





Vücut Alan Ağları için Enerji Hasadı Ünitesi Tasarımı

 Ali Çalhan¹,  Köksal Gündoğdu²,  Murtaza Cicioğlu³,  Muhammed Enes Bayraktar⁴

¹Corresponding Author; Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği; alicalhan@duzce.edu.tr

²E&K Arge Mühendislik; koksalgundogdu@ekargemuhendislik.com

³Düzce Üniversitesi Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği; murtazacicioğlu@gmail.com

⁴Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği; muhammedbayraktar@duzce.edu.tr

Received: 12/01/2019; Revision: 15/02/2019 Accepted: 05/04/2019 Published online: 25/04/2019

Öz

Vücut Alan Ağları, uzaktan sağlık izleme ve nesnelerin interneti konularının temel bir parçası olarak günümüz bilim dünyasında yerini almıştır. Vücut üzerinde, çevresinde ya da içinde yer alabilen algılayıcı düğümlerin ölçtüğü sinyaller bu ağa sahip bireylerin sağlığı hakkında bilgileri aktarmaktadır. Vücut Alan Ağları'nın diğer ağ tiplerine benzer problemleri bulunmaktadır ve bu problemlerin başında enerji tüketimi gelmektedir. Vücut Alan Ağları genellikle kablosuz iletişim yapmakta ve kişinin hareket halindeyken de düğümlerin ölçüm yapması için enerji birimlerine (pil, akü vb.) ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple enerji ünitesinin her zaman değiştirilebilmesi mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada Vücut Alan Ağı'nın enerji problemini ortadan kaldırmak için enerji hasadı ünitesi geliştirilmiştir. Piezoelektrik malzeme ve peltierden oluşan bu ünite Vücut Alan Ağı'nın enerji ihtiyacını karşılamaktadır.

Anahtar Kelimeler: vücut alan ağları, enerji hasadı, veri haberleşmesi

Energy Harvesting Unit Design for Body Area Networks

Abstract

Body Area Networks has taken its place in today's scientific world as a fundamental part of the issues of remote health monitoring and Internet of Things. The signals measured by the sensor nodes in or around the body are transmitted the information about the health of the individual to the experts in remote. Body Area Networks have problems similar to other types of networks, and energy consumption is one of the main problems. Body Area Networks generally involve wireless communication and require the energy units (batteries, acumulator, and etc.) to measure of nodes while the person is on the move. For this reason, it is not possible to change the energy unit at any time. In order to eliminate the energy problem of the Body Area Network, the energy harvesting unit is developed in this study. This unit consisting of piezoelectric material and peltier meets the energy needs of the Body Area Network.

Keywords: body area networks, energy harvesting, data communications

1. Giriş

Uzaktan sağlık izleme sistemlerinin gün geçtikçe öneminin artması bir takım ihtiyaçları da beraberinde getirmiştir. Bu ihtiyaçların başında enerji tüketimi, yeni standartların geliştirilmesi ve sistemin verimli çalışması gelmektedir. Bu sistemler özellikler kablolu ve kablosuz haberleşme sistemleri ile bütünleşmiş bir şekilde çalışmaktadır. Bu bütünleşmenin en somut örneği kablosuz vücut alan ağlarıdır (KVAA). Kablosuz algılayıcı ağların bir türevi olan KVAA'lar bireyin çeşitli psikolojik, fizyolojik ve hayati değerlerini ölçerek gerekli birimlere bu değerleri göndermekle görevlidirler. Bir KVAA yapısı; insan vücudu üzerine, içine ya da çevresine yerleştirilen çeşitli özelliklerdeki algılayıcı düğümlerden oluşmaktadır. Hareketlilik olanağı da sağlayan KVAA'nın en büyük problemi enerji tüketimidir. Literatür çalışmalarına bakıldığında KVAA'ların enerji tüketimini en aza indirmek için çeşitli yöntemler

geliştirildiği görülmektedir. Özellikle ortama erişim protokollerine çeşitli yetenekler eklenerek enerji tüketimi azaltılmaya çalışılmıştır. Diğer bir yöntem ise KVAA'ların enerji tüketimini minimize etmek yerine çeşitli kaynaklardan KVAA'ya enerji sağlamak olarak karşımıza çıkmaktadır. Hareket halinde olan bir bireyin KVAA'sına dışarıdan enerji kaynağı sağlamak oldukça zor bir iştir. Enerji hasadı ismi verilen bir yöntem ile doğal, yenilenebilir, kolay elde edilebilir enerji kaynaklarından gerekli enerji elde edilebilmektedir. Bu kaynaklar insanın hareketleri nedeniyle üretebileceği bir enerji olabileceği gibi çeşitli aparatlarla güneş, rüzgâr, ısı gibi çevresel enerji kaynaklarından da elde edilebilmektedir.

İnsan vücudundan elde edilebilecek enerji 10 Mikrowatt ile birkaç miliwatt arasında değişebilmektedir [1]. Bu enerji eklem hareketlerinden elde edilen biyomekanik enerji olabileceği gibi kalp kası kasılmalarından elde edilen titreşimsel enerji de olabilmektedir [2, 3]. Titreşimsel ve biyomekanik enerji kaynaklarından az miktarda güç elde edilebilirken, termal enerji insan vücudundaki en bol enerji kaynağıdır. İnsan vücudu nihayetinde vücut içi sıcaklığını korumak için tüm kalorik girişleri ısıya dönüştürür.

