



PIEZO UYGULAMALI AKILLI TEKSTİL UYGULAMASI

Mustafa Oğuz GÖK ^{1*}, İsrail KARADÖL ², Mustafa ŞEKKELİ ³

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

² Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis Meslek Yüksekokulu, Elektrik-Enerji Bölümü, Kilis, Türkiye

³ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Tasarım,
Akıllı tekstil,
Elektronik tekstil,
Piezoelektrik.

Öz

Tekstil, ilk zamanlarda örtünme ve korunma amacı ile ortaya çıkmış bir terimdir. Gelişen teknoloji ve değişen şartlar ile birlikte insanların tekstil ürünlerinden beklentileri de her geçen gün artmaktadır. Tüm bu gereksinimleri yerine getirebilmek için tekstil de kendini geliştirerek ve farklı bilim dalları ile iş birliği içerisine girerek fonksiyonel ve katma değeri yüksek ürünler ortaya çıkarmaktadır. Tekstilde katma değeri yüksek ürünler deyince akla ilk gelen ürün grubu teknik tekstillerdir. Teknik tekstiller kendi içerisinde çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. Bu sınıfların önemli bir tanesi de akıllı tekstillerdir. Akıllı tekstillerin önemli bir kısmını ise elektronik tekstiller oluşturmaktadır. Elektronik tekstiller; içerisinde elektronik devre elemanlarının bulunduğu tekstil ürünleridir. Bu çalışmada elektronik bir malzeme olan piezoelektrik malzemeler kullanılarak bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Uygulanan basınç sonucunda bir gerilim elde edilmektedir. Elde edilen bu gerilim elektrik enerjisine dönüştürülmektedir ve tasarlanan tekstil ürününe enerji sağlanmaktadır. Bu çalışmada üretilen elektrik enerjisi ayakkabıya yerleştirilen ve tasarlanan sistem üzerindeki led'i yakarak estetik ve işlevsel bir ürüne dönüşmektedir. Çalışma sonucunda hareket halindeyken enerji kaynağına ihtiyaç duymadan mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bir tasarım oluşturulmuştur.

PIEZO APPLIED SMART TEXTILE APPLICATION

Keywords

Design,
Smart textile,
E-textile,
Piezoelectric.

Abstract

Textile is a term that emerged with the first thought and protection term. With the developing technology and changing conditions, the expectation of people from textile products is increasing day by day. In order to fulfill all these requirements, textile develops itself and develops functional and added high value products by entering into a business association with different science branches. The first product group that comes to mind in terms of high value added products in textiles is technical textiles. The technical textiles themselves fall into various classes. One of these classes is smart textiles. In this study, a design was realized by using piezoelectric material which is an electronic material. A tension is obtained as a result of the applied pressure. This voltage is converted into electricity and power is supplied to the designed textile. The electric energy produced in this work is lighting the LED on the system that are placed in the shoe and designed and become an aesthetic and functional product. As a result of the study, a design that converts mechanical energy into electrical energy is created without the need for energy supply while on the move.

Alıntı / Cite

Gök, M. O., Karadöl, İ., Şekkel, M., (2019). Piezo Uygulamalı Akıllı Tekstil Uygulaması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 369-380.

* İlgili Yazar Mustafa Oğuz GÖK: gokmustafaoguz@gmail.com, +90-344-300-1521

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
M. O. Gök, 0000-0003-1269-5228	Başvuru Tarihi / Submission Date	07.06.2018
İ. Karadöl, 0000-0002-9239-0565	Revizyon Tarihi / Revision Date	08.01.2019
M. Şekkeli, 0000-0002-1641-3243	Kabul Tarihi / Accepted Date	08.01.2019
	Yayın Tarihi / Published Date	25.03.2019

1. Giriş

Tekstil ile ilgili farklı tanımlar olmasına rağmen genel tanım olarak, farklı veya aynı elyaflardan çeşitli yöntemlerin kullanılmasıyla yüzey elde etme sanatı olarak tanımlanmaktadır. Kullanılan hammadde ve yöntemlere göre de çeşitli sınıflara ayrılmaktadırlar. Önceleri sadece örtünme ve korunma amaçlı kullanılan tekstil sözcüğü günümüzde birçok işlevi bir arada yerine getirebilen giysiler olarak tanımlanmaya başlamıştır. İnsanların tekstilden beklentileri de her geçen gün artarak devam etmektedir. Tüm bu gereksinimleri karşılamak için de tekstil farklı alanlar ile işbirliği içerisinde girmiştir. Bu alanlardan birisi de teknik tekstillerdir. Teknik tekstiller ile ilgili birçok tanım yer almaktadır. Bursa Tekstil & Konfeksiyon Ar-Ge Merkezi, teknik tekstilleri “Endüstride, uzay sanayinde, askeri alanda, denizcilikte, tıpta, inşaat, jeotekstillerde, ulaşımda ve ileri teknoloji uygulamalarında kullanılan fonksiyonellik gerektiren tekstil ürünleridir” olarak tanımlamıştır (Butekom, 2014). Yalçınkaya ve Yılmaz’a göre teknik tekstiller “Özel olarak tasarlanan, herhangi bir üründe veya üretim yöntemi içinde veya yalnız başına belirli bir özelliği yerine getirmek amacıyla üretilen ve kullanılan malzemelerdir” (Yalçınkaya ve Yılmaz, 2011). Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, teknik tekstilleri “... kimyasallara, hava şartlarına ve mikro organizmalara dayanımlı, yüksek mukavemete sahip, yanmazlık özelliği bulunan, yüksek aşınma dayanımına sahip, vb. yüksek performans özellikleri gösteren ürünlerdir. Asıl amaç konfordan ziyade fonksiyonelliktir. Pahalı, katma değeri yüksek, doğrudan tüketicinin kendisinin kullanmadığı ürünler olarak tabir edilmektedirler” olarak tanımlamıştır (Biiim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2012). Teknik tekstiller ile ilgili birçok tanım olmasına rağmen en fazla kabul göreni “The Textile Institute” tarafından yapılmış olanıdır. The Textile Institute tarafından yayınlanan “Textile Terms and Definitions” adlı yayında “estetik veya dekoratif özelliklerinden ziyade esasen sahip oldukları teknik ve performans özellikleri için imal edilen tekstil materyalleri ve ürünleri” olarak tanımlanmaktadır (Müsiad, 2009; Horrocks ve Anand, 2000).

İnşaat, ziraat, sağlık, havacılık, moda, vb. birçok alanda teknik tekstil ürünlerine sıklıkla rastlanılmaya başlanmıştır. Bu ürün grupları kullanım amacına ve yerine göre tercih edilmektedirler. Türkiye’nin teknik tekstil ihracatı 2018 yılı Ocak – Şubat döneminde %26,7 oranında artışla 291 milyon dolar değerinde gerçekleşmiştir (İtkib, 2018). Çeşitli teknik tekstil ihracat ürünleri bu grupta yer almaktadır. Dokusuz yüzeyler, ambalaj için torba ve çuvallar, yüksek

mukavemetli iplikler, cam lifi ve bu liften üretilen ürünler, emniyet kemerleri, iplikler, hazır giyim ürünleri, yer kaplamaları, paraşütler, vb. bu ürün gruplarından bazılarıdır. Teknik tekstil ürünleri geliştirilebilir ürün gruplarıdır ve katma değeri yüksek ürünlerdir. Bu yüzden gelişen teknoloji ile birlikte daha işlevsel ürün grupları ortaya çıkabilmektedir. Teknik tekstil ürünleri mekanik özellikler, değiştirme özellikleri, insan sağlığı ile ilgili özellikler ve koruma özellikleri gibi çeşitli özelliklere sahiptirler (Müsiad, 2009; Horrocks vd., 2000).

