

Akıllı Giyilebilir Hasta Takip Sistemleri

Smart Wearable Patient Tracking Systems

Fatma Patlar Akbulut¹, Aydın Akan²

¹ Bilgisayar Mühendisliği
İstanbul Kültür Üniversitesi
f.patlar@iku.edu.tr

² Elektrik Elektronik Mühendisliği
İstanbul Üniversitesi
akan@istanbul.edu.tr

Özetçe

Akıllı giyilebilir Sistem'ler (AGS) konusu günümüzün en popüler araştırma konularından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Kapsamı dahilinde çok sayıda disiplin barındırılması, farklı tabandan bir çok araştırmacının bu alanda çalışmalar yapmaya yönlendirilmektedir. Hastalıklar, kronik rahatsızlıklar, gündelik aktivite takibi gibi pek çok çeşitli sebepler için fizyolojik parametrelerin ölçülmesi amacıyla tasarlanan bu cihazlar, hayatlarımızda giderek daha fazla yer bulmaktadır. Sağlık, spor, eğlence, eğitim, iş ve daha bir çok alanda etkisini görebildiğimiz AGS'ler, özellikle sağlık alanındaki çalışmaları ile son kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır. Farklı donanım ve kullanım yöntemlerine göre sınıflandırılan AGS'lerin ortak özellikleri arasında yüksek kapasitede kablosuz iletişim yapabilme ve dahili ölçüm yapan sensörleri barındırma yer almaktadır. Çok farklı sayıda ve formda sensörlerin AGS'ler içerisinde kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde yapılan araştırmalar içerisinde en sıklıkla kullanılanların; EKG, glikoz ölçer, vücut sıcaklığı, kan basıncı, oksijen saturasyonu ve ivme ölçer olduğu görülmektedir. AGS'ler ile ilgili genel detaylar, geçmişten günümüze kadar yapılmış olan araştırmaların başlıcaları bu makale kapsamında aktarılmaktadır.

Anahtar Kelimeler — Akıllı Giyilebilir Sistem; Biyomedikal Sensör; Hasta Takip; Sağlık Hizmeti.

Abstract

Nowadays Smart Wearable Systems (SWS) subject, emerges as one of the most popular research topic. Because of being comprised from multiple disciplines, this area is favored by researchers of different areas. Devices of SWS are designed to measure physiological parameters for illnesses, chronic diseases, daily activity monitoring and other purposes, now it is finding more and more place in our lives. We can see the effects of SWS in health, sports, entertainment, education, business and other fields, especially for the projects of health sector many products are available to the end users. Different SWS that are classified according to its features and methods of use have common features such as ability to make high-capacity wireless communication and housing embedded sensors. When investigating the studies of SWS that include various forms and numbers of sensors, it is seen that most

preferred sensors are; ECG sensor, Glucose sensor, body temperature sensor, blood pressure sensor, SpO2 sensor and Accelerometer. General details of SWS and leading research projects from past to present are described within the scope of this article.

Keywords — Smart Wearable System; Biomedical Sensor; Patient Tracking; Healthcare.

1. Giriş

Son yıllarda teknolojik cihazların çoğunun önünde 'akıllı' ekini görmeye başladık ve ileriki yıllarda da bunun artarak devam edeceği öngörülmektedir. Aklımıza gelebilecek hemen her cihazın, akıllı versiyonları ile yer değiştireceği şu dönemler; insanoğlunun asli problemi olan sağlık gereksinimlerini de güncellemektedir. Yeni nesil akıllı cihazların sağlık sektöründe kullanımı, kaynak ve zaman tasarrufunu da beraberinde getirecektir. Herhangi bir hastalığın sürekli ve düzenli takip edilebilmesi, anlık müdahalelerin yapılabilmesi, yetkili sağlık birimlerinin bilgilendirilmesi ve hatta ameliyatlardan sonrası iyileşme sürecinde katkıda bulunabilecek bir çok akıllı giyilebilir hasta takip sistemi üretimi hızla devam etmektedir.