Enerji hasadı; titreşim, ışık, ısı, sıcaklık, hava akımı vb. gibi farklı enerji kaynaklarından elde edilebilmektedir ve ortam enerjisinin kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürülmesine de olanak sunmaktadır. Bu nedenle, enerji hasadı elektronik cihazlara enerji vermek için akülere alternatif bir yaklaşımdır. Ayrıca enerji hasadının çevresel avantajları da mevcuttur.

Enerji hasadı bileşenlerinden biri olan piezoelektrik malzemeler mekanik enerjiyi basınçtan, titreşimlerden veya kuvvetten elektriğe dönüştürür. Mekanik bir yük uygulandığında elektrik yükü üretebilirler. İlk olarak 1831'de Faraday tarafından keşfedilen elektromanyetik indüksiyon, manyetik alan içerisinde bulunan bir iletkende elektrik akımının üretilmesi olarak tanımlanmıştır. Elektrostatik transdüksiyon ile enerji hasadı, titreşime bağlı varaktörün (değişken kondansatör) değişen kapasitansına dayanır. Diğer bir enerji hasadı bileşeni de peltierlerdir. Bir peltier katı hal termoelektrik modüldür ve peltiere güç verildiğinde, cihazın bir tarafından diğerine ısı aktaran katı hal ısı pompası (Peltier etkisi sayesinde) gibi davranmaktadır. Isı enerjisini elektrik enerjisine çevirebilmektedir. Aynı zamanda peltierin uçlarına elektrik verildiğinde bir tarafı sıcak, diğer tarafı soğuk olmaktadır.

Enerji hasadının; bataryaya bağımlılığı azaltılması, kurulum ve bakım maliyetlerinin azaltılması ve çeşitli kimyasal maddelerin çevreye etkisini en aza indirmesi gibi birçok avantajı bulunmaktadır.

Çalışmamızda engelli bireylerin taşındığı ya da oturduğu sandalye ya da tekerlekli sandalyelerde kablosuz vücut alan ağı donanımının kullanılabilmesi için bir enerji hasadı ünitesi geliştirilmiştir. Engelli bireyin otururken çeşitli yaşamsal ve çevresel değişkenlerinin KVAA ile tespit edilmesi ve sürekli gözetim altında tutulması sağlanmaktadır. Çalışmamızın en önemli amaçlarından biri olan enerji hasadı donanımları KVAA'nın ihtiyacı olan enerjinin sağlanmasında kullanılmaktadır. Bu sayede engelli bireyin batarya değiştirme, batarya kontrolü ve enerji bittiğinde hayati değerlerin sağlık birimlerine gönderilememesi gibi olumsuz durumları giderilmiş olmaktadır.

2. Literatür Taraması

Literatürde KVAA ve enerji hasadı konularında sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Örneğin bir çalışmada yazarlar, kablosuz vücut alanı ağ uygulamaları için bir fotovoltaiik enerji toplama sistemi sunmuşlardır [4]. Sistem, hasat aleti tarafından üretilen enerjiyi bir depolama elemanında depolayabilir, genel bir vücut sensöründen veri alabilir ve bilgiyi bir harici alıcıya kablosuz olarak aktarabilmektedir. Enerji bir süperkapasitörde toplanır ve yeterli enerji depolandığında, veri algılayıcı düğümlerden toplanarak alıcıya iletilmektedir.

Diğer bir çalışmada, RF enerji hasadı için yüksek verimli üç bantlı bir rektifiye devresi tasarlanmıştır. Yazarlar çalışmanın, GSM-900, GSM-1800 ve UMTS-2100 bantları altında çalıştığını ve çok bantlı enerji toplama sayesinde yüksek dönüşüm verimlilik sağladığını öne sürmüşlerdir [5].

Bir çalışmada, yazarlar vücutta kullanılan bir ortam RF enerji toplama sisteminin tasarımını sunmaktadır. Önerilen sistem, 2.45 GHz WLAN bandını kullanarak bir ofis ortamında serbestçe kullanılabilir RF enerjisini toplamakta ve kullanılabilir DC gücüne dönüştürmektedir [6].

Başka bir çalışmada enerji hasadı için, insan vücudunun düşük frekanslı hareketleri tarafından heyecanlandırıldığında bir dizi mikro-mekanik piezoelektrik konsolun mekanik olarak saptırılması için ortak bir saat hareketinden küçük bir eksantrik kütle kullanan, kompakt, giyilebilir bir piezoelektrik vücut üstü hasat sistemi sunulmaktadır. [7]. Diğer çalışmada, bir termal enerji toplama stratejisinin sistem tasarımı ve deneme doğrulaması açıklanmaktadır [8].

Bir çalışmada, dirsek ve diz eklemlerinin hareketleri, polimerik matriks ile bir piezo fiber kompozitini karakterize etmek için değişken genliklerde ve açılmalarda test tezgahı ile çoğaltılmaktadır. Çıkış gücü, MEMS ivmeölçer ve sıcaklık sensörlerinden oluşan basit bir giyilebilir sistemin elektriksel özellikleriyle karşılaştırılmaktadır [9].

Farklı bir çalışmada, termoelektrik enerji hasadı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Enerji hasadı birimi, vücut alanındaki kendi kendine devam eden (self-sustaining) sıcaklık sensörün gücünü sağlamaktadır [10].