Teknik tekstil ürünlerinin üretimi gemiler için yelken bezlerinin üretilmesiyle başlamıştır. Her ne kadar az miktarda üretim gerçekleşse de bu konuda önemli ilerlemeler 1939 yılında ilk sentetik liflerin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir (Müsiad, 2009). İlk sentetik lif olan poliamid lifi 1939 yılında keşfedilmiş ve 1950 ve 1960’lı yıllarda yüksek performanslı lifler üretilmeye başlanmıştır (Mecit vd., 2007). Ürün grupları zamanla daha da fazla artış göstermiştir. Teknik tekstiller, üretim teknolojilerine göre ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılmaktadır (Müsiad, 2009; Horrocks vd., 2000; Mecit vd., 2007; Wulforth vd., 2003; Uçar, 2006 ve Patel vd., 2012). Üretim teknolojilerine göre teknik tekstillerde fonksiyonel özellik ve teknik performans ön planda tutulmaktadır. Kullanım alanlarına göre teknik tekstillerde ise nerde kullanılacağı ön planda tutulmakta ve bu kritere göre ürün grubu belirlenmektedir. Teknik tekstiller kullanım alanlarına göre on iki sınıfa ayrılmaktadır (Müsiad, 2009; Horrocks vd., 2000 ve Mecit vd., 2007):

1. Zirai tekstiller (Agrotech): Tarım, bahçecilik, ormancılık ve su ürünlerinde kullanılan tekstiller,
2. İnşaat tekstilleri (Buildtech): Bina ve inşaatlarda kullanılan tekstiller,
3. Giyim tekstilleri (Clothtech): Giysi ve ayakkabıların astarları, vb. teknik bileşenleri,
4. Jeolojik tekstiller (Jeotech): Jeolojik tekstiller ile inşaat mühendisliği malzemeleri,
5. Ev tekstilleri (Hometech): Mobilya, ev tekstili ve yer kaplamalarının teknik bileşenleri,
6. Endüstriyel tekstiller (Indutech): Filtrasyon, temizleme, vb. sanayi tipi uygulamalar için tekstiller,
7. Tıbbi tekstiller (Medtech): Hijyenik ve tıbbi ürünler için tekstiller,
8. Taşıt araçları için tekstiller (Mobiltech): Otomotiv, gemi, tren ve hava taşıtları için tekstiller,
9. Ekolojik tekstiller (Ekotech): Çevre koruma amaçlı tekstiller,
10. Ambalaj tekstilleri (Packtech): Ambalaj malzemeleri,
11. Koruyucu tekstiller (Protech): Kişisel ve mülki

koruma için tekstiller,

12.Sportif tekstiller (Sportech): Spor ve serbest (gündelik) giysiler için tekstiller.

Teknik tekstillerin önemli bir sınıfı ise akıllı tekstillerdir. Akıllı tekstiller yapılan çalışma alanına göre farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Dadi ve Sweden'e göre (Dadi ve Sweden, 2010) "Akıllı tekstiller çevresel uyarıcı durumlarda aktif bir kontrol mekanizması üzerinden hissedip reaksiyon verebilen tekstil materyal ve yapılarıdır". Cherenack ve Pieteron'a göre (Cherenack ve Pieteron, 2012) "Akıllı tekstiller çevresel uyarıcıları algılayıp cevap verebilen materyallerdir". Stoppa ve Chiolerio'ya göre (Stoppa ve Chiolerio, 2014) akıllı tekstiller "Çevresi veya kullanıcıyla etkileşim halinde olan, birlikte dokunan, örülen ya da dokusuz yüzey olarak işlenen iplikler, filamentler veya lif gibi tekstil ürünleridir". Meinander'e göre ise (Meinander, 2005) "Akıllı kumaşlar ve interaktif tekstil çözümleri, çevresi veya kullanıcısıyla olan etkileşimleri izlemeyi sağlayan ya da geliştirebilen ürünlerdir", vb. tanımlar yapılan tanımlardan bazılarıdır. Tüm bu tanımlardan da anlaşılacağı üzere akıllı tekstiller çevresel uyarıcıları algılayan ve gerektiğinde cevap veren sistemler olarak ifade edilmektedirler. Akıllı tekstiller iki sınıfa ayrılmaktadır. Sadece çevresel uyarıcıları algılıyorsa pasif akıllı tekstil, algıladığı bu uyarılara aynı zamanda tepki veriyor ise aktif akıllı tekstil olarak isimlendirilmektedir.

Akıllı tekstiller ilk olarak 1850 yılında çeşitli korse ve kemerlerin elektro terapi amaçlı kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır (Karayianni, 2002). Gelişen teknoloji ve ilerlemeler ile birlikte ürün grupları da zamanla çeşitlilik göstermeye başlamıştır. 1955 yılında Edward Thorpe ve Claude Shannon tarafından ilk giyilebilir bilgisayar geliştirilmiştir (Thorp, 1998). 1960 yılında şekil hafızalı materyaller bulunmuştur (Bedeloğlu, 2011). 1970'li yıllarda polimerik jeller kullanılmaya başlamış ve yeni sentetik malzemeler keşfedilmiştir.

Akıllı tekstil ürün grupları çok çeşitli olduğundan sınıflandırılmasında da sıkıntılar yaşanmaktadır. Yapılan araştırmalarda da farklı sınıflandırma örneklerine rastlanılmıştır. Bu sınıflandırmalardan en önemlilerinden ve geçerliliği en yüksek olanlardan birisi Hohenstein Araştırma Enstitüsü'nün yapmış olduğu sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmada akıllı tekstilleri 5 alanda sınıflandıran bir sistem oluşturmuştur (Meinander, 2005; Emek, 2004 ve Marculescu, vd., 2002).

1. Transfer sistemleri
2. Adapte olabilen sistemler
3. Akıllı giysiler
4. Aktarıcı sistemler
5. Mikroteknoloji ve nanoteknoloji

Tekstil uygulamalarında piezo esaslı farklı tür sensörler kullanılmaktadır. Bu sensörler;

Kuvvet sensörler

Kuvvet sensörleri, üzerine uygulanan statik veya dinamik kuvveti ölçmeye yarayan sensörler olarak ifade edilmektedirler. Farklı kuvvet çeşitleri bu tür yöntemler ile ölçülmektedir. Sürtünme kuvveti, basınç kuvveti, gerilim kuvveti, burulma kuvveti, vb. ölçülen kuvvetlerden bazılarıdır (Kuttan, 2007). Yapılan çalışmalarda farklı sensör çeşitleri kullanılmasına rağmen en fazla tercih edilen sensör türü direnç değişimi prensibine göre ölçümü yapılan sensörlerdir (Şekil 1). Bu dirençler içerisinde piezo yapıya sahip malzemeler yer almaktadır. Dirençteki değişim hesaplanarak ölçüm yapılmaktadır.



