayan bir sistemdir. Elektronik tekstil tasarımlarında, kullanıcıların konum bilgilerine erişim sağlamak için hazır GPS modülleri devre sistemlerine entegre edilerek kullanılabilir. GSM modülleri de, elektronik devrelere entegre edilebilen ve haberleşmeden sorumlu olan modüllerdir. GPS modüllerin de olduğu gibi, GSM modülleri de içerisinde bir SIM kart bulundururlar (Bilir, 2016).

**-LED lambalar:** Özellikle estetik açıdan farklı görünmesi istenilen tekstil ürünlerinde LED'li e-tekstil tasarımları ön plana çıkmaktadır. Tekstil yüzeyi üzerinde daha küçük yer kaplayan, esnek olabilen ve yerleşim olarak daha kolay adapte edilebilen LED lamba çeşitleri gün geçtikçe çoğalmaktadır.

**-Batarya (Pil):** Pil çeşitleri alkalin, gümüş, çinko, lityum ve nikel gibi farklı temel malzemelerden üretilmekte ve genel olarak şarj edilebilir veya şarj edilemeyen olarak ikiye ayrılmaktadır. Güneş pilleri de, kullanım konforu sağlamaları, doğal kaynaklardan çevreci enerji elde etmeleri, esnek olabilmeleri ve sınırsız bir enerji kaynağı olmaları nedenleriyle elektronik tekstil tasarımlarında kullanılabilirlerdir.

**-Elektronik platformlar:** Elektronik platformlar üzerinde hazır olarak, işlemci, RAM, LED, sensör, batarya vb. devre elemanlarını ihtiyaca göre bulundurabilen özel ürünlerdir. Elektronik platformlar ihtiyaca göre üretilmekte veya hazır platformlar farklı tasarımlarda kullanılabilirlerdir (Şekil 8).

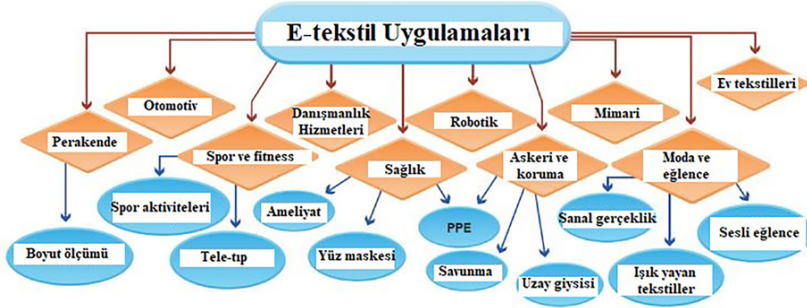


**Şekil 8.** E-tekstil Elektronik Platform Örneği

**Kaynak:** Adafruit, 2023.

### **2.3. Elektronik Tekstil Tasarım Uygulamaları**

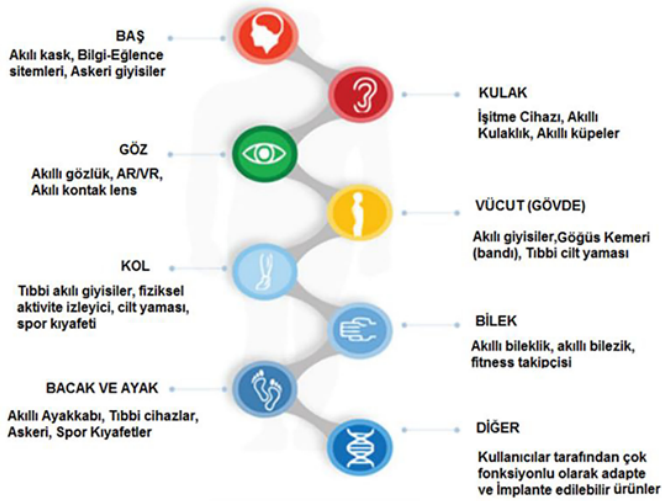
E-tekstiller bugün giyim endüstrisi, tıbbi, güvenlik endüstrileri ve daha birçok alanda kullanılabilen ürün tasarımlarını yapısında bulundurmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. E-tekstil Uygulamaları

Kaynak: Meena vd., 2023.

Giyebilir teknolojiler aynı zamanda vücut üzerindeki konumlarına göre de sınıflandırılabilir (Şekil 10).



Şekil 10. Giyebilir Teknoloji Ürünlerinin Vücut Üzerindeki Konumu

Kaynak: I-scoop, 2023; Kılıç, 2017.

Bu bilgiler ışığında elektronik tekstiller alanında yapılan çeşitli uygulama örnekleri incelenecek olursa:

**-Medikal E-tekstil uygulaması:** E-tekstiller yara bantlarında, ilaç dağıtım ürünlerinde, kişisel koruyucu ekipmanlarda, ışık terapi sistemlerinde, esnek sensörlerde, kan basıncı görüntüleme, cerrahi maskelerde, kalp atış görüntüleme, akıllı gözlüklerde vb. bir çok kısımda kullanılabilir (Lian vd., 2020; Basodan vd., 2021; Cinquino vd., 2021; Yang vd., 2021; Chen vd., 2022; Liman vd., 2022; Meena vd. 2023; Buchilly, 2021). Düzenli olarak kullanıcının tansiyon değişimini ölçebilen ve bunu görüntüleyebilen giyilebilir tansiyon yeleşti tasarımı Şekil 11.'de verilmiştir.



Şekil 11. Giyilebilir Tansiyon Yeleşti

Kaynak: Buchilly, 2021.

**-Spor E-tekstil uygulaması:** E-tekstiller spor alanında çok çeşitli uygulamalarla tasarlanabilmektedir. Sporcuların yaptıkları hareketlerin veri analizlerinden, sağlık durumlarına, haberleşme ve eğlence amaçlı uygulamalardan enerji üretme/depolamaya kadar birçok farklı amaçla tasarımlar yapılabilmektedir (Şekil 12).

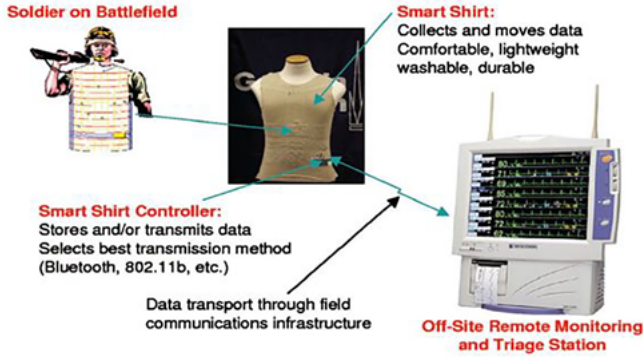


Şekil 12. Elektrik Üretimi Yapabilen Spor Ayakkabısı (Teng)

Kaynak: Wang vd., 2016.