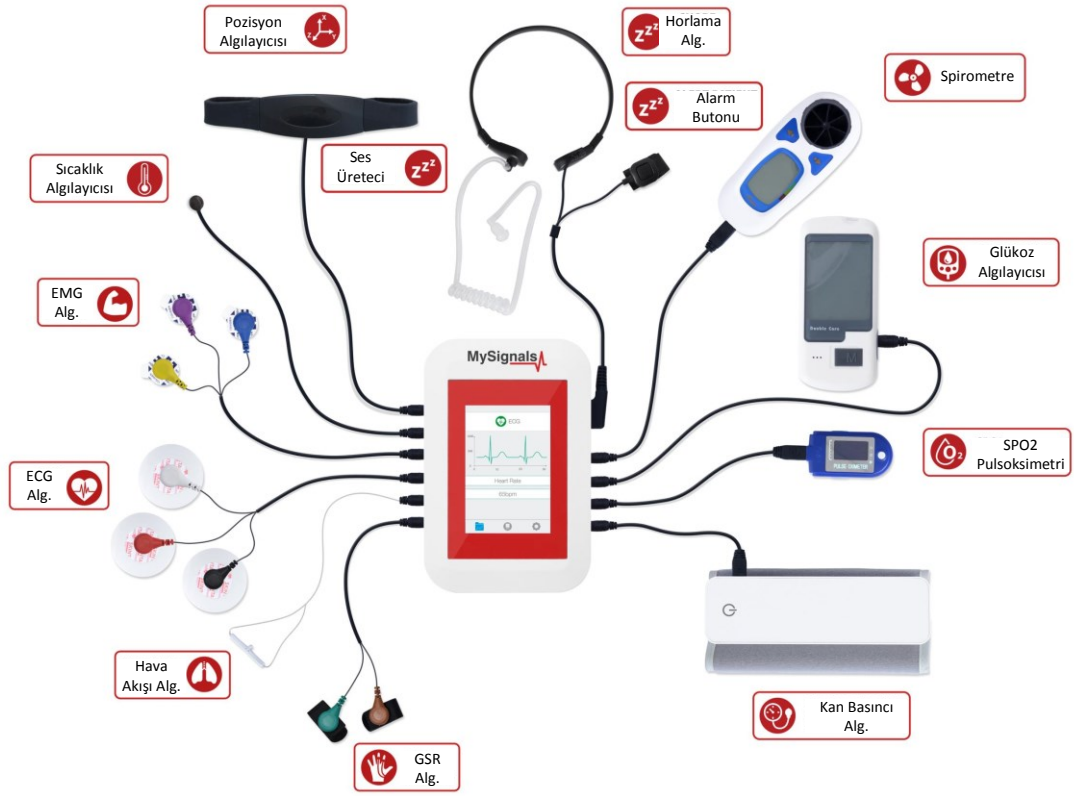
Bir çalışmada, insan vücudundan elektrik enerjisini mikro ve makro hareketlerle sağlamayı ortaya koymaktır. Mikro hareketler nefes alırken, makro hareketler el ve / veya ayaklardan elde edilmektedir. Bir işitme cihazının güç kaynağına titreşim enerjisinin kullanımına ilişkin bir araştırma sunulmuştur [11]. Diğer bir çalışmada, kablosuz algılayıcı ağlarda güneş paneli kullanarak enerji hasadı yapılmıştır. Bu sebeple algılayıcı düğümlerin güneş enerjisini kullanmaları için bir platform geliştirilmiştir [12].

Bir başka çalışmada, iki termoelektrik üreteç arasında sıcaklık farkından insan vücudundan elde edilen enerji karakteristikleri çıkarılmıştır [13]. Diğer bir çalışmada, vücut üstünde yer alan KVAA düğümlerinin paket hata oranı ve enerji verimliliği çalışılmıştır. Ayrıca bu çalışmada termal enerji hasadı da yapılmıştır [14].

Farklı bir çalışmada, kollara ve bacaklara yerleştirilen giyilebilir bir Termo-Elektrik Üreteci (TEG) ile termal enerji hasadı ölçümlerinin sonuçları analiz edilmiştir. Güç çıkışını maksimize eden direnç yükünün değerini bulmak için ön ölçümler yapılmış ve daha sonra, oturmak, yürümek, koşmak ve bisiklete binmek gibi günlük aktiviteler gerçekleştirirken toplanan enerjinin ölçümü için deneysel bir araştırma gerçekleştirilmiştir [15]. Diğer bir çalışmada, termal enerji hasadı alanında karşılaşılan teknik problemleri açıklamak ve uygun enerjili gömülü sistemler için tasarım modellerini açıklanmıştır. Sonuç olarak, boyut ve alan kısıtlamaları, termoelektrik üreteçlerinin düşük çıkış voltajları ve özellikle mevcut küçük sıcaklık gradyanlarının yüksek zamansal değişkenliği ile başa çıkmak için eksiksiz ve gerçekten uygulamaya özel bir sistem tasarımının gerekli olduğu ifade edilmiştir [16].