Şekil 1. Kuvvet sensörü (Kuvvet sensörü, 2018)

Nefes izleme sensörleri

Medikal alanda kullanılan sensör çeşididir. Akciğer solunum kontrolleri bu sensörler ile yapılmaktadır. Vücudun alt ve üst bölgelerine yerleştirilen bu sensör, üzerinde meydana gelen uzama kısalma değerleri ölçülerek tespit edilmektedir.

Gaz sensörleri

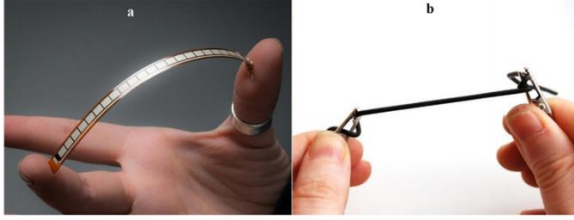
Bu sensörler ortamda yer alan gazları, miktarını, yoğunluğunu, vb. değerlerini ölçmek için kullanılan sensörlerdir. Her bir gaz için farklı bir sensör yer almaktadır. Bazen birkaç farklı gazı ölçen sistemler de piyasada yer almaktadır. Sensörlerin çalışma prensibi; ortamdaki yüzey alanını ve gözenekliliği algılama üzerinedir (Wei, 2012). Amperometrik oksijen sensörleri, potansiyometrik karbondioksit sensörleri, metal oksit yarı iletken alan etkili transistör, organik iletken polimerler ve piezo elektrik kristal sensörler gaz tespitinde kullanılmaktadır (Kress-Rogers ve Brimelow, 2001). Şekil 2'de çalışmalarda kullanılan bir sensör örneği yer almaktadır.



Şekil 2. Gaz sensörü (Gaz sensörü, 2018)

Büküm ve gerilme sensörleri

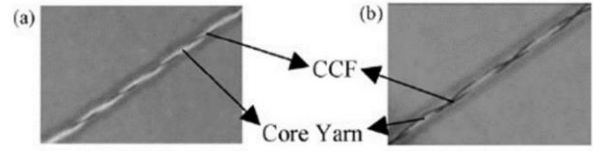
Büküm ve gerilme sensörlerinin çalışma prensibi; uygulanan basıncın oluşturduğu gerilimin meydana getirdiği potansiyel farkın ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bu sensörlerin farklı çeşitleri bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Büküm sensörü (a) ve Gerilme sensörü (b)
(Büküm ve gerilme sensörü, 2018)

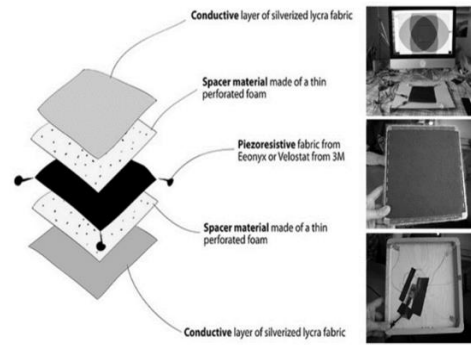
Tüm bu sensörlerin tekstilde kullanılması, teknolojinin ilerlemesi ve sensörlerin de boyutlarında meydana gelen küçülmeler neticesinde tasarım alanında birçok çalışma gerçekleştirilmiştir ve gerçekleştirilmeye devam edilmektedir.

Bu alanda; Koruyucu tekstiller ve nanoteknoloji hakkında araştırmalar yapmışlar (Thilagavati vd., Kannaian, 2008), sensörlerin kullanıldığı akıllı tekstiller hakkında bilgiler verilmiş ve savunma alanında yapılan çalışmaları örneklendirilmiş (Ramdayal ve Balasubramanian, 2013), akıllı tekstil tasarım örneklerini incelemişler, bu alanda yapılan sistemler hakkında bilgiler vermişlerdir. Sistemin avantaj ve dezavantajları hakkında araştırmalar yapmışlar, biyomedikal alanda kullanımı ile ilgili sonuçlara değinmişlerdir (Park ve Jayaraman, 2010). Giyilebilir sensörlü tekstil ürünlerinin bağlantı yöntemleri ve yapılmış uygulamalar hakkında bilgiler vermiş, yapılan sistemler hakkında değerlendirmelerde bulunmuş (Capineri, 2014), iki boyutlu piezoelektrik kuvvete dayalı sensörler hakkında bilgiler vermiş, kullanılan elektrotları araştırmış ve değerlendirmelerde bulunmuşlardır (Karaewski vd., 2013). İplik tabanlı piezo-resistive sensörler hakkında bilgiler vermişlerdir (Huang vd., 2008). Piezo dirençli sensör tabanlı ipliklerin tasarımı üzerine araştırma yapmış, akıllı tekstil kullanım alanları hakkında bilgiler vermiş (Huang vd., 2008), piezo dirençli iplikler üzerine çalışma gerçekleştirmiş (Huang, vd., 2008), piezo dirençli ipliklerde etki eden mekanik kuvvete karşı ipliğin gösterdiği dirençleri hesaplamışlardır. Piezo dirençli ipliklerin temel prensibi merkez bir ipliğe iletken başka bir ipliğin katlanmasıdır (Şekil 4). Piezo dirençli iplikler direk olduğu gibi dokunmuş olarak da kullanılabilirler. Bu çalışmalar sensörlerin iplik halinde kullanıldığı örnekler sınıfında yer almaktadırlar.



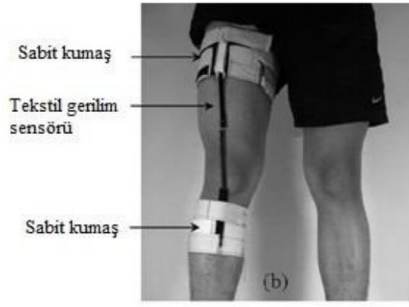
Şekil 4. Piezo iplik sensörlerin yapısı: (a) tek katlı ve (b) çift katlı (Huang, vd., 2008)

Piezo dirençlerin kullanıldığı klavye uygulaması da tekstilde diğer bir farklı kullanım alanı olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 5). Bu uygulamada iletken tabakalar arasına piezo dirençli kumaş yerleştirilerek dokunmaya duyarlı çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Piezo klavye, 2018). Kompozit yapılar sensörler yerleştirilerek deformasyonların ölçümünü gerçekleştirmiş (Nauman vd., 2011), dokuma sensör tasarımı gerçekleştirmiş ve dokunan bu sensörün özellikleri hakkında bilgiler vermiştir (Büscher vd., 2015).



