



8 Kanallı Taşınabilir EEG Ölçüm Cihazı Tasarımı

8 Channel Mobile EEG Measurement Device Design

Mustafa Alper BALIM
Elektrik Elektronik Mühendisliği
Bursa Teknik Üniversitesi
Bursa, Türkiye
mustafaalper.balim@btu.edu.tr

Nurettin ACIR
Elektrik Elektronik Mühendisliği
Bursa Teknik Üniversitesi
Bursa, Türkiye
nurettin.acir@btu.edu.tr

Özetçe—EEG (Elektroensefalogram) işaretlerinin birçok uygulamalarda kullanımının yaygınlaşması ile birlikte taşınabilir ve giyilebilir EEG ölçüm sistemlerine olan ihtiyaç artmıştır. Bu çalışmada EEG ve diğer biyoelektrik işaretleri ölçüm kriterlerine uygun bir şekilde ölçülecek, 8 kanallı, küçük boyutlu, kablosuz olarak haberleşebilen, yüksek hassasiyet ve düşük giriş gürültüsüne sahip taşınabilir EEG ölçüm sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

Ölçüm sisteminde kuvvetlendirici ve analog sayısal dönüştürücü olarak biyoelektrik işaretler için özelleştirilmiş ADS1299 analog ön-uç (Analog Front-End (AFE)) tümdevresi, haberleşme birimi olarak Microchip RN4020 bluetooth modülü, kayıt birimi olarak hafıza kartı, kontrol birimi olarak Atmel Atmega328p mikrodenetleyici kullanılmıştır. Sistemin uzun süre (28 saat) çalışabilmesi için 1400 mAh'lik Li-po batarya ile beslenmiştir. Önerilen geliştirmeye açık cihaz tasarımı hacim olarak küçük, düşük güç tüketimine sahip ve yüksek doğrulukta olduğundan EEG işareti kullanılan birçok mühendislik sisteminde modüler olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler — ADS1299, EEG, Taşınabilir EEG ölçüm sistemi, Elektroensefalografi

Abstract— The need for portable and wearable EEG measurement systems has increased with the widespread use of EEG signals in many applications. In this study, a portable EEG measurement system with 8 channels, small size, wireless communication, high accuracy and low input noise, which can measure EEG and other bioelectric signals according to measurement criteria, has been designed and realized.

In the measurement system; ADS1299 analog front end (AFE) integrated circuit for bioelectric signals as amplifier and analogue digital converter, Microchip RN4020 bluetooth module as communication unit, memory card as recording unit and Atmel Atmega328p microcontroller as control unit are used. The system is supplied with a 1400 mAh Li-Po battery for long time operation (28 hours). The proposed device design is open to development can be used as a modular in many engineering systems using EEG signals since small in volume, low power consumption and high accuracy.

Keywords — ADS1299, EEG, Mobile EEG measurement system, Electroencephalography

I. GİRİŞ

İnsan beyninin çalışma prensipleri ve EEG işaretlerinin tam olarak anlaşılabilmesi için farklı koşullarda büyük miktarda veri toplanması gerekmektedir. Klasik, kısa süreli klinik EEG ölçümleri ile epilepsi hastalarının ancak %50'sine teşhis konulabilmektedir. Bu oran tekrarlanan testlerle %80'lere kadar çıkabilirken 24 saat gibi uzun ölçümler ile daha da artmaktadır[1]. Sürekli EEG ölçümleri ile epilepsi ataklarının önceden kestirimi yapılabilmektedir ve hayatı kurtaracak öneme sahiptir. EEG işaretleri kullanılarak yapılan beyin makine arayüzü uygulamaları çeşitli hastalıklar sebebiyle hareket edemeyen, konuşamayan hastalara umut olmaktadır. Tüm bu gelişmeler uzun süreli ölçüm yapabilen, hastanın günlük hayatında üzerinde taşıyabileceği boyutlarda ve yüksek doğruluğa sahip kablosuz olarak haberleşebilen giyilebilir/taşınabilir EEG ölçüm sistemlerini bir zorunluluk haline getirmiştir.

Günümüzde deneysel veya klinik amaçla ticarileşmiş bazı taşınabilir, giyilebilir EEG ölçüm sistemleri mevcuttur. Bu sistemler incelendiğinde özellikle klinik amaçla üretilen sistemlerin henüz ihtiyaç duyulan seviyede olmadığı, kullanılması zor karmaşık yapılarla sahip oldukları ve yüksek maliyetli oldukları gözlenmektedir. Deneysel amaçlı ticarileşen sistemler ise yeterli çözünürlüklerle ölçüm yapamaması, ham EEG ölçümlerinin alınmaması gibi dezavantajlara sahiptir.