Yaşlı nüfusun kalabalıklaşması ile beraber artan sağlık ve bakım maliyetleri, sağlık sisteminin temelinde bazı köklü değişikliklere gidilmesinin ihtiyacını doğurmaktadır. Hastane merkezli tıbbi bakımın, hasta merkezli hale getirilebilmesi günümüzde yaygınlaşan yüksek iletişim sağlayabilen mobil cihazlar ile mümkün olabilmektedir. Periyodik hasta kontrollerinin, günümüzde düzenli hasta gözlemi ile yer değiştirilmesi hedeflenmektedir. Bu hedefi sağlayabilmek; hastanelerde kullanılan pahalı ölçüm cihazlarının, evde günlük faaliyetleri aksatmadan takılabilecek/giyilebilecek küçük ebatlı sürümleriyle değiştirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Mikro ve nano ölçekte teknolojinin ilerleyişi, Akıllı Giyilebilir Sistemler'i (AGS) [1]; yaşantımıza dahil etmektedir. AGS sensörler; aktüatörler ve iletişim yapabilen bileşen ve modüllerden oluşan düşük maliyetli cihazlardır. Cihazların temel görevi barındırdığı sensörler vasıtasıyla hastanın düzenli sağlık, aktivite, fizyolojik ve mental değerlerini gözlemlemek ve iletişim modülleri vasıtasıyla merkezi sisteme bu verilerin aktarılmasını sağlamaktır. 24 Saatlik takipleri yapılabilmesi sistemlerin hem ev içi hem de ev dışında kullanılacak şekilde

Tıbbi Cihaz Tasarımı 5

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

tasarlanmasıyla sağlanmaktadır. AGS'ler günümüzde çok farklı sağlık problemlerinin takibinde kullanılmaktadır.

AGS'ler gelişimlerine göre 3 kategoriye ayrılmaktadır; Birinci Nesil, takılabilir bileşen ve sensör, İkinci Nesil, gömülü bileşen. Yeni (Üçüncü) Nesil ise tam entegre akıllı tekstiller [2]. Invaziv olmayan ve küçük bir giyilebilir teknoloji elde etmek için kullanılan sensörlerde; en önemli tercih parametreleri büyüklük, ağırlık ve pilin kapasitesidir. Birinci nesil olarak nitelendirilen takılabilir sistemlerde bu çok önem arz etmezken, gelişimini devam ettiren AGS'ler ikinci nesilde nispeten daha küçük olarak kıyafete entegre olabilecek boyuta getirilmiştir. Ama kişinin konfor seviyesini etkilediği için şu an teknoloji üçüncü nesil olarak adlandırılan tekstile tamamen entegre edilebilir, hatta yıkanabilecek materyale sahip bir yapıya doğru ilerlemektedir.

2. Akıllı Giyilebilir Hasta Takip Sistemleri

Akıllı giyilebilir hasta takip sistemleri kişiyi günün 24 saati izlemek ve gerekli durumlarda uyararak üzere tasarlanmış sistemlerdir. Bu yeri geldiğinde kişinin kalp aktivitelerini takip etmek olabildiğince yeri geldiğinde diyabetli bir hastanın glikoz seviyesini ölçmek ve olası bir tehlikeye karşı uyararak olabilmektedir. Kullanım şekillerine göre AGS'ler son 10 sene içerisinde yaygınlığını arttıran ve hayatı kolaylaştıran etmenler olarak gündelik hayatımıza dahil olmaktadır.

PwC'nin 2014 yılında Amerika'da yapmış olduğu araştırmaya göre [3]; katılımcıların %56'sı on sene içerisinde AGS'lerin kullanımına bağlı olarak ortalama yaşam süresinin artacağını düşünmektedir. Yine aynı çalışmaya ait bir diğer bulgu ise; AGS'lerin beslenme ve egzersiz faaliyetlerini kontrol etmesi ile obezitenin önüne geçilebileceği fikri %46 katılımcı tarafından onaylanmaktadır.

2.1. Kullanım Yöntemlerine Göre AGS Kategorileri

Günümüzde AGS'ler çok farklı amaçlar için kullanımımıza sunulmaktadır. Kullanım yöntemlerine göre kategorize edildiği zaman; 5 ana kategori altında gruplandırıldığı görülmektedir.