Şekil 5. Piezo klavye uygulaması (Piezo klavye, 2018)

Dirsek ve diz hareketlerinin bükülme açılarını tespit etmek amacıyla giyilebilir tekstil yüzeyleri tasarlanmış (Shyr vd., 2014), tasarlanan giyilebilir sistem ile bükülme hareketleri yapılarak bu hareketlerin sisteme yerleştirilen dirençler vasıtasıyla oluşturduğu gerilimleri ölçmüştür (Şekil 6). Mekanik enerjinin vücut hareketleriyle elektrik enerjisine dönüştürülmesi üzerine araştırma gerçekleştirmiş (Lee vd., 2015), yerleştirilen sensörler vasıtasıyla piezoelektrik enerjisinin depolanması üzerine araştırma gerçekleştirmiş (Zhao ve You, 2014), duruş ve hareket yakalama sistemleri hakkında bilgiler vermiş (Lorussi vd., 2009), duruş ve hareket analizlerinin sensörlü sistemler ile belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmış, bu sensörü akıllı giysiler üzerine yerleştirmiş ve sistemin çalışma prensipleri hakkında bilgiler vermiş (Bartalesi vd., 2007), vücut hareketleri ve duruşlar üzerine araştırmalar gerçekleştirmiştir. Piezo sensörlerin kullanıldığı giyilebilir sistemleri araştırmışlardır. Prototip tasarımlar hakkında bilgiler vermişlerdir (Tognetti vd., 2007).



Şekil 6. Tasarlanan giyilebilir sistem (Shyr vd., 2014)

İnme rehabilitasyonu ve kardiyovasküler hastalıklarda kullanılmak üzere piezo dirençli sensörler yerleştirilerek bir tasarım gerçekleştirmiştir (Şekil 7). Çalışmada örme yapılar kullanılmıştır. Tasarımın kullanım için uygun olduğu ve üretiminin gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır (Pacelli vd., 2006).



Şekil 7. Piezo dirençli tasarım (Pacelli vd., 2006)

Nefes ritmini izlemişlerdir (Guo vd., 2013). Tasarlanan sensörlü giysi iletken iplikler ile bağlanarak sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Tasarlanan sistemin doğru sonuçlar verdiği test edilmiştir ve kullanılabilir bir sistem olduğu sonucuna varılmıştır. Sistemde bir işlemci kutusu da yer almaktadır. Uzaktan sağlık hizmetlerinde kullanılabilirliği de belirtilmiştir.



Şekil 8. Medikal alanda tasarlanan sistem (Guo vd., 2013)

Acil durum personelleri için akıllı giysi tasarlamıştır (Şekil 9) (Curone vd., 2010). Bu çalışmada hayati fonksiyonların (kalp, nefes, vücut sıcaklığı, kan oksijen seviyesi, aktivite ve hareketleri) izlenmesi amaçlanmıştır. Kullanılan sensörler vasıtasıyla değerler ölçülmekte ve kablosuz bir şekilde belirtilen yere iletilmektedir.



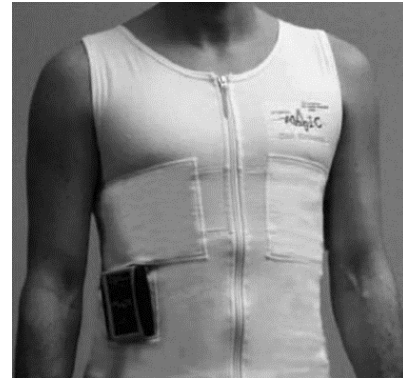
Şekil 9. The ProeTEX tasarımı (Curone vd., 2010)

Hastaların nefes alma verilerinin ölçülmesi, değerlendirilmesi ve iletimini amaçlanmıştır (Edmond vd., 2010). Tasarlanan sistem ile ölçülen verilerin uzaktan izlenmesi avantajı vardır. Tasarlanan sistem Şekil 10'da görülmektedir.



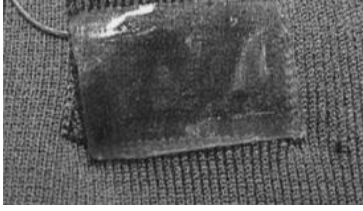
Şekil 10. Tasarlanan yelek (Edmond vd., 2010)

Hayati verilerin uzaktan izlenebilmesine olanak sağlayan bir tasarım gerçekleştirmiştir (Rienzo vd., 2010). Özellikle de kalp hastalarının uzaktan izlenmesi amaçlanmıştır. Tasarımda farklı sensörler kullanılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. MagIC elektronik tekstil tasarımı (Rienzo, 2010)

Medikal alanda kullanılan sensörler hakkında bilgiler vermiş (Şekil 12) ve hayati sinyallerin sensörler yardımıyla ölçülmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Scilingo vd., 2005).

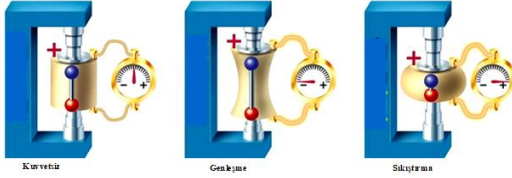


Şekil 12. Elektrotların vücut ile teması (Scilingo vd., 2005)

Medikal verilerin (hayati verilerin) uzaktan izlenesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir (O'Quigley vd., 2014). Bu çalışmalardan bazıları derleme niteliğinde bazıları ise prototip aşamasında veya kullanılabilir bir yapıda ürün ortaya çıkarmaktadır. Bizim yaptığımız bu çalışmada prototip tasarım gerçekleştirilmiştir.

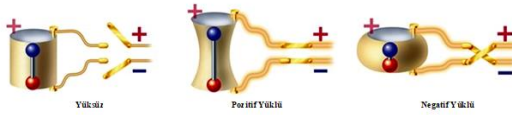
Piezelektrik Malzeme

Piezo kelimesi Latince kökenli olup ve bastırmak, basınç uygulamak anlamlarına gelmektedir. Piezelektrik ise kristal yapıdaki cisimlere dışarıdan uygulanan kuvvet ile doğru orantılı olarak elektrik üretme özelliğidir (Novetny vd., 2009). Piezelektriğin genel özelliği, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine veya tam tersi elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmesidir (Novotny vd., 2016; Edmiso vd., 2002).



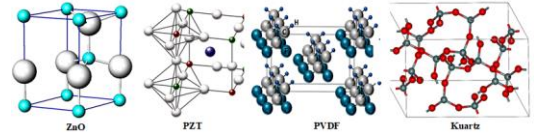
Şekil 13. Piezo olayı

Mekanik enerji ile elektrik üretme olayına piezo (Şekil 13); elektrik enerjisinden mekanik enerji üretme olayı ise ters piezo (Şekil 14) olarak ifade edilmektedir.



Şekil 14. Ters piezo olayı

Piezelektrik malzeme içerisinde farklı yapıda kristaller kullanılmaktadır. Piezelektrik malzemesinde kullanılan kristallerin ortak özelliği kristallerin simetri merkezine sahip olmamasıdır. Piezelektrik malzemesinde kullanılan kristaller; kursum-zirkonyum-titanyum (PZT), kuartz (SiO_2), turmalin-baryum-titanat (BaTiO_3), çinko oksit (ZnO) ve polivinilidin klorür (PVDF) 'dür (Yun vd., 2013). Piezelektrik malzemede kullanılan bazı maddelerin kristal yapısı aşağıda verilmiştir.