**-Güvenlik ve askeri E-tekstil uygulaması:** Güvenlik ve askeri uygulamalarda çoğunlukla korunma, hareket kolaylığı sağlama, enerji depolama,

haberleşme, konum takibi vb. amaçlarla tasarımlar yapılabilmektedir. Şekil 13.'de askeri personellerin giyebileceği akıllı gömlek tasarımı yer almaktadır. Bu tasarımda gömlek üzerinde bulunan elektriksel malzemelerle çevreden toplanan veriler uzaktan izlenebilmekte, giyen askerle çevresel durumlar için bağlantı kurulabilmekte ve anlık takip yapılabilmektedir (Honarvar ve Latifi, 2017).



Şekil 13. Askeri Amaçlı Akıllı Gömlek Uygulaması

**Kaynak:** Honarvar ve Latifi, 2017.

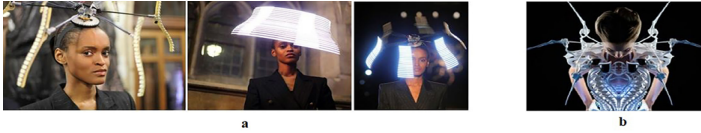
**-Robotik E-tekstil uygulaması:** Robotik e-tekstil uygulamalarında çoğunlukla, ağır işlerde çalışan işçilerin vücutlarına gün boyunca binen yükün azaltılması ve çalışma konforunun artırılması amaçlanmaktadır. Bu uygulamaların dışında, özellikle yürüme güçlüğü çeken insanların yürütmesine yardımcı olabilmek amacıyla yapılan tasarımlarda vardır. Şekil 14.'de bu alanda yapılan bazı örnek çalışmalar yer almaktadır.



Şekil 14. Robotik E-tekstil Uygulaması

**Kaynak:** Buchilly, 2021.

**-Moda ve eğlence amaçlı E-tekstil uygulaması:** E-tekstillerin son yıllarda kullanım alanı giderek artan uygulamalarından birisi de moda ve eğlence amaçlı olarak tasarlanan ürünlerdir. Bu ürünlerde, LED lambalar, mp3 çalarlar, çeşitli görüntüleme ekranları, tekstil dokunmatik yüzeyler, iletken boyalar, iletken iplikler vb. birçok malzeme kullanılabilir. Şekil 15a.'da Philip Treacy'nin tasarladığı hareketli LED "Virtual Reality" şapkası ve Şekil 15b.'de ise Intel Edison tarafından desteklenen "Smart Spider Dress" olarak isimlendirilen tasarımda, biyosinyaller aracılığıyla kullanıcının duygularını ifade edebilen ve kullanıcıya karşı olabilecek tehditleri algılayıp tepki verebilen mekatronik tasarım örneği yer almaktadır (Değerli, 2019; Yetmen, 2017).



**Şekil 15.** a. Virtual Reality; b. Smart Spider Dress

**Kaynak:** Thesuperslice, 2023; Değerli, 2019; Utopia-blu, 2023; Yetmen, 2017.

### 3. ELEKTRONİK TEKSTİL TASARIM UYGULAMASI

Yapılan uygulama çalışmasında iletken mürekkebin klasik baskı tekniklerinden birisi olan düz film baskı ile basılmasının sağlanması ve basılan iletken mürekkep ile ürün üzerine entegre edilen LED lambanın farkedilir şekilde yanması amaçlanmıştır. Yapılan elektronik tekstil tasarım uygulamasında iletken mürekkep, düz film baskı tekniği kullanılarak belirlenen bir desen formunda 1 adet t-shirt üzerine basılmıştır. Basılan iletken mürekkep t-shirt üzerine yerleştirilen bataryadan aldığı elektrik akımını yerleştirilen LED lambaya aktarmaktadır. Böylelikle t-shirt üzerinde LED lamba yoluyla ışık verebilen ve estetik açıdan dikkat çekici olan baskılı bir elektronik tekstil tasarım uygulaması



yapılmıştır. İletken mürekkebin konvansiyonel baskı tekniklerinden birisi olan düz film baskı ile tekstil yüzeyine basılması ve batarya, LED lamba gibi malzemelerin tekstil yüzeyine entegre edilme önerilerinin getirilmesi açılarından yapılan çalışma önemli bilgiler ve uygulama tecrübeleri sunmaktadır. Bu araştırma uygulama bakımından temel çalışma niteliğinde olup ileride yapılacak olan çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

### 3.1. Tasarımda Kullanılan Materyaller

Çalışmada kullanılan makine ve malzemelere ait bilgiler Tablo 1.'de yer almaktadır.

**Tablo 1. Makine ve Malzeme Bilgileri**

Makine/Malzeme Adı	Makine/Malzeme Özellikleri
T-shirt	1 adet, %100 pamuk, triko, siyah renk.
Yazıcı	1 adet Epson L1800 model ink-jet yazıcı.
Bilgisayar	1 adet Lenova marka.
Çizim programı	1 adet Adobe Illustrator vektörel çizim programı
Transparan film	2 adet A4 boyutunda transparan film.
İletken mürekkep	1 adet Bare Conductive marka.
LED lamba	1 adet, LilyPad marka, mikro, mavi renk
Jeton pil batarya yuvası	1 adet.
İpek germe makinesi	1 adet elek bezi germe makinesi.
Pozlama makinesi	1 adet film pozlama makinesi.
Kurutma makinesi	1 adet Black&Decker marka.
Yıkama makinesi	1 adet şablon yıkama makinesi.
Baskı masası	1 adet.
Elek bezi	1 metre, 43T bezayağı, %100 polyester.
Emülsiyon	Saati Grafic Pu marka hazır emülsiyon.
Ragle	1 adet 20 cm ragle.
Şablon	2 adet 365 x 480 mm boyutunda alüminyum şablon.
Hazır baskı patı	Beyaz renk, 200 gr.
İğne	1 adet.

