

## GIYİLEBİLİR DOKU ELEKTRONİĞİ

Ceren TÜRKCAN\*

### ÖZ

Giyilebilir doku elektroniği; hastalıkların erken dönemde teşhisi ve teşhis edilen rahatsızlıkların tedavi süreçleri devam ederken tedavi etkinliğinin takibi hakkında hastaları ve hastaları takip eden doktorlar için güvenilir bilgiler sunabilmektedir. Hastalıkların erken dönemde teşhisinin yapılmasının yanı sıra ve hastalığın uzaktan takibinin güvenilir, hassas, pratik ve düşük maliyetli olarak yapılması temel amaçlar arasında yer almaktadır. Hastalar, giyilebilir doku elektroniği teknolojisini kullanarak günlük yaşam standartlarından ödün vermeden hastalık teşhisini ve takibini yapabilir hale gelmektedir. Bu cihazlar, mekanik hareket kısıtlamalarını ve uyumsuzluklarını azaltmak için epidermis üzerine uyumlu bir şekilde yerleştirilirken, aynı anda doğru, invazif olmayan, uzun vadeli ve sürekli izleme sağlanmaktadır. Giyilebilir doku elektroniği ürünler tarafından elde edilen veriler; kişiye, doktoruna ve cep telefonuna aktarılabilir. Bu sayede anında durum hakkında bilgi sağlanması yanında önceki veriler ile bir kıyaslama yapmak da mümkün hale gelmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Giyilebilir elektronik, doku elektroniği, giyilebilir teknoloji, IoT, BigData*

\*Makalenin Gönderim Tarihi :02.05.2021 ; Kabul Tarihi :07.06.2021; Makale Türü:Derleme,  
DOI.: 10.20854/bujse.931291

\*Sorumlu Yazar Beykent Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği/ Ayazağa, 34398 Sarıyer/İstanbul, cerenturkcan@beykent.edu.tr



## WEARABLE TISSUE ELECTRONICS

Ceren TÜRKCAN\*

### ABSTRACT

Wearable tissue electronics; It can provide reliable information for the patients and the doctors who follow the patients about the early diagnosis of diseases and the follow-up of the effectiveness of the treatment while the treatment processes of the diagnosed diseases continue. In addition to early diagnosis of diseases and remote monitoring of the disease, reliable, precise, practical and low cost are among the main objectives. By using wearable tissue electronics technology, patients are able to diagnose and monitor the disease without compromising their daily living standards. These devices are harmoniously placed on the epidermis to reduce mechanical movement restrictions and incompatibilities, while simultaneously providing accurate, non-invasive, long-term and continuous monitoring. Data obtained by wearable tissue electronics products; It can be transferred to the person, doctor and mobile phone. In this way, it is possible to provide information about the situation instantly, as well as to make a comparison with previous data.

**Keywords:** *Wearable electronics, Tissue electronics, Wearable technology, IoT, BigData*

## 1. Giriş

Deri, insan vücudunun en büyük organı olup, biyolojik sinyaller bakımından da çok zengindir. Deri üzerinde kullanılacak bazı elektronik cihazlarda deri ile benzer modüller olması gerektiği belirtilmektedir. Deri ile benzer kalınlık, termal kütle, elastik modül ve su buharı geçirgenliği gibi fiziksel özelliklere sahip bir dizi elektronik cihaz literatürde tanımlanmaktadır. Bu cihazlar hareket kısıtlamalarını ve uyumsuzlukları azaltmak için epidermis üzerine uyumlu bir şekilde yerleştirilmelidir (Li, H. ve ark; 2020). Yüzey kısmı deri ile uyumlu olması için yumuşak olarak tasarlanan sensörlerin imalatında son zamanlarda kaydedilen ilerlemeler, bu cihazların araştırma laboratuvarından klinik ortamlara geçişinin yaklaştığını göstermektedir (Xiang, L. ve ark; 2020).