Taşınabilir veya giyilebilir EEG ölçüm cihazlarında cihaz boyutlarının küçültülmesi ve uzun süre bir bataryaya bağlı olarak çalışabilmesi için güç tüketiminin azaltılması ile birlikte EEG ölçüm kriterlerinden taviz verilmemelidir. 0-30 Hz frekans bandındaki 300 μV 'dan küçük EEG işaretleri dalga formları korunarak ölçülebilmelidir. Ölçülen işaretlerin şebeke frekansı girişiminden arındırılabilmesi için ortak mod bastırma oranı (CMRR) 100 dB'den büyük olmalı, giriş gürültüsü 2 μV_{rms} 'in altında olmalıdır. Analog dijital dönüştürücü (ADC) yüksek hassasiyete sahip olmalıdır. Veri transfer hızı, kanal sayısı ve çözünürlük güç tüketiminin azaltılması gözetilerek uygun büyüklükte seçilmelidir[2,3].

Son yıllarda kuvvetlendirici, ADC, haberleşme birimleri vb. birimlerin tek bir tümdevrede yer aldığı ticari ve deneysel analog ön-uç tümdevreleri kullanılarak yapılan tasarımlar artış göstermekte, boyut ve güç tüketimi anlamında önemli avantaj



sağlamaktadır. Bu tümdevreler ile yapılan ölçüm cihazlarında devre boyutunun %77 azaltılması sağlanabilmektedir[4].

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen uygulamalarda kullanılabilir, taşınabilir ve giyilebilir EEG ölçüm cihazı ihtiyacına cevap verebilecek, EEG ölçüm kriterlerine uygun, küçük boyutlu, düşük güç tüketimine sahip 8 kanallı EEG ölçüm cihazı tasarımı önerilmiş ve gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarımda AFE tümdevre kullanılması yaklaşımı benimsenmiştir.

II. DONANIM

A. ADS1299 AFE

Gerçekleştirilen tasarımda ölçeklenebilirlik, düşük maliyet, düşük güç tüketimi avantajları nedeniyle Texas Ins. firmasının biyoelektrik ölçümleri için özelleştirilmiş 8 kanallı ADS1299 AFE tümdevresi kullanılmıştır. Tümdevre delta-sigma ADC ($\Delta\Sigma$ ADC), programlanabilir kazançlı kuvvetlendirici (PGA), lojik kontrol ünitesi, sağ bacak sürücüsü (RLD) ve haberleşme biriminden oluşmaktadır. Ayrıca dâhili olarak referans gerilimi, osilatör, test sinyali, elektrot-deri kontak direnci ölçme gibi özellikler sunmaktadır. Ayrıca uç uca bağlanarak kanal sayısı artırılabilir[5].

Tümdevre 0,98 μ Vpp giriş gürültüsü, 110 dB CMRR, 1 G Ω giriş direnci, 24 bit ADC çözünürlüğü, 16 kHz 'e kadar örnekleme frekansı özellikleri ile EEG ölçümleri için gerekli kriterleri sağlamaktadır. Bu özellikler daha önce yapılan ön çalışmada test edilerek doğrulanmıştır.

B. Kontrol Birimi

Kontrol birimi tasarlanan sistemde veri toplama ve haberleşme birimlerini kontrol etmektedir. AFE tümdevresini kontrol ederek alınan ölçümleri kablosuz haberleşme birimi üzerinden merkezi veri toplama cihazına gönderecek ya da sistem üzerinde bulunan veri depolama birimine kaydedecektir.

Kontrol birimi için düşük güç tüketimi, yüksek hızlara çıkabilen zengin haberleşme birimleri, yaygın kullanımı, zengin geliştirme ortamı, zengin kütüphane seçenekleri ve kolay erişilebilirliğinden dolayı Atmel firmasının AVR serisinden Atmega328p mikrodenetleyicisi seçilmiştir.

C. Haberleşme ve Depolama Birimi

Sistem tasarımı hem alınan veriyi kablosuz olarak transfer edebilecek hem de kart üzerindeki depolama birimine (hafıza kartı) kaydedebilecek şekilde yapılmıştır.