2.1.1. Spor Takibi Yapan Cihazlar

Günlük spor faaliyetlerinin takibi amacıyla geliştirilmiş sistemlerdir. Çoğunlukla bileğe takılan bir sensör ve ölçülen verilerini analiz eden mobil uygulamaların beraber kullanılmaktadır. Bu kategori altında geliştirilmiş olan en bilindik ürünler FitBit, Nike+, Samsung Gear Fit olarak özetlenebilir. Bu cihazlar sadece spor takibine özel olduğundan yerlerini akıllı saatler ile değiştirmektedirler.

2.1.2. Akıllı Saatler

Telefonla iletişim halinde olan saatler günümüzde saat bilgisini iletmenin yanında barındırdığı sensörler ile aktivite takibi imkanı sunmaktadır. Senkronize olduğu akıllı telefonun çoğu özelliğini yönetebileceğiniz ara cihazlardır. iM'Watch, Galaxy Gear, MotoActv, Sony SmartWatch vb. çok sayıda ürün bu kategori altında satışta sunulmaktadır.

2.1.3. Kafa-üzeri Ekranlar

Çoğunlukla gözlük formuna yakın, tek göze veya iki gözde birden kullanılan, video ve resim takibi için kafaya takılan cihazlar bu kategori altında değerlendirilmektedir. Google glass ve Vuizix en öne çıkan ürünlerdir.

2.1.4. Akıllı Giyim/Tekstil Ürünleri

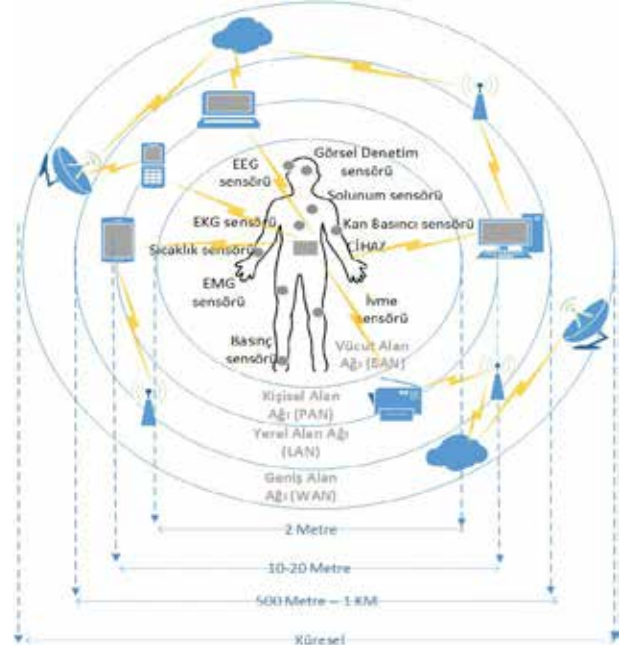
Üzerinde çok sayıda farklı fizyolojik ve ortam değerlerini ölçümleyecek sensörler barındıran kıyafetlerdir. Kalp atım izleme, akciğer hava kapasitesi ölçme, ivmeölçer gibi çok çeşitli sensörlerin topladığı veriler; sağlık ve askeri, iş hayatını kolaylaştıracak çok sayıda projede kullanılmaktadır. AiQ, BioMan, FitnessSHIRT gibi ürün haline getirilmiş projelerin yanısıra, hali hazırda akademik ve sektörel çalışmaların odak noktası çalışmalar bu kategori altında yürütülmektedir.

2.1.5. Günlük Takip Yapan Cihazlar

Kıyafet üzerine monte edilen cihazlar ile hayati değerlere erişim sürekli olarak sağlanabilmektedir. Tüm kategorilerdeki ürünler arasında en küçük cihaz boyutları bu kategorinin ürünlerine (Scanadu, Lumo BodyLift) aittir. Küçük oluşları kullanım kolaylığı getirmektedir. Eksi yön olarak, beraberinde çok sayıda ek cihaz kullanılması ihtiyacı söylenebilir.