Bu sistemlerin, klinik uygulamalar için sağlam ve güvenilir işlevler sağlamasına rağmen ciltle uyumluluğu anlamında çözülmesi gereken bazı noktalar olduğu yayınlarda ifade edilmektedir. Literatürde geliştirilen giyilebilir doku elektroniği ürünlerinin bazılarında cilt ile zayıf entegrasyon, uzun dönemde konfor kaybı ve buna bağlı olarak da sürekli uzun vadeli hassas izlemeye olanak tanımadığı belirtilmektedir (Ding, L. ve ark; 2020).

Cilt ile daha uyumlu olabilecek malzeme arayışı içerisinde en çok dikkati çeken materyaller polimerlerdir. Polimerler, sahip oldukları fiziksel ve mekanik özellikler nedeniyle giyilebilir teknolojiler için piyasada en uygun formların elde edilebileceği ürün grubu arasında yer almaktadır. Polimerler, düşük mekanik sertlikleri nedeniyle giyilebilir teknolojiler için en uygun platformları temsil etmektedir. Polimerik substratlarla entegre çok sayıda yumuşak, esnek elektronik cihaz, sağlık hizmetlerinin izlenmesi için biyolojik sinyalleri dijitalleştirilen platformlar olarak ortaya çıkmıştır (Shetti, N. P. ve ark; 2020).

Nihai amaç, doğruluk, güvenilirlik veya işlevsellikten ödün vermeden hastaların daha yüksek düzeyde konfor ve hareket kabiliyetini sağlarken mevcut tanı araçlarını tamamlamak ve hatta değiştirmektir (Liu, Y. ve ark;2017).

Esnek ve giyilebilir biyosensörler; hafiflik, biyoyumluluk, taşınabilirlik ve implante edilebilme gibi çeşitli avantajlara sahip olması nedeniyle araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Bu tip sensörler ile bir bireyin günlük aktiviteleri kesintiye uğratılmadan, vücut tarafından üretilen elektrokimyasal, termal, mekanik ve biyokimyasal sinyaller doku yüzeyinde yer alan biyosensör ile algılanarak sürekli olarak yakından

izlenebilir. Bu şekilde, insan vücudundaki hayatı sinyaller hızlı bir şekilde tespit edilir ve ölçülür. Bunun gibi ucuz, giyilebilir sistemlerin geliştirilmesi, hastalık teşhisi ve tedavisi için klinik cihazların tasarlanması büyük önem taşımaktadır (Park, S. ve ark; 2012; Trung, T. Q., ve Lee, N. E., 2016).

Bireyin günlük aktivitelerini izlemek için kullanılan esnek biyosensörler üç temel parçadan oluşur;

- 1) Tüm devreyi destekleyen ve aynı anda düzensiz yapılara uyan esnek bir alt tabaka
- 2) Elektrotlar veya aktif malzemeler
- 3) Analitleri tanımak için özel algılamaya elemanları (Khan, Y. ve ark; 2016).

Son zamanlarda, araştırmalar tek bir sensör ağına entegre edilmiş birden çok sensör sistemini içinde barındırmaktadır. İnsan vücudu, uyarı altında fiziksel bilgilerin yanı sıra kimyasal ve biyolojik sinyaller de üretebilmektedir. Bu nedenle sensör sistemlerinin aynı anda birden fazla uyarıyı ölçmesi gerekmektedir. Fiziksel, kimyasal veya biyolojik sensörlere sahip entegre sistemler aynı anda birçok parametreyi ölçülebilmeye anlamında büyük öneme sahiptir (Lee, S. ve ark; 2016).

Giyilebilir sensörlerin bir başka gereksinimi, biyosensörlerin tıbbi tedavi ve veri işleme sistemleriyle entegrasyonudur. Örneğin diyabeti eş zamanlı olarak tespit eden ve aynı zamanda tedavisi amacıyla glukoz miktarına ve ortamın pH değerine bağlı olarak çalışan entegre sistemler literatürde yer almaktadır (Yang, Y. ve ark; 2017).