Kablosuz haberleşme birimi düşük güç tüketimi, kullanılmadığı durumlarda uyku moduna alma özelliklerine ve yeterli veri transfer hızına sahip olmalıdır. Bluetooth 4.0 ile birlikte güç tüketiminin çok önemli oranda azalması, mobil cihazlarda yaygın olarak kullanılması bluetooth haberleşme protokolünü ön plana çıkarmaktadır. Bu avantajlar nedeniyle kablosuz haberleşme protokolü olarak bluetooth seçilmiştir.

Düşük güç tüketimine sahip, küçük boyutlu, yeterli veri hızlarına (1Mbps) çıkabilen ve düşük maliyetli RN4020 modülü, haberleşme birimi olarak kullanılmıştır. RN4020 ve çok düşük güç tüketimine sahip olduğu bekleme modu ile güç tüketimi açısından ön plana çıkmaktadır.

D. Besleme ve Gerilim Regülatörleri

EEG ölçüm sistemleri hastanın güvenliği ve sistemi şebekeden yalıtma amacıyla batarya ile beslenmektedir. Ayrıca sistemin taşınabilir veya giyilebilir olarak tasarlanması nedeniyle batarya ile beslenmesi zorunludur [1, 6]. Sistemin beslenmesi için yüksek akımla şarj edilebilmesi, yüksek enerji yoğunluğu, düşük maliyet gibi özellikleri nedeniyle Li-ion pil seçilmiştir.

Tasarlanan sistemde tek kutuplu beslenen ADS1299'un analog kısmı 5 V ile sayısal kısmı, denetleyici ve haberleşme birimleri ise 3.3 V ile çalışmaktadır. Gerilim regülatörleri için yeterli çıkış akımı, yüksek verimlilik oranı ve düşük gürültü kriterlerini sağlayan TPS60241 (5 V) ve LP2985 (3.3 V) kullanılmıştır. Her iki gerilim regülatörünün verimleri %90'lara kadar çıkabilmektedir.

III. TASARIM

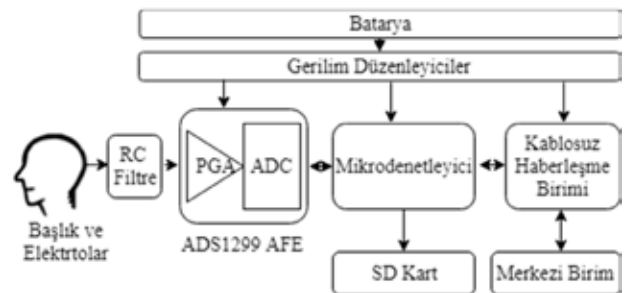
Sistem donanım ve yazılımının tasarımı literatür taraması sonucu ortaya konulan ölçüm kriterleri, ADS1299 tümdevresi ile yapılan testler, kullanılan elemanların bilgi sayfalarında verilen karakteristik özellikleri ve tasarım önerileri dikkate alınarak yapılmıştır.

Tasarımda sistemin muadillerine göre daha düşük maliyetli ve daha küçük boyutlu olması gözetilmiştir. Sistem düşük güç tüketmeli, bir batarya ile 24 saat kesintisiz ölçüm alabilmelidir. Ölçüm verileri kablosuz olarak aktarılmalı, kablosuz bağlantının olmadığı durumlarda veriler sistemde bulunan hafıza birimine kaydedilmelidir. Güç tüketimini düşürmek için işaret işleme tabanlı filtrelemeler sistem üzerinde değil merkezi veri toplama biriminde, tasarlanan arayüz veya diğer işaret işleme uygulamaları ile yapılmalıdır.

A. Donanım

Ölçüm sistemi donanımı; kontrol, ölçüm, güç ve haberleşme birimlerini barındıran ölçüm devresi, batarya ve elektrotları üzerinde taşıyan kafa bandından oluşmaktadır. Sistem giyilebilir olarak kullanılabilmesi için elektrotlar ve kafa bandı bir şapka içerisine yerleştirilerek ölçüm sisteminin kolay kullanılabilir olması hedeflenmiştir. Şekil 1'de sistemin blok şeması gösterilmiştir.