Şekil 15. Bazı piezo malzemelerin kristal yapısı

Piezelektrik malzemesinin kullanım alanları enerji dönüşüm yönüne göre iki bölümde incelenmektedir. Bunlar: Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmede kullanılan alanlar: Pikap kartuşu, mikrofonlar, titreşim algılayıcıları, radarlar, gaz ateşleyiciler ve sigortalardır.

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirmede kullanılan alanlar: Kulaklık, valfler, mikro pompalar, sonik dönüştürücüler ve ultrasonik temizleyicilerdir.

Led

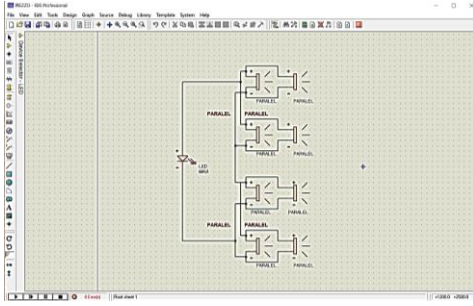
Led kelimesi İngilizce "Light Emitting Diode" kelimesinin kısaltılmış halidir ve ışık yayan diyot anlamına gelmektedir. Elektrik enerjisini, ışık enerjisine dönüştürebilen yarı iletken devre elemanlarıdır. Bu devre elemanlarının içerisinde elektrik enerjisini ışığa dönüştürebilen kimyasallar vardır. Kimyasal maddelerin türüne göre led'ler farklı renklerde ışıklar yayabilmektedir. Belirli bir çalışma gerilim aralığı vardır. Çalışması sırasında bu gerilim aralığından yüksek gerilimler uygulanması halinde led'in içerisindeki kimyasal yapı bozulur ve çalışmaz (Barczynski, 2011). Led'lerin endüstriyel veya aydınlatma amaçlı birçok kullanım alanı vardır. Hem DC gerilimle hem de AC gerilimle çalışabilme özelliğine sahiptir.



Şekil 16. LED'in ön ve arka görünümü

Proteus Benzetim Programı

Proteus benzetim programı elektrik, elektrik-elektronik ve elektronik mühendisleri tarafından yaygın olarak kullanılan bir modelleme programıdır. Bu programda kullanılan ara yüzler yardımıyla yeni devre tasarımları veya daha önce oluşturulmuş devrelerin analizleri yapılabilmektedir. Devreler için gerekli tüm malzemeler programın kütüphanelerinde yer almaktadır. Programın kullanıcı ara yüzü oldukça gelişmiştir ve bu durum kullanıcılara birçok kolaylık sağlamaktadır (Şekil 17). Bu program sayesinde gerçek uygulamaya gerek kalmadan devre tasarımları gerçekleştirilebilmekte ve devrelerin uygulanabilirlikleri incelenebilmektedir.



Şekil 17. Proteus benzetim programı ara yüzü

Gerilim Dönüştürücü

Piezzo elektrik tarafından üretilen elektrik enerjisinin ölçülerek kaydetmek için gerilim dönüştürücü ve veri kayıt cihazına ihtiyaç vardır. Gerilim dönüştürücü; enerji üreteçleri tarafından üretilen gerilimi elektrik sinyallerine çevirmektedir. Elektriksel sinyallere çevrilen gerilim değerleri veri kayıt cihazları yardımıyla kaydedilmektedir.

Gerilim dönüştürücü piezzo elektrik tarafından üretilen gerilimi, istenilen gerilim ve akım değerlerine indirebilmektedir. Gerilim dönüştürücünün hem DC hem de AC gerilimleri okuyabilme ve bu gerilim değerlerini istenilen gerilim veya akım değerine dönüştürme özelliğine sahiptir. Gerilim dönüştürücü ile herhangi bir ölçüm yapılmadan önce giriş ve çıkış değerleri manuel olarak ayarlanmaktadır. Gerilim dönüştürücünün fotoğrafı Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. Gerilim dönüştürücü

Gerilim dönüştürücünün bazı teknik özellikleri şunlardır:

- Çıkış ve giriş aralıkları ünitenin ön tarafındaki döner dalma anahtarları yardımıyla seçilebilmektedir.
- Beslenme gerilim aralığı 10-36 V DC
- 1500 Vrms izolasyon
- Dönüşüm hata oranı %0,2
- Çalışma sıcaklık aralığı -20° C ile +60° C
- AC ve DC gerilimleri istenilen gerilim değerine dönüştürebilme

Veri kaydedicisi

Piezzo elektrik tarafından üretilen gerilim değerleri, gerilim dönüştürücüde akım veya gerilime dönüştürüldükten sonra verilerin tekrar görülebilmesi için depolanması gerekmektedir. Gerilim dönüştürücüler tarafından 4-20 mA aralığındaki akıma dönüştürülen gerilimler veri kayıt cihazın da depolanmaktadır. Veri kayıt cihazının ayarları üzerinden verilerin kayıt sıklığı manuel olarak ayarlanabilmektedir.

Veri kayıt cihazının dâhili hafızası bulunmamaktadır, nedenle harici bir depolama aygıtı takılarak (USB) verilerin kaydedilmesi sağlanmıştır. Marka olarak EMKO veri kayıt cihazı kullanılmıştır. Veri kayıt cihazının 8 adet girişi mevcuttur. Veriler harici depolama alanına txt uzantılı dosya olarak kaydedilmektedir. Kayıt zamanı ve gerilim değeri bu dosya içerisinde yer almaktadır. Veri kayıt cihazının genel görünümü Şekil 19’da verilmiştir.



Şekil 19. Veri kayıt cihazı

Veri kayıt cihazının genel özellikleri şunlardır:

- 128 x 64 Grafik LCD ekran
- 8 analog giriş (Seçilebilir giriş türleri 0-20mA, 4-20mA ve 0-10Vdc)
- Röle veya tristör çıkışı
- Sensor hata algılayma
- Ayarlanabilir ofset
- Her kanal için 3 farklı alarm ve ön alarm tipi
- Kullanıcı tanımla kanal etiketleri

2. Literatür Taraması

Piezoelektrik etkisi ilk olarak 1880 yılında Pierre Curie ve Jacques Curie tarafından ortaya çıkmıştır. Mekanik bir etki altında kalan kristal piezo yapının elektriksel olarak polarize olabildiği tespit edilmiştir (Novetny ve Ronkanen, 2009). Bu çalışmanın ardından 1911 yılında Paul Langevin ve Robert William yüksek frekanslı ultrasonik dedektör yapmışlardır. Kristaller üzerine çalışmalar devam etmiş ve Fredrick R. Lack of Bell telefon laboratuvarlarında “AT-cut” kristali bulunmuştur. Bu kristal daha geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilmektedir. Kristallerin kullanım yerleri ve amaçları da çeşitlenmeye başlamıştır (Novotny ve Ronkanen, 2016).