İnsan dokusu üzerinde kullanılacak olan biyosensör sistemler esnek ve şekillendirilebilir oldukları takdirde doku ile daha uyumlu olarak çalışabilmektedir. Esnek ve uyumlu olma özellikleri, kullanılan giyilebilir ve implante edilebilir cihazlara hem biyofiziksel hem de biyokimyasal bilgilerin sürekli izlenmesi gibi çeşitli özellikler ekler. Bu sayede doku ile uyumluluk sağlandığından dolayı uzun süre cilt üzerinde durması herhangi bir problem teşkil etmez. Ev içi tanı ve tedaviler için biyoyumlu olma özelliği oldukça önemlidir, biyoyumluluk sağlandığı sürece giyilebilir teknoloji uygulanabilir. Eş zamanlı olarak impante edilen ve giyilebilen elektronik cihazlar kişiselleştirilmiş sağlık ürünlerinin ilk örnekleri olacaktır. Yumuşak giyilebilir/implante edilebilir sistemler, özellikle klinik cerrahide büyük önem taşımaktadır (Yuan, H. ve ark; 2020). Örneğin; kalp yetmezliği tedavisinde, nakledilen hücrelerin canlılığını artırmak için, Zhang ve ark. koroner arter tıkanmasını önlemek için biyolojik olarak parçalanabilen bir elastomeren yapılmış yumuşak bir iskele geliştirmiştir (Pang, Y. ve ark; 2020).

Bunların yanı sıra sinir rejenerasyonu, implante edilebilir elektronikler için bir başka önemli terapötik uygulamadır. Spor, trafik kazaları gibi nedenlerden oluşan yaralanmalarda insan vücudunda meydana gelen periferik sinirler zarar görebilir. Periferik sinirleri yenilemek için fizik tedavi veya cerrahi müdahale gerekebilir (Liu, L. ve ark; 2020).

Siyatik sinirin etrafına sarılan implante edilmiş biyoemilebilir sinir stimülatörleri kullanılarak sıçanlar üzerinde günlük elektrik stimülasyon tedavisi uygulanmıştır. Cerrahi sonrası iyileşmenin erken aşamalarında sinir rejenerasyonu için elektrik stimülasyonunun etkinliğini doğrulamış olup, elektroterapinin hücre rejenerasyon kapasitesi, sinir rejenerasyonu, yara iyileşmesi ve hücre proliferasyonu da dahil olmak üzere çeşitli klinik uygulamalara hitap ettiği ortaya konmuştur (Song, Y. ve ark; 2019).

## 1. GİYİLEBİLİR DOKU ELEKTRONİĞİNDE TERMAL ETKİ

Biyolojik dokularla entegre edilmiş giyilebilir elektroniklerde istenmeyen ısıtma, termal rahatsızlığa ve hatta biyolojik dokularda termal hasara neden olabilir. Alt tabaka esnekliğinden ödün vermeden ısı akışını değiştirme, aşırı ısı enerjisini verimli bir şekilde emme işlemi yeni bir termal koruyucu alt tabaka tasarımı ile yapılabilmektedir (Gu, Y. ve ark; 2019). Bir başka açıdan ise dokulara entegre edilerek ısıtma veya soğutma işlemleri de yapılabilmektedir. Domuz derisi üzerinde uygulanan giyilebilir bir ısıtıcıda maksimum cilt sıcaklığını düşürme, giyilebilir elektroniklerin pratik uygulamalarını mümkün kılma ve biyolojik dokuların termal korumasını gerektiren biyo-entegre uygulamaları konusunda kapasite gösterilmektedir (Hu, X. ve ark; 2019).

Geliştirilen mekanik tasarımlar ve malzemeler, fizyolojik sinyallerin aktif ve doğru ölçümü için insan cildi ile uyumlu, yüksek performanslı giyilebilir elektronik cihazlara olanak sağlamıştır. Deneylerde bu giyilebilir elektronik cihazlar başarılı gözükmesine rağmen, çalışma sırasında işlevsel bileşenlerin ısınması, termal rahatsızlığa veya hatta cilde termal hasara ve performansın düşmesine neden olabilir (Hao, M. ve ark; 2019). Giyilebilir elektronik cihazların olumsuz termal etkilerini azaltmak için sıvı alaşım/polimer kompozit tasarımı, nanotel veya nanopartikül/polimer kompozit tasarımı ve metalik ısı emici tasarımı dahil olmak üzere hassas yüzey tasarımları yapılmıştır. Bu tasarımlar termal iletkenliği artırarak ısı dağılımını geliştirmiştir. Yüksek termal iletkenlik, cihaz sıcaklığını düşürür ancak cilde daha fazla ısı dağılımına izin verir (Shi, Y. ve ark; 2019).