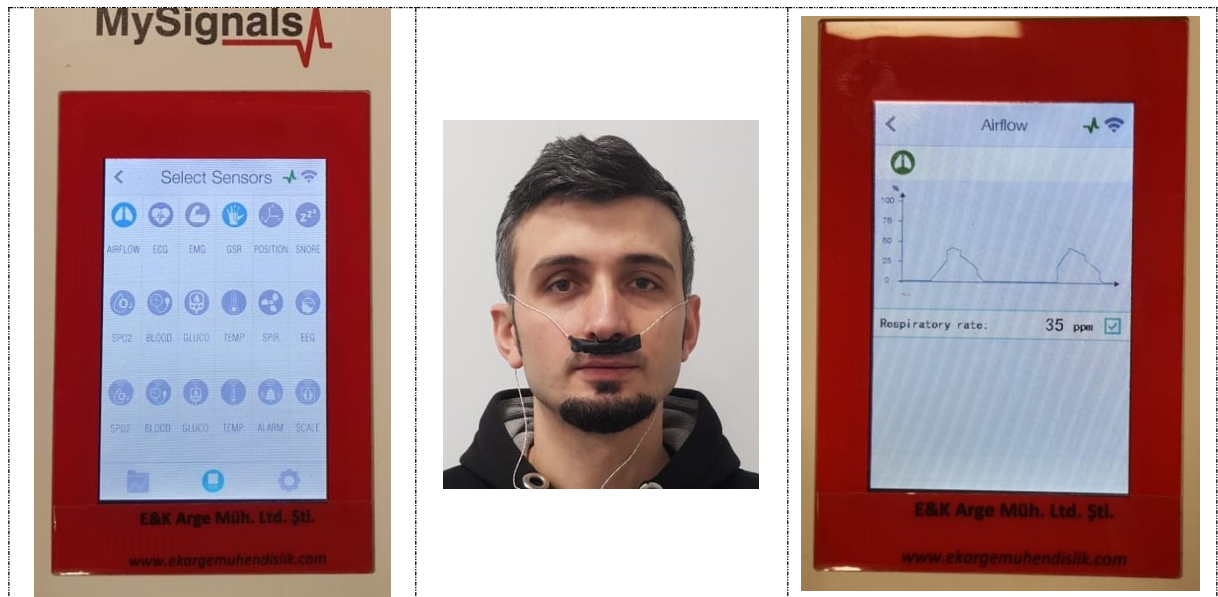
3. Kablosuz Vücut Alan Ağları için Enerji Hasadı Ünitesi

KVAA'lar uzaktan sağlık izleme tekniklerinin bir parçası olarak karşımıza çıkmaktadır. KVAA, hasta, sporcu, asker, çalışan ya da engelli bireyin vücudu üzerindeki çeşitli özelliklere sahip algılayıcı düğümlerden oluşmaktadır. Bir koordinatör düğüm tarafından algılayıcılardan gelen veriler toplanmaktadır ve gerektiğinde uzaktaki bir birime gönderebilmektedir. KVAA bünyesindeki düğümler sürekli haberleşme yapabilmekte ve enerji tüketimleri zaman zaman artmaktadır. Bu nedenle çalışmamızda KVAA'ların enerji tüketim probleminin giderilmesi için enerji hasadı ünitesinin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de KVAA için geliştirilmiş bir platform görülmektedir. Bu platforma takılabilen 10'dan fazla farklı algılayıcı vücut sinyallerini ölçüp görüntüleyebilmektedir. Bu veriler; ECG, SPO2, horlama, hava akışı, sıcaklık, pozisyon, EMG, spirometre, glukoz, kan basıncı, GSR verileridir. Ayrıca, bu platformda, mikro denetleyici devresi, güç kaynağı, algılayıcı devreleri, bluetooth düşük enerji modülü, WiFi modülü ve konnektörler bulunmaktadır. Tüm üniteler çalıştığında ve bütün haberleşme sistemleri kullanıldığında platformun çalışma akımı 2A ve çalışma gerilimi 5V'dir. Önerilen giriş gerilimi 7-9V arasındadır.



Şekil 1 Vücut Algılayıcıları ve Veri Toplama Birimi [17]

Şekil 2’de çalışan durumundaki platformun ekran görüntüsü verilmektedir. Hangi algılayıcı platforma takılı ise o algılayıcının ekranda aktif olduğu görülebilmektedir. Dokunmatik ekran sayesinde istenen algılayıcı bilgileri platformun ekranında görüntülenebilmektedir. Ayrıca şekilde hava akışı algılayıcısında elde edilen solunum oranı görülmektedir. Sağlıklı bir bireyden alınan solunum oranı 35 ppm olarak ölçülmüştür.