İplik

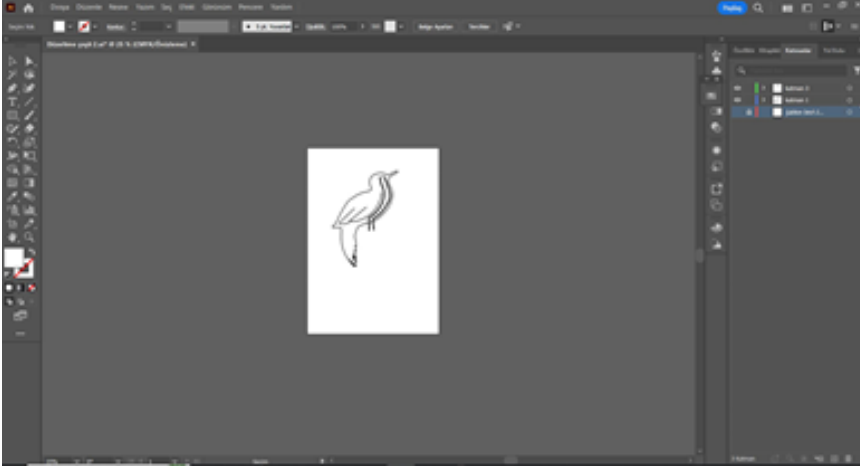
Siyah renk, %100 poliester.

### 3.2. Yöntem

Yapılan çalışmada, elektronik tekstiller hakkında literatür taraması yapılmış olup, elektronik tekstillerin tarihsel gelişimi, elektronik tekstillerde kullanılan malzemeler ve elektronik tekstil uygulama örnekleri hakkında detaylı araştırmalar yapılmıştır. Çalışmada ayrıca elektronik tekstil tasarım uygulaması da yapılmıştır. Bu nedenle çalışma uygulama araştırması niteliği taşımaktadır. Yapılan tasarımda düz film baskı tekniğinden yararlanılmıştır. Bu amaçla ilk olarak desen çizimleri yapılmış, yapılan her bir desen için ayrı şablonlar hazırlanmış, hazırlanan şablonlar üzerinden konavsiyonel baskı patı ve iletken mürekkep kullanılarak baskı işlemi tamamlanmış, baskı işlemi tamamlanan t-shirt üzerine LED lamba ve batarya yerleşimi yapılmış ve son olarak LED lambanın elektrik akımı ile yanması sağlanmıştır. Yapılan çalışmada LED lambanın belirgin bir şekilde yanması ve süreç aşamaları değerlendirilmektedir. Bu nedenle çalışmada yapılan tasarıma ait sonuçlar öznel ve duyuşsal nitel gözlemler yoluyla tasarımcı tarafından değerlendirilmiştir.

Çalışmada uygulanan işlemler sırayla detaylı olarak paylaşılmaktadır:

**1-Adobe Illustrator programı ile bilgisayarda desenlerin çizimlerinin yapılması:** Çalışmada yer alan kuş resmi, Pixabay web sitesinde yer alan kuş figüründen yararlanılarak Adobe Illustrator programında vektörel olarak çizilmiştir (Pixabay, 2023). İletken boyanın uygulanacağı kısımların çizimleri de Illustrator programında ayrı katmanda çizilmiştir (Şekil 16). Çizimlerin baskı boyutları 11 x 15 cm olarak planlanmıştır.



**Şekil 16.** Tasarımda Yer Alan Figürlerin Vektörel Çizimleri

**2-Bilgisayarda çizimi yapılan çizimlerin transparan film üzerine çıktı alınması:** Bu aşamada vektörel olarak çizimleri yapılan kuş ve iletken mürekkep çizimlerinin, L1800 ink-jet yazıcıdan A4 boyutlu transparan filmler üzerine çıktıları alınmaktadır (Şekil 17.).



**Şekil 17.** Bilgisayarda Yapılan Çizimlerin Transparan Film Üzerine Çıktı Alınması

**3-Işığa duyarlı emülsiyonun hazırlanan iki çerçeveye sürülmesi ve çerçevelerin kurutulması:** Diazosu içinde hazır bulunan emülsiyon, her iki çerçeveye içeriden ve dışarıdan tek kat olarak uygulanmaktadır (Şekil 19b).

Emülsiyon uygulamasından sonra çerçeveler, kurutma fırınında 10 dakika boyunca 40°C'de bekletilmektedir.

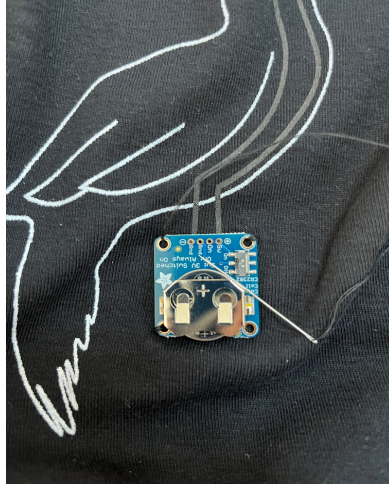
**4-Kurutulan çerçevelere, desenlerin transparan film çıktılarının pozlanması:** Her bir çerçevenin üzerine, kuş ve iletken mürekkep çizimleri için ayrı ayrı alınan transparan filmler yerleştirildikten sonra, 30 saniye süreyle vakumlama ve 22 saniye süreyle pozlama işlemi gerçekleştirilmektedir (Şekil 19c.).

**5-Yıkama ve kurutma:** Pozlama işlemi tamamlanan çerçeveler üzerinde, baskı patının ve iletken mürekkebin geçeceği bölgeleri ortaya çıkarmak için basınçlı su ile yıkama işlemi uygulanmaktadır (Şekil 19d.). Ardından, yıkama işlemi tamamlanan çerçeveler, 40 °C'de 10 dakika boyunca kurutma fırınında kurutulmaktadır (Şekil 19e.).

**6-Düz film baskı aşaması:** Öncelikle kuş çizimi olan şablonun baskı işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla siyah renk t-shirt ütülenmekte ve daha sonra t-shirt baskı masasına yerleştirilmektedir. T-shirt'ün içine renk geçişi olmaması amacıyla bir karton konulduktan sonra çerçeve t-shirt üzerine konulmaktadır. Çerçeve içerisine beyaz renk baskı patı döküldükten sonra 2 geçişli uygulama ile beyaz renk kuş deseni basılmaktadır (Şekil 19f,g.). Baskı işlemi sonrası yaklaşık 1 dk süresince kurutma işlemi gerçekleştirildikten sonra diğer baskı aşamasına geçilmektedir. Kuş çiziminin baskısı bittikten sonra iletken boya desenli çerçeve t-shirt üzerinde tam yerine oturacak şekilde yerleştirilmektedir. Daha sonra çerçevede desenin belirli noktalarına yukarıdan aşağıya olacak şekilde iletken boya dökülmekte ve 2 geçişli uygulama sonrası baskı işlemi tamamlanmış olmaktadır (Şekil 19h,i.). Baskı işlemi bittikten sonra ise oda sıcaklığında 15 dk süresince kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir.