## 2. SENSÖRLÜ GİYİLEBİLİR YAMALAR

Sağlıkta sensörlü giyilebilir yama teknolojilerine bakıldığında kullanım alanının çok geniş olduğu görülmektedir (Büyükgöze, S.) Sürekli olarak diyabet gibi takibi yapılması gereken hastalıkların tedavisinde büyük önem taşımaktadır. Bunun haricinde kademeli sigara bırakma, deriye ulaşan UV ışınlarını ölçebilme, düzenli olarak ateşi takip edebilme, kanda var olan alkol miktarını ölçebilme, tansiyonu, stresi ölçebilme gibi eylemler için birçok sensör yaması kullanılmaktadır (Büyükgöze, S. ve Dereli, E.; 2019). Mobil uygulama sayesinde geçmişte bulunan bu verilere ulaşılabilmektedir (IoT). Bu sayede hastalık takibi yapılabilmekte ve bağımlılıkların ne derece değiştiği gözlemlenebilmektedir (BigData) (He, W. ve ark; 2019). İleride bu toplanan veriler, ilaç keşfinde ya da hastalık tanısının daha kolay bir şekilde konmasında kullanılacaktır. Bu da insanların hastalıkları henüz ortaya çıkmadan tahmin edilmesinde ve hastalığın önlenmesinde önemli rol oynayacaktır (Büyükgöze, S.). Hastalık süreçlerini kontrol edebilmek için sensörlü giyilebilir yamalar akıllı saat ya da diğer akıllı uygulamalar ile günlük hayatta yer alacağı düşünülmektedir (Dmitrov, D. K. ve ark; 2019).

## 3. GİYİLEBİLİR CİHAZLAR VE AKILLI TELEFONLAR ARACILIĞI İLE AKTİVİTE TANIMA

Akıllı telefonlar ve giyilebilir cihazlar geliştiği için son yıllarda aktivite tanıma çalışmalarını hız kazanmıştır (Iskanderov, J. ve Güvensan, M. A.; 2019). Devamlı olarak kamera ile görüntülenmesi ve hareketlerinin gerçek zamanlı izlenmesi gereken görüntü bazı yöntemler için taşınabilirlik, kullanıcı mahremiyeti, fiyat ve uygulanabilirlik gibi yöntemler ergonomik değildir (Yan, S. ve ark; 2016). Bu sensörler, kamera kullanımında meydana gelen dezavantajları azaltmaktadır (Iskanderov, J. ve Güvensan, M. A.; 2019). Cihazlardaki dahili sensörler bunu, diğer yöntemlere nazaran daha uygulanabilir hale getirmiştir (Laguna, J. O. ve 2011). Akıllı telefonlar, akıllı saatler ve giyilebilir cihazlar taşınabildikleri için, aktivite tanıma kullanımında oldukça uygundur (Walse, K. H. ve ark; 2016) Özellikle bazı akıllı saatlerde günlük spor aktivitelerini bile planlamak için uygulamalar bulunmaktadır. Bu uygulamalar aracılığı ile kişi önceden yapacağı aktiviteyi planlayabileceği gibi, planlanmış olduğu aktivite sırasında o aktiviteyi kaydetmek için de cihaz arka planda çalışmakta ve yapılan egzersiz türüne göre kalori ve nabız başta olmak üzere tekrar sayısı, hızı, oksijen kullanımı gibi parametreleri de kaydedebilmektedir.