Şekil 2 KVAA Platformunun Ekranı ve Hava Akışı Algılayıcısı

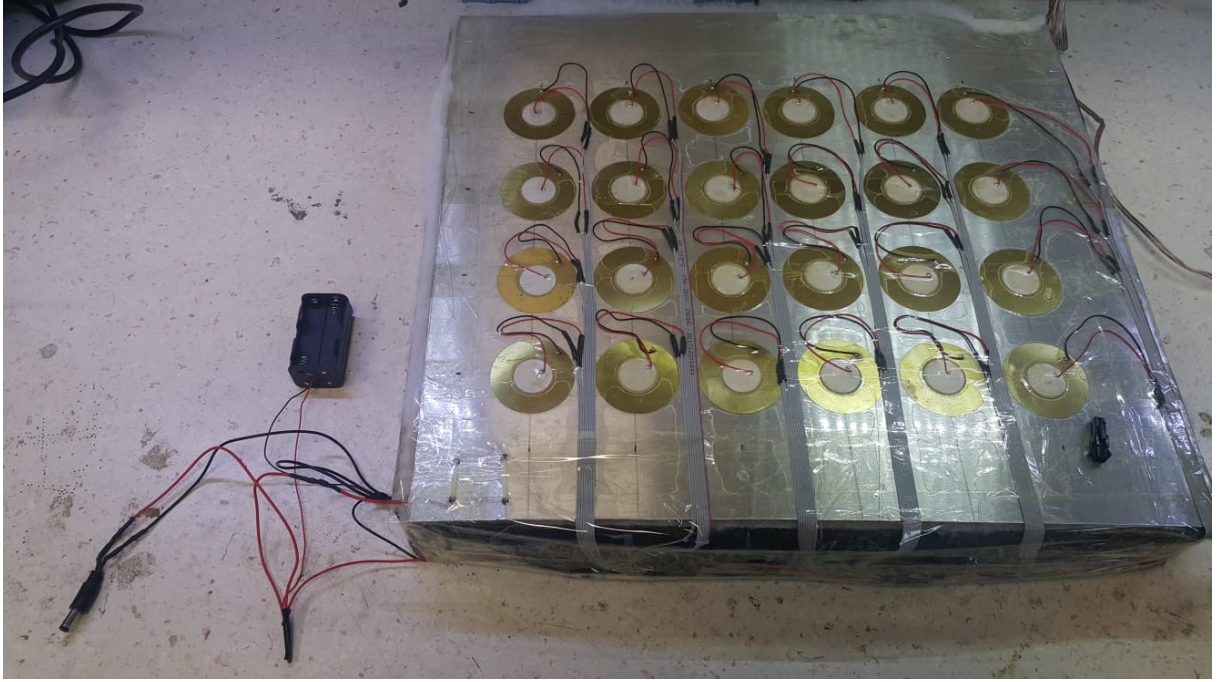
Şekil 3’de GSR algılayıcısının kullanımı görülmektedir. Galvanik cilt yanıtı (GSR) olarak da bilinen cilt iletkenliği, elektrik iletkenliğini ölçmenin bir yöntemidir ve cildin nem seviyesine göre değişmektedir. Ter bezleri sempatik sinir sistemi tarafından kontrol edilmekte, bu yüzden güçlü duygu anları, cildin elektrik direncini değiştirmektedir. GSR algılayıcısı, deri iletkenliği, psikolojik veya fizyolojik uyarılmanın bir göstergesi olarak kullanılmakta ve iki nokta arasındaki elektriksel iletkenliği ölçen ve esasen bir ohmmetre türüdür.