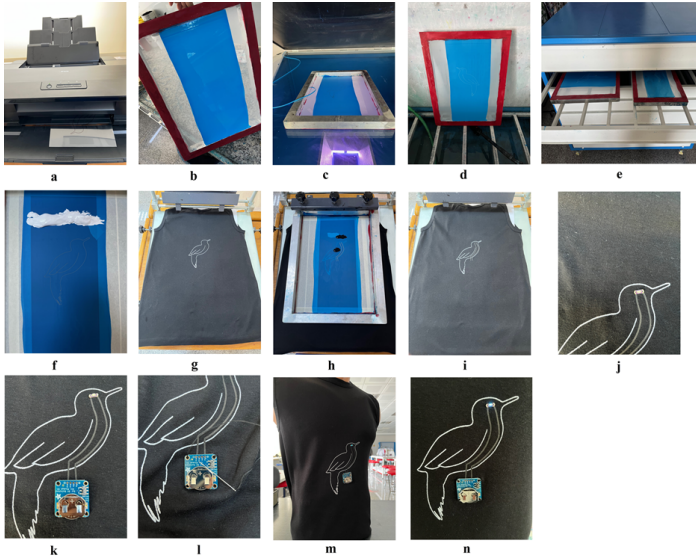
**7-LED ve Jeton pil batarya yuvasının t-shirt üzerine yerleştirilmesi:** Tüm baskı işlemleri bittikten sonra ilk olarak mavi LED'in t-shirtte bulunan kuş baskısının göz kısmına yerleştirilmesi aşamasına geçilmektedir. İletken boya, LED'in + ve – kısımlarına bir miktar sürüldükten sonra t-shirt üzerine ilgili iletken boya baskılı yüzeylere tam gelecek şekilde yerleştirilmekte, üzerine 2 dk süresince baskı uygulanmaktadır. Böylelikle LED sağlam bir şekilde t-shirt yüzeyine yerleştirilebilmektedir (Şekil 19j.). LED'in t-shirt üzerine yerleştirilmesinden sonra jeton pil batarya yuvasının t-shirt üzerine yerleştirilmesi aşamasına geçilmektedir. Bu kısımda da benzer şekilde jeton pil batarya yuvası üzerinde + ve – kısımlara bir miktar iletken boya sürülmekte ve daha sonra jeton pil batarya yuvasının iletken boya sürülen + ve – kısımlarının ilgili iletken boyalı yüzeylere tam oturacak şekilde yerleştirilmesi sağlanmaktadır (Şekil 19k.). Yerleştirme işlemi sonrası yaklaşık 2 dk süresince baskı uygulanmakta ve jeton pil batarya yuvası t-shirt yüzeyinde hareket etmeyecek şekilde durmaktadır.

**8-Jeton pil batarya yuvasının yüzeye dikilmesi:** T-shirt üzerine yerleştirilen jeton pil batarya yuvası LED'e göre daha büyük olduğundan, boşta kalan kısımlarının hareket edip bağlantıyı koparmaması için ayrıca dikim işlemi yapılmaktadır. Bu kısımda jeton pil batarya yuvası kenarlarında dikim yapılabilmesi amacıyla bulunan 4 adet boşluk kısımlardan faydalanılmaktadır. İlgili boşluklarla siyah iplik kullanılarak jeton pil batarya yuvası t-shirt üzerine dikilmektedir. Böylelikle jeton pil batarya yuvasının t-shirt üzerinde tamamen hareketsiz kalması sağlanabilmektedir (Şekil 18.).



Şekil 18. Jeton Pil Batarta Yuvasının YüzeYE Dikilmesi

**9-Yapılan tasarım çalışmasının gözlenmesi:** Tüm aşamalar bittikten sonra t-shirt cansız manken üzerine giydirilmekte ve jeton pil batarya yuvası üzerinde bulunan açma kapama düğmesi aracılığıyla yapılan tasarımın LED ışık yanma durumu ve baskı kalitesi gözlenmektedir (Şekil 19m,n.).



Şekil 19. Çalışmada Uygulanan İşlemler

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan tasarımın uygulama aşamaları değerlendirilecek olursa; mavi renkli LED lamba ışığının estetik açıdan dikkat çekmesi istenilmiştir. Bu nedenle kuş figürünün göz bölgesinde mavi LED lambası olacak şekilde tasarım planlanmıştır. İletken mürekkebin siyah renkte olması nedeniyle t-shirt rengi de siyah renk olarak seçilmiştir. Böylelikle iletken mürekkebin t-shirt üzerinde mümkün olduğunca az görülmesi sağlanmaktadır. Tasarımın baskısında düz film baskı tekniği kullanılmıştır. Düz film baskı tekniğinin kullanılmasındaki en büyük etken, yapılan baskının uzun ömürlü olması, iletken boya için net ve kaliteli sonuçlar vermesi ve düz film baskı tekniği ile neredeyse her türlü tekstil yüzeyi üzerine baskı işlemi yapılabilmesidir. Düz film baskı esnasında ilk olarak beyaz renkli kuş çizimi basılmış daha sonra ise iletken mürekkebi taşıyacak olan desen baskısı yapılmıştır. Düz film baskı yapılırken her iki renkte de iki defa baskı geçişi uygulanmıştır. Böylelikle gerek beyaz renk patın gerekse iletken mürekkebin t-shirt üzerinde net bir şekilde görülmesi sağlanmıştır. Çalışma ön denemelerinde iletken boyanın uygulanacağı desen başlangıçta daha uzun ve ince çizilmiştir fakat iletken boyanın baskı bölgesi uzayıp inceldikçe lamba yanma gücünde (aydınlatma gücü) o denli azalma ve bazen yanmama problemlerinin olduğu gözlenmiştir. İletken boya üretici firmasının ürün katalog incelemesinde, iletken mürekkep baskısı yapılan alan kareye benzedikçe elektrik direncinin daha az olacağı yönündeki uygulama tavsiyesi dikkate alınarak, ilgili kısım nihai çizimlerde daha kısa ve kalın olacak şekilde tasarlanmıştır (Bareconductive, 2023). İletken boyanın baskı denemelerinde, iletken boyanın viskozitesi yüksek olduğundan, baskı esnasında boyanın elek bezindeki tüm boşluklara düzgün bir şekilde yayılması zor olmaktadır. Bu durumu engellemek amacıyla, iletken boyanın geçeceği diğer bölgelere yakın olan kısımlara ek iletken boya yerleştirilmiştir. Böylelikle olası boya geçiş azlığı durumu engellenmeye çalışılmıştır. İletken boyanın kullanımında daha yüksek numaralara sahip elek bezi kullanıldığında,