Devre girişinde kullanılan RC alçak geçiren filtre devresi $\Delta\Sigma$ ADC'de oluşacak örtüşme etkisini ortadan kaldırmak amacıyla kullanılmıştır. Tek kutuplu ölçüm yapılacağından tüm referans girişleri kısa devre edilerek tek bir elektrot çıkışına bağlanmıştır. Bu şekilde 8 kanal için 10 (8 kanal + 1 referans + 1 RLD) elektrot yeterli olacaktır. Bu nedenle



Şekil 1. Tasarlanan sistemin blok şeması

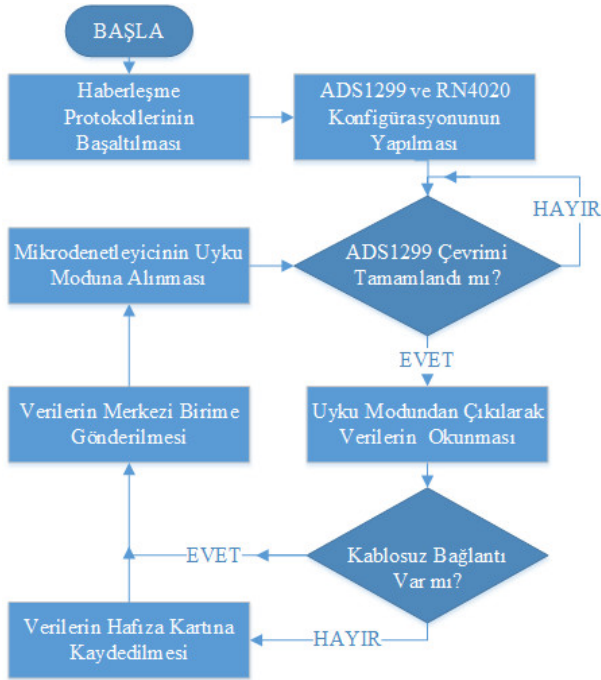
Mikrodenetleyicinin devre üzerinde programlanabilmesi için USBASP programlayıcısı kullanılmıştır, programlama pinleri bir tümdevre mandal (latch) programlayıcısı yardımıyla programlanabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Baskı devre tasarımları devre boyutunun küçültülmesi gözetilerek tasarlanmıştır. Bu nedenle yüzey montajlı elamanlar (SMD (Surface Mount Device)) kullanılmıştır. Direnç ve kapasitörlerde küçük boyutlu kılıflar kullanılmıştır. Elemanlar devre boyutunu küçültecek şekilde her iki yüzeye dağıtılmıştır. Tasarlanan baskı devrenin üretimi yurtdışında profesyonel baskı devre üreticilerine yaptırılmıştır.

B. Yazılım

Mikrodenetleyici yazılımında ADS1299, RN4020 modülü ve kayıt biriminin kontrolü gerçekleştirilmiştir. ADS1299 saklayıcılarına erişim için yazılan alt programlar ile konfigürasyon ve veri okuma işlemleri yapılabilmektedir. Mikrodenetleyici çalışmaya başladığında ön tanımlı olarak kaydedilen konfigürasyon için saklayıcı değerlerini ADS1299'a göndermektedir.

Her bir çevrim sonucunda ADS1299 DRDY pininin durumunu sayısal yüksek seviyesine çekmekte mikrodenetleyici bu işareti algıladığında her kanal için 24 bit'lik veriyi 8'er bitlik karakterler şeklinde olarak bluetooth üzerinden merkezi birime göndermekte ya da kaydetmektedir.



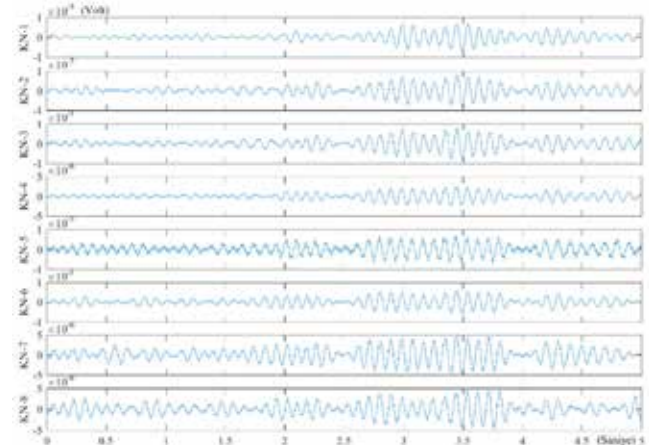
Şekil 2. Tasarlanan sistemin blok şeması

Verilerin merkezi birim (kişisel bilgisayar) tarafından alınarak görüntülenmesi, işaret işleme yazılımlarında işlenebilmesi için yazılan yazılım için Python programlama dili ve Labview programı kullanılmıştır. Verilerin metin dosyasına kaydedilerek diğer işaret işleme araçları ile kullanılabilmesi sağlanmıştır.