Şekil 3 GSR Algılayıcısı

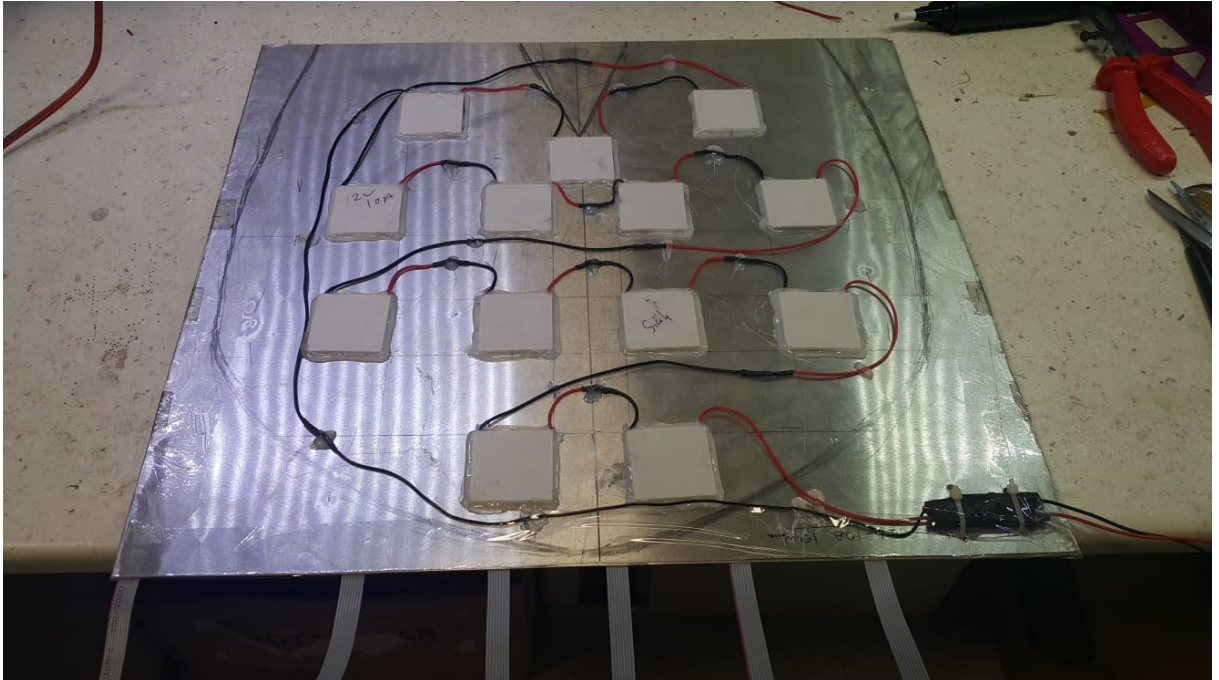
4. Enerji Hasadı Ünitesi

KVAA platformunun ihtiyaç duyduğu akım ve gerilim değerlerinin elde edilmesi için tasarlanan enerji hasadı bileşenleri bu bölümde anlatılmaktadır. Oturur vaziyette ya da yatar vaziyetteki engelli veya hastalar için tasarlanan bu ünite bir minder içinde muhafaza edilmektedir. Minderin bir yüzünde Şekil 4’de görülen piezo elektrik malzemeler sıralanmış ve birbirine bağlanmıştır. Bu sayede minder üzerinde oturan kişinin mindere uyguladığı basınçtan elektrik enerjisi elde edilmiş olmaktadır.



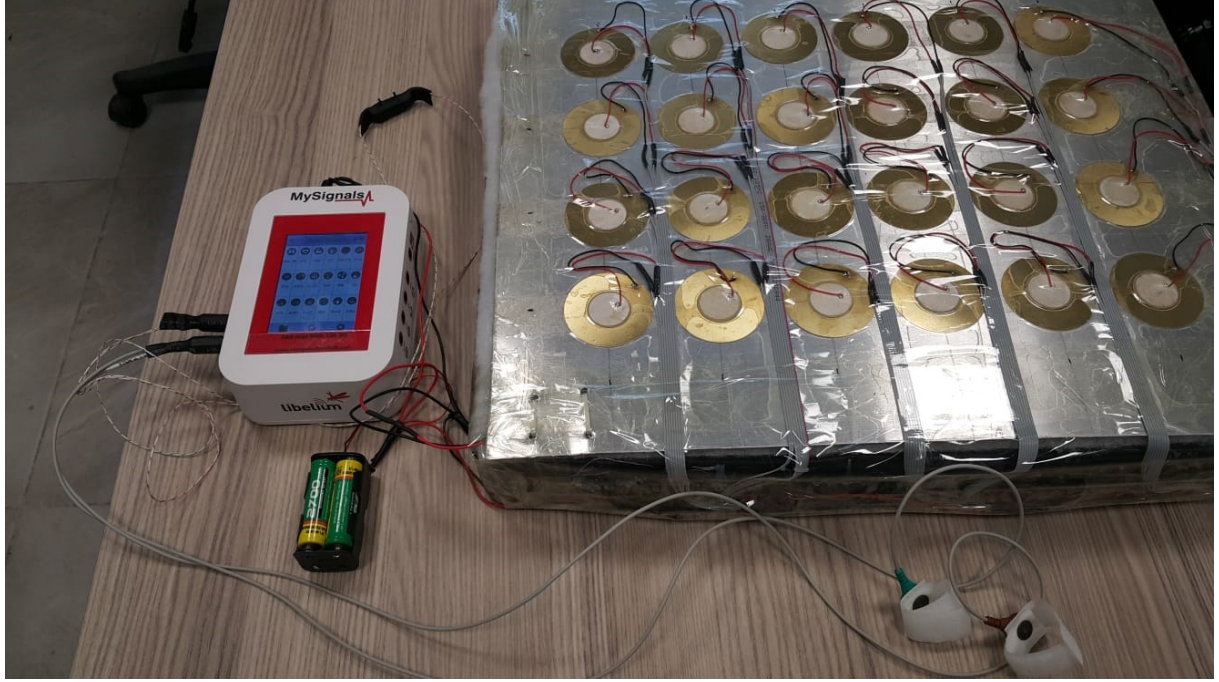
Şekil 4 Enerji Hasadı Ünitesinin Piezo Elektrik Malzemelerden Oluşan İlk Yüzü

Şekil 5’de minderin diğer yüzünde bulunan peltierlerden oluşan bölüm bulunmaktadır. Peltierler de birbirlerine bağlanarak minderde oluşacak ısıdan dolayı elektrik enerjisini üretmektedirler.



Şekil 5 Enerji Hasadı Ünitesinin Peltierlerden Oluşan Diğer Yüzü

Şekil 6’da KVAA platformu ve enerji hasadı birimlerinin birlikte çalışması görüntülenmiştir.



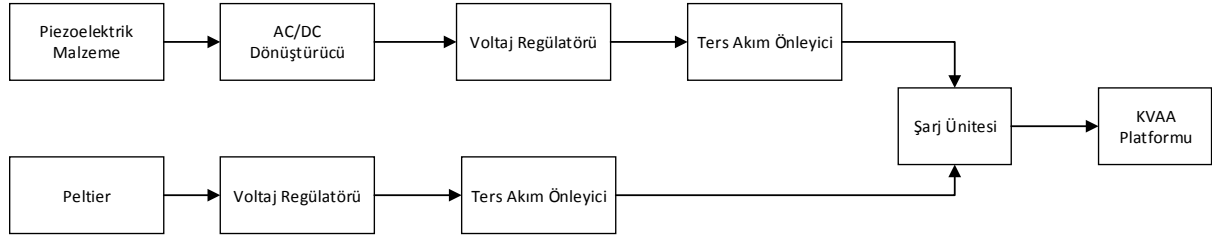
Şekil 6 KVAA ile Enerji Hasadı Ünitesi

Şekil 7’de enerji hasadı biriminin elyaf ile kaplanıp kumaş içerisine alınması gösterilmektedir.