#### 4. GİYİLEBİLİR ELEKTRONİK ALGILAMA SİSTEMİ

Giyilebilir elektrokimyasal sistemlerde sistem hep bir biyobelirteç üzerinden algılama yaptığı için önemli olan kısım aslında burasıdır. Özellikle giyilebilir teknoloji ürünlerinde deri üzerinden analiz yapılan sistemlerde, deriden hedef molekül reseptör aracılığı ile algılanarak elektrokimyasal sistem sayesinde sayısal bir veriye dönüştürülür. Yüksek doğrulukta biyobelirteç ile ilgili veri toplayabilmek için deri ile temas eden kısmın seçicilik, hassasiyet, doğruluk gibi validasyon parametreleri dahilinde ölçüm yapması iyi bir mühendislik sonucu elde edilebilir (Erol, A. D. ve Çetiner, S.; 2017) Epidermis ile doğrudan temas ile bilgi toplayan giyilebilir fiziksel sensörlerin aksine, elektrokimyasal sensörlerin biyobelirteç verilerini hedeflemek için epidermal olarak alınan biyo akışkanla doğrudan etkileşime girmesi gerekir (Uçar, A. ve Özalp, R.; 2017) Hedef bilgi ortamındaki bu farklılık, temelde farklı bir tasarım mantığı ve metodolojisi gerektirir (Dey, A.; 2018) Elektrokimyasal algılama için, bilgi iletim yolu, biyomarker açısından zengin biyoakışkanın bir mikroakışkan yapı içinde sensör yüzeyine örneklenmesi ve iletilmesinden, ardından sensör yüzeyinde sinyal iletimi ve ara bağlantı elemanlarından oluşur. Biyobelirteç bilgilerinin aslına uygunluğunu korumak için, hareketin neden olduğu gerilim varlığında sinyal bu yol boyunca korunmalıdır (Dey, A.; 2018)

#### 5. GİYİLEBİLİR ELEKTRONİKLER İÇİN KABLOSUZ SENSÖRLERDE SON GELİŞMELER

Elektronik deri, biyomolekülleri tespit etmek ve vücuttaki hastalıkları teşhis etmek için kullanılır. Son yıllarda özellikle diyabet hastalığı ve ter bezlerinden hastalık teşhisi üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Omer, A. E. ve ark; 2020).

İnsan vücudundaki toplam bez sayısı 100'e kadar çıkmaktadır ve ter vücuttaki kimyasalların algılanmasında önemli bir rol oynamaktadır. PH analizi, pH'a duyarlı boyaların renk değişimini ölçmek için fotodiyotların ve LED'lerin kullanılması ve ardından LC rezonatörlerinin kullanılması olarak çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir (Erol, A. D. ve Çetiner, S.; 2017). Bugüne kadar, ter temelli sağlık bakım cihazları, elektrokimyasal cihazların düşük maliyetli, yüksek performanslı ve mükemmel taşınabilirliği nedeniyle tercih edilmiştir (Jia, W.; 2018)

Piyasada kan şekeri seviyelerini kontrol etmek için invaziv ve minimal invaziv yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. İnvaziv cihazlar, nitroselüloz membran üzerindeki şeritte parmak ucundan alınan bir damla kan örneği içerisindeki glukozun analiz edilmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu tür teknolojiler ağır

olabilmekte ve enfeksiyon riski oluşturabilmektedir. Bu durum günlük ölçümlerin yetersiz olmasına neden olabilir (Omer, A. E. ve ark; 2020). Öte yandan, şu anda mevcut olan CGM'lerin (sürekli glukoz takip), kan damarları gerçekte delinmediği, bunun yerine kol veya karın duvarına küçük bir iğne itilerek sensör interstisyel sıvı (ISF) ile subkutan olarak temas ettirilen sistemler minimal invaziv olarak tanımlanmaktadır (Karpova, E. V. ve ark; 2019). Bu nedenle, bu sensörler, ISF'deki glukoz seviyesini birkaç dakikada ölçerler. Verileri işleyen ve glukoz ölçümlerini görüntüleyen bir alıcıya ölçümleri sık sık kablosuz sinyallerle göndermek için implante edilmiş sensörün dışına bir verici takılır. Oldukça değerli olmasına rağmen, mevcut minimal invaziv CGM'lerin çoğu, doğruluk veya sürdürülebilirlik konusunda sorunlara sahiptir ve bu nedenle uzun vadede herhangi bir yan etkiden kaçınmak için bir başka ölçüm cihazı ile birlikte kombine edilerek kullanılması önerilir (Lin, T. ve ark; 2017).