2.2. AGS'lerde Kullanılan Kablosuz Ağ Mimarileri

Geçmişten günümüze geliştirilmiş olan AGS'leri kullandıkları ağ mimarilerine göre incelediğimiz zaman iki farklı yöntemin çoğunlukla tercih edildiği görülmektedir. Yakın geçmişe kadar çoğunlukla IEEE'nin kişisel alan ağı (PAN) standardı 802.15.4'e uyumlu ZigBee benzeri kısa menzil iletişim protokolleri ile sensör cihazdan iletişime başlayıp, bina içi modemleri kullanarak yerel ağ (LAN) üzerinden, ölçülen verilerin saklanacağı sunuculara ulaşmak üzere geniş alan ağı (WAN) üzerine çıkan 3 katmanlı mimariler kullanılmıştır. Bu yöntemin başlıca avantajı AGS'nin türdeş olmayan cihazlar arası iletişime açık olmasıdır. 3 Katmanlı iletişim mimarisini kullanan AGS tasarımlarına örnekler Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: AGS bileşenleri ve kullandıkları ağ katmanları

Diğer alternatif mimari ise IPv6 nin yaygınlaşmaya başlaması ile ortaya çıkan kavram olan Nesnelerin İnterneti'nin (IoT) AGS'ye uygulanmasıdır. Bu mimaride diğer yaklaşımın aksine uzun mesafe teknolojileri ethernet

Tıbbi Cihaz Tasarımı 5

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

veya GSM modülleri ile sağlanmakta, tüm veri doğrudan depolama ve hesaplama yapan sunuculara aktarılabilir.

2.3. AGS'lerde Kullanılan Sensör Tipleri

AGS'lerin baş rol bileşeni olan sensörlerin seçimi tasarım için çok kritik bir karardır. Ölçülmek istenilen fizyolojik parametreye ulaşmak için vücudun en doğru yerine AGS'nin takılması/giyilmesi gerekmektedir. Bu bölümde günümüze kadar AGS konusu altında çeşitli hastalıkların takibi için yapılmış çalışmalardan bazıları özetlenmektedir.

Litaratüre girmiş olan çalışmalarda çeşitli rahatsızlıkların takibi ve analizinde kullanılan sensör tipleri Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1 – Sensör Tipleri

Sensör Tipleri	Sinyaller	Sinyal Kaynağı
Cilt elektrotları	Elektromiyogram (EMG)	Kasın elektriksel aktivitesi
Kafa derisine yerleştirilen elektrotlar	Elektroensefalografi (EEG)	Beyin potansiyellerinin elektriksel aktivitesi
Cilt elektrotları	Elektrokardiyogram (EKG)	kalp atımının karşılığı olan P,Q,R,S,T,U dalgaları
İvme ölçer	Etkinlik, hareketlilik, düşüş	Duruş ve uzuv hareketleri
Piezoelektrik/piezorezistif sensör	Solunum hızı	Birim zamanda solunum
Fonograf	Kalp sesleri	Kalp seslerinin mikrofon yardımı ile kaydı
Glikoz ölçer	Kan şekeri	Kandaki glikoz miktarının değerlendirilmesi
Nabız oksimetre	Oksijen doygunluğu	Kandaki Oksi hemoglobin
Sıcaklık probu veya deri bantı	Vücut veya cilt sıcaklığı	Vücut veya cilt
Dokuma metal elektrot	Galvanik deri tepkisi	Cildin elektriksel iletkenliği
Goniometre (Açı Ölçer)	Dirsek Vücut Açısı	Dirsek hareketleri
Manyeto-rezistif Sensör	Omurga Açısı	Vücut hareketleri
Adım ölçer	Adım sayısı	Yürüyüş
PPG Sesörü	Hacimsel kan değerleri	Parmak veya kulakmeme
Biyo Sensör İğne	Kan Glikoz değeri	Deri altı

2.4. AGS Araştırmalarından Örnekler

Hastalıklar, kronik rahatsızlıklar veya çeşitli sebepler için fizyolojik parametrelerin ölçülmesi için tasarlanan AGS'ler günümüzde pek çok problemin çözümünde anahtar rol oynamaktadır.

İleri yaşlı insanların yön bulma kabiliyetlerini kaybetmesi, onların bakımından sorumlu kişilerin veya yakınlarının en büyük sorunudur. Chung-Chih ve çalışması arkadaşlarının geliştirdiği sistem [4] yaşlıların kıyafetlerine takılan RFID etiketini takip eden bir sistemi önermektedir.

Chen ve arkadaşları, yaşlı ve tek başına yaşayan insanlarda düşmenin ciddi yaralanmalara hatta ölümlere sebep olmasından yola çıkarak; özel bir kıyafet [5] tasarlamışlardır. Kıyafet için, giyilebilir sensörler ile gerçek zamanlı düşüş algılama algoritması geliştirmişlerdir.