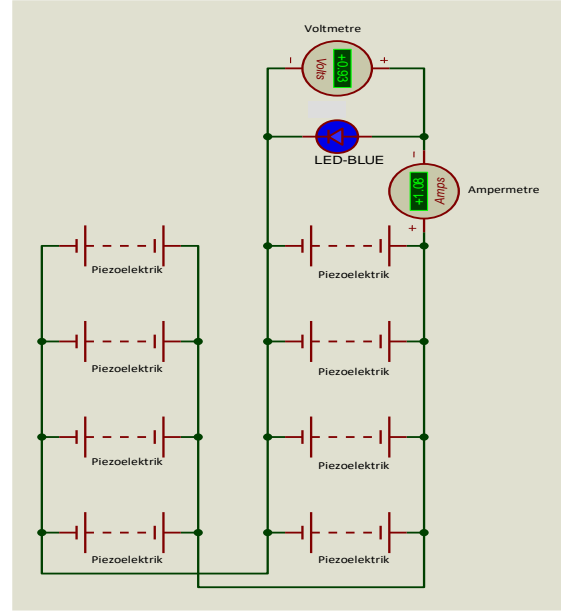
Piezo malzemeler; üzerine baskı uygulandığında gerilim oluşturan ve oluşan gerilimi elektriksel potansiyel farka dönüştüren malzemeler olarak bilinmektedirler. Oluşan gerilim belli bir dereceye kadar kabul edilebilir seviyededir. Bu seviyenin üzerinde ki gerilimler ise deformasyona sebep olmaktadır ve geri dönülemez bir etki yapmaktadır (Barczynski, 2011). Piezoelektrik materyallerde etki iki yönlüdür. Mekanik etki elektriksel etkiye dönüşmektedir ya da elektriksel etki mekanik etkiye dönüşmektedir. Tekstil alanında piezoelektrik malzemelerin kullanıldığı sensörlerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Edmison, Jones, Nakad ve Martin (2002) piezoelektrik materyallerin tekstilde kullanım alanları ve örnekleri hakkında bilgiler vermiş (Edmison vd., 2002), Yun, Yun S. (2013) enerji depolamada piezoelektrik malzemelerin kullanımı ile ilgili çalışmaları araştırmış ve deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir (Novotny vd., 2009; Yun ve Yun, 2013).

3. Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri;

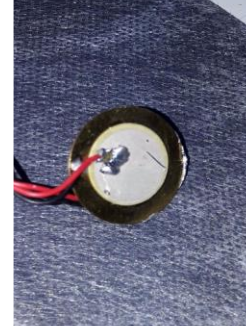
- Ayakkabı tabanına yerleştirilen kablolu 35mm çaplı piezo disk (Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek amaçlı). Bu materyal piyasadan satın alınmıştır.
- 5.5mm x 12.5mm boyutlarında, giysi üzerine dikilebilir Led (Üretilen enerjinin gösterilmesi amacıyla). Bu materyal piyasadan satın alınmıştır.
- Paslanmaz çelik elyaftan bükülmüş iletken iplikler. Direnci 28 Ohm / ft'dir. (Kullanılan materyallerin bağlantılarının sağlanması amacıyla). Bu materyal piyasadan satın alınmıştır.
- Gerilim dönüştürücü
- Veri kayıt cihazı

Günlük olarak kullanılan ışıklı ayakkabılar enerjilerini pil veya benzeri depolama sistemlerinden karşılamaktadır. Fakat bu ayakkabıların uzun süre kullanımlarında bu enerji depo birimleri yetersiz kalarak yürüyüşle beraber ışıklar yanmaz hale gelmektedir. Bu durum ayakkabıların estetik görünümünü bozan bir durumdur. Bu ayakkabılarda enerjinin bitmesi sorununu ortadan kaldırabilmek için piezoelektrik malzemesi kullanılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak piezoelektrik malzemelerin çalışma durumu incelemek için Proteus modelleme programı üzerinden devre modellemesi yapılmıştır. Modelleme yapılırken piezoelektrik malzemeleri paralel bir şekilde bağlanmış ve bir adet led takılmıştır. Devre de oluşan gerilimi ve akımı ölçmek için 1 adet voltmetre ve 1 adet ampermetre kullanılmıştır. Proteus benzetim programı üzerinde modellenen devre Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20. Modellenen Devre

Proteus benzetim programından elde edilen sonuçlarla devrenin çalışma durumu incelenmiştir. Daha sonra günlük hayatta kullanılan bir spor ayakkabı tabanı üzerinde aynı devre tasarımı gerçekleştirilerek piezoelektrik malzemeler ayakkabı tabanına yerleştirilmiştir (Şekil 21).



Şekil 21. Piezoelektrik malzemenin ayakkabıya yerleştirilmesi

Ayakkabı tabanında yer alan piezoelektrik materyallerin birbirleri ile olan bağlantıları Şekil 22'de görülmektedir.



Şekil 22. Piezoelektrik materyallerin bağlanması

Devrede piezoelektrik malzemelerin üzerine maksimum basınç uygulayabilmek için piezoelektrik malzemeler üzerine ek katmanlar atılmıştır (Şekil 23).



Şekil 23. Kullanılan ek katmanlar

Prototip ayakkabının yan tarafına bir adet mavi led yerleştirilmiştir. Tasarlanan sistemin çalışıp çalışmadığı test edilmiştir (Şekil 24).



Şekil 24. Led yerleştirme ve devre ile bağlantılarının oluşturulması

Tasarlanan sistem uygulanan basınç sonucunda ışık yaymaktadır (Şekil 25). Yapılan bu çalışma sayesinde ikinci bir enerji depolama ünitesine veya enerji kaynağına gereksinim duymadan ışıklı ayakkabı tasarımı yapılmıştır.



Şekil 25. Piezoelektrik uygulamalı ayakkabı tasarımı

3.1. Araştırma Bulguları

Yapılan devrenin çalışıp çalışmadığı öncelikle bilgisayar ortamında test edilmiştir. Devre ve devre elemanları çizilmiştir. Doğru bir sonuç alındıktan sonra bu devre elemanlarına uygun piyasa araştırılması yapılmıştır. Piyasadan toplanan malzemeler ile birlikte devre tasarımına geçilmiştir. Öncelikle devrenin prototipi yapılarak simülasyon ve prototip arasında fark olup olmadığı tespit edilmiştir ve fark olmadığı sonucuna varılmıştır. Prototip olarak tasarlanan devrenin elemanları kullanılarak bu elemanların ayakkabı içerisine yerleştirilmesi sağlanmıştır. Gerekli bağlantılar yapılmıştır ve

elektronik tekstil tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Piezzo elektrik tarafından üretilen güç değerlerini bulmak için bilinmesi akım (I), gerilim (V) ve direnç (R) değerlerinden en az ikisi bilinmek zorundadır. Rüzözo elektrik devresinde kullanılan direnç değeri 39 Ω (ohm) olarak seçilmiştir. Devreye uygulanan basınç değerleri farklı basınçlardan dolayı devre tarafından farklı gerilim değerleri okunmuştur. Bu gerilim değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Okunan gerilim değerleri

DİRENÇ (Ohm)	BASINÇ (kg)	GERİLİM (mV)
39 Ω	85	0,78
	82	0,72
	79	0,67
	75	0,58
	71	0,52
	67	0,47
	61	0,41

Piezzo element tarafından üretilen güç değerleri ise formülde verilen güç formülü ile bulunmaktadır.