#### 6. GİYİLEBİLİR TEKNOLOJİNİN SAĞLIK HİZMETLERİNDE ULUSAL FAYDALARI

Giyilebilir teknoloji, toplumsal ve ulusal boyutta da faydalar sağlamaktadır (Aydın, S. ve Aydın, M.; 2016). Hasta gruplarındaki eğilimlerin izlemesiyle tıp geliştirilir, ilaç şirketleri bu verileri kullanarak klinik deneyler yapabilirler (Vogenberg, F. R. ve Santilli, J.; 2018). Sağlanan veriler ile sağlık hizmet maliyetleri iyi kontrol edilebilir ya da geri ödeme kullanılabilir (Main, T. ve Slywotzky, A.; 2014). Bu şekilde sağlık hizmet maliyetleri düşürülebilir (Main, T. ve Slywotzky, A.; 2014). İleride birçok ülke için sağlık hizmet verisinin ulusal bir altyapı haline gelerek önemli derecede ülke finansmanını etkileyeceği düşünülmektedir (Teng, X.-F. ve ark; 2008). Bunların haricinde ilaç şirketleri, daha iyi tedaviler geliştirmek ve bunları daha hızlı piyasaya sürmek için bu veriyi kullanarak hastalar ve sağlık sistemi ile tamamen işbirliği içinde olacaklardır (Leonhardt, S.; 2006).

#### SONUÇ

Belirli mikro ortamlar tarafından üretilen elektriksel veya kimyasal sinyalleri izleyebilen ve ölçebilen esnek ve gerilebilir biyosensörler büyük ilgi görmektedir. Deriye veya dokuya yakın bir şekilde takılabilen giyilebilir doku elektronikleri, tıbbi teşhis ve tedavi için yeni bir fırsat sağlamaktadır. İnsan vücudundan veri toplayabilen minyatürleştirilmiş, tamamen entegre, kendi kendine çalışan biyoelektronik cihazlar, uzun vadeli ve kişiselleştirilmiş tedaviler için umut verici çözümler sunmaktadır. Giyilebilir/implante edilebilir yumuşak elektronik cihazlar ve bunların ilaç dağıtımından doku rejenerasyonuna kadar değişen terapötik uygulamaları yapılmaktadır. Son yıllarda esnek ve giyilebilir sistemler için malzeme ve üretim süreçlerinin tasarımında da muazzam ilerleme kaydedilmektedir.

**KAYNAKLAR**

AYDAN, S.; AYDAN, M., Sağlık Hizmetlerinde Bireysel Ölçüm ve Giyilebilir Teknoloji: Olası Katkıları, Güncel Durum ve Öneriler. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi 2016, 19 (3).

Büyükgöze, S., Sağlık 4.0'da Giyilebilir Teknolojilerden Sensör Yamalar Üzerine Bir İnceleme. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (17), 1239-1247.

Büyükgöze, S.; Dereli, E., Toplum 5.0 Ve Dijital Sağlık. VI. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi-Fen ve Sağlık 2019, 07-10.

Chen, L.; Milligan, B.; Qu, T.; Jeevananthan, L.; Shaker, G.; Safavi-Naeini, S., Cellular Wireless Energy Harvesting for Smart Contact Lens Applications [Education Corner]. IEEE Antennas and Propagation Magazine 2018, 60 (5), 108-124.

Dey, A., Semiconductor metal oxide gas sensors: A review. Materials Science and Engineering: B 2018, 229, 206-217.

DIMITROV, D. K.; NIKOLOSKI, D.; YILMAZ, R., International Balkan and Near Eastern Social Sciences Congress Series XI. IBANESS Congress Series-Tekirdağ/TURKEY. 2019.