Yine yaşlı insanlar için giyilebilir sensörler ile yapılan bir diğer çalışmada [6] EKG ölçümlerini izlenmektedir. Geliştirilen sistem ile kronik kalp hastalıklarının sürekli olarak izlenebilmesi amaçlanmıştır. Makalede aynı zamanda bu sistemin kullanılması durumunda oluşabilecek sakıncalar; kısa pil ömrü, tıbbi uzmanlık geribildirim, hasta kısıtları, güvenlik ve temel verilerin gizlilik eksikliği belirtilmiş ve tartışılmıştır.

Yaşlı ilerlemiş bireylerin durumlarını kontrol etmek ve yönetmek için geliştirilmiş olan bir çalışma [7] çocukların sağlık durumlarını ve konumlarını kontrol etmede kullanılmıştır. Çalışmaya göre çocukların bileklerine takılan cihaz ile nabız değerleri ve sıcaklık sinyali cep telefonu aracılığı ile ilgili kişilere aktarılmıştır.

Sadece yaşlıların değil, her yaştan çeşitli rahatsızlıkları bulunan hastaların tedavilerinde aktivite takibi önemli rol oynayarak doktorların karar verme süreçlerini kolaylaştırmaktadır.

Duruş ve omurga bozukluklarını tedavi etmeye yönelik çeşitli fizyolojik egzersizlerin izlenebilmesi için giyilebilir bir sistem [8], hastanın sırtındaki sensörler vasıtasıyla ölçülen değerler rapor etmektedir.

Ruhsal bozukluğun analizi ve hasta takibi İtalya'da yapılan çalışmada [9], üzerinde elektrokardiyogram kalp hızı değişkenliği, solunum aktivitesi için sensörler ve aktivite takibi için ivme ölçer bulunan akıllı telefon uyumlu tshirt ile sağlanmıştır. Proje ismi PSYCHE olan sistem depresyon, manik depresif durum, normal duyu durum sınıflandırması yaparak hastaların yakinen takip edilmesini ve bu bilgiler doğrultusunda ilaç tedavilerinin yönlendirilmesini sağlamaktadır.

Günümüzde uyuşturucu bağımlılığı tespitinde kullanılan yöntemlerin güvenilirliği ve anlık test edilebilirliği sorgulayan Carreiro ve arkadaşları; yasadışı uyuşturucu kullanımı ve bağımlılığı algılamak için pilot bir çalışma [10] gerçekleştirmişlerdir. Bunun için giyilebilir biyosensör teknolojisini kullanan grup, bilek için bir cihaz geliştirerek elektrotermal aktivite, deri sıcaklığı ve ivme verilerini alarak 4 acil servis hastası üzerinde test etmişlerdir. Afyon (opioid) ve kokain kullanımını, elektrodermal aktivite yükselişi ve cilt sıcaklığındaki değişiklikler ile ilişkilendirmişlerdir.

Tamura ve arkadaşları [11] Parkinson hastaları için analizi zor yeni bir tedavi yöntemi olan Derin Beyin Uyarımı'ni (DBU) (deep brain stimulation) kullanmışlardır. Geliştirdikleri giyilebilir sistem ile, DBU yönteminin en temel sorunu olan tedavinin etkinliğinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. AGS içerisinde bulunan sensör vasıtasıyla ivmeli hareket ve açılabilir hız değerlerini DBU açık ve DBU kapalı şekilde ölçülmesi yapılmıştır.

Şeker hastalığı insülinin kısmi veya tam eksikliğinin neden olduğu kan şekeri yüksekliği ile karakterize tıbbi ve ekonomik anlamda kişiyi zorlayan hastalıklardan biridir. Hastalıktan muzdarip kişiler, hipoglisemi komplikasyonlarını [12] önlemek için durumlarını sürekli kontrol etmek ve insülini doğru zamanda doğru miktarda almak zorundadır. Bu hastalığın tedavisinin en iyi çözümlerinden bir tanesi yapay bir pankreas geliştirilerek kan şekeri seviyesini sürekli kontrol eden, otomatik olarak gereken seviyede insülini salgılayabilecek bir alet kullanmaktır [13].