gözeneklerin çabucak tıkanıdığı ve iletken boyanın t-shirt yüzeyine düzgün şekilde yerleşemediği gözlenmiştir. Bu problemi önlemek için iletken boya üreticisinin ürün kullanım talimatında tavsiye ettiği 43T elek bezi ile baskı işlemi uygulanmıştır. Tüm baskı işlemlerinin bitmesinden sonra LED lamba ve jeton pil batarya yuvasının t-shirt üzerine sabitlenebilmesi için iletken boyanın yapışkanlık özelliğinden faydalanılmıştır. Yapılan bu uygulamanın bir diğer avantajı ise LED lamba, jeton pil batarya yuvası ve iletken boya baskılı alanları arasında elektriksel bağlantının artırılmasına fayda sağlanmasıdır. Gerek LED lamba gerekse jeton pil batarya yuvası aynı yöntem ile t-shirt üzerine sabitlenmiştir. Jeton pil batarya yuvası yapısı gereği daha büyük olduğundan t-shirt üzerine iplik ile dikilerek yerleşiminin kuvvetlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Dikim esnasında jeton pil batarya yuvasının dört köşesinde bulunan dikim boşluklarından faydalanılmış ve sağlam bir şekilde batarya yuvasının t-shirt yüzeyine yerleştirmesi yapılabilmektedir. Tasarım üzerinde jeton pil batarya yuvası ve LED kısımları sabittir. Bu durum özellikle görünüm, yıkama ve giyim konforu açısından dezavantaj teşkil etmektedir. Bu nedenle yapılan uygulama çalışmasının, günlük kullanım amacından çok özel etkinlikler veya kısa süreli kullanım amaçları için daha uygun olduğu değerlendirilmektedir. Tasarımın kullanım ömrünün artırılmasında, kuru temizleme yoluyla ürünün temizlenmesinin fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Tasarımda kullanılan jeton pil batarya yuvası üzerinde açma ve kapama düğmesinin olması gereksiz enerji tüketimini azaltmakta ve istenildiği zaman LED lambanın yanmasına olanak sağlamaktadır.

Tüm uygulama işlemleri bittikten sonra t-shirt cansız manken üzerine giydirilmiş ve mavi LED lambanın düzgün bir şekilde yanıp yanmadığı kontrol edilmiştir. Bu amaçla değerlendirme, tasarımcı tarafından öznel ve duyuşsal nitel gözlemler yoluyla yapılmıştır. Yapılan nitel gözlemler neticesinde, t-shirt üzerinde yapılan beyaz baskı görünümünün oldukça düzgün ve net olduğu, siyah iletken boyanın siyah t-shirt üzerinde çok az görüldüğü ve istenildiği zaman mavi LED lambanın t-



shirt üzerinde düzgün ve belirgin bir parlaklıkla çalıştırılabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, elektronik tekstiller hakkında bilgi verilmekte ve düz film baskı tekniği kullanılarak yapılan elektronik tekstil tasarım uygulama örneği paylaşılmaktadır. Yapılan bu uygulamada, düz film baskı tekniği ile mikro LED lamba, batarya ve iletken boya kullanımıyla ilgili tasarımcı tarafından yaşanan süreç deneyimleri paylaşılmaktadır. Elektronik tekstiller günümüz Dünyasının giderek zorlaşan rekabet koşullarında bir adım öne geçme noktasında büyük fırsatlar barındırmaktadır. Bu nedenle bu alanda yapılacak olan bilgi paylaşımları ve örnek tasarımlar, tekstil sektörüne, ülke ekonomisine ve alanda çalışan kişilere büyük yararlar sağlayabilecektir. Çalışmada yer alan örnek tasarımda, konvansiyonel baskı patlarıyla beraber iletken mürekkebin düz film baskı tekniği kullanılarak uygulanması gösterilmiştir. Çalışma süreci içerisinde yaşanan tasarım problemleri ve çıktıları da paylaşılmıştır. Yapılan tasarımda iletken boya ile beraber mikro LED lamba ve tekstil yüzeyine dikilebilen batarya yuvasının etkin bir şekilde birlikte kullanılabildikleri gösterilmektedir. Çalışma sonucunda, gerek elektronik tekstiller hakkında verilen bilgilerin, gerekse yapılan uygulama çalışmasında yer alan süreç tecrübelerinin paylaşılmasıyla, tekstil sektöründe elektronik tekstil ürünlerinin daha çok yer almasının sağlanması ve ülke ekonomisine de bu yolla daha fazla katkı sağlanması hedeflenmektedir.

### **Çıkar Çatışması Bildirimi:**

Bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve yayınlanmasına ilişkin herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**Destek/Finansman Bilgileri:**

Bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve yayınlanması için herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

**Etik Kurul Kararı:**

Bu araştırma için etik kurul kararına ihtiyaç yoktur.

**KAYNAKÇA**

Adafruit. (2023, Haziran 11). Wearables / materials. <https://www.adafruit.com/category/190>.

Adafruit. (2023, Haziran 12). Round solar panel skill badge - 5V / 40mA. <https://www.adafruit.com/product/700>.

Adafruit. (2023, Haziran 12). Adafruit Gemma M0 - Miniature wearable electronic platform. <https://www.adafruit.com/product/3501>.

Bareconductive. (2023, Nisan 10). Electric Paint and our hardware. <https://www.bareconductive.com/collections/electric-paint>

Bariya M, Nyein H.Y.Y. & Javey, A. (2018). "Wearable Sweat Sensors." *Nat Electron*, 1(3): 160-171.

Bashir, T., Ali, M., Persson, N., Ramamoorthy, S. & Skrifvars, M. (2013). "Stretch Sensing Properties Of Conductive Knitted Structures Of PEDOT-Coated Viscose And Polyester Yarns." *Textile Research Journal*, 84(3): 323–334.

