Çevre Dostu
Elektronik Tekstiller

Dr. Özlem Ak [*TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*

Giyilebilir elektronik tekstiller (e-tekstiller), kumaşın içine yerleştirilen sensör, pil veya ışık kaynağı gibi elektrikli bileşenler içerir ve moda sektöründe, profesyonel sporcuların giysilerinde ya da sağlık alanında insanların yaşamsal belirtilerini takip eden giysilerde kullanılabilir. Bu tür tekstil ürünlerinin dayanıklı, güvenli ve rahat olmasının yanı sıra tekstil atıklarının çevresel bir sorun olduğu günümüzde biyolojik olarak parçalanabilmeleri de büyük önem taşıyor.

Tasha Vector / iStock

Dünya nüfusunun hızla yaşlanması ve 2050 yılına kadar nüfusun neredeyse %22'sinin 60 yaşın üzerinde olacağı öngörüsü, küresel sağlık sistemini gelecekte önemli zorlukların beklediği anlamına geliyor. Yaşa bağlı olarak sağlık sorunlarının ve sağlık hizmetlerine yönelik talebin artması, yaşlı bireylerin sağlığını ve yaşam kalitesini yönetmek için etkili stratejiler gerektiriyor. Şu an kliniklerde ve hastanelerde, başucu monitörlerine bağlı bir dizi sensör ve kablo ile hastaların yaşamsal verileri takip ediliyor. Neyse ki e-tekstil teknolojilerindeki son gelişmeler, kolayca kurulup kullanılabilen ve birden fazla sinyalin eş zamanlı elde edilmesini sağlayan esnek, giyilebilir ve çok işlevli sensör sınıfının geliştirilmesine olanak sağlıyor. Son yıllarda çeşitli sinyalleri tek bir cihazla toplayabilen ve depolayabilen aynı zamanda farklı uyaranları tanımlama ve ayırt etme yeteneğine sahip çok işlevli giyilebilir e-tekstiller, özellikle kişiselleştirilmiş sağlık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Ancak giyilebilir e-tekstiller üretilirken elektronik bileşenlerin geleneksel tekstillere entegre edilmesi, bu tür elektronik atıkların (e-atık) kullanım ömrü sonunda geri dönüşümünü karmaşık hâle getiriyor.

Modern uygarlığın önemli bir parçası olan tekstil endüstrisi, petrol endüstrisinden sonra çevreyi en çok kirleten ikinci sektör olarak kabul ediliyor ve yılda yaklaşık 92 milyon ton tekstil atığı üretiliyor. Tekstil ürünlerinin neredeyse %95'i tamamen geri dönüştürülebilir olmasına rağmen yaklaşık %85'i çöp toplama alanlarına gönderiliyor.

E-atıklar metal, cam ve plastik gibi çeşitli malzemelerden oluşuyor ve her birinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin farklı olması nedeniyle özel geri dönüşüm yöntemleri gerektiriyor. Bu malzemelerin bileşiminde değerli elementler, ağır metaller ve halojenli organik bileşikler gibi insan sağlığı ve çevre için risk oluşturan tehlikeli maddeler bulunuyor. Bu da e-tekstil atıklarının geri dönüştürülmesindeki zorlukların daha da büyümesine neden oluyor. Örneğin değerli elementler, farklı özellikteki tekstil atıklarıyla iç içe geçmiş durumda bulunuyor ve katı atık olarak bertaraf ediliyor. Avrupa Birliği tarafından oluşturulan "Atık Elektrikli ve Elektronik Ekipman Yönergesi" (The Waste Electrical and Electronic Equipment Directive, WEEE Directive), bu yeni atık türünün geri dönüşümünü düzenlemekte yetersiz kalıyor. Bu nedenle çevre dostu malzemeler kullanılarak sürdürülebilir üretim süreçleriyle üretilen, herhangi bir olumsuz çevresel etkiye neden olmaksızın atık sahasında ayrıştırılabilen ve katma değerli ürünlere geri dönüştürülebilen yeni nesil akıllı giyilebilir e-tekstillere ihtiyaç duyuluyor.