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Formülde verilen P gücü ifade etmektedir ve birimi watttır. Gerilim (V) ve direnç(R) değerlerini güç formülünde yerleştirdiğimiz zaman Tablo 2'de ki sonuçlar elde edilmektedir.

Tablo 2. Elde edilen sonuçlar

DİRENÇ (Ohm)	GERİLİM (mV)	GÜÇ (µW)
39 Ω	0,78	0,0156
	0,72	0,0133
	0,67	0,0115
	0,58	0,0086
	0,52	0,0069
	0,47	0,0056
	0,41	0,0039

4. Sonuç ve Tartışma

Tekstil sektörü artan nüfus ihtiyaçlarını ve yükselen konforu sağlayabilmek amacıyla gelişen teknolojiler ile birlikte multidisipliner bir yapıya bürünmüştür. Bu dönüşüm sonucunda farklı terimler ortaya çıkmıştır. Tekstilde de katma değeri yüksek ürünler ön planda tutulmaya başlanmıştır. Elektronik devre elemanlarının kullanıldığı ürünler olarak tanımlanan elektronik tekstiller bu ürün grubunda yer almaktadır. Tasarım ve moda alanında bu tür çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır.

Çalışmada spor ayakkabı tasarımı geliştirilmiştir. Ayakkabı tabanına yerleştirilen ledler ve bağlanan devre elemanları ile insanların herhangi bir güç

kaynağına ihtiyaç duymadan yürüyüş esnasında ürettikleri enerjinin piezo devre elemanları ile elektrik enerjisine dönüşümü sağlanmıştır. Bu dönüşüm sonucu elde edilen enerji ledler ile görsel bir duruma getirilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda tasarımın;

Avantajlar;

- Güç kaynağına ihtiyaç duymadan enerji üretildiği,
- Devre elemanlarının tekstil ürünü içerisine düzgün bir şekilde gömüldüğü ve bağlantılarının yapıldığı,
- Maliyetinin düşük olması ve geliştirilebilir olmasıdır.

Dezavantajlar;

- Kullanılan malzemelerin kırılabilir bir yapıya sahip olması,
- Her ne kadar küçük malzemeler kullanılsa da daha küçük ve bükülebilir elektronik tekstil malzemelerinin gün geçtikçe piyasaya çıkması
- Dayanıklılıklarının düşük olması.

Yapılan çalışma bir prototiptir farklı tasarımlarla ve çeşitli devre elemanlarının eklenmesiyle geliştirilebilir bir yapıdadır. Elektronik tekstillerin son yıllarda önem kazanması ile birlikte bu çalışmanın da literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Tasarımın geliştirilmesi üzerine çalışmalar sürdürülmektedir. Çeşitli tasarımlarda da bu ve benzeri sitemlerin kullanılabileceği düşünülmektedir. Tasarım sürecinde işlevsellik, kullanılabilirlik ve estetik değerler ön planda tutulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen veriler yorumlanmıştır.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Appu Kuttan K. K. (2007). Introduction to Mechatronics (First edition). USA: Oxford University Press Publishing, 206.

Barczyński, R. J. (2011). Piezoelectrics. Politechnika Gdańska, 1-20.

Bartalesi, R., Lorussi, F., Tognetti, A., Tesconi, M., Zupone, G., Carbonaro, N. ve Rossi D. (2007). Wearable kinesthetic sensors for body posture and movement analysis. Journal of Biomechanics, No:40, ss. 425-5427.

BUTEKOM, (2014). Teknik tekstile geçişte model uygulamalar, teknik tekstil üretimine nasıl geçilir. "Tekstil ve konfeksiyon sektöründe ortak kuruluş

BUTEKOM" projesi, teknolojik değerlendirme raporu.

Büscher G. H., Kōiva, R., Schürmann, C., Haschke, R. ve Ritter, H. J. (2015). Flexible and stretchable fabric-based tactile sensor. Robotics and Autonomous Systems, No:63,ss.244-252.

Capineri, L. (2014). Resistive sensors with smart textiles for wearable technology: from fabrication processes to integration with electronics. Procedia Engineering, 87, 724-727.

Cherenack, K., Pieteron L. V. (2012). Smart textiles: Challenges and opportunities. Journal of Applied Physics 112, 091301.

Curone, D., Secco, E. L., Tognetti, A., Loriga, G., Dudnik, G., Risatti, M. Whyte, R., Bonfiglio, A. ve Magenes, G. (2010). Smart Garments for Emergency Operators: The ProeTEX Project. Ieee Transactions On Information Technology In Biomedicine, No:14, ss. 694-701.

Çelik Bedeloğlu, A. (2011). Şekil Hafızalı Alaşım ve Tekstil Malzemelerindeki Uygulamaları. Tekstil ve Mühendis, Sayı 18, No:83, ss. 27-37.

Dadi, H. H., Sweden, B. (2010). Literature Over View of Smart Textiles. Textilhögskolan Högskolan I Boras, Swedish School of Textiles, Master of Textile Technology, Examiner Nils Krister.

Edmison, J., Jones, M., Nakad, Z. ve Martin, T. (2002). Using piezoelectric materials for wearable electronic textiles. Paper presented at the First Proceedings of the 6th International Symposium on Wearable Computers, Washington, USA.

Edmond, M., Coyle, S., Connor, N. E., Diamond, D. ve Ward, T. (2010). Breathing feedback system with wearable textile sensors. IEEE, ss.1 -6.

Emek, A. (2004). Teknik Tekstiller Dünya Pazarı, Türkiye'nin Üretim ve İhraç İmkânları. T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı, İhracat Geliştirme Etüd Merkezi, Ankara.

Gaz sensörü, (2018) Erişim: https://www.google.com.tr/search?q=gaz+sens%C3%B6r%C3%BC&safe=active&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjS4prb4onbAhUGIjOKHYnhDxcQ_AUICigB&biw=1600&bih=769#imgrc=aTqyOPsyA84i_M

Guo, L., Berglin, L., Wiklund, U. ve Mattila, H. (2013). Design of a garment -based sensing system for breathing monitoring. Textile Research Journal, No:83, ss. 499-509.

Horrocks, A. R., Anand, S. C. (2000). Handbook of Technical Textiles. The Textile Institute, CRC Press, Boca Raton Boston Newyork Washington, DC,