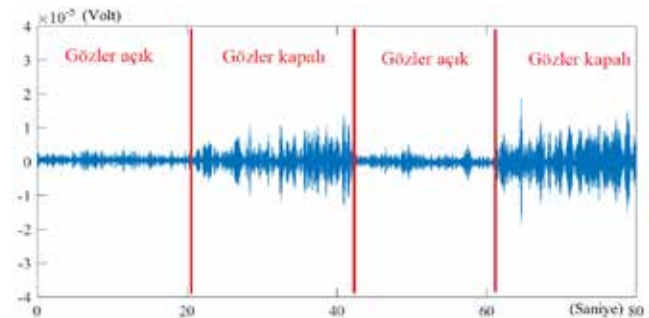
IV. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Sistem ile öncelikle dâhili ve harici test işaretlerinin ölçümü başarılı olarak gerçekleştirilmiştir. Ardından gerçek EEG ölçümleri ile alfa dalgaları ve göz hareketleri sonucu oluşan EOG artefakları incelenerek sisteminin başarımının doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Gözlerin kapatılmasıyla genlikleri artan alfa dalgalarının literatürde bulunan EEG ölçüm cihazı tasarımlarında tasarlanan sistemin doğrulanması için kullanıldığı görülmüştür[3,4,6]. 8 kanallı ölçümler için elektrot yerleşimleri 10-20 elektrot sistemine göre FP1, FP2, C3, C4, P3, P4, O1 ve O2 noktalarından alınmıştır.

25 yaşındaki sağlıklı erkek bireyden alınan 8 kanallı ölçümlerde ölçüme gözler açık olarak başlanılmış, 2,5 saniye sonra bireyden gözlerini kapatması istenmiştir. Alfa dalgalarının görülebilmesi için alınan işaretler 8-13 Hz bant geçiren süzgeçten geçirilerek görüntülenmiştir. Şekil 3'de gözlerin kapatılması ile alfa dalgalarının genliklerinin artması net olarak görülebilmektedir. Aynı bireyden 20 saniye aralıklarla gözlerini kapatması ve açması istenmiştir. Şekil 4'de alfa dalgalarının genlik değişimlerinin görüldüğü 80 saniyelik filtrelenmiş ölçüm sonucu gösterilmiştir.



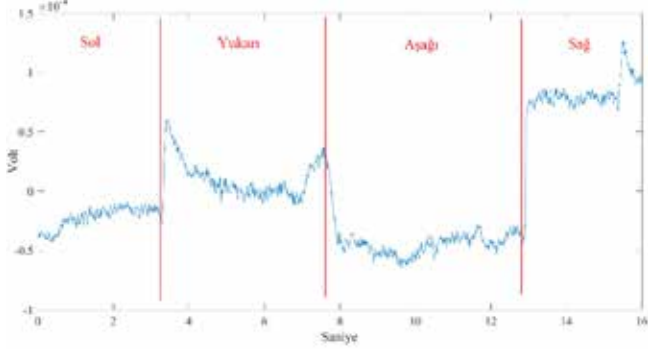
Şekil 3. Gözlerin kapatılmasıyla alfa dalgalarının genliklerinin artması



Şekil 4. Gözlerin kapatılmasıyla alfa dalgalarının genliklerinin artması

Göz hareketleri ile göz kasları tarafından oluşturulan EOG işaretleri EEG ölçümlerinde etki eden artefaklardan biridir. Bu etki gözlerin aşağı, yukarı, sağa ve sola hareketleri ile özellikle gözlerle yakın olan FP1 ve FP2 noktalarında görülebilmektedir.

Aynı bireyden 4 saniye aralıklarla sırasıyla sola, yukarı, aşağı ve sağa bakması istenmiştir. EOG artefaklarını görüntüleyebilmek için FP2 noktasından alınan 16 saniyelik ölçüm kesim frekansı 40 Hz olan alçak geçiren süzgeçten geçirilmiştir. Filtrelenmiş ölçüm sonucu şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Göz hareketleri ile oluşan EOG artefakları

Oluşturulan test senaryoları ile alınan ölçümler; tasarlanan ve gerçekleştirilen sistemin alfa dalgaları ve EOG artefaklarını başarılı olarak ölçebildiğini göstermiştir. Alfa dalgaları önerilen 8 kanallı taşınabilir EEG ölçüm cihazı ile alınan ölçümlerden sayısal süzgeçler kullanılarak ayrılabilir ve belirgin olarak görüntülenebilmektedir. Bu verilere dayanılarak tasarlanan ölçüm sisteminin başarılı olduğu değerlendirilmiştir.