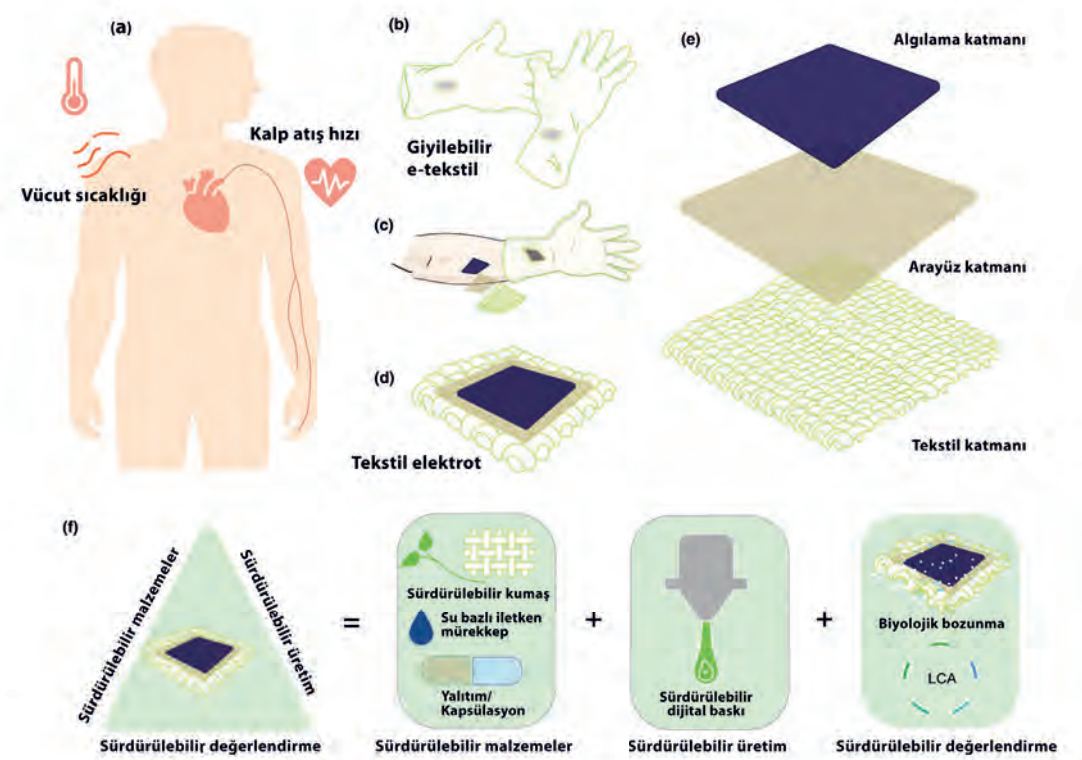
Atık Elektrikli ve Elektronik Ekipman Yönergesi (WEEE), atık elektrikli ve elektronik ekipmanlarla ilgili 2012/19/EU sayılı bir Avrupa Topluluğu Yönergesidir.

Bu ihtiyacı gidermeye yönelik çalışmalar yapan Southampton Üniversitesi ve Bristol, Batı İngiltere Üniversitesi (UWE) liderliğindeki bir araştırma ekibi, giyilebilir e-tekstillerin hem sürdürülebilir hem de biyolojik olarak parçalanabilir olabileceğini gösterdi. Çalışmayı yöneten Southampton Üniversitesi Winchester Sanat Okulundan Profesör Nazmul Karim, elektrikli bileşenlerin geleneksel tekstillere entegre edilmesinin, malzemenin geri dönüşümünü zorlaştırdığını çünkü genellikle gümüş gibi biyolojik olarak kolay bozunmayan metaller içerdiğini belirtiyor. Sürdürülebilir malzeme seçimi ve üretim yöntemine yönelik yeni nesil çevre dostu yaklaşımlarının kumaşın atıldığında ayrışmasını sağlayarak geri dönüşüm sorununun üstesinden geldiğini düşünüyor. Exeter,

Cambridge, Leeds ve Bath üniversitelerinin de dâhil olduğu, "Akıllı, Giyilebilir ve Çevre Dostu Elektronik Tekstiller" kısaca "SWEET" olarak adlandırılan çalışma, çevre dostu e-tekstil üretimi için mürekkep püskürtme ile baskı yönteminin kullanıldığı yeni bir yaklaşım sunuyor. SWEET, vücut sıcaklığı ve kalp atış hızı dâhil olmak üzere hayati belirtilerin sürekli ve gerçek zamanlı olarak izlenmesi için yeni nesil e-tekstillerin üretilmesine yönelik ilk sürdürülebilir yaklaşım olarak değerlendiriliyor.

Energy and Environmental Materials dergisinde yayımlanan makalede yeni geliştirilen e-tekstil tasarımının algılama katmanı, sensörlerle kumaş arasındaki bir arayüz katmanı ve tabanda bir kumaş tabakası olmak üzere üç katmandan oluştuğunu belirtiyor. Bu yöntemde kumaş katmanı biyolojik olarak parçalanabilir, yenilenebilir, yumuşak ve konforlu bir tekstil malzeme olan Tencel'den (odun hamuru selülozundan yapılmış bir kumaş markası) üretiliyor. Elektronik bileşenlerin üretiminde ise aktif elektronik olarak grafen, biyoelektronik malzeme olarak ise poli (3,4-etilendioksitiyofen) polistiren sülfonat (PEDOT.PSS) kullanılıyor.