- Woodhead Publishing Limited, Cambridge England.
- Huang, C. T., Tang, C. F., Shen C. L. ve Chang, S. H. (2008). A wearable yarn-based piezo-resistive sensor. *Sensors and Actuators A*, No:141,ss. 396-403.
- Huang, C. T., Tang, C. F., Lee, M. C. ve Chang, S. H. (2008). Parametric design of yarn-based piezoresistive sensors for smart textiles. *Sensors and Actuators A*, No:148,ss. 10-15.
- İTKİB Tekstil, Deri ve Halı Ar-Ge Şubesi İTKİB Genel Sekreterliği. (2018), Toplam Tekstil ve Hammaddeleri Sektörü 2018 Yılı Şubat Ayı İhracatı Performans Raporu, p.1-26.
- Karayianni, E. (2002). Space technology moves textiles 'smart'. *Smart Materials Bulletin*, Sayı 2002, No: 9, ss. 9-10.
- Krajewski, A. S., Magniez, K., Helmer R. J. N. ve Schrank, V. (2013). Piezoelectric force response of novel 2D textile based pvd sensors. *Ieee Sensors Journal*, No:13, ss.4743 -4748.
- Kress-Rogers, E., Brimelow, C. J. B. (2001). *Instrumentation and Sensors for The Food Industry*, UK: Woodhead Publishing, 581.
- Kuvvet sensörü, (2018) Erişim: https://www.google.com.tr/search?q=kuvvet+sens%C3%B6r%C3%BC&safe=active&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwis-eT94YnbAhUIOJoKHchrD0gQ_AUICigB&biw=1600&bih=769#imgsrc=AQtoeKMWaduivM
- Lee, S., Ko, W., Oh, Y., Lee, J., Baek, G., Lee, Y., Sohn, J., Cha, S., Kim, J., Park, J. ve Hong, J. (2015). Triboelectric energy harvester based on wearable textile platforms employing various surface morphologies. *Nano Energy*, No:12, ss.410-418.
- Lorussi, F., Galatolo, S. ve De Rossi, D. E. (2009). Textile-based electrogoniometers for wearable posture and gesture capture systems. *Ieee Sensors Journal*, No:9, ss.1014-1024.
- Marculescu, D., Marculescu, R. ve Khosla, P. K. (2002). Challenges and opportunities in electronic textiles modeling and optimization. *Design Automation Conference, Proceedings*. No:39, ss.175-180.
- Mecit, D., Ilgaz, S., Duran, D., Başal, G., Gülümser, T. ve Tarakçıoğlu, I. (2007). *Teknik Tekstiller ve Kullanım Alanları (Bölüm 1)*. Tekstil ve Konfeksiyon, ss. 79-82.
- Meinander, H. (2005). Smart and intelligent textiles and fibers. In Shishoo R (ed.) *Textiles in Sport*. Cambridge, UK, Woodhead Publishing in association with The Textile Institute and Boca Raton, FL, CRC Press.
- Müstakil Sanayici ve İşadamları Derneği (MÜSİAD) Araştırma Raporu: 58 (2009), *Teknik Tekstiller Genel ve güncel bilgiler*, Derleyen: Yrd. Doç. Dr. Kahraman Arslan, ISBN 978-975-7215-84-4, İstanbul, Mavi Ofset Basım Yayın Tic. San. Ltd. Şti.
- Nauman, S., Lapeyronnie, P., Cristian, I., Boussu, F. ve Koncar, V. (2011). Online measurement of structural deformations in composites. *Ieee Sensors Journal*, No:11,ss. 1329-1336.
- Novetny M., Ronkanen P., (2009). *Piezoelectric Actuators*
- Novotny M., Ronkanen P. *Piezoelectric Actuators*. (2016). Erişim: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftr.scribd.com%2Fdoc%2F127521971%2FPiezoelectric-Actuators&date=2016-04-27>. (27.04.2016).
- O'Quigley, C., Sabourin, M., Coyle, S., Connolly, J., Condall, J., Curran, K., Corcoran, B. ve Diamond, D. (2014). Characteristics of a Piezo-Resistive Fabric Stretch Sensor Glove for Home-Monitoring of Rheumatoid Arthritis. *Wearable and Implantable Body Sensor Networks Workshops (BSN Workshops), 2014 11th International Conference on*, ss. 23-26.
- Pacelli, M., Caldani, L. ve Paradiso, R. (2006). *Textile Piezoresistive Sensors for Biomechanical Variables Monitoring*. Paper presented at the First Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference, New York City, USA.
- Park, S., Jayaraman, S. (2010). Smart textile-based wearable biomedical systems: A transition plan for research to reality. *Ieee Transactions On Information Technology In Biomedicine*, No:14, ss. 86-92.
- Patel, P. C., Vasavada, D. A. ve Mankodi, H. R. (2012). *Applications of Electrically Conductive Yams in Technical Textiles*. IEEE, 1-6.
- Piezo Keyboard. *Piezoelectric*. (2016) Erişim: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ftechnologyisreadytowear.tumblr.com%2Fpost%2F38159279062%2Fpiezoresistive-fabric-touchpad-this-fabric&date=2016-04-27>. (27.04.2016)
- Ramdayal, K., Balasubramanian, K. (2013). Advancement in textile technology for defence application. *Defence Science Journal*, No:63,ss.331-339.
- Rienzo, M. D., Meriggi, P., Rizzo, F., Castiglioni, P., Lombardi, C., Ferratini, M. ve Parati, G. (2010). *Textile technology for the vital signs monitoring in*

- telemedicine and extreme environments. Ieee Transactions On Information Technology In Biomedicine, No:14, ss. 711-717.
- Scilingo, E. P., Gemignani, A., Paradiso, R., Taccini, N., Ghelarducci, B. ve Rossi, D. D. (2005). Performance Evaluation of Sensing Fabrics for Monitoring Physiological and Biomechanical Variables. Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on, Sayı 9, No: 3, ss. 345-352.
- Shyr, T. W., Shie, J. W., Jiang, C. H. ve Li, J. J. (2014). A textile-based wearable sensing device designed for monitoring the flexion angle of elbow and knee movements. Sensors, No:14,ss. 4050-4059.
- Stoppa, M., Chiolerio, A. (2014). Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review. Sensors, Sayı 14, No: 7, ss. 11957-11992.
- Stretch Sensor. Sensors. (2016) Erişim: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.adafruit.com%2Fproducts%2F182&date=2016-04-28>. (28.04.2016).
- T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2012), 81 İl Durum Raporu, Sanayi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Thilagavathi, G., Raja A. S. M. ve Kannaian, T. (2008). Nanotechnology and protective clothing for defence personnel. Defence Science Journal, No:58,ss. 451-459.
- Thorp, E. O. (1998). The Invention of the First Wearable Computer. ISWC '98 Proceedings of the 2nd IEEE International Symposium on Wearable Computers, IEEE Computer Society, p 4.
- Tognetti, A., Bartalesi, R., Lorussi, F. ve Rossi D. (2007). Body segment position reconstruction and posture classification by smart textiles. Transactions of the Institute of Measurement and Control, No:29, ss.215-253.
- Uçar, Serna. (2006). Teknik / Akıllı Tekstiller ve Tasarımda Kullanımları. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.
- Yalçınkaya, B., Yılmaz, D. (2011). Elektronik Tekstillerin, Tekstil Endüstrisindeki Yeri ve Giyilebilir Tekstilde Kullanılan İletken Lifler. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, Sayı 5, No. 1, ss. 61-71.
- Yun, D., Yun, S. (2013). Woven piezoelectric structure for stretchable energy harvester. Electronics Letters, No:49, ss.1-2.
- Wei, Qufu. (2012). Functional Nanofibers in Microelectronics Applications, UK: Woodhead Publishing, 396.
- Wulfhorst, B., Demir, A. ve Torun, A. R. (2003). Tekstil Üretim Yöntemleri, Şan Ofset, ISBN: 975-97055-1-6, İstanbul, ss.123-151.
- Zhao, J., You, Z. (2014). A shoe-embedded piezoelectric energy harvester for wearable sensors. Sensors, No:14, ss.12497-12510.