Ding, L.; Wang, Y.; Sun, C.; Shu, Q.; Hu, T.; Xuan, S.; Gong, X., Three-Dimensional Structured Dual-Mode Flexible Sensors for Highly Sensitive Tactile Perception and Noncontact Sensing. ACS applied materials & interfaces 2020, 12 (18), 20955-20964.

EROL, A. D.; ÇETİNER, S., Giyilebilir Elektronik/Akıllı Tekstiller ve Uygulamaları. Kahramanmaraş Sütcü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2017, 20 (1), 1-20.

Gu, Y.; Zhang, T.; Chen, H.; Wang, F.; Pu, Y.; Gao, C.; Li, S., Mini review on flexible and wearable electronics for monitoring human health information. Nanoscale research letters 2019, 14 (1), 1-15.

Hao, M.; Li, L.; Wang, S.; Sun, F.; Bai, Y.; Cao, Z.; Qu, C.; Zhang, T., Stretchable, self-healing, transient macromolecular elastomeric gel for wearable electronics. Microsystems & nanoengineering 2019, 5 (1), 1-10.

He, W.; Wang, C.; Wang, H.; Jian, M.; Lu, W.; Liang, X.; Zhang, X.; Yang, F.; Zhang, Y., Integrated textile sensor patch for real-time and multiplex sweat analysis. Science advances 2019, 5 (11), eaax0649.

Hu, X.; Dou, Y.; Li, J.; Liu, Z., Wearable Electronics: Buckled Structures: Fabrication and Applications in Wearable Electronics (Small 32/2019). Small 2019, 15 (32), 1970169.

ISKANDEROV, J.; GÜVENSAN, M. A., Akıllı telefon ve giyilebilir cihazlarla aktivite tanıma: Klasik yaklaşımlar, yeni çözümler. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences 2019, 25 (2).

Jia, W., Continuous glucose monitoring. Springer: 2018.

Karpova, E. V.; Shcherbacheva, E. V.; Galushin, A. A.; Vokhmyanina, D. V.; Karyakina, E. E.; Karyakin, A. A., Noninvasive diabetes monitoring through continuous analysis of sweat using flow-through glucose biosensor. Analytical chemistry 2019, 91 (6), 3778-3783.

Khan, Y.; Ostfeld, A. E.; Lochner, C. M.; Pierre, A.; Arias, A. C., Monitoring of vital signs with flexible and wearable medical devices. Advanced Materials 2016, 28 (22), 4373-4395.