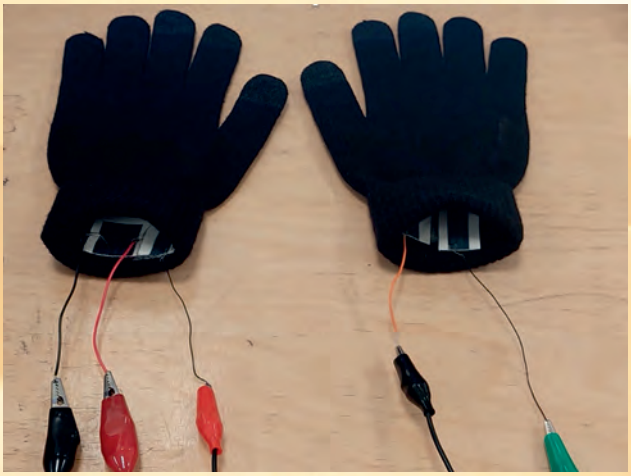
Bu elektronik malzemeler mürekkep püskürtmeli baskı yöntemi ile kumaşa entegre edildi. Baskı sürecinde doğrudan (maskesiz) desenleme yöntemi kullanıldı. İletken devreleri, sensörleri veya başka işlevsel katmanları bir yüzeye yerleştirmek için kullanılan bu yöntem ile mikro ve nano ölçekte desenleme yapılabiliyor. Yarı iletken ve mikro sistem teknolojilerinde de kullanılan yöntem yüksek çözünürlük, minimum malzeme israfı, çeşitli aktif malzemelerin kullanımına imkân vermesi ve alt tabakalarla uyumluluk gibi avantajlar sunuyor.



a) İki önemli yaşamsal belirti: Vücut sıcaklığı ve kalp atış hızı. b) Eldiven olarak giyilebilen e-tekstiller. c) Giyilebilir tekstil elektrotunun cilt yüzeyinde temas ettiği konum d) Tekstil elektrotu e) Tekstil elektrotlarının yapısı. f) Sürdürülebilir malzemeler, sürdürülebilir üretim ve sürdürülebilirlik değerlendirmesi dâhil olmak üzere giyilebilir e-tekstiller için sürdürülebilir tasarım yaklaşımı

E-tekstillerin çevresel etkilerini anlamak, ölçmek ve azaltmak için biyolojik bozunabilirlik ve yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) testleri ile sürdürülebilirlik analizlerinin yapılması gerekiyor.

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA)
Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), bir ürün veya hizmetin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini araştırmak ve ölçmek için kullanılır.



Algılama testi için e-tekstil örnekleri ve elektrik devre bağlantıları yapılmış olan eldivenler.

Araştırmacılar, beş gönüllü katılımcı ile insan fizyolojisinin sürekli izlenmesi için geliştirdikleri e-tekstil örneklerini test etti. Verileri izlemek için kullanılan ekipmanına bağlı olan kumaş parçaları, katılımcılar tarafından giyilecek eldivenlere takıldı. Sonuçlar, malzemenin hem kalp atış hızını hem de vücut sıcaklığını etkili ve güvenilir bir şekilde ölçebildiğini doğruladı. Exeter Üniversitesinde sürdürülebilir malzemeler konusunda çalışan ve makalenin ortak yazarlarından biri olan Doç. Dr. Shaila Afroj, çevre dostu malzemelerle sağlık verilerinin takip edildiği güvenilir bir sistem geliştirmenin önemli bir kilometre taşı olduğunu belirtiyor.

Proje ekibi daha sonra e-tekstillerin biyolojik olarak parçalanabilir özelliklerini ölçmek için toprağa gömdü. Dört ay sonra kumaş, kütlesinin %48'ini ve mukavemetinin %98'ini kaybetmişti. Bu veriler

Dört aylık ayrışmadan sonra farklı e-tekstil katmanları

nispeten hızlı ve etkili bir ayrışma sürecinin gerçekleştiğini gösteriyor. Ayrıca yaşam döngüsü değerlendirmesi, grafen bazlı elektrotların çevre üzerindeki etkisinin standart elektrotlarınkinin 40'ta biri kadar olduğunu ortaya koydu.

E-tekstillerin üretiminde daha sürdürülebilir bir yaklaşım sunan mürekkep püskürtmeli baskı süreci, geleneksel baskıya kıyasla neredeyse hiç malzeme israfı olmadan daha az su ve enerji kullanarak ihtiyaç duyulan sayıda fonksiyonel malzemeyi tekstillere basmayı mümkün kılıyor.

Araştırmacılar, SWEET'ten yapılmış giysilerin sağlık sektöründe özellikle de dünya çapında 640 milyon insanın muzdarip olduğu kalple ilgili hastalıkların erken teşhisinde kullanılabileceğini umuyor. Prof. Dr. Karim, atıklardan kaynaklanan çevresel kirliliğin arttığı bir dönemde çalışmalarının, e-tekstillerin biyolojik bozunması alanındaki araştırma eksikliğini gidermeye yardımcı olduğunu düşünüyor. Özellikle de sağlık alanında giderek daha önemli hâle gelecek olan bu malzemelerin hem üretim hem de bertaraf edilme süreçlerinin nasıl daha çevre dostu hâle getirilebileceğine yönelik çözümler geliştirmenin çok önemli olduğunun altını çiziyor. ■

Kaynaklar

https://www.sciencedaily.com/releases/2025/01/250102162522.htm
https://www.southampton.ac.uk/news/2025/01/environmentally-friendly-etextiles-technology.page
https://doi.org/10.1002/eem2.12854