- Basodan, R., Park, B. & Chung, H-J. (2021). "Smart Personal Protective Equipment (PPE): Current PPE Needs, Opportunities For Nanotechnology And E-Textiles." *Flex. Print. Electron*, 6: 043004.
- Bedeloğlu, A., Sünter, N. & Bozkurt, Y. (2010). "Elektriksel Olarak İletken Tekstil Yapıları, Üretim Yöntemleri Ve Kullanım Alanları." *Tekstil ve Mühendis*, 79: 7-17.
- Bilir, M. Z. (2016). *Balistik Koruyucu Elektronik Tekstil Ürün Tasarımı*. Yayınlanmış doktora tezi, Gazi Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Ankara.
- Brook, I., Mechrez, G., Suckeveriene, R., Tchoudakov, R. & Narkis, M. (2013). "A Novel Approach For Preparation Of Conductive Hybrid Elastomeric Nano-Composites." *Polymers for Advanced Technologies*, 24(8): 758–763.
- Buchilly, J-M., (2021). "Emerging Trends In Wearable Technology Across Several Markets." *Fischer Connectors*, 1-34.
- Castano L. M. & Flatau, A. B., (2014). "Smart Fabric Sensors And E-Textile Technologies: A Review." *Smart Material Structure*, 23(5): 1-27.
- Chen, G., Xiao, X., Zhao, X., Tat, T., Bick, M. & Chen, J. (2022). "Electronic Textiles For Wearable Point-Of-Care Systems." *Chem. Rev.* 122(3): 3259-3291.
- Cinquino, M. Prontera, C. T., Pugliese, M., Giannuzzi, R., Taurino, D., Gigli, G. & Maiorano, V. (2021). "Light-Emitting Textiles: Device Architectures, Working Principles, And Applications." *Micromachines* 12(6): 652.
- Cui, H., Suganuma, K. & Uchida, H. (2015). "Highly Stretchable, Electrically Conductive Textiles Fabricated From Silver Nanowires And Cupro Fabrics

Using A Simple Dipping-Drying Method.” *Nano Research*, 8(5): 1604–1614.

Çalışkan, D. (2012). *Geçmişten Günümüze İç Giyim Ve “Triumph” Markalaşma Süreci*. Yayınlanmış yüksek lisans tezi, Haliç Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Değerli, N. G. (2019). “Moda Endüstrisinin Giyilebilir Teknoloji Tasarımları.” *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi Journal of the International Scientific Research*, 4(1): 50-65.

Erol, A. D. ve Çetiner, S. (2017). “Giyilebilir Elektronik/Akıllı Tekstiller Ve Uygulamaları.” *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1): 1-20.

Fishlock, D. 2001. “Doctor Volts.” *IEE Review*, 5: 23-28.

Gao, W., Emaminejad, S., Nyein, H. Y. Y., Challa, S., Chen, K., Peck, A., Fahad, H. M., Ota, H., Shiraki, H., Kiriya, D., Lien, D., Brooks, G. A., Davis, R. W. & Javey, A. (2016). “Fully Integrated Wearable Sensor Arrays For Multiplexed In Situ Perspiration Analysis.” *Nature*, 529: 509–514.

Gao, M., Li, L. & Song, Y. (2017). “Inkjet Printing Wearable Electronic Devices.” *Journal of Material Chemical, C*, 5(12): 2971-2993.

Güler, S. D., Madeleine, G., & Sicchio, K. (2016). *Crafting wearables: Blending technology with fashion*. Berlin: Springer.

Historycrunch. (2023, Mayıs 30). Spinning jenny invention in the industrial revolution. <https://www.historycrunch.com/spinning-jenny-invention-in-the-industrial-revolution.html#/>.

- Honarvar, M. G. & Latifi, M. (2017). "Overview Of Wearable Electronics And Smart Textiles." *The Journal of The Textile Institute*, 108(4): 631-652.
- Huang, H., Guo, Z., Zhu, W. & Li, F. (2011). "Preparation And Characterization Of Conductive Polyaniline/Zirconia Nanoparticles Composites." *Advanced Materials Research*, 221: 302-307.
- Ilicheva, N., Kitaeva, N., Dufлот, V. & Kabanova, V. (2012). "Synthesis And Properties Of Electroconductive Polymeric Composite Material Based On Polypyrrole." *ISRN Polymer Science*, 2012: 1-7.
- I-Scoop. (2023, Haziran 14). Wearables market outlook 2020: drivers and new markets. <https://www.i-scoop.eu/wearables-market-outlook-2020-drivers-new-markets/>.
- Jang, E., Carretero, J., Choi, A., Kim, W., Kozlov, M., Kim, T., Kang, T., Baek, S., Kim, D., Park, Y., Baughman, R. & Kim, Y. (2012). "Fibers Of Reduced Graphene Oxide Nanoribbons." *Nanotechnology*, 23(23): 1-8.
- Keum, H., McCormick, M., Liu, P., Zhang, Y. & Omenetto, F. G. (2011). "Epidermal Electronics." *Science*, 333(6044): 838-843.
- Khattab, A., Rehan, M., & Hamouda, T. (2018). "Smart Textile Framework: Photochromic And Fluorescent Cellulosic Fabric Printed By Strontium Aluminate Pigment." *Carbohydrate Polymers*, 195: 143-152.
- Kılıç, Ö. H. (2017). "Giyilebilir Teknoloji Ürünleri Pazarı Ve Kullanım Alanları." *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(4): 99-112.

- 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.
- Kong, Y. C., Yu, D.P., Zhang, B., Fang, W. & Feng, S. Q. (2001). "Ultraviolet-Emitting ZnO Nanowires Synthesized By A Physical Vapor Deposition Approach." *Applied Physics Letters*, 78(4): 407-409.
- Lian, Y., Yu, H., Wang, M., Yang, X., Li, Z., Yang, F., Wang, Y., Tai, H., Liao, Y., Wu, J., Wang, X., Jianga, Y. & Tao, G. (2020). "A Multifunctional Wearable E-Textile Via Integrated Nanowire-Coated Fabrics." *J. Mater. Chem*, C8, 25: 8399–8409
- Liman, M. L. R., Islam, M. T. & Hossain, M. M. (2022). "Mapping The Progress In Flexible Electrodes For Wearable Electronic Textiles: Materials, Durability, And Applications." *Adv. Electron. Mater.*, 8(1): 2100578.
- Linz, T., Kallmayer, C., Aschenbrenner, R. & Reichl, H. (2005). *Embroidering electrical interconnects with conductive yarn for the integration of flexible electronic modules into fabric. in wearable computers. Proceedings. Ninth IEEE International Symposium'da sunulan bildiri.*
- Liu, T., Li, J., Wang, X., Deng, Z., Yu, X., Lu, A., Yu, F. & He, J. (2015). "Preparation And Properties Of Thermal Conductive Polyamide 66 Composites." *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 28(1): 32–45.
- Maity, S., Singha, K., Debnath, P. & Singha, M. (2013). "Textiles In Electromagnetic Radiation Protection. Textiles In Electromagnetic Radiation Protection." *Journal of Safety Engineering*, 2(2): 11–19.