Şekil 7 Enerji Hasadı Ünitesinin Minder İçinde Kapalı Hali

Şekil 8’de enerji hasadı ünitesinin blok diyagramı görülmektedir. Piezoelektrik malzeme ve peltier birimlerinden gelen enerji şekilde görülen devre elemanlarından geçerek şarj ünitesini beslemektedir. Şarj ünitesinde bulunan enerji KVAA platformuna verilmektedir.



Şekil 8 Enerji Hasadı Blok Diyagramı



Şekil 9 Piezo Elektrik Malzeme Testlerinin Yapıldığı Şartlar

Öncelikle tüm testler 23 °C'de normal oda koşullarında yapılmıştır. Şekil 9'da görüldüğü gibi piezoelektrik malzemeye parmağımızla basma-çekme işlemi yaptığımızda 33 ohm 5W direnç üzerinde 4.8V gerilim ve 0.103mA akım değeri ölçülmektedir. Basma-çekme hareketinin frekansı 1 Hz olarak belirlenmiştir. Ayrıca basma-çekme hareketinin frekansı 3Hz olarak belirlendiğinde üretilen akım değerinin 0.408 mA olduğuda gözlemlenmiştir. Frekansın sürekli artırılması akım miktarının da artmasını sağlamamıştır. Bu nedenle üretilen maksimum akım değeri 0.408 mA olarak alınmaktadır. Piezo Elektrik Malzemenin ürettiği toplam akım aşağıdaki denklemlerle tespit edilmiştir.

$$\text{Piezo_Üretilen_Toplam_Akım} = \text{Piezo_Sayisi} * \text{Piezo_Akım} \quad (1)$$

$$\text{Piezo_Üretilen_Toplam_Akım} = 24 * 0.103\text{mA} = 2.472\text{mA} \quad (2)$$

$$\text{Piezo_Üretilen_Toplam_Mak_Akım} = 24 * 0.408\text{mA} = 9.792\text{mA} \quad (3)$$



Şekil 10 Peltier Elektrik Malzeme Testlerinin Yapıldığı Şartlar

Testler 23 °C'de normal oda koşullarında yapılmıştır. Şekil 10'da görüldüğü üzere peltier malzemesine el ile dokunulması sonucu 33 ohm 5W direnç üzerinde 4.8V gerilim değerinde 7.57mA akım değeri ürettiği gözlemlenmiştir. Peltier Malzemenin ürettiği toplam akım aşağıdaki denklemlerle tespit edilmiştir.

$$\text{Peltier_Uretilen_Toplam_Akım} = \text{Peltier_Sayisi} * \text{Peltier_Akım} \quad (4)$$

$$\text{Peltier_Uretilen_Toplam_Akım} = 15 * 7.57\text{mA} = 113.55\text{mA} \quad (5)$$

Sistemden üretilen güç şu şekilde hesaplanmıştır;

$$\text{Uretilen_Guc} = \text{Peltier_Guc} + \text{Piezo_Guc} \quad (6)$$

$$\text{Uretilen_Guc} = 113.5\text{mA} * 4.8\text{V} + 9.792\text{mA} * 4.8\text{V} = 544.8 \text{ mW} + 47 \text{ mW} = 591.8 \text{ mW} \quad (7)$$



Şekil 11 Peltier Elektrik Malzeme Testlerinin Yapıldığı Şartlar

Şekil 11’de görüleceği üzere sistem 23 °C’de normal oda koşullarında 0.123 mA akım çekmektedir. Bu durumda sistemin tükettiği güç;

$$\text{Tuketilen_Guc} = 123\text{mA} * 4.8\text{V} = 590.4 \text{ mW} \quad (8)$$

olarak tespit edilmiştir.

5. Sonuçlar

Çalışmamızda, geliştirilen sistemin başarımlı analizi bir dizi ölçüm ile enerji üretim ve tüketim dengelerini inceleyerek yapılmıştır. Enerji üretimi için enerji hasadı ünitesi bünyesindeki peltier ve piezo elektrik malzemelerin ürettiği değerler ve enerji tüketimi için KVAA platformunun tükettiği değer irdelenmiştir. Tablo 1’de sistemin enerji değerleri verilmiştir.

Tablo 1 Sistemin Enerji Değerleri

Güç Kaynağı	Piezo Elektrik Malzeme	Peltier
2700 mAh	Min 0.103 mA	7.57 mA
1.2 V	Max 0.408 mA	-
AA Ni-MH	4.8 V	4.8 V
4 adet	24 adet	15 adet
4.8 V 2700 mAh	Min 2.472 mA	113.55 mA
123 mA	Max 9.792 mA	-
Solunum ve GSR algılayıcısı bağlı iken çekilen akım	33ohm 5W direnç üzerindeki ölçüm	33ohm 5W direnç üzerindeki ölçüm

Tablo 1’deki sistemin akım ve gerilim değerleri analiz edilecek olursa;

$$\text{Uretilen_Guc} = \text{Peltier_Guc} + \text{Piezo_Guc} \quad (9)$$

$$\text{Uretilen_Guc} = 113.5\text{mA} * 4.8\text{V} + 9.792\text{mA} * 4.8\text{V} = 544.8 \text{ mW} + 47 \text{ mW} = 591.8 \quad (10)$$

$$\text{Tuketilen_Guc} = 123\text{mA} * 4.8\text{V} = 590.4 \text{ mW} \quad (11)$$