Bir grup bilim adamı ise diyabet hastalığının yönetimi için giyilebilir bir sistem tasarımı [14] yapmışlar. Diyabet hastalarının genel yaşadığı problemlerin başında insülin ilacını ne zaman ve hangi dozda alması gerektiğidir. Hastanın durumunu sürekli kontrol altında tutan ve ölçümlenebilen bir sistem tasarlanarak hastalığın takibi hedeflenmiştir. Çalışmada kandaki glikoz seviyesi izleme ve insülin pompalamayı gerçekleştirebilen giyilebilir bir sensör geliştirilmiştir.

2012 yılında Google gözlüğünün dünyanın en yenilikçi cihazlarından biri olarak piyasaya sürülmesinin ardından birçok alanda araştırmacı bu cihazı kullanarak günlük yaşamı kolaylaştıran uygulamalar geliştirmeye başlamıştır. Özellikle tıpta ameliyat sırasında [15] yardımcı olarak kullanılan sistemler geliştirmeye devam etmektedir.

Kalp rahatsızlığı olan hastaların eksta kontrole ihtiyaç duymaları, sürekli olarak gözlemlenmeleri gerektiği sonucundan yola çıkan bir grup araştırmacı bu alanda giyilebilir bir sensör [16] geliştirerek durumu kontrol etmeyi hedeflemişlerdir. Çalışmaya göre hastanın EKG, kan

Tıbbi Cihaz Tasarımı 5

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

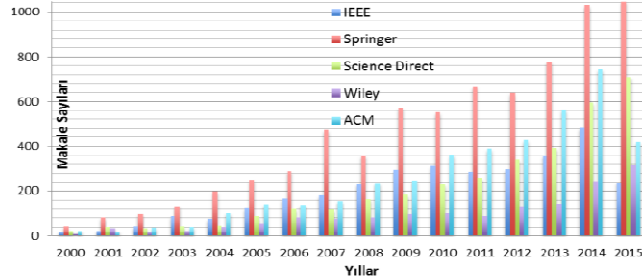
potasyum içeği ve harcadığı enerji değerleri mobil bir platformda yorumlanarak veri üzerinde istatistiki analizler yapılmış ve tüm etkinlikler için harcanan enerji maksimum %10 hata payı ile tahmin edilmiştir.

Son yıllarda AGS ile en fazla gerçekleştirilen başlıklardan biriside EKG sinyali izlemedir. Popülaritesinin yanında sinyalin alınıp iletilmesi sırasında çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. Bunlardan en ilk sıralarda olanları kablosuz iletişim sırasında bozulmalar, sınırlı bant genişliği ve gürültü sayılabilir. Bu problemlerden iletim sıkıntılarını gidermek için yapılan bir çalışmada özel bir sıkıştırma algoritması EDLZW [17] geliştirilmiştir. Bu algoritma ile mevcut kullanılan algoritmalarla kıyasla 4 kat daha iyi performans ile veri iletimi gerçekleştirilmiştir.

Yine kalbin sağlık durumunu kontrol altında tutmak için yapılan bir diğer çalışma [18], düşük güç ses sensörü yardımı ile kardiyopulmoner (kalp ve akciğerle ilgili) sesleri gerçek zamanlı takip etmek için geliştirilmiştir. Oluşturulan prototip 29gr ağırlığında ve pil ömrü ise 48 saattir. Sistemin kalp atım hızı hesaplama hatası $\pm\%1$ olarak ölçümlenmiştir.

3. Sayılarla AGS Araştırmaları

Tüm bu araştırmalar göstermektedir ki; IEEE veritabanında 2000 senesi öncesine ait sadece 45 tane çalışmaya konu olan bu teknoloji, ilk on senenin ikinci yarısından itibaren çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Şekil 2’de IEEE, Springer, Science Direct, Wiley ve ACM veri tabanlarında AGS konulu çalışmaların 2000 yılından başlayarak 2015 yılının Eylül ayına kadar olan zaman kesitindeki artışı net olarak görülmektedir.



Şekil 2: Yıllara göre araştırma sayıları

Özellikle 2010 yılından sonra bu araştırma çalışmalarından ortaya çıkan ürünlerin güncel hayatımızda yer bulması, pek çok araştırmacı için de ilham kaynağı olmuştur.