V. SONUÇLAR

Çalışma sonucunda tasarlanan ve gerçekleştirilen 8 kanallı EEG ölçüm sistemi devresi 48,3 x 29,7 mm² boyutlarındadır ve kanal başına 160,75 mm² alan kaplamaktadır. Devre boyutlarında sağlanan küçültme ile sistemin şapka, başlık, baret gibi bir kıyafet ile birlikte giyilebilir olarak kullanılması mümkündür. Ayrıca sistem diğer biyoelektrik işaretlerin (EKG, EOG, EMG) ölçülmesi için de uygundur.

Çalışmada devre tasarımları yapılmış ve testleri gerçekleştirilmiş daha sonra kontrol ve bilgisayar yazılımları yazılmıştır. Test işareti ve EEG işareti ölçümleri EEG ölçüm sistemin farklı senaryolar için kabul edilebilir doğrulukta çalışabileceği göstermiştir. Önerilen geliştirmeye açık cihaz tasarımı benzerlerine göre hacim olarak küçük, düşük güç tüketimine sahip ve yüksek doğrulukta olduğundan EEG işareti kullanılan birçok mühendislik sisteminde modüler olarak kullanılabilir. Sistem 24 bit, 11 nV çözünürlük, 1 μ Vpp giriş gürültüsü, 109 dB CMRR, 905 M Ω giriş direnci ile EEG ölçümü için gerekli kriterleri fazlasıyla taşıdığını göstermektedir.

Güç tüketimini düşürmek için devre tasarımında ve yazılımda yapılan iyileştirmeler ile birlikte ortalama güç tüketimi 50 mA olarak ölçülmüştür. Sistem 1400 mAh'lık bir batarya ile 28 saat kesintisiz çalışabilecektir.

Elektrotlar bez bir kafa bandına 10-20 elektrot yerleşim sistemine göre yerleştirilmiş, sistemin kafa bandı ile birlikte bir şapka içerisine konulması ile kolay kullanılabilir ve estetik olması hedeflenmiştir. Şekil 6'de ölçüm devresi ve sistemi beslemek için kullanılan bataryanın bir fotoğrafı gösterilmiştir. Şekil 7'da ise sistem içine yerleştirildiği şapka ile gösterilmiştir.



Şekil 6. Gerçekleştirilen ölçüm sistemi



Şekil 7. Sistemden ölçüm alınması

Bu çalışmanın devamı olarak yapılması planlanan çalışmalarda güç tüketiminin daha fazla düşürülmesi ve batarya boyutlarının küçültülmesi hedeflenmektedir. Devrenin daha küçük hale getirilerek kurulum ve hazırlık süreci gerektirmeden giyilebilir olarak kullanılabilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca tasarlanan sistem ile ölçülecek EEG işaretleri kullanılarak beyin makine arayüzü uygulamaları gerçekleştirilecektir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Bursa Teknik Üniversitesi tarafından Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında 171L14 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Casson, A. J., Yates, D. C., Smith, S. J., Duncan, J. S., and Rodriguez-Villegas, E. "Wearable electroencephalography", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine., 29(3):44-56, 2010.
- [2] Teplan, M., "Fundamentals of EEG measurement, Measurement science review", 2(2), 1-11, 2002.
- [3] C.-T. Lin, L.-W. Ko, M.-H. Chang, J.-R. Duann, J.-Y. Chen, T.-P. Su, et al., "Review of wireless and wearable electroencephalogram systems and brain-computer interfaces—a mini-review", Gerontology, 56, pp. 112-119, 2009.
- [4] Li, Y. X., Li, N. Q., & Liu, Y. "A New Design of Portable EEG Signal Acquisition System", In Advanced Materials Research 846(804-807), 2014.
- [5] Texas Instruments, "ADS1299-x Low-Noise, 4-, 6-, 8-Channel, 24-Bit, Analog-to-Digital Converter for EEG and Biopotential Measurements", Datasheet, 2017.
- [6] Uşaklı, A. B., & Gencer, N. G. "USB-Based 256-Channel Electroencephalographic Data Acquisition System for Electrical Source Imaging of the Human Brain", Instrumentation Science and Technology, 35(3), 255-273, 2007.