Sistemden üretilen enerji 4.8V gerilim ve 2700 mA akım değeri olan Ni-MH pil ünitesi üzerinde depolanmaktadır. Sistem için gerekli olan enerji ise bu piller aracılığıyla sağlanmaktadır. Sistemde üretilen güç 591.8 mW ve tüketilen güç 590.4 mW olduğu görülmektedir. Bu değerler dikkate alındığında geliştirilen sistemin kendi kendine yetme becerisine sahip olduğunu görülmektedir. Pil üniteleri herhangi bir güç yetmezliği durumunda devreye girmekte ve sisteme enerji sağlayarak sistemin kararlı çalışmasını sağlamaktadır. Hesaplanan güç değerleri incelendiğinde geliştirilen enerji hasadı ünitesinden elde edilen güç değerinin, sistemin ihtiyacı olan gücü karşılayabildiği görülmektedir.

Hedeflenen kitle bedensel engelli olduğundan onların seyahat ettikleri otobüs, taksi ve özel ulaşım araçları gibi yerlere bu sistem yerleştirilebilecektir. Piezo elektrik malzeme, taşıtların hareketi sırasında elde edilen titreşimlerden enerji üretirken, peltier malzeme ise kişinin vücut sıcaklığı ve vücut ağırlığını kullanarak sistem üzerinde oluşan ısı yardımıyla enerji üretmesi sağlanacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2017.07.02.574 numaralı proje ile desteklenmektedir.

Referanslar

[1] A. Chen, “Thermal energy harvesting with thermoelectrics for self-powered sensors: with applications to implantable medical devices, body sensor networks and aging in place,” Doktora Tezi, UC Berkeley, 2011.

[2] E. W. Ford, N. Menachemi, and M. T. Phillips, “Predicting the adoption of electronic health records by physicians: when will health care be paperless?,” *Journal of the American Medical Informatics Association*, cilt. 13, no. 1, pp. 106–112, 2006.

[3] M. A. Wood and K. A. Ellenbogen, “Cardiac pacemakers from the patient's perspective,” *Circulation*, cilt. 105, pp. 2136–2138, 2002.

[4] A. Liberale, E. Dallago and A. L. Barnabei, “Energy harvesting system for wireless body sensor nodes,” 2014 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS) Proceedings, Lausanne, pp. 416-419, 2014.

[5] Z. Liu, Z. Zhong and Y. Guo, “High-efficiency triple-band ambient RF energy harvesting for wireless body sensor network,” 2014 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-Bio2014), pp. 1-3, London, 2014.

[6] R. K. Tallos, Z. Wang and J. L. Volakis, “Wi-Fi energy harvesting system using body-worn antennas,” 2014 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), Memphis, TN, pp. 1405-1406, 2014.

[7] R. Lockhart, P. Janphuang, D. Briand and N. F. de Rooij, “A wearable system of micromachined piezoelectric cantilevers coupled to a rotational oscillating mass for on-body energy harvesting,” 2014 IEEE 27th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), San Francisco, CA, pp. 370-373, 2014.

[8] G. Wu and X. Yu, “System design on thermoelectric energy harvesting from body heat,” 2013 39th Annual Northeast Bioengineering Conference, Syracuse, NY, 157-158, 2013.

[9] G. De Pasquale and A. Somà, “Energy harvesting from human motion with piezo fibers for the body monitoring by MEMS sensors,” 2013 Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP), Barcelona, pp.1-6, 2013.

[10] R. Kappel, W. Pachler, M. Auer, W. Pribyl, G. Hofer and G. Holweg, “Using thermoelectric energy harvesting to power a self-sustaining temperature sensor in body area networks,” 2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Cape Town, pp. 787-792, 2013.

- [11] N. Ben Amor, O. Kanoun, A. Lay-Ekuakille, G. Specchia, G. Vendramin and A. Trotta, "Energy harvesting from human body for biomedical autonomous systems," *SENSORS*, 2008 IEEE, Lecce, pp. 678-680, 2008.
- [12] S. Kosunalp and A. Cihan, "Harvesting solar energy for limited-energy problem in wireless sensor networks," 2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Antalya, pp. 1-4, 2017.
- [13] M. Saida, G. Zaibi, M. Samet and A. Kachouri, "Improvement of energy harvested from the heat of the human body," 2016 17th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Sousse, pp. 132-137, 2016.
- [14] A. Ghosh, Meenakshi, S. Khalid and V. P. Harigovindan, "Performance analysis of wireless body area network with thermal energy harvesting," 2015 Global Conference on Communication Technologies (GCCT), Thuckalay, pp. 916-920, 2015.
- [15] A. Proto, D. Bibbo, M. Cerny, D. Vala, V. Kasik, L. Peter, and M. Penhaker, "Thermal energy harvesting on the bodily surfaces of arms and legs through a wearable thermo-electric generator," *Sensors*, 18(6), 1927, 2018.
- [16] P. Woias, "Thermoelectric Energy Harvesting from small and variable Temperature Gradients," *Tagungsband*, pp. 83-88, 2015.
- [17] "MySignals Web Sitesi [Online]. Available: <http://www.my-signals.com/>. [Accessed Jan 10, 2019].