4. Sonuçlar

AGS’lerin hayatımızdaki yerlerini almaları her geçen gün daha da hızlanmaktadır. 2014 Sonu itibariyle, Amerika’ya giren AGS ürünleri 7.6 milyon adet ile bir önceki seneye oranla %200 artmış bulunmaktadır [3]. İnsanların AGS’lerden elde ettiği kazanımları fark etmesi ile bu oranlar ilerleyen senelerde daha da artacaktır. Ülkemizde de AGS teknolojileri ilgili çalışmalar ulusal araştırma fonlarında öncelikli araştırma alanı olarak belirlenmiş olup, araştırmacıların bu alanda çalışmalar yapması teşvik edilmektedir.

5. Kaynakça

[1] Chan, M., Estève, D., Fourniols, J. Y., Escriba, C., Campo, E., “Smart wearable systems: Current status and future challenges”, *Artificial intelligence in medicine*, 56(3), 137-156. , 2012

[2] Kramme, R., Hoffmann, K. P., & Pozos, R. (Eds.), *Springer handbook of medical technology*. Springer Science & Business Media, 2011.

[3] Barnes, K., “Health wearables: Early days”, *PwC Health Research Institute Report.*, 2014

[4] Lin, C. Et al “A healthcare integration system for disease assessment and safety monitoring of dementia patients”, *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 12(5), 579-586. , 2008

[5] Chen, G. C., et al., “A reliable fall detection system based on wearable sensor and signal magnitude area for elderly residents”, In *Aging Friendly Technology for Health and Independence* (pp. 267-270). Springer, 2010

[6] Baig, M. M., Gholamhosseini, H., Connolly, M. J., “A comprehensive survey of wearable and wireless ECG monitoring systems for older adults”, *Medical & biological engineering & computing*, 485-495, 2013

[7] Chen, Y. Et al “A GPRS-based Wrist Type Pulse Wave and Body Temperature Monitor for Children Healthcare”, In *7th Asian-Pacific Conference on Medical and Biological Engineering*, Springer, 2008, pp. 344-347.

[8] Sardini, E., Serpelloni, M., “Wearable Posture Monitoring Sensor”, *Sensors Lecture Notes in Electrical Engineering Volume 162*, pp 255-259, 2014

[9] Lanata, A., Valenza, G., Nardelli, M., Gentili, C., Scilingo, E. P., “Complexity index from a personalized wearable monitoring system for assessing remission in mental health”, *Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal of*, 19(1), 132-139., 2015

[10] Stephanie Carreiro, et al., “Real-Time Mobile Detection of Drug Use with Wearable Biosensors: A Pilot Study”, *Journal of Medical Toxicology* October 2014

[11] Tamura, T. et al “A Wearable Motion Sensor for Evaluating Walking Performance in Parkinson’s Disease with Treatments”, In *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation* (pp. 717-720). Springer, 2013

[12] S. Camou, “Continuous-Wave Photoacoustic-Based Sensor for the Detection of Aqueous Glucose: Towards Non-invasive and Continuous Glycemia Sensing”, *Pervasive and Mobile Sensing and Computing for Healthcare Smart Sensors*, Volume 2, 2013, pp 111-134

[13] Gomez, E. J., et al. “The INCA system: a further step towards a telemedical artificial pancreas”. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 12(4), 470-479, 2008

[14] Georga, E. I., Protopappas, V. C., Bellos, C. V., Fotiadis, D. I., “Wearable systems and mobile applications for diabetes disease management”, *Health and Technology*, 4(2), 101-112, 2014

[15] Shao, P., et al. “Designing a wearable navigation system for image-guided cancer resection surgery”, *Annals of biomedical engineering*, 42(11), 2228-2237, 2014

[16] Solar, Héctor, et al. "A non invasive, wearable sensor platform for multi-parametric remote monitoring in CHF patients." *Health and Technology 3.2* (2013): 99-109.

[17] Cho, G. Y., Lee, S. J., & Lee, T. R., “An optimized compression algorithm for real-time ECG data transmission in wireless network of medical information systems”, *Journal of medical systems*, 39(1), 1-8, 2015

[18] YANG, Kai, et al., “Lifetime tracing of cardiopulmonary sounds with low-power sound sensor stick connected to wireless mobile network”, *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 81.3: 623-634, 2014