Mao, C. D. & Guo, X. (2013). "Development Of Blended Conductive Yarn And Antistatic Filter Cloth." *Advanced Materials Research*, 821–822, 278–282

Maximize market research (2023, Mayıs 28). Smart textile market: global challenges, market analysis and forecast 2029. <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-smart-textile-market/28970/>.

Meena, J. S., Choi, S. B., Jung, S-B. & Kim, J-W. (2023). "Electronic Textiles: New Age Of Wearable Technology For Healthcare And Fitness Solutions." *Materials Today Bio*, 19(2023): 100565.

Oh, J. Y. & Bao, Z. (2019). "Second Skin Enabled By Advanced Electronics." *Adv Sci.*, 6(11): 1900186.

Pixabay. (2023, Nisan 10). Pixabay. <https://pixabay.com/tr/>.

Post, E. R., Orth, M., Russo, P. R. & Gershenfeld, N. (2000). "E-Broidery: Design And Fabrication Of Textile-Based Computing." *IBM Syst. J.* 39(3.4): 840–860.

Raji, R. K., Miao, X. & Boakye, A. (2017). "Electrical Conductivity In Textile Fibers And Yarns-Review." *Aatcc Journal Of Research*, 4(3): 8-21.

Ramlow, H., Andrade, K.L. & Immich, A.P.S. (2021). "Smart Textiles: An Overview Of Recent Progress On Chromic Textiles." *The Journal Of The Textile Institute*, 112(1): 152-171.

Qu, H. & Skorobogatiy, M. (2015). *Conductive polymer yarns for electronic textiles in electronic textiles*. Cambridge: Woodhead Publishing.

- Quyang S., Yingtao X., Dongping W., Dalong Z., Xin X., Tan T. & Fong, H. H. (2015). "Surface Patterning Of Pedot: Pss By Photolithography For Organic Electronic Devices." *Journal of Nanomaterial*, 2015-603148: 1-9.
- Shi, Q., Dong, B., He, T., Sun, Z., Zhu, J., Zhang, Z. & Lee, C. (2020). "Progress In Wearable Electronics/Photonics-Moving Toward The Era Of Artificial Intelligence And İnternet Of Things." *InfoMat.*, 2: 1131-1162.
- Shi, X., Zuo, Y., Zhai, P., Shen, J., Yang, Y., Gao, Z., Liao, M., Wu, J., Wang, J. Xu, X., Tong, Q., Zhang, Wang, B., Sun, X., Zhang, L., Pei, Q., Jin, D., Chen, P. & Peng, H. (2021). "Large-Area Display Textiles Integrated With Functional Systems." *Nature*, 591(7849): 240–245.
- Smiechowicz, E., Kulpinski, P., Niekraszewicz, B. & Bacciarelli, A. (2011). "Cellulose Fibers Modified With Silver Nanoparticles." *Cellulose*, 18 (4): 975–985.
- Son, D., Lee, J., Qiao, S., Ghaffari, R., Kim, J., Lee, J. E., Song, C., Kim, S. J., Lee, D. J., Jun, S. W., Yang, S., Park, M., Shin, J., Do, K., Lee, M., Kang, K., Hwang, C. S., Lu, N., Hyeon, T. & Kim, D. (2014). "Multifunctional Wearable Devices For Diagnosis And Therapy Of Movement Disorders." *Nat. Nanotechnol.*, 9: 397–404.
- Song, Y. M., Xie, Y., Malyarchuk, V., Xiao, J., Jung, I., Choi, K-J., Liu, Z., Park, H., Lu, C., Kim, R-H., Li, R., Crozier, K., Huang, Y. & Rogers, J. (2013). "Digital Cameras With Designs Inspired By The Arthropod Eye." *Nature*, 497(7447): 95-99.
- Tez, Z. (2008). *Tekstil ve giyim kuşamın kültürel tarihi*. Ankara: Doruk Yayınevi.



Thefashionspot. (2023, Haziran 8). Newsflash! wearable tech isn't a new phenomenon. <https://www.thefashionspot.com/style-trends/514247-wearable-tech/>.

Thesuperslice. (2023, Haziran 15). Virtual Reality (LED High Fashion) / Moritz Waldemeyer for Philip Treacy. <http://thesuperslice.com/2012/10/03/virtual-reality-led-high-fashion-moritz-waldemeyer-for-philip-treacy/>.

Topp, K., Haase, H., Degen, C., Illing, G. & Mahltig, B. (2014). "Coatings With Metallic Effect Pigments For Antimicrobial And Conductive Coating Of Textiles With Electromagnetic Shielding Properties." *Journal of Coatings Technology and Research*, 11(6): 943–957.

Uzun, S., Seyedin, S., Stoltzfus, A. L., Levitt, A. S., Alhabeb, M., Anayee, M., Strobel, C. J. , Razal, J. M., Dion, G. & Gogotsi, Y. (2019). "Knittable And Washable Multifunctional Mxene-Coated Cellulose Yarns." *Adv. Funct. Mater*, 29, 1905015: 1-13.

Utopia-ble. (2023, Haziran 15). Intel - Spider Dress 2015. <https://utopia-blu.net/spider-dress>

Üner, İ. & Gürcüm, B. H. (2019). "Elektronik Tekstillerde İletken Mürekkep Uygulamaları." *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(7): 794-804.

Visualcapitalist. (2023, Haziran 9). The history of wearable technology. <https://www.visualcapitalist.com/the-history-of-wearable-technology/>.