- Laguna, J. O.; Olaya, A. G.; Borrajo, D. In A dynamic sliding window approach for activity recognition, International Conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization, Springer: 2011; pp 219-230.
- Lee, S.; Reuveny, A.; Reeder, J.; Lee, S.; Jin, H.; Liu, Q.; Yokota, T.; Sekitani, T.; Isoyama, T.; Abe, Y., A transparent bending-insensitive pressure sensor. *Nature nanotechnology* 2016, 11 (5), 472-478.
- Leonhardt, S., Personal healthcare devices. In *AmIware Hardware Technology Drivers of Ambient Intelligence*, Springer: 2006; pp 349-370.
- Li, H.; Wang, Z.; Cao, Y.; Chen, Y.; Feng, X., High-Efficiency Transfer Printing Using Droplet Stamps for Robust Hybrid Integration of Flexible Devices. *ACS Applied Materials & Interfaces* 2020.
- Lin, T.; Gal, A.; Mayzel, Y.; Horman, K.; Bahartan, K., Non-invasive glucose monitoring: A review of challenges and recent advances. *Curr. Trends Biomed. Eng. Biosci* 2017, 6 (5), 001-008.
- Liu, L.; Yang, X.; Zhao, L.; Xu, W.; Wang, J.; Yang, Q.; Tang, Q., Nanowrinkle-patterned flexible woven triboelectric nanogenerator toward self-powered wearable electronics. *Nano Energy* 2020, 73, 104797.
- Liu, Y.; Pharr, M.; Salvatore, G. A., Lab-on-skin: a review of flexible and stretchable electronics for wearable health monitoring. *ACS nano* 2017, 11 (10), 9614-9635.
- Main, T.; Slywotzky, A., *The Patient to Consumer Revolution*. Oliver Wyman. Accessed November 2014, 12.
- Main, T.; Slywotzky, A., *The Patient-to-Consumer Revolution: How High-tech, Transparent Marketplaces, and Consumer Power Are Transforming US Healthcare*. Retrieved March 2014, 18, 2014.
- Omer, A. E.; Shaker, G.; Safavi-Naeini, S.; Kokabi, H.; Alquié, G.; Deshours, F.; Shubair, R. M., Low-cost portable microwave sensor for non-invasive monitoring of blood glucose level: novel design utilizing a four-cell CSRR hexagonal configuration. *Scientific Reports* 2020, 10 (1), 1-20.
- Pang, Y.; Yang, Z.; Yang, Y.; Ren, T. L., Wearable electronics based on 2D materials for human physiological information detection. *Small* 2020, 16 (15), 1901124.
- Park, S.; Wang, G.; Cho, B.; Kim, Y.; Song, S.; Ji, Y.; Yoon, M.-H.; Lee, T., Flexible molecular-scale electronic devices. *Nature nanotechnology* 2012, 7 (7), 438-442.
- Shetti, N. P.; Mishra, A.; Basu, S.; Mascarenhas, R. J.; Kakarla, R. R.; Aminabhavi, T. M., Skin-patchable electrodes for biosensor applications: a review. *ACS Biomaterials Science & Engineering* 2020, 6 (4), 1823-1835.
- Shi, Y.; Wang, C.; Yin, Y.; Li, Y.; Xing, Y.; Song, J., Functional soft composites as thermal protecting substrates for wearable electronics. *Advanced Functional Materials* 2019, 29 (45), 1905470.
- Song, Y.; Min, J.; Gao, W., Wearable and implantable electronics: moving toward precision therapy. *ACS nano* 2019, 13 (11), 12280-12286.
- Teng, X.-F.; Zhang, Y.-T.; Poon, C. C.; Bonato, P., Wearable medical systems for p-health. *IEEE reviews in Biomedical engineering* 2008, 1, 62-74.

Trung, T. Q.; Lee, N. E., Flexible and stretchable physical sensor integrated platforms for wearable human activity monitoring and personal healthcare. *Advanced materials* 2016, 28 (22), 4338-4372.

Uçar, A.; Özalp, R., Efficient android electronic nose design for recognition and perception of fruit odors using Kernel Extreme Learning Machines. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 2017, 166, 69-80.

Vogenberg, F. R.; Santilli, J., Healthcare trends for 2018. *American health & drug benefits* 2018, 11 (1), 48.

Walse, K. H.; Dharaskar, R. V.; Thakare, V. M., A study of human activity recognition using AdaBoost classifiers on WISDM dataset. *The Institute of Integrative Omics and Applied Biotechnology Journal* 2016, 7 (2), 68-76.

Xiang, L.; Zeng, X.; Xia, F.; Jin, W.; Liu, Y.; Hu, Y., Recent Advances in Flexible and Stretchable Sensing Systems: From the Perspective of System Integration. *ACS nano* 2020, 14 (6), 6449-6469.

Yan, S.; Liao, Y.; Feng, X.; Liu, Y. In Real time activity recognition on streaming sensor data for smart environments, 2016 International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC), IEEE: 2016; pp 51-55.

Yang, Y.; Yang, X.; Tan, Y.; Yuan, Q., Recent progress in flexible and wearable bio-electronics based on nanomaterials. *Nano Research* 2017, 10 (5), 1560-1583.

Yuan, H.; Wang, G.; Zhao, Y.; Liu, Y.; Wu, Y.; Zhang, Y., A stretchable, asymmetric, coaxial fiber-shaped supercapacitor for wearable electronics. *Nano Research* 2020, 13, 1686-1692.