- Wang, J., Li, S., Yi, F., Zi, Y., Lin, J., Wang, X., Xu, Y. & Wang, Z. L. (2016). "Sustainably Powering Wearable Electronics Solely By Biomechanical Energy." *Nature Communications*, 7: 12744.
- Wang, S., Xu, J., Wang, W., Wang, G-J, Rastak, R., Molina-Lopez, F., Chung, J. W., Niu, S., Feig, V. R., Lopez, J., Lei, T., Kwon, S-K., Kim, Y., Foudeh, A. M., Ehrlich, A., Gasperini, A., Yun, Y., Murmann, B., Tok, J. & Bao, Z. (2018) . "Skin Electronics From Scalable Fabrication Of An Intrinsically Stretchable Transistor Array." *Nature*, 555(7694): 83-88.
- Wicaksono, I., Tucker, C. I., Sun, T., Guerrero, C. A., Liu, C., Woo, W. M., Pence, E. J. & Dagdeviren, C. (2020). "A Tailored, Electronic Textile Conformable Suit For Large-Scale Spatiotemporal Physiological Sensing In Vivo." *Npj Flexible Electronics*, 4(1): 5, 1-13.
- Woltornist, S., Alamer, F., Mcdannald, A., Jain, M., Sotzing, G. & Adamson, D. (2015). "Preparation Of Conductive Graphene/Graphite Infused Fabrics Using An Interface Trapping Method." *Carbon*, 81: 38–42.
- Xu, F., Yao, L., Zhao, D., Jiang, M. & Qiu, Y. (2013). "Effect Of Weaving Direction Of Conductive Yarns On Electromagnetic Performance Of 3D Integrated Microstrip Antenna." *Applied Composite Materials*, 20(5): 827–838.
- Xue, C., Chen, J., Yin, W., Jia, S. & Ma, J. (2012). "Superhydrophobic Conductive Textiles With Antibacterial Property By Coating Fibers With Silver Nanoparticles." *Applied Surface Science*, 258(7): 2468–2472.
- Yang, L., Ma, Z., Tian, Y. Meng, B. & Peng, Z. (2021). "Progress On Self-Powered Wearable And Implantable Systems Driven By Nanogenerators." *Micromachines*, 12(6): 666.

Yetmen, G. (2017). "Giyilebilir Teknoloji." *Ulakbilge*, 5(9): 275-289.

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Textile surfaces, which provided the protection of people in difficult living conditions in the first usage examples, gradually expanded their usage areas by adding aesthetic and functionality needs to its structure over time. There have been great advances in the historical process in textiles. These advances enable the textile to attain innovative production and usage features apart from conventional production possibilities and uses.

Smart textiles are at the forefront of the changes that have occurred in the field of textiles, especially in the last 20 years. Smart textiles are products that can receive and respond to external stimuli to adapt to changes in the environment. Electronic textiles, which are among the smart textiles, are increasingly appearing in many product types that require aesthetics and/or functionality in recent years.

Electronic textiles, as the name suggests, is a type of textile that contains materials and materials related to electrical and computer technologies in an integrated manner with textile materials. In this study, information about electronic textiles is given and an example of electronic textile design application made using screen printing technique is also included in the study.

In this application, the process experiences in the use of micro LED, coin cell battery holder and conductive paints are shared by making use of the screen printing technique.

### Method

In this study, a literature review about electronic textiles has been made, and detailed research has been made on the historical development of electronic textiles, materials used in electronic textiles and electronic textile application examples.

Electronic textile design application was also made in the study. In the design method, screen printing technique was used. The results of the design made in the study were evaluated through qualitative observation.

### Findings (Results)

If the application stages of the design are evaluated; The blue LED lamp light is desired to attract attention from an aesthetic point of view. For this reason, the design is planned to have a blue LED lamp in the eye area of the bird figure. During screen printing, first a white bird drawing was printed, and then a pattern print that would carry conductive ink. While printing, two printing passes were applied in both colors. Thus, both the white paste and the conductive ink are clearly visible on the t-shirt.

In the product catalog review of the conductive paint manufacturer, the relevant part is designed to be shorter and thicker in the final drawings, taking into account the application recommendation that the electrical resistance will be less as the area on which the conductive ink is printed resembles a square. In the printing trials of the conductive paint, since the viscosity of the conductive paint is high, it is difficult for the paint to spread smoothly into all the gaps in the screen printing fabric during printing. In order to prevent this situation, additional conductive paint has been placed in the parts close to the other areas where the conductive paint will pass. In this way, possible dye transfer insufficiency was tried to be prevented.

It has been observed that when a screen printing fabric with higher mesh values is used in the use of conductive paint, the pores are quickly clogged and the conductive paint cannot properly settle on the t-shirt surface. In order to avoid this problem, printing process was applied with 43T screen printing fabric recommended by the conductive paint manufacturer in the product usage instructions. After the completion of all the printing processes, the adhesive property of the conductive paint was used to fix the LED and coin cell battery holder on the t-shirt.

Another advantage of this application is that it helps to increase the electrical connection between the LED lamp, coin cell battery housing and conductive dye-printed areas. Both the LED and the coin cell battery holder are fixed on the t-shirt with the same method. During sewing, the sewing gaps in the four corners of the coin cell battery compartment were utilized and it was possible to place the battery compartment on the t-shirt surface securely.

On the design, the coin cell battery slot and LED lamp parts are fixed. Therefore, although the product is not very suitable for daily use, it is more suitable for special events or short-term use. It is thought that cleaning the product by dry cleaning will be beneficial in increasing the service life of the design. Having an on and off button on the coin cell battery compartment used in the design reduces unnecessary energy consumption and allows the LED lamp to turn on when desired.

As a result of the qualitative observations, it is concluded that the white colour printing processes on the t-shirt are very smooth and clear, the black conductive paint is rarely seen on the black t-shirt, and the blue LED lamp can be operated on the t-shirt with a smooth and good brightness when desired.

### **Conclusion and Discussion**

Electronic textiles offer great opportunities to be one step ahead in the increasingly difficult competitive conditions of today's world. For this reason, information sharing and exemplary designs to be made in this field will be of great benefit to the textile industry, the country's economy and the people working in the field.

In the sample design included in the study, the application of conductive ink with conventional printing pastes using the screen printing technique is shown. The design problems and outputs experienced during the working process were also shared. The study shows that the micro LED lamp together with the conductive paint and the battery holder that can be sewn onto the textile surface can be used together effectively.

As a result of the study, it is aimed to ensure that electronic textile products are more involved in the textile sector and to contribute more to the country's economy in this way by sharing both the information given about electronic textiles and the process experiences